

UNIVERSITATEA TEHNICA TIMISOARA  
FACULTATEA DE CONSTRUCTII  
CATEDRA DE CONSTRUCTII METALICE

Ing. YASER HADDAD

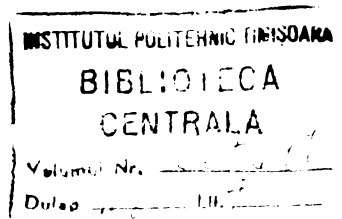
**CONTRIBUTII LA STUDIUL CASTELELOR DE APA CU  
REZERVOARE SFERICE REZEMATE PE STRUCTURI  
DE SUSTINERE CU ZABRELE**

- TEZA DE DOCTORAT -

CONDUCATOR STIINTIFIC  
Academician Profesor Emerit DAN MATEESCU

BIBLIOTECA CENTRALĂ  
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"  
TIMIȘOARA

Timisoara, 1992



## CUPRINS

### **CAP.1. GENERALITATI. PREZENTAREA PROBLEMEI APEI SI A REZERVOARELOR PENTRU APA MONTATE LA INALTIME**

<b>1.1. Importanta folosirii apei in conditiile dezvoltarii societatii omenesti si a cresterii consumului de apa.....</b>	<b>8</b>
1.1.1. Importanta folosirii apei in conditiile dezvoltarii societatii.....	8
1.1.2. Cresterea consumului de apa in general.....	8
1.1.3. Evolutia cerintelor de apa in agricultura si zootehnie.....	10
1.1.4. Evolutia consumului de apa in industrie si pentru necesitati energetice.....	11
1.1.5. Proprietatile apelor inmagazinate in rezervoare.....	12
<b>1.2. Aspecte legate de istoricul dezvoltarii posibilitatilor de inmagazinare si transport al apei.....</b>	<b>15</b>
<b>1.3. Modalitati de transport si alimentare cu apa.....</b>	<b>17</b>
<b>1.4. Evolutia istorica si tendinte actuale de realizare a rezervoarelor de inaltime.....</b>	<b>18</b>
<b>1.5. Aspecte generale privind stabilirea datelor pentru proiectarea castelelor de apa.....</b>	<b>21</b>

### **CAP.2 TIPURI DE REZERVOARE SI DE STRUCTURI DE REZISTENTA A REZERVOARELOR**

<b>2.1. Generalitati.....</b>	<b>24</b>
<b>2.2. Sistemizarea tipurilor de rezervoare dupa functiile acestora in exploatare.....</b>	<b>24</b>
2.2.1. Clasificarea rezervoarelor dupa felul structurii portante de rezistenta.....	28
2.2.2. Clasificarea rezervoarelor in functie de sistemele de etansare a acestora.....	29
2.2.3. Clasificarea rezervoarelor dupa sistemul de izolatii utilizat.....	29
<b>2.3. Sistemizarea rezervoarelor in functie de geometria lor de realizare.....</b>	<b>30</b>
2.3.1. Forme de baza ale structurii portante de rezistenta a rezervoarelor.....	30
2.3.2. Elemente componente ale rezervoarelor.....	33
2.3.2.1. Acoperisul rezervoarelor.....	33
2.3.2.2. Peretii rezervoarelor.....	36
2.3.2.3. Pardoseala sau fundul rezervoarelor.....	37
2.3.3. Probleme de constructie a rezervoarelor metalice.....	41

### **CAP.3. STRUCTURI DE REZISTENTA PENTRU CASTELE DE APA**

<b>3.1. Generalitati.....</b>	<b>44</b>
-------------------------------	-----------

<b>3.2. Rezervoare pentru apa montate la inaltime.....</b>	<b>44</b>
3.2.1. Forme si solutii de realizare a rezervoarelor metalice pentru castele de apa.....	45
3.2.2. Elemente componente ale structurii portante a rezervoarelor castelelor de apa.....	45
<b>3.3. Structuri de rezistenta pentru turnuri de     sustinere a rezervoarelor.....</b>	<b>49</b>
3.3.1. Modalitati de rezemare a rezervoarelor pe structura metalica a turnului.....	49
3.3.2. Tipuri de structuri metalice ale turnului de sustinere a rezervoarelor.....	49
3.3.3. Tipuri de fundatii pentru rezemarea turnurilor castelelor de apa.....	53
<b>3.4. Exemple de castele de apa mai deosebite realizate     in lume.....</b>	<b>54</b>
3.4.1. Tipurile de rezervoare realizate pentru castele de apa cu structuri metalice.....	55
3.4.2. Exemple de castele de apa realizate.....	58
<b>3.5. Castele de apa studiate.....</b>	<b>65</b>
3.5.1. Generalitati.....	65
3.5.2. Castelul de apa cu structura de sustinere din tabla.....	65
3.5.3. Castelul de apa cu rezervor sferic sustinut de o structura cu zabrele cu noduri rigide.....	68
3.5.4. Castel de apa cu rezervor sferic rezemat printr-un inel interior, pe o structura cu zabrele.....	70
3.5.5. Castel de apa cu rezervor sferic rezemat pe o structura interioara cu doua inele legate cu zabrele si o constructie de sustinere.....	72
 <b>CAP. 4. MATERIALE FOLOSITE LA CONSTRUCTIA CASTELELOR DE APA</b>	
<b>4.1. Generalitati.....</b>	<b>74</b>
<b>4.2. Otelul pentru realizarea castelelor de apa .....</b>	<b>74</b>
4.2.1. Oteluri de uz general pentru constructii. Marci si domenii de utilizare dupa STAS 500/2-60.....	75
4.2.2. Oteluri pentru tevi fara sudura de uz general.....	77
4.2.3. Oteluri de uz general pentru constructii rezistente la coroziune atmosferica STAS 500/3-80....	78
4.2.4. Oteluri speciale pentru rezervoare.....	78
<b>4.3. Alumiuni in constructia rezervoarelor.....</b>	<b>79</b>
<b>4.4. Observatii finale.....</b>	<b>80</b>
 <b>CAP. 5. CONTRIBUTII LA CALCULUL DE REZISTENTA AL REZERVOARELOR     SFERICE DE APA MONTATE LA INALTIME</b>	
<b>5.1. Elemente geometrice.....</b>	<b>81</b>

<b>5.2. Incarcari pentru calcul rezervoarelor.....</b>	<b>81</b>
5.2.1. Elemente generale.....	81
5.2.2. Incarcarea din greutatea proprie.....	83
5.2.3. Incarcarea din presiunea lichidului.....	83
5.2.4. Incarcarea din depresiune.....	83
5.2.5. Incarcari din vint.....	84
<b>5.3. Teoria matematica a rezervoarelor sferice.....</b>	<b>87</b>
5.3.1. Ipoteze de baza.....	87
5.3.2. Starea de eforturi.....	87
5.3.3. Starea de deformatii.....	90
5.3.4. Ecuatiile de echilibru.....	91
5.3.5. Ecuatiile de deformatii.....	92
5.3.6. Ecuatiile fizice.....	93
5.3.7. Sinteza celor trei aspecte.....	94
<b>5.4. Teoria de membrana.....</b>	<b>95</b>
5.4.1. Ipotezele teoriei de membrana.....	95
5.4.2. Ecuatiile teoriei de membrana.....	95
5.4.3. Calculul deplasarilor in teoria de membrana.....	97
5.4.4. Sistemul static in cadrul teoriei de membrana.....	99
5.4.5. Eforturile si deformatiile din greutatea proprie.....	100
5.4.5.1. Intervalul 1 ( $0 < \varphi \leq \varphi_1$ ).....	100
5.4.5.2. Intervalul 2 ( $\varphi_1 < \varphi \leq \varphi_2$ ).....	103
5.4.5.3. Intervalul 3 ( $\varphi_2 < \varphi \leq \pi$ ).....	111
5.4.5.4. Eforturi si deplasari pe sfera completa.....	113
5.4.5.5. Incarcari pentru inelele I si II.....	116
5.4.6. Eforturile si deformatiile din presiunea lichidului. Rezervor plin.....	117
5.4.6.1. Intervalul 1 ( $0 < \varphi \leq \varphi_1$ ).....	117
5.4.6.2. Intervalul 2 ( $\varphi_1 < \varphi \leq \varphi_2$ ).....	119
5.4.6.3. Intervalul 3 ( $\varphi_2 < \varphi \leq \pi$ ).....	124
5.4.6.4. Eforturi si deplasari pe sfera completa.....	126
5.4.6.5. Incarcari pentru inelele I si II.....	128
5.4.7. Eforturile din presiunea lichidului. Rezervor partial umplut.....	129
5.4.7.1. Rezervor partial umplut I.....	129
5.4.7.2. Rezervor partial umplut II.....	134
5.4.7.3. Comparatie cu cazul rezervorului plin.....	138
5.4.8. Eforturile si deformatiile din depresiune.....	138
5.4.8.1. Intervalul 1 ( $0 < \varphi \leq \varphi_1$ ).....	138
5.4.8.2. Intervalul 2 ( $\varphi_1 < \varphi \leq \varphi_2$ ).....	140
5.4.8.3. Intervalul 3 ( $\varphi_2 < \varphi \leq \pi$ ).....	143
5.4.8.4. Eforturi si deformatii pe sfera completa.....	143
5.4.9. Eforturi si deplasari din vint.....	146
5.4.9.1. Incarcarea din vint.....	146
5.4.9.2. Schema statica.....	149
5.4.9.3. Calculul eforturilor pe sistemul static determinat.....	151
5.4.9.4. Eforturi suplimentare pe intervalul 2, static nedeterminat.....	159
5.4.9.5. Eforturi pe sfera completa.....	162
5.4.9.6. Incarcari pentru inelele I si II.....	164

<b>5.5. Teoria de incovoiere.....</b>	<b>167</b>
5.5.1. ipoteze suplimentare.....	167
5.5.2. Ecuatiile de echilibru, de deformatii si fizice.....	167
5.5.3. Ecuatiile teoriei de incovoiere.....	168
5.5.3.1. Ecuatiile exacte.....	168
5.5.3.2. Ecuatiile aproximative.....	169
5.5.4. Determinarea eforturilor si deformatiilor in teoria de incovoiere.....	171
5.5.4.1. integrarea ecuatiei Geckeler.....	171
5.5.4.2. Calculul eforturilor si deplasariilor.....	174
5.5.4.3. Conditii de margine.....	175
5.5.5. Eforturi din greutatea proprie.....	179
5.5.5.1. intervalul 1 ( $0 < \varphi \leq \varphi_1$ ).....	179
5.5.5.2. intervalul 2 ( $\varphi_1 < \varphi \leq \varphi_2$ ).....	180
5.5.5.3. intervalul 3 ( $\varphi_2 < \varphi \leq \pi$ ).....	184
5.5.6. Eforturi din presiunea lichidului. Rezervor plin.....	187
5.5.6.1. intervalul 1 ( $0 < \varphi \leq \varphi_1$ ).....	187
5.5.6.2. intervalul 2 ( $\varphi_1 < \varphi \leq \varphi_2$ ).....	188
5.5.6.3. intervalul 3 ( $\varphi_2 < \varphi \leq \pi$ ).....	191
5.5.7. Eforturi din depresiune.....	193
5.5.7.1. intervalul 1 ( $0 < \varphi \leq \varphi_1$ ).....	193
5.5.7.2. intervalul 2 ( $\varphi_1 < \varphi \leq \varphi_2$ ).....	194
5.5.7.3. intervalul 3 ( $\varphi_2 < \varphi \leq \pi$ ).....	196
5.5.8. Eforturi din vant.....	198
5.5.8.1. intervalul 1 ( $0 < \varphi \leq \varphi_1$ ).....	199
5.5.8.2. intervalul 2 ( $\varphi_1 < \varphi \leq \varphi_2$ ).....	199
5.5.8.3. intervalul 3 ( $\varphi_2 < \varphi \leq \pi$ ).....	203
5.5.9. Eforturi si deplasari pe sfera completa.....	204
5.5.9.1. Eforturile pe sfera completa.....	204
5.5.9.2. Deplasariile pe sfera completa.....	205
<b>5.6. Verificarea de rezistenta a rezervorului.....</b>	<b>205</b>
5.6.1. Stabiirea incarcariilor care actioneaza asupra rezervorului.....	205
5.6.1.1. incarcari permanente. Greutatea proprie a peretilor.....	205
5.6.1.2. incarcari cvasipermanente. Presiunea lichidului.....	205
5.6.1.3. incarcari variabile.....	205
5.6.2. Verificarea de rezistenta a rezervorului.....	207
<b>CAP. 6. CONTRIBUTII LA CALCULUL DE STABILITATE AL REZERVOARELOR SFERICE DE APA</b>	
<b>6.1. Elemente generale.....</b>	<b>211</b>
6.1.1. Descrierea fenomenului.....	211
6.1.2. Principiile de verificare a stabilitatii placilor curbe, dupa CECM si DAST-Richtlinie 13.....	214
6.1.3. Verificarea sferelor complete si a caloteilor sferice la presiuni radiale dupa CECM si DAST-Richtlinie 13.....	215
6.1.4. Caracteristicile comportarii la stabilitate a rezervoarelor sferice montate la inaltime.....	222

<b>6.2. Incarcarea critica de bifurcare.....</b>	<b>227</b>
6.2.1. ipotezele de baza.....	227
6.2.2. Ecuatiile de echilibru.....	228
6.2.3. Ecuatiile de deformatii.....	229
6.2.4. Ecuatiile fizice.....	230
6.2.5. Ecuatiile neliniare.....	230
6.2.6. incarcarea critica de bifurcare pentru depresiune...	232
6.2.7. incarcarea critica de bifurcare pentru presiunea din vint.....	234
<b>6.3. Comportarea postcritica.....</b>	<b>235</b>
6.3.1. incarcarea interioara.....	235
6.3.2. influenta conditiilor de margine.....	238
6.3.3. incarcarea limita din depresiune.....	243
6.3.4. incarcarea limita din presiunea vintului.....	245
6.3.5. incarcarea limita din actiunea concomitenta a depresiunii si vintului.....	246
<b>6.4. Verificarea stabilitatii rezervorului.....</b>	<b>247</b>
6.4.1. Relatia de verificare.....	247
6.4.2. Verificarea stabilitatii intervalului 1.....	247
6.4.3. Verificarea stabilitatii intervalului 2.....	247
6.4.4. Verificarea stabilitatii intervalului 3.....	248
<b>6.5. Concluzii privind stabilitatea rezervoarelor sferice studiate.....</b>	<b>248</b>
<b>CAP.7. STABILIREA INCARCARILOR PENTRU CALCULUL STRUCTURII DE SUSTINERE A NOULUI TIP DE REZERVOR STUDIAT</b>	
<b>7.1. Generalitati. Descrierea structurii de sustinere a noului tip de rezervor de inaltime studiat.....</b>	<b>249</b>
<b>7.2. Stabilirea incarcarii.....</b>	<b>249</b>
7.2.1. incarcari permanente.....	249
7.2.1.1. incarcari din greutatea proprie a rezervorului.....	251
7.2.1.2. incarcari din greutatea constructiei de sustinere din interiorul rezervorului.....	253
7.2.1.3. Greutatea infrastructurii turnului de sustinere.....	254
7.2.2. incarcari cvasipermanente.....	257
7.2.2.1. incarcari din presiunea lichidului la umplerea completa a rezervorului.....	257
7.2.2.2. Greutatea echipamentelor si dispozitivelor cu pozitie fixa pe rezervor.....	258
7.2.3. incarcari variabile.....	258
7.2.3.1. incarcari cu oameni, unelte si materiale pentru intretinerea castelului de apa.....	258
7.2.3.2. incarcari distribuite in lungul balustradelor...	258
7.2.3.3. incarcarea din actiunea vintului.....	258
7.2.3.4. incarcari din actiunea seismica.....	262
<b>7.3. Calculul incarcarii concentrate pe inelul superior 1..</b>	<b>263</b>
7.3.1. Calculul lungimii aterente unui nod.....	264

7.3.2. Calculul forțelor concentrate din incarcari permanente.....	264
7.3.2.1. incarcari concentrate in nodurile inelului superior din greutatea proprie a rezervorului...	265
7.3.2.2. incarcari concentrate in nodurile inelului superior din greutatea sa proprie.....	267
7.3.2.3. incarcari concentrate in nodurile inelului superior din greutatea diagonalelor si montantilor de legatura intre inele.....	268
7.3.3. Calculul forțelor concentrate din incarcari cvasipermanente.....	268
7.3.3.1. incarcari concentrate in noduri din presiunea lichidului pe peretii rezervorului.....	268
7.3.3.2. incarcari concentrate in noduri din greutatea echipamentelor si dispozitivelor cu pozitie fixa.....	269
7.3.4. Calculul forțelor concentrate din incarcari variabile.....	270
7.3.4.1. incarcari concentrate in noduri din incarcarea cu oameni, unelte si materiale pentru intretinere si incarcari distribuite ce actioneaza in lungul balustradei.....	270
7.3.4.2. incarcari concentrate in noduri din actiunea vintului.....	272
<b>7.4. Calculul incarcarilor concentrate pe   inelul interior II.....</b>	<b>273</b>
7.4.1. Calculul lungimii aterente unui nod.....	274
7.4.2. Calculul forțelor concentrate din incarcari permanente.....	274
7.4.2.1. incarcari concentrate in nodurile inelului interior din greutatea proprie a rezervorului...	274
7.4.2.2. incarcari concentrate in nodurile inelului II din greutatea sa proprie.....	276
7.4.2.3. incarcari concentrate in nodurile inelului interior din greutatea diagonalelor si montantilor structurii interioare de sustinere.....	276
7.4.3. incarcari cvasipermanente.....	276
7.4.3.1. incarcari concentrate in noduri din presiunea lichidului din rezervor.....	276
7.4.3.2. incarcari concentrate in noduri din greutatea echipamentelor si dispozitivelor cu pozitie fixa.....	277
7.4.4. incarcari variabile.....	278
7.4.4.1. incarcari concentrate in noduri din actiunea vintului.....	278
<b>7.5. Incarcari concentrate pe structura turnului de   sustinere a rezervorului.....</b>	<b>278</b>
7.5.1. incarcari concentrate permanente.....	278
7.5.1.1. Tronsonul 1.....	279
7.5.1.2. Tronsonul 2.....	279
7.5.1.3. Tronsonul 3.....	279
7.5.1.4. Tronsonul 4.....	279

7.5.2. incarcari concentrate variabile din actiunea vintului pe structura.....	279
7.5.2.1. Tronsonul 1.....	280
7.5.2.2. Tronsonul 2.....	280
7.5.2.3. Tronsonul 3.....	281
7.5.2.4. Tronsonul 4.....	281

**CAP.8. CALCULUL SI DIMENSIONAREA STRUCTURII DE SUSTINERE  
A REZERVORULUI**

8.1. Aspecte generale.....	283
8.2. Date de intrare in calculator.....	283
8.3. Date de iesire din calculator.....	285
8.4. Elemente privind dimensionarea barelor.....	290
8.5. Dimensionarea structurii de sustinere.....	290
8.5.1. Dimensionarea stiiptilor.....	290
8.5.1.1. Tronsoanele 1 si 2.....	290
8.5.1.2. Tronsoanele 3, 4 si 5.....	292
8.5.2. Dimensionarea montantilor.....	293
8.5.3. Dimensionarea legaturilor orizontale.....	293
8.5.4. Dimensionarea diagonalelor.....	294
8.5.5. Dimensionarea inelului inferior II.....	295
8.5.6. Dimensionarea inelului superior I.....	298
8.5.7. Dimensionarea structurii dintre inele.....	299

**CAP.9. CONCLUZII FINALE. CONTRIBUTII PERSONALE**

9.1. Concluzii finale.....	300
9.1.1. Concluzii privind solutiile de realizare a castelelor de apa.....	300
9.1.2. Concluzii privind materialele folosite pentru realizarea castelelor de apa.....	304
9.1.3. Concluzii privind calculul rezervorului.....	304
9.1.4. Concluzii privind incarcariile si calculul automat al structurii de sustinere si al rezervorului studiat.....	306
9.2. Contributii personale ale autorului la elaborarea tezei de doctorat.....	307

ANEXA 0.....	A-1
ANEXA 1.....	A-2
ANEXA 2.....	A-7
ANEXA 3.....	A-8
Bibliografie.....	B-1



## CAPITOLUL 1

### GENERALITATI. PREZENTAREA PROBLEMEI APEI SI A REZERVARELOR PENTRU APA MONTATE LA INALTIME

#### **1.1 IMPORTANTA FOLOSIRII APEI IN CONDITIILE DEZVOLTARII SOCIETATII OMENESTI SI A CRESTERII CONSUMULUI DE APA**

##### 1.1.1 Importanta folosirii apei in conditiile dezvoltarii societatii.

Un bilant al resurselor de care dispune economia unei tari si care omite apa este, fara indoiala, un bilant incomplet. Apa este resursa de baza pe care orice rationament o include in activitatea economica si sociala. Civilizatii omenesti s-au nascut pe maluri de ape, la fel cum civilizatii au disparut din cauza lipsei de apa [66].

Apei i-a fost data puterea magica de a deveni seva vietii pe pamint, lipsa ei este pustiitoare, excesul - catastrofal. Totusi, la scara planetara, apa nu este niciodata nici prea putina, nici prea multa, este vesnic aceeaasi. Este singura sursa care nu se schimba cantitativ, nu se epuizeaza in timp, reinnoindu-se permanent in procesul ciclic al circuitului sau natural generat de actiunea soarelui, si singura care nu poate fi inlocuita.

Din cantitatea totala de apa de pe pamint, doar o parte este apa ce poate fi folosita in alimentari cu apa, industrie sau agricultura. Apa sarata a marilor si oceanelor nu poate fi folosita decit dupa o desalinizare, care, insa, nu este avantajoasa din punct de vedere economic.

Cota de apa dulce reprezinta doar 1% din cantitatea totala de apa pe pamint, iar distributia ei pe continente si tari este neuniforma. Europa este un continent sarac in apa dulce, iar Romania se numara printre tarile sarace in aceste surse de apa.

##### 1.1.2 Cresterea consumului de apa in general.

Studierea rezervoarelor, a constructiilor de sustinere si a instalatiilor aferente trebuie sa se ocupe in primul rind de evolutia consumului de apa dulce in lume [35][66].

La cresterea consumului de apa potabila si industriala din ultima vreme au contribuit mai multi factori, si anume:

- populatia lumii, care se dubleaza in prezent la 33 ani, ceea ce inseamna ca dupa anul 2000 populatia Terrei ar putea sa depaseasca 7 miliarde de indivizi.
- urbanizarea populatiei, prin cresterea populatiei oraselor in detrimentul satelor, care se face in acelasi ritm, iar consumul de apa in orase este substantial mai ridicat decit la sate.
- productia industriala mondiala se dubleaza in prezent la cca 10 ani, ori consumul industrial de apa este mult mai mare ca cel al populatiei.
- productia agricola necesita cantitati foarte mari de apa, care cresc odata cu cresterea populatiei care consuma productia agricola, aproximativ in aceeasi progresie.

În timp ce necesarul de apă crește vertiginos, trebuie spus că oferta de apă, respectiv rezervele de apă, rămân aproximativ constante. Dacă consumul de apă în țările puternic industrializate se dublează, după ultimele statistici, în circa 15 ani, sursele de apă rămân, în general, aceleași. De aceea, lumea va fi obligată să treacă tot mai mult la desalinizarea apei marilor și oceanelor, care reprezintă principala sursă de apă pentru mileniul trei.

Trebuie arătat, însă, că dacă sursele de apă conțin aproximativ aceeași cantitate de apă, calitatea acesteia scade datorită poluării continue a surselor de apă, mai ales a apei de suprafață din râuri, mulți specialiști afirmând că în viitorii ani, în fluviu și râuri nu vor mai curge decât ape uzate.

De asemenea, este important de arătat că multe din instalațiile și amenajările de apă existente au o vechime de peste 50 de ani, iar componentele lor - conducte, tevi, rezervoare - au o fiabilitate din ce în ce mai scăzută, putând conduce la avarii.

Consumul de apă înregistrează rate de creștere nemaîntinse. Astfel, agricultura, care absoarbe 2/3 din disponibilitatea totală de apă dulce, și-a majorat de 8 ori consumul în perioada 1900-1990. Consumul industrial a crescut de 20 de ori în aceeași perioadă.

Consumul de apă pe locuitor al unei țări diferă foarte mult de la o țară la alta și reprezintă o cota mică din totalul de apă folosită în general.

Măsura în care țările pot progresa depinde, și acum destul de mult, de existența resurselor de apă și de capacitatea națiunilor respective de a le pune în valoare. La ora actuală există țări în care consumul de apă pe locuitor nu atinge 80 l, pe când, în altele, îl depășește cantitatea de 6000 l. De exemplu, pentru fiecare locuitor din S.U.A. se consumă o cantitate de 64 ori mai mare decât pentru un locuitor din Tanzania.

Aproximativ 70% din populația lumii și 90% din populația lumii a treia are apă insuficientă sau insalubră, înregistrându-se zilnic 25000 de decese datorate bolilor hidrice și deshidratării.

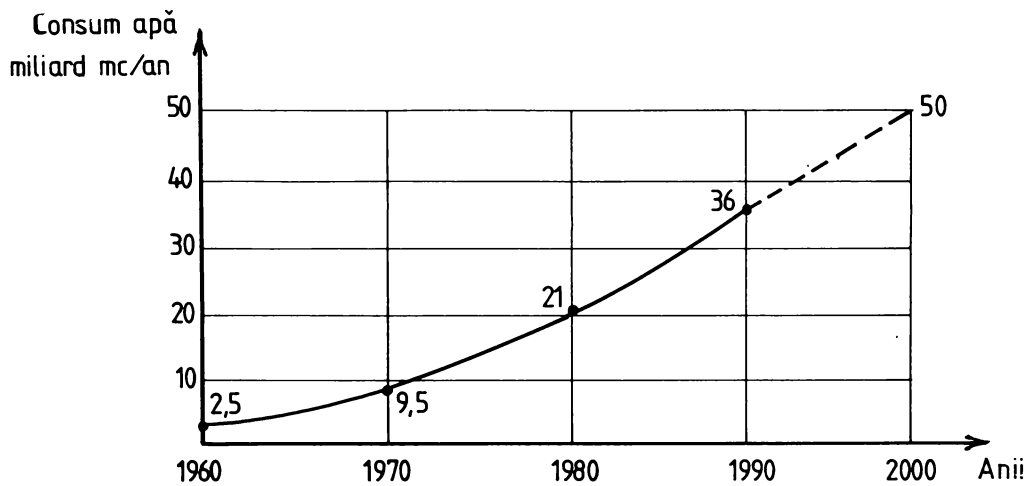
Din cantitățile de apă prelevată, circa 9 miliarde mc se returnează în cursurile de apă după utilizare (apă folosită în industrie și localități), cea folosită în agricultură patrunde în subteran (o parte din ea alimentând suplimentar pinza freatică).

Calcululele estimative apreciază că un om al civilizației noastre are nevoie de cantitatea medie de 1 mc apă/zi din care 200 l apă/zi pentru consumul cotidian - în gospodărie și la serviciu - iar restul de 800 l/zi fiind folosit de activitățile anexe ce deservesc viața oamenilor.

România, plasată într-un continent sărac în apă dulce utilizabilă, are ca surse de apă râurile interioare, de la Dunare - care, din motive de navigație și din faptul că este un fluviu internațional, poate da numai o parte din apă la consum - și pînă la cele mai mici râuri ale țării, precum și apele subterane.

Râurile interioare reprezintă principala sursă de apă a țării și ele au circa 80.000 km lungime transportînd într-un an hidrologic mediu circa 37 miliarde mc de apă.

O altă sursă de apă, care de fapt este de cea mai bună calitate, o constituie depozitele de apă subterană, atât din pinza freatică, cit și din straturile de adîncime, și care însumează circa 8...8,5 miliarde mc de apă.



EVOLUȚIA CONSUMULUI DE APĂ ÎN ROMÂNIA

Fig.1.1

Tabelul 1.1. CERINTE DE APA IN TARILE EUROPENE.

Nr. crt.	Tara	Cerinta de apa in mc/an/loc			
		populatie	industrie	agricultura	Total
1	Finlanda	78.6	590.2	486.2	1155.0
2	Portugalia	159.8	353.9	525.1	1038.8
3	Elvetia	135.4	791.5	-	926.9
4	Belgia	58.2	769.1	10.2	837.5
5	ROMANIA	66.1	264.4	443.8	774.3
6	Norvegia	87.5	431.4	8.1	527.0
7	R.D.G.	67.1	350.1	65.3	482.5
8	Franta	75.6	264.6	94.5	434.7
9	Polonia	73.5	258.7	88.2	420.4
10	Cehoslovacia	60.6	262.4	26.9	349.9
11	Austria	85.1	239.4	12.0	336.5
12	Italia	28.0	62.5	186.4	279.6

Pentru extinderea cresterii animalelor, necesitatile sînt estimate la 90-100 kmc pentru anul 2000, fata de un consum de 36 kmc realizat in 1965. Este de remarcant, de asemenea, faptul ca in irigatii se returneaza in emisarii naturali numai 20-22% din apa utilizata, pe cind in zootehnie procentul de restituire este mult mai mare, in jurul valorilor de 80-90%.

#### 1.1.4 Evolutia consumului de apa in industrie si pentru necesitati energetice.

Dupa irigatii, cea mai mare consumatoare de apa este industria. In tabelul 1.2 prezentam necesitatile de apa pe tona de produs pentru principalele ramuri industriale; industria consuma cantitati enorme de apa: 10 l pentru 1 l de petrol, 40 l pentru o cutie de conserve, 27 l pentru 1 l de alcool, 200 mc pentru 1 tona de otel, 3.5 mc pentru o tona de ciment, etc..

Este important de retinut ca 80% din apa utilizata se polueaza, aceasta scotind din folosinta (prin deversare in receptori naturali) o cantitate de apa curata de 25 ori mai mare [35].

Daca la nivelul anului 1965 industria consuma 200 kmc apa (din care 160 kmc s-au returnat in surse), iar pentru necesitati energetice s-au utilizat 250 kmc apa (din care 235 kmc s-au returnat in surse), pentru anul 2000 se estimeaza un necesar pentru industrie de circa 3000 kmc, iar pentru producerea de

energie circa 4500 kmc.

Tabelul 1.2. NECESARUL DE APA PE TONA DE PRODUS PENTRU PRINCIPALELE RAMURI INDUSTRIALE.

Ramura industrială	* (mc)	** (%)	*** (%)	**** (%)
1. Industria alimentară	10-40	50-80	10-50	50-90
2. Industria chimică anorganică și îngrășăminte chimice	20-250	60-90	5-50	50-95
3. Industria chimică organică de sinteză	150-1500	25-75	5-10	90-95
4. Industria petrochimică	200-2000	10-12	1-10	90-99
5. Industria celulozei	200-1300	20-40	2-5	95-98
6. Industria lemnului	8-40	50-75	20-90	10-80
7. Industria materialelor de construcții	3-40	10-60	25-30	70-75
8. Industria metalurgică feroasă	2-180	30-75	10-20	80-90
9. Industria metalurgică neferoasă	70-150	50-90	50-80	20-50
10. Industria ușoară	30-400	20-100	8-10	90-92

\* Necesarul total de apă în procesul tehnologic.

\*\* Cerința de apă proaspătă prelevată din sursă.

\*\*\* Consumul de apă înglobat în produsul finit.

\*\*\*\* Cantitatea de apă restituită sursei.

În privința consumului de apă în industrie, după alte surse [35], acesta este, pe tipuri de industrie, cel din tabelul 1.3.

#### 1.1.5 Proprietățile apelor înmagazinate în rezervoare.

Lichidele care se depozitează în rezervoare pot influența prin compoziția și proprietățile lor starea rezervoarelor, la fel cum și acestea pot să influențeze lichidele depozitate [35].

În privința apelor depozitate în rezervoare, în comparație cu alte lichide, se poate spune că acestea, prin proprietățile și calitățile lor mai puțin dure, influențează într-o măsură mai redusă rezervoarele în care se depozitează.

În acest context, trebuie trecute în revistă proprietățile apelor care se înmagazinează în rezervoare.

Proprietățile apei brute (nelimpzite) obținute de la surse sunt diferite de cele ale apei potabile și ele trebuie cunoscute deoarece calitatea apei depinde de compoziția sa fizico-chimică.

Tabelul 1.3. CONSUM SPECIFIC DE APA PE TONA DE  
 PRODUSE INDUSTRIALE.

Tipurile de produse industriale	Consum mediu de apa	
	Unitate de masura	Consum apa
Otel si alte produse siderurgice	mc/t	10...25
Carbune	mc/t	2.5
Bricheti de carbune	mc/t	1...2
Benzina bruta	mc/t	30
Acid sulfuric	mc/t	10...50
Matase artificiala	mc/t	400...700
Hirtie	mc/t	150
Placi din fibre	mc/t	100
Alimente diverse	mc/t	5...10
Conserve diverse	mc/t	10...30
Zahar	mc/t	25...50

De aceea, in cele ce urmeaza vor fi prezentate proprietatile apelor brute si ale celor tratate.

#### 1. Proprietatile apei freatică - din teren.

Apa freatică din zone de mare adâncime este determinată, în proprietatile sale, în mod hotărâtor de stratificatia terenului și de straturile de piatră prin care se scurge [35].

Astfel, apa freatică provenită din zone cu stratificatii de granit este, în general, foarte curată din punct de vedere chimic, deoarece nu conține decât infime cantități de substanțe dizolvate.

În schimb, apele freatică provenite din straturi de piatră cu conținut de carbonați, cum sunt piatrurile de calcar, conțin multe substanțe dizolvate, motiv pentru care sînt foarte dure, avînd însă o duritate trecătoare, iar apele care se extrag din straturi cu conținut de ipsos și anhidrid conțin foarte mult sulfat, ceea ce le conferă o duritate persistentă.

În ultima vreme, calitatea apelor freatică este influențată tot mai mult de poluarea mediului, datorită, în special, substanțelor și îngrășămintelor chimice folosite în agricultură, precum și substanțelor folosite împotriva dăunătorilor.

Și poluarea industrială contribuie, prin substanțele depuse pe sol, la degradarea apelor freatică, apele de ploaie conducînd în straturile de teren aceste substanțe ca și cele provenite din agricultură.

Extragerea apei freatică, care se poate face fie prin izvoare naturale, fie prin fântini sau siriuri de fântini, a dus, datorită volumului mare de apă exploatare, la scăderea nivelului apei freatică. Acest fapt a pus în fața specialiștilor problema îmbogățirii (înmulțirii) artificiale a depozitelor de ape freatică, care se face prin instalații artificiale de infiltrație a apelor.

## 2. Proprietățile apelor de suprafață.

Apa de suprafață din râuri și fluviu este mai ușor și mai ieftin de exploatat, dar ea este mai expusă poluării, iar în cazul precipitațiilor puternice din ploaie ea se tulbură, datorită filtrării insuficiente ca urmare a volumului mare de apă și a vitezei sporite a acesteia [35][66].

De asemenea, la apele de suprafață, calitățile fizico-chimice prin substanțele solide dizolvate suferă, la fel ca și temperatura apei – care se modifică după anotimp. Apele râurilor mari și ale fluviilor, în statele industrializate, datorită scurgerii apelor uzate din industrie (insuficient limpezite) sunt deosebit de poluate și necesită cheltuieli foarte mari de preparare pentru a deveni potabile.

Apele înmagazinate în baraje sunt, adesea, mai puțin dure ca cele freatică, având mai puțin gaz solubilizat, mai puțin fier și mangan, în schimb au un conținut mai mare de bacterii, ceea ce împune clorurarea lor, aceasta influențând nefavorabil gustul și mirosul apei, mai ales la temperaturile ridicate din timpul verii.

Apele brute, atât freatică, cât și cele de suprafață, pot conține:

- \* gaze solubilizate ca: oxigen (ce corodează rezervoarele metalice), bioxid de carbon (care atacă rezervoarele din beton), azot și hidrogen sulfurat (ce atacă îmbrăcămintele din plastic).
- \* săruri dizolvate ca: bicarbonați de fier, calciu, magneziu și sodiu, sulfati de calciu, magneziu și sodiu, cloruri de sodiu, calciu și magneziu, etc..
- \* acizi, cum sunt: acidul humic din substanțele organice, acidul silicic, fosforic și sulfuric.
- \* ioni de hidrogen, care dau apei brute o reacție acidă cu  $pH < 7$ , neutră cu  $pH = 7$  sau alcalină cu  $pH > 7$ , dintre acestea cele mai defavorabile fiind apele acide, care atacă materialele din care sunt construite rezervoarele.

## 3. Proprietățile și cerințele apei potabile.

Apa potabilă, folosită pentru băut, se obține în urma unor procese adeseori foarte complicate și costisitoare de filtrare și tratare. În urma acestor procese de tratare, ea se depozitează în rezervoare care, prin formă, mărimea și materialul de construcție, trebuie să asigure menținerea proprietăților apei potabile [35].

Apa potabilă trebuie să aibă următoarele caracteristici calitative pentru a fi bine apreciată:

- să fie inodora (adică fără nici un miros).
- să nu aibă nici un gust neplăcut.
- să fie incoloră (deci fără nici o culoare).
- să fie limpede (adică să nu conțină alte substanțe în suspensie).

- sa fie apetisanta (adica sa creeze dorinta de a o bea).

O astfel de apa perfecta este foarte greu de obtinut si, de aceea, in practica se admit foarte usoare abateri de la aceste cerinte, dar acestea scad calitatile apei potabile.

Pe langa acestea, apa potabila mai trebuie sa satisfaca si urmatoarele caracteristici cantitative:

- sa aiba o temperatura la captare de 8...12°C

- sa aiba un pH maxim de 7.5

- sa aiba un continut de sulfati sub 2.5 mg/l

- sa nu contina nitrati si fosfati sau alte elemente cum sint: cupru, plumb, arsenic sau amoniac

- sa nu contina colibacili si sa aiba sub 20 de germeni pe cmc.

De aceste caracteristici calitative si cantitative trebuie sa se tina seama la alegerea formei rezervoarelor si a materialelor din care se executa sau se protejeaza rezervoarele. Astfel, vopsirea cu rasini epoxidice a dus la formarea unor bule sub vopsea, in care se pot aduna germeni; au fost constatati pina la 180 de germeni pe cmc cind sint admisi doar 20. Suprafete de rezervoare tratate cu o tencuiala neteda cu o vopsire cu cauciuc clorat au dus la aparitia unor colonii de bacterii.

#### 4. Cerintele si proprietatile apei menajere pentru industrie.

Apa menajera pentru industrie nu trebuie sa aiba aceleasi calitati ca si cea potabila. Totusi, la apa folosita in industria alimentara, se cere sa nu contina substante organice solubilizate, sa aiba un continut de fier sub 0.1 mg/l si un continut de compusi de mangan sub 0.05 mg/l (la fel si la carbonati) si sa nu contina clorura de magneziu [35].

Apa folosita la baie nu trebuie sa contina germeni patogeni si nici alge. De asemenea, ea trebuie sa permita o buna vizibilitate pina la fundul bazinului.

## **1.2 ASPECTE LEGATE DE ISTORICUL DEZVOLTARII POSIBILITATILOR DE INMAGAZINARE SI TRANSPORT AL APEI**

In secolul trecut, cind s-a inceput studiul problemei distributiei apei sub o anumita presiune, s-a cautat o solutie care sa fie atit simple, cit si ieftina. Pentru inmagazinarea apei s-a gasit solutia rezervoarelor. Pentru transport, bazindu-se pe vechiul principiu al vaselor comunicante, rezervorul trebuie sa fie situat cit mai sus, pentru ca lichidul sa poata urca in toate conductele. De aceea, un castel de apa se construiește pe o colina naturala, avind o structura metalica suport care sa ii asigure inaltimea necesara.

O evolutie a formei si capacitatii rezervoarelor in cursul istoriei civilizatiei umane este prezentata in tabelul 1.4.

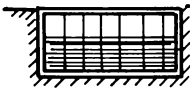
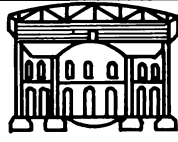



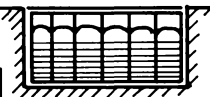
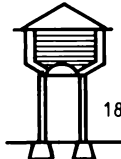
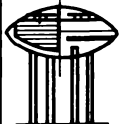

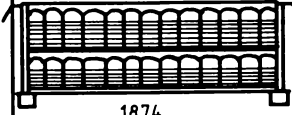
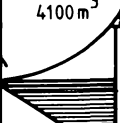
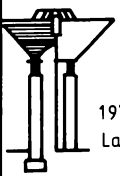
In multe orase, datorita faptului ca au aparut multe cladiri noi si deci consumul de apa a crescut, s-a pus problema modernizarii castelelor de apa existente.

Castelele de apa trebuie sa asigure atit o anumite presiune, cit si un anumit debit de apa; presiunea se asigura prin inaltimea castelului de apa, iar debitul se asigura prin capacitatea rezervorului castelului de apa [35][66].



# EVOLUȚIA FORMEI ȘI CAPACITĂȚII REZERVOARELOR ÎN FUNȚIE DE MATERIALELE DE CONSTRUCȚIE

Tabelul 1.4

Mod. de constr. și depozit.	Materiale Tehnologie Lichide depozitate	Evoluția în timp a rezervoarelor								
		Antichi- tate	Evl mediu	1492	Timpuri recente	Secolul 19	Secolul 20			
Mod de construcție	Materialul	Zidărie / Piatră								
		Lemn								
		Fier / Oțel								
		Beton								
		Beton armat								
		Beton precomprimat								
		Materiale plastice								
Tehnologie		Zidărie								
			Șuruburi nituite							
				Laminare						
					Cofraje					
						Toriretare Cofraje glisante				
						Sudarea mater.				
						Precom- primare Lipire sudare Prefabric.				
Observații asupra modului de construcție Rezervoare pentru apă	 Cisterne regale la Ierusalim 30.000 m <sup>3</sup>		 1853 Hamburg 2350 m <sup>3</sup>		 1911 Emden 1000 m <sup>3</sup>		 1968 Petite- Synthe 6000 m <sup>3</sup>		 1958 Italia 2000 m <sup>3</sup>	
	 Anul 1101 Istambul 25.000 m <sup>3</sup>		 1855 Rezervor la înălțime Büderich 150 m <sup>3</sup>		 1967 Espoo 4100 m <sup>3</sup>		 1970 Pittsburgh 2800 m <sup>3</sup>		 1874 Mont Souris - Paris 200.000 m <sup>3</sup>	
					 1965 Durban 340.000 m <sup>3</sup>		 1970 Landskrona 4000 m <sup>3</sup>			

De asemenea, rezervorul castelului de apa trebuie sa aiba un rol de regulator, pentru ca pompele de alimentare, care functioneaza la un anumit debit mijlociu si constant, sa nu simta intr-un mod exagerat variatiile bruste ale debitului.

La ora actuala, principiul rezervorului plasat la o anumita inaltime pe un sistem de piloni si-a pastrat importanta si va ramine inca mult timp dispozitivul regulator indispensabil pentru distribuirea apei sub presiune moderata.

Cu progresele care au aparut in aceasta ramura industriale, se pot concepe acum rezervoare de o capacitate mare situate la inaltime de neconceput cu ani in urma.

Importanta castelelor de apa scade, din cauza modernizarii retelei de distributie a apei si a evolutiei pompelor de mare debit in distributia apei. In reseaua de distributie urbana a apei, consumul de apa se pastreaza la o valoare constanta. Totusi, in industrie apar consumuri mari de apa, si pentru acest motiv este nevoie de rezerve suficiente de apa, pentru a evita variatiile de debit ale apei. De aceea, castelul de apa ramine important pentru distribuirea apei.

### 1.3 MODALITATI DE TRANSPORT SI ALIMENTARE CU APA

Apa filtrata in uzinele de apa este, apoi, transportata la consumatori. Inainte de aceasta, ea este inmagazinata in rezervoare amplasate in incinta uzinei.

Rezervoarele de apa mai pot fi amplasate si in reseaua de distributie, in functie de cerintele consumului de apa si a rezervelor de incendiu.

Transportul apei in retele se poate face gravitacional, in cazul surselor inalte, sau prin pompare, scop in care se construiesc statii de pompare care trimit apa sub presiune in retelele de distributie - cu un consum ridicat de energie.

Dupa functiile pe care le au, sint mai multe tipuri de rezervoare, si anume [35]:

- rezervoare de acumulare.
- rezervoare de compensare.
- rezervoare pentru rezerva de incendiu.
- rezervoare de uzinaj.

- Rezervoarele de acumulare pastreaza rezervele de apa necesare pentru caz de avarie, respectiv pentru lucrarile de reparatii si intretinere ale altor compartimente ale rezervoarelor.

- Rezervoarele de compensare se folosesc pentru asigurarea unor rezerve de compensare necesare in anumite puncte ale alimentarii cu apa, puncte in care, functional, se pot produce discontinuitati ale debitului, care devine fluctuant. Compensarea se poate face intr-o singura treapta, cind aceste rezervoare se amplaseaza in uzina, sau in doua trepte, cind rezervorul principal se dispune in uzina, iar in retea se prevad rezervoare care sa asigure diferentele de debit (intre cele livrate de statia pompelor de distributie si cele necesare consumului).

- Rezervoarele de uzinaj inmagazineaza apa cu debit redus si acopera debitele mari necesare intretinerii obiectelor statiei de tratare, spalarii filtrelor si a retelei de conducte.

În general, aceste rezervoare se realizează ca rezervoare subterane, semiîngropate sau la nivelul solului.

Rezervoarele care pastrează rezerva înanghibilă de prevenire și combatere a incendiilor se amplasează la cote înalte, pentru a putea debita la cota liniilor de presiune ale sistemului, astfel ca să se asigure necesarul de apă ce trebuie folosită în cazuri extreme, de incendiu.

#### 1.4 EVOLUTIA ISTORICA SI TENDINTE ACTUALE DE REALIZARE A REZERVOARELOR DE ÎNALTIME

Rezervoarele îngropate în pământ au apărut încă din antichitate; la Ierusalim existau 3 bazine de apă încă din jurul anului 1000 înainte de Hristos. La fel, în același timp și chiar mai înainte, au existat bazine și rezervoare și în Egipt, în ele fiind canalizată apa Nilului [35].

Progresul cel mai mare l-au realizat Romanii, în construcția apeductelor și a rezervoarelor.

Caramizile și lemnul au fost până în Evul Mediu târziu, începând încă din sclavagism, principalele materiale de construcție pentru realizarea rezervoarelor pentru apă de băut și de stingere a incendiilor.

În Evul Mediu, din cauza răspândirii unor boli contagioase prin apă infectată, alimentarea cu apă și construcția de rezervoare a decăzut, ea fiind dezvoltată din nou începând cu secolul al XIX-lea, când a fost introdusă epurarea apei potabile.

Către sfârșitul secolului al XIX-lea s-a început filtrarea apei din Elba, ulterior introducându-se traterea completă fizico-chimică a apei care a putut fi adusă de la distanțe mari.

Un exemplu de alimentare cu apă foarte dezvoltată o reprezintă alimentarea cu apă a Parisului, care a avut, încă din 1822, o conductă de apă de la distanță, apoi, în 1850, o a doua conductă de 130 km și în 1870 o a treia cu o lungime de 170 km. Același lucru se poate spune despre Viena care, pentru a aduce apă de izvor, a construit în 1906 și 1910 conducte de apă de peste 150 km lungime fiecare.

Odată cu aceste conducte, au fost construite rezervoare mari de apă: la Paris, în 1900, un rezervor de 300.000 mc, iar în 1935, în Austria, un rezervor de 135.000 mc.

Descoperirea betonului armat a dus la progrese mari în construcția rezervoarelor de apă, iar odată cu trecerea la betonul pretensionat acestea s-au dezvoltat și mai mult.

Dezvoltarea industriei metalurgice, prin punerea la punct a tehnicii de laminare și, mai ales, prin introducerea sudurii ca mijloc de îmbinare, a determinat creșterea rolului construcțiilor metalice în construcția rezervoarelor.

Alegerea tipului de rezervor pentru apă se face în funcție de mai multe cerințe, și anume:

1. de cerințele funcționale legate de posibilitățile tehnice de realizare a rezervoarelor.
2. de cerințele legate de forma rezervorului și de tehnologia de fabricație a rezervoarelor.
3. de cerințele legate de forma rezervorului și de

conditiile functionale ale acestora.

4. de cerintele privitoare la forma rezervorului si de conditiile estetice de realizare a acestuia.
5. de cerintele privitoare la forma rezervorului si de legatura acestora cu calculul lor.

In prezent si pe viitor, inginerii si specialistii ce lucreaza in acest domeniu, pot satisface orice cerinta functionala a rezervoarelor - din punct de vedere tehnic -, iar din punct de vedere al formei rezervorului legat de tehnologia de fabricatie a acestuia, trebuie spus ca tehnologiile actuale permit, in special la rezervoarele metalice, realizarea oricaror forme de rezervoare.

De asemenea, posibilitatile tehnice actuale ofera conditii de realizare a unor rezervoare avind forme estetice deosebite, mai ales la rezervoarele de apa metalice montate la inaltime pe structuri de sustinere metalice.

Posibilitatile de calcul al rezervoarelor, folosind calculatorul, sint nelimitate, ceea ce permite realizarea unor forme foarte complicate ale acestora.

La constructia rezervoarelor trebuie sa se tina seama de alegerea materialelor de constructie cele mai bune, care sa satisfaca toate cerintele legate de lichidele care se depoziteaza in acestea.

In general, materialele de constructie a rezervoarelor trebuie sa satisfaca urmatoarele cerinte:

- \* sa asigure capacitatea portanta a rezervorului, adica conditiile de rezistenta si de stabilitate ale acestuia.
- \* sa asigure conditiile de etanseitate a rezervorului, care sa nu permita scurgerea lichidelor ce se depoziteaza.
- \* sa permita izolarea corespunzatoare a rezervorului impotriva agentilor atmosferici sau a lichidelor din interior.

Ultimele doua cerinte trebuie satisfacute in conditii speciale, mai ales la rezervoarele pentru gaze si pentru substante si lichide radioactive.

Intre materialele de constructie folosite si materialele in care se depoziteaza in rezervoare exista o interactiune reciproca, unele influentindu-le pe celelalte. De exemplu, uleiurile bogate in sulf influenteaza betonul din rezervoare, asupra caruia are o influenta agresiva defavorabila, la fel cum materialele izolatoare din rezervor cu continut de fenol au o influenta nefasta asupra apei potabile inmagazinata in rezervoare.

Cind s-a pus problema acumularii unei anumite cantitati de apa la inaltime, specialistii de atunci s-au preocupat de conceptia rezervorului, in timp ce pentru sustinerea lui s-a recurs la metodele obisnuite, cum ar fi o constructie zidita inalta sau grinzi metalice din profile I sau dublu T [35][56][57][77].

La inceput au fost folosite doua tipuri de rezervoare [35][39]:

- primul tip era rezervorul paralelipipedic din table de otel nituita si asamblata la colturi cu profilele corniere. Acest tip de rezervor a fost, in general, inaltat pe un suport de zidarie de o inaltime nu prea mare.

Acest tip de castel de apa a fost folosit, de regula, in gari (la jumatatea secolului al XIX-lea), servind la acoperirea necesarului de apa a acestora si a locomotivelor, si avea o inaltime medie si un aspect masiv. El a fost folosit timp indelungat, pina ce

evolutia metodelor de tratament chimic al apei de alimentare a locomotivelor a presupus montarea statiilor de epurare perfectionate. Cu toate acestea, unele dintre aceste foarte vechi castele de apa sînt inca in functiune, intretinerea lor neridicînd probleme dificile. Evident, se poate obiecta ca, pe vremuri, pentru acest tip de rezervoare s-a adoptat o grosime excesiv de mare a tablei, dictata, in special, de faptul ca nu se efectua un calcul al acestora.

Ulterior, datorita masivitatii zidariei, s-a trecut la asezarea acestor rezervoare pe niste coloane metalice.

Un exemplu de astfel de castel de apa este cel de la Maisson-Laffitte (fig.1.2), alcătuit dintr-un rezervor paralelipipedic înaltat pe coloane, constructie pare, în ansamblu, prezintă multa originalitate.

- al doilea tip de castel de apa "istoric" este rezervorul cilindric - pentru a rezista mai bine la presiune pe care o exercita lichidul - care este fixat pe o platforma înaltata pe un pilon tip grinda cu zabrele.

Castelul de apa al companiei intercomunale bruxeleze a apelor, instalat în strada Linthout la sfîrsitul secolului trecut, a constituit multa vreme un prototip de conceptie clasica, care a fost mult admirat de constructorii vremii, datorita rezervorului masiv si a structurii metalice a pilonului de înaltare. Cu toate acestea, nu au trecut nici 10 ani pînă cînd acest rezervor a fost scos din uz, capacitatea lui devenind insuficienta datorita cresterii consumului de apa într-un cartier în plina expansiune dar, la fel ca si castelele de apa din garile secolului trecut, si acest tip de castel de apa constituie un model de referinta [39].



Fig.1.2. Rezervor de apa cu capacitatea de 1000 mc la Maisson - Laffitte (Franta).

Ca exemplu este castelul mai puțin vechi, care datează din 1910, de la Bruges, și care are rezervorul cu fund tronconic (fig.1.3).

Cu trecerea timpului, s-au păstrat totuși construcțiile metalice pentru castelele de apă. Forma rectangulară a rezervorului a dispărut însă, și, de asemenea, la rezervoarele cilindrice, fundul plat este considerat depășit. În acest moment au intervenit cercetările destinate să găsească o soluție rațională de concepție a rezervorului de mari dimensiuni al castelului de apă.

S-au studiat forme conice, și elipsoide și chiar sferice concave la partea inferioară a cilindrului (fig. 1.4 și 1.5), iar alții au studiat și forme conosferice (fig.1.6)

Avantajele acestor forme de rezervoare constau în faptul că sarcina (presiunea) se repartizează în mod egal pe fundul rezervorului.

### 1.5 ASPECTE GENERALE PRIVIND STABILIREA DATELOR PENTRU PROIECTAREA CASTELELOR DE APA

Rezolvarea constructivă a castelelor de apă este precedată în proiectul tehnologic de stabilirea cotei și a capacităților rezervoarelor înalte, după funcțiile lor.

Turnul de susținere a castelului de apă are un radier adâncit, pentru montarea ușoară și corectă a armaturilor și a conductelor, pentru asigurarea unei fundații corespunzătoare la nivelul terenului rezistent. În teren de bună calitate se pot prevedea fundații izolate sau inelare; în cazul unui teren de mică rezistență este, de obicei, necesar un radier general [66].

Înălțimea castelului de apă este dată prin diferența între cota inferioară a apei în cuva și cota terenului. Cota nivelului minim al rezervei de incendiu, respectiv cota minimă și maximă a volumului compensator, se determină în conformitate cu cerințele asigurării cotelor liniilor de presiune în sistem. Înălțimile curente ale castelelor de apă sunt de (18...40) m.



Fig.1.3 Castel de apă cu fund tronconic construit în 1910 la Bruges.

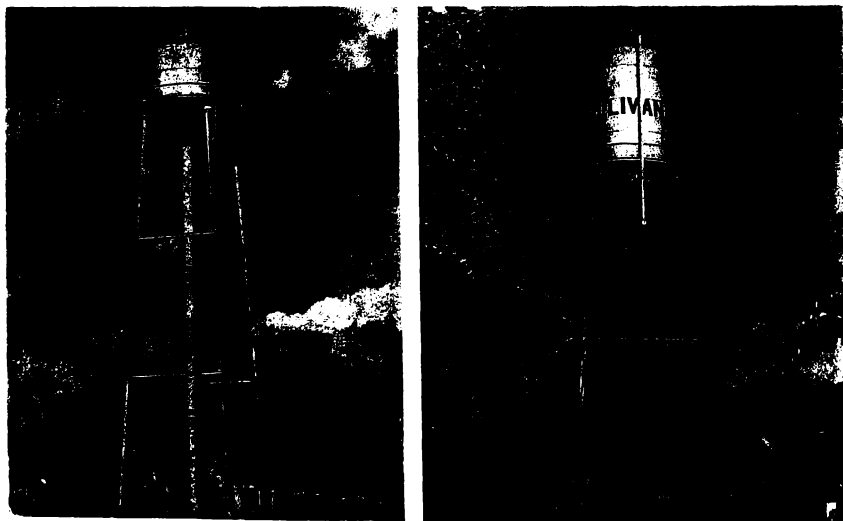


Fig.1.4 si 1.5. Evolutia citorva forme recente de castele de apa de mica capacitate.

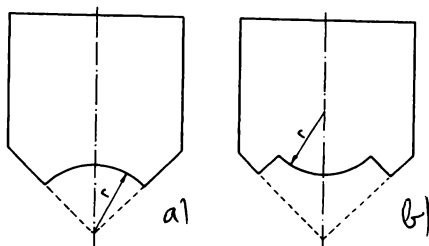


Fig.1.6. Forme fundamentale de rezervoare Intze cu fund convex si fund concav.

Rezervoarele mici se executa de forma cilindrica, avind radier plat cu spatiu liber amenajat in jurul cuvei (fig.1.7.a).  
 La capacitatile de (100...200) mc, se executa, de preferinta, cuve tronconice (fig. 1.7.b) si acces central.  
 Rezervoarele mai mari nu se realizeaza pe planseul superior, ci,

de preferinta, pe constructia turnului, prin intermediul centurii.

La radierele cu concavitatea in jos (fig 1.7. c, d) se alege o constructie metalica, iar cuvele din beton armat se aplica la radierele cu convexitatea indreptata in sus (fig. 1.7. e, f).

Ultimul caz este rezervorul de tip Intze, cu o buna echilibrare a incarcarii asupra inelului de rezemare. Cele mai mari rezervoare aeriene se executa din tabla de otel, cu profile de forma speciala, optimizate pentru consumul minim de material.

Cercetarile recente, efectuate in laboratoarele pentru studiul comportarii constructiilor inalte la actiuni seismice, au aratat ca, in caz de cutremure, distrugerea castelilor de apa se petrece la treimea inferioara a turnului cilindric. De asemenea, pentru rezervorul de apa, la anumite grade de umplere (cu valori critice), apar miscari periodice secundare, datorate oscilatiilor proprii in masa lichidului, foarte daunatoare pentru acest gen de structuri.

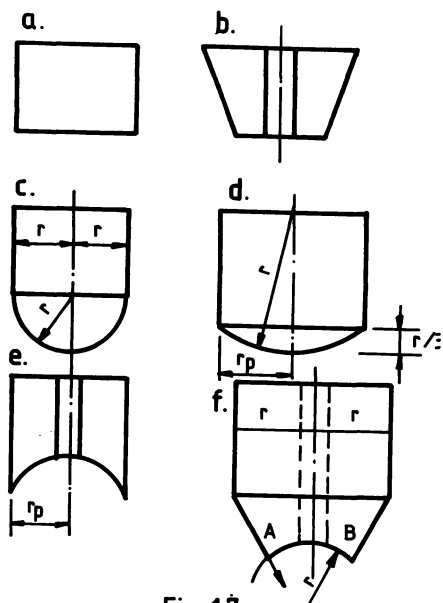


Fig. 1.7



## CAPITOLUL 2

### TIPURI DE REZERVOARE SI DE STRUCTURI DE REZISTENTA A REZERVOARELOR

#### 2.1 GENERALITATI

Rezervoarele de apă au forme și dimensiuni foarte variate, acestor depozite fiind de funcționare pe care trebuie să le îndeplinească și de necesitățile de apă ale consumatorilor pe care trebuie să-i deservască.

În mulțimea de factori care influențează alegerea tipurilor de rezervoare și de structuri de susținere, trebuie căutăți punctele comune tuturor tipurilor de rezervoare [35].

Dintre punctele comune specifice oricărui tipuri de rezervoare, cele mai importante sînt: legea de materialele care se depozitează, de materialele din care se alcătuiește rezervoarele, de geometria și forma acestora, precum și de modul de ancorare pe fundație și de funcțiile îndeplinite de acestea.

Aceste puncte de vedere au, fiecare, valoare deosebită și ele trebuie tratate în ansamblul lor și în celelalte care există între ele.

Din punctul de vedere al factorilor care influențează alegerea și proiectarea rezervoarelor, aceștia se pot sistematiza în următoarele:

- \* felul și modul funcționării care trebuie să satisfacă rezervoarele de toate tipurile;
- \* geometria și forma acestor depozite;
- \* de natura materialelor de construcții din care se realizează rezervoarele;
- \* de tehnologiile de realizare a rezervoarelor.

Rezervoarele și, mai ales, cele destinate la înălțime pe construcții de susținere de tip turn au avut o dezvoltare începînd cu secolul al XIX-lea, și în special în secolul al XX-lea. O evoluție a rezervoarelor și a turnurilor de apă în secolele XIX și XX este arătată în tabelul 2.1.

Pentru a putea analiza și studia diferitele tipuri de rezervoare și interrelațiile lor cu factorii care le influențează (construcții mai susținute) s-a decis să se facă o analiză și influențelor acestor factor asupra rezervoarelor.


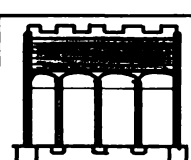
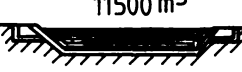
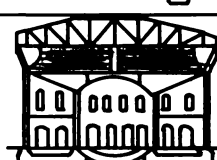
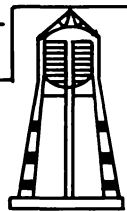

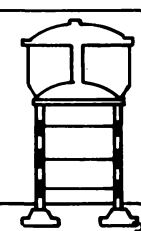
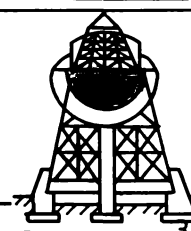
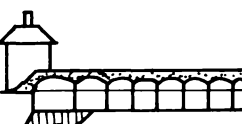
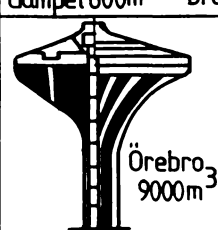
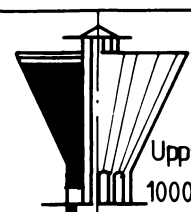
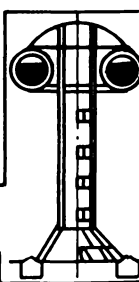
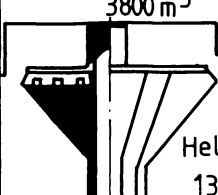

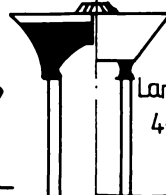
#### 2.2 SISTEMATIZAREA TIPURILOR DE REZERVOARE DUPA FUNCTIILE ACESTORA IN EXPLOATARE

Rezervoarele sînt de două feluri: metalice speciale care servesc la depozitarea pe anumite termene a diferitelor lichide sau gaze [75] [76] [40].

În general, fiecare tip de rezervoare prezintă anumite particularități. Toate rezervoarele, însă, trebuie să îndeplinească anumite funcții, dintre care cele mai importante sînt:

# DEZVOLTAREA REZERVOARELOR DE APĂ ȘI A TURNURILOR DE APĂ

Tabelul 2.1.

Perioada	Cerințe de exploatare	Construcții remarcabile	
		Turnuri de apă	Rezervoare de apă
1800	Repartizarea apei la fântinile publice, fără a fi subpresiune	 Philadelphia 50 m <sup>3</sup>	
1825	Alimentarea cu apă a căilor ferate prin depozitarea apei la înălțime în rezervoare	Paris 1000 m <sup>3</sup> 	Magdeburg 11500 m <sup>3</sup> 
1850	Construcții pentru alimentări cu apă în orașe mari. Compensarea oscilației zilnice a cons. apa și rezerve de apă contra incendiilor.	Hamburg 2350 m <sup>3</sup> 	
1875	Construcții pentru apă menajeră la industrie Creșterea calitativă a depozitării apei.	Strasbourg 1050 m <sup>3</sup> 	Montsouris - Paris 200.000 m <sup>3</sup> 
1900	Se dezvoltă și mai mult rezervoarele așezate la înălțime cu structuri de susținere complicate	Gampel 600 m <sup>3</sup>  Bremen 3000 m <sup>3</sup> 	Nuremberg 50000 m <sup>3</sup> 
1925	Se construiesc și mai mult rezervoare de înălțime cu structuri mai simple.	Örebro 9000 m <sup>3</sup> 	Uppsala 10000 m <sup>3</sup> 
1950	Se execută rezervoare de apă de înălțime cu estetică ridicată.	Mineapolis 3800 m <sup>3</sup> 	
1975	Se continuă construcția de rezervoare de înălțime	Helsinki 1350 m <sup>3</sup>  	Landskrona 4000 m <sup>3</sup> 

\* Capacitatea portantă a rezervorului la presiuni mici și încălzirea care provine de la lichidele care se încălzesc și încălzirea rezervorului, precum și din alte surse care pot crește presiunea parțială la rezervoarele înghețate, acțiunea temperaturii și a vântului, în special, la rezervoarele care nu sunt montate la înălțime și altele.

\* Funcția de etanșare a rezervorului, prin împiedicarea pierderii lichidului din interior, precum și pătrunderii unor lichide străine din exterior în rezervor care ar fi apa de ploaie, etc.

\* Rezervoarele trebuie să fie izolate împotriva influențelor temperaturii din exterior, în special la rezervoarele de apă și de aer.

\* La rezervoarele aplicate cu gaze, acestea trebuie să asigure și protecția gazelor sau substanțelor radioactive din interior împotriva influențelor unor acțiuni catastrofale asupra rezervorului, cum sunt cutremurele, incendiile, exploziile și altele. Acest gen de rezervoare trebuie să împiedice și pierderea de gaze din interior, astfel ca să se împiedice poluarea mediului înconjurător.

Realizarea unor rezervoare care să asigure toate funcțiile prezentate mai sus, sau a unor dintre acestea, se poate face în diferite forme, și anume:

1) Rezervoare de tipul 1, la care cele trei funcții prevăzute: capacitatea portantă, izolarea și etanșarea și, eventual, protecția, sunt îndeplinite de către un singur sistem de construcție a rezervorului, care coincide cu structura portantă de rezistență a rezervorului.

2) Rezervoare de tipul 2, la care, pe lângă structura de rezistență a rezervorului, pentru îndeplinirea funcției de etanșare, se află un sistem suplimentar de construcție care îndeplinește acest rol.

3) Rezervoare de tipul 3, la care, pentru îndeplinirea funcției de izolare a acestuia, se prevede un sistem de construcție suplimentar. Aceste rezervoare pot fi:

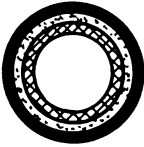
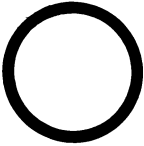
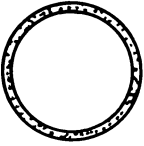
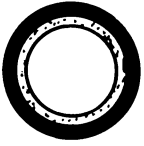
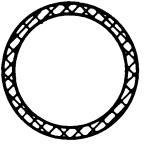
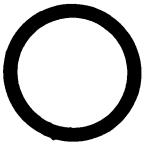
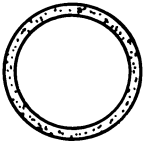
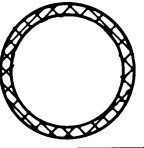
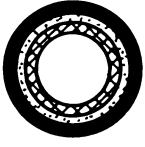
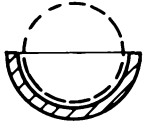
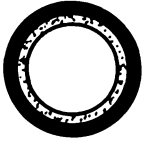
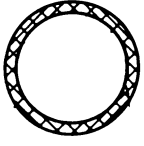
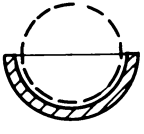
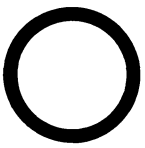
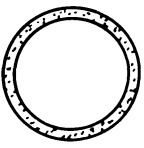
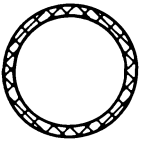
- a- rezervoare la care funcția de etanșare este inclusă în structura de rezistență a rezervorului, pentru funcția de izolare existând o construcție separată.
- b- rezervoare la care pentru etanșare și izolare se prevede construcții separate de structura de rezistență.

4) Rezervoare de tipul 4, la care, pentru îndeplinirea funcției suplimentare de protecție (siguranță), se află o construcție suplimentară de protecție. Acest tip de rezervoare poate fi realizat în următoarele trei variante:

- a- rezervoare la care funcțiile de etanșare și izolare formează corp comun cu structura portantă de rezistență și prevede un sistem suplimentar doar pentru protecție.
- b- rezervoare la care structura portantă include și funcția de etanșare, pentru izolare și protecție fiind prevăzute construcții separate.
- c- rezervoare la care pentru toate funcțiile de etanșare, izolare și protecție se prevede construcții

# TIPURI DE REZERVOARE DUPĂ FUNCȚIILE ÎNDEPLINITE

Tabelul 2.2

Tipul rezervo- rului	Varianta	Sistemul de construcție pentru îndeplinirea funcției de:				
		Capacitate portantă	Etanșare	Izolare	Protecție (siguranță)	
1						
2			+			
3	a			+		
	b		+		+	
4	a				+	
	b		+		+	
	c		+		+	

separate de structura portanta de rezistenta.

O sistematizare a celor patru tipuri de rezervoare, cu variantele lor de realizare, avind in vedere functiile pe care le indeplinesc acestea, este data in tabelul 2.2 (dupa [35]).

Acelasi autor recomanda ca pentru apa potabila sa se foloseasca rezervorul de tip 1, la care structura portanta de rezistenta indeplineste si functiile de etansare, respectiv de izolare, eventual cu luarea unor masuri speciale in acest scop, insa fara a avea constructii separate de structura de rezistenta destinate acestor scopuri.

Pentru apele uzate, [35] recomanda sa se foloseasca rezervorul de tip 2, care are elemente, distincte de structura portanta, pentru functia de etansare, si de tip 3b, care are constructii separate pentru functiile de etansare si de izolare, in plus fata de structura de rezistenta a rezervorului.

Celelalte tipuri de rezervoare se folosesc pentru uleiuri, iar tipul 4, cu structura de protectie, se recomanda pentru gaze si pentru substante radioactive.

Legat de clasificarea rezervoarelor dupa functiile partilor componente ale acestora, se poate face o clasificare a structurilor de rezistenta portante ale rezervoarelor, precum si a elementelor de etansare respectiv de izolare a acestora. In acest sens, exista o multitudine de forme de baza ale rezervoarelor, care, pentru o usoara clasificare, se descompun in elemente.

### 2.2.1 Clasificarea rezervoarelor dupa felul structurii portante de rezistenta.

Din punctul de vedere al structurii de rezistenta, la rezervoarele metalice in special, exista urmatoarele tipuri de structuri ale invelisului portant al rezervorului, realizate, de obicei, ca rezervoare simetric rotative:

- \* rezervoare avind invelisul portant de forma cilindrica, care este cel mai raspandit tip de rezervor, fiind folosit atat la rezervoarele subterane, cit si la cele executate la suprafata terenului, precum si la cele aeriene in turnuri metalice sau de beton.
- \* rezervoare avind invelisul portant de forma conica sau combinata cilindric cu con, solutii folosite in special la rezervoarele pentru turnuri de apa.
- \* rezervoare cu invelisul portant de forma sferica, folosite aproape exclusiv pentru rezervoare aeriene montate pe structuri de sustinere.
- \* rezervoare de forme speciale, cum ar fi reia in forma de hiperboloid de rotatie, paraboloid de rotatie sau paraboloid hiperbolic, folosite la rezervoarele aeriene, in general.

In ultima vreme, pentru rezervoarele de la suprafata terenului si pentru unele rezervoare aeriene, au fost folosite, pentru acoperis, in special la rezervoarele cilindrice, sisteme de constructii pe cabluri, precum si constructii speciale reticulate cu zabrele. Aceste sisteme sint folosite, in cazul rezervoarelor de diametre mari.

### 2.2.2 Clasificarea rezervoarelor in functie de sistemele de etansare a acestora.

Rezervoarele, respectiv sistemele de etansare a acestora, pot fi variate.

Se poate face o clasificare a rezervoarelor prin clasificarea sistemelor de etansare a acestora.

Clasificarea in functie de capacitatea de a se autoportina si de a putea, eventual, prelua sarcini, sistemele de etansare pot fi:

- \* Sisteme de etansare sau hidroizolare raportante, care preiau incarcarile si care se realizeaza, in general, prin spalduirea suprafetei rezervorului si eventual cu adezivii, sau prin captusire cu materiale raportante.

- \* Sisteme de etansare autoportante, care se realizeaza prin captusirea rezervorului cu tabla metalica sau cu membrane metalice.

- \* Sisteme de etansare sau hidroizolare care au suportele si sarcinile, deci portante, care se realizeaza prin introducerea unor rezervoare metalice interioare de etansare.

In cazul rezervoarelor de apa si prefera sistemul de etansare raportant, datorita conditiilor mai usoare de lucru al acestora decat in cazul, mai ales, al gazelor sau substantelor radioactive.

Sistemele elementele de etansare sînt detasate, in general, si de structura portanta a rezervorului. Astfel, in general, la rezervoarele metalice, fundul, peretii si ancoramentul rezervorului sînt concepute sa fie preasiti cu o etansare raportanta, iar etansurile autoportante sau portante se prevede, in general, in cazul cînd izolatiile rezervoarelor se dispund intr-o structura de rezistenta si sistemul de etansare.

### 2.2.3 Clasificarea rezervoarelor dupa sistemul de izolare utilizat.

Rezervoarele pot fi clasificate dupa modul de realizare a sistemelor de izolare folosite, fiind necesare si sisteme de izolatii:

- \* Rezervoare ale unor izolatii detasate, acestea putînd prelua incarcarile. In aceasta categorie intra izolatiile din piatra sau cele formate din material de umplut sau din plasa armata.

- \* Rezervoare cu sisteme de izolare autoportante, care pot prelua singure sarcinile, cum sînt izolatiile din zgura sau din alte materiale spongioase avînd greutatea proprie mica.

- \* Rezervoare cu izolatii portante, deci care pot prelua impreuna cu tot ansamblul, sarcinile care se realizeaza din betoane usoare sau din vata de sticlă.

Folosirea uneia sau a altuia dintre tipurile de izolatii depinde si de destinatia rezervorului. Astfel, in cazul unor temperaturi care nu au influenta asupra capacitatii portante a structurii de rezistenta a rezervorului, izolatiile se pun, de obicei, la exteriorul structurii portante. In cazul, fie ca izolatiile raportante, fie ca izolatiile autoportante.

In cazul unor rezervoare care au structura de rezistenta

trebuie proiectat de aici sau de la exterior, astfel încât să poată fi produse de acuratețe astăzi depozitate, apă caldă, izolată și se face la interior, între sistemul portanț și un sistem portanț interior cu rol de tampon, dispus simetric.

La rezervoarele de apă potabilă se procedează, în general, izolării neportante, iar la cele pentru apă uzată izolării autoportante.

### 2.3 SISTEMATIZAREA REZERVARELOR ÎN FUNCȚIE DE GEOMETRIA LOR DE REALIZARE

Formele și geometria rezervarelor pot fi realizate în diferite variante ale lăcii și ale rezervarelor metalice și ale celor perit, profil, etc., în funcție de forma [3711791540115411571].

#### 2.3.1 Forme de bază ale structurii portante de rezistență a rezervarelor.

Forma cel mai des folosită pentru realizarea structurii portante de rezistență a rezervarelor este cea având simetrie de rotație în plan orizontal, deci o formă cilindrică sau conică pentru a realiza avantajele:

având tip de rezistență cilindrică, porțile pot fi realizate în cercuri, pe o secțiune laterală, cu un număr mare de paravane rezervoarelor.

rezervoarele cilindrice prezintă avantajul unei tehnologii și economice datorate simetriei de rotație și structurii de rezistență, ceea ce permite producerea, montajul și montajul foarte simplu.

Din punct de vedere al realizării se realizează în simetrie de rotație, forme de bază, care se realizează cel mai simplu, în rezervoarele cilindrice sau conice, sunt legate de plan circular de fundație, fundul este rigid în rotație, iar de suprafață, rigid, și este izolat, fie prin învelișul exterior.

Rezervoarele cilindrice folosesc, în general, un cadru dintr-un esecă schlieră sau la suprafața laterală, cu unele cazuri fiind cilindrice și pentru rezervoarele autoportante în înălțime.

Din rezervoarele cilindrice sau conice sunt formele de rezervoare, în funcție de cerințele economice, tehnologice și estetice, obținându-se rezervoare autoportante sau rezervoare cu paravane cilindrice, de exemplu, fundul este izolat fundul este și un compartiment de înveliș exterior, etc.

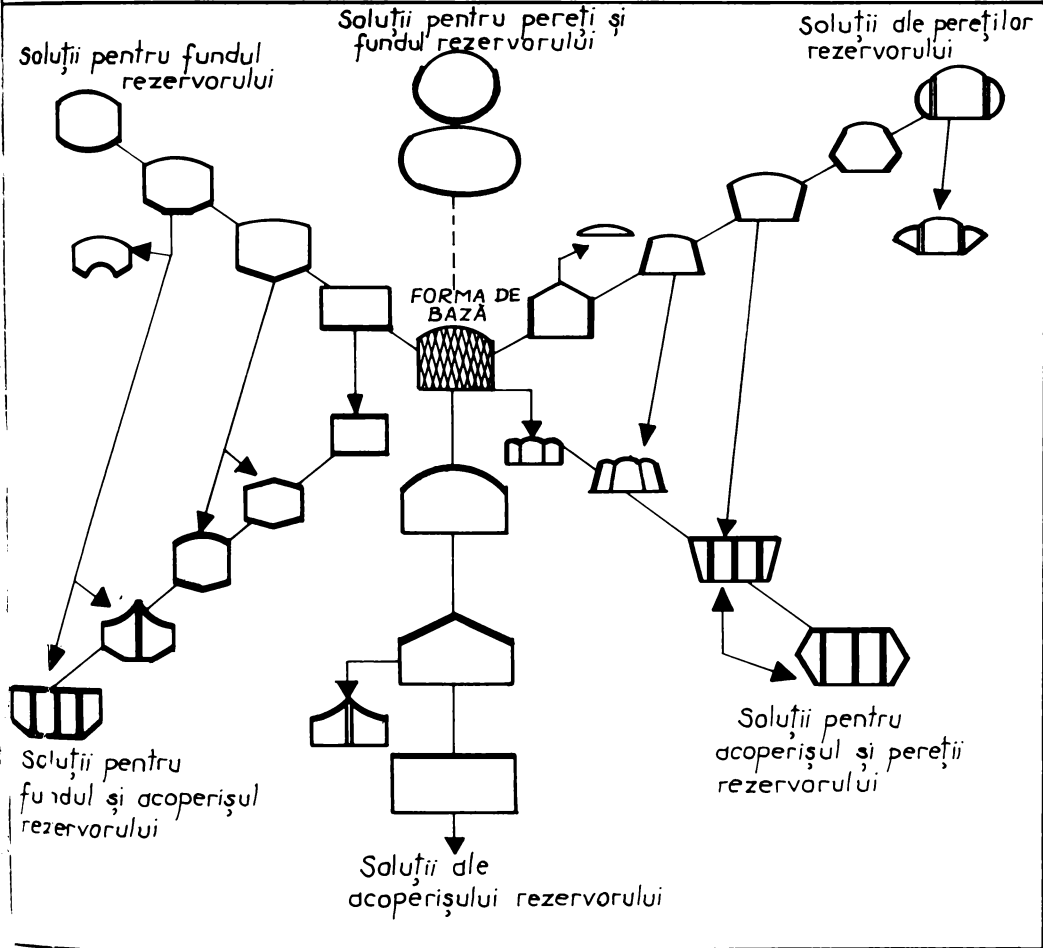
Aceste variante ale rezervoarelor pot fi realizate în diferite variante minime de lăci la rezervoarele cilindrice și conice, în posibilități și forme de circulație a aerului și apă caldă în rezervoare, precum și în forme de rezervoare pentru a vedea estetic.

În funcție de forma lăcii pot fi realizate rezervoare autoportante sau cu paravane de mediu, și de capacitatea portanță a rezervoarelor, se poate fi realizat un rezervoare autoportante.

FORME SI GEOMETRII DE REZERVOARE DUPĂ FELUL FUNDULUI  
 PERETILOR SI A ACOPERISULUI REZERVOARELOR

Tabelul 2.3

Modalități de realizare a fundului, pereților și a acoperișului

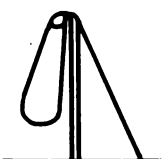
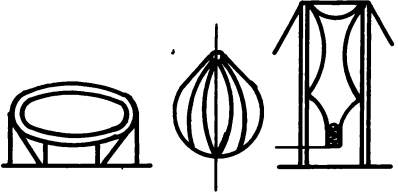
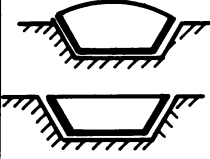
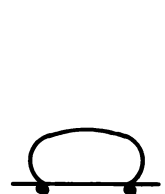
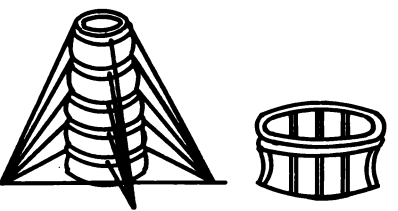
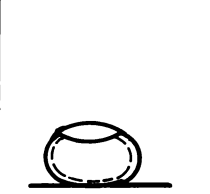




Se pot executa si unele rezervoare sub forma unei membrane portante, caz in care se pot realiza mai multe variante care pot fi fara sau cu structura de rezistenta portanta suplimentara, cum sint cele pe cabluri sau sub forma altor tipuri de rezervoare de forme speciale.

Aceste variante de rezervoare speciale sint prezentate in tabelul 2.4.

**STRUCTURI PORTANTE DE REZISTENTA DE TIP MEMBRANA  
PENTRU CONSTRUCTII DE REZERVOARE** Tabelul 2.4

Încărcări	Forme și tipuri de membrane		
	Membrană	Membrană + elemente liniare	Membrană + elemente de suprafață
Încărcare hidraulică			
Încărcare hidraulică cu stabilizare pneumatică			

### 2.3.2 Elemente componente ale rezervoarelor.

Rezervoarele de toate tipurile sînt formate, în general, din mai multe elemente componente, și anume:

- \* fundul sau pardoseala rezervorului.
- \* peretele sau mantaua rezervorului.
- \* acoperisul sau capacul rezervorului.

Soluțiile de realizare constructivă a acestor elemente ale rezervoarelor sînt foarte variate și ele depind, în general, de următorii factori:

- cerințele funcționale ale fiecăruia din aceste elemente componente ale rezervorului.
- sistemul constructiv ales pentru fiecare element component, astfel ca el să asigure condițiile de funcționalitate cerute.
- materialele de construcție folosite la realizarea construcției elementelor componente ale rezervoarelor.
- tehnologia de execuție a rezervoarelor și a fiecărui element în parte al rezervorului.

În cazul unor rezervoare speciale cum sînt rezervoarele în formă de picătură de apă sau, mai ales, rezervoarele sferice montate la înălțime, unele dintre aceste elemente sau toate cele trei elemente - cum este la rezervoarele sferice - sînt comune sau se confundă, forma rezervoarelor nepermițînd să se facă o distincție între toate cele trei elemente componente ale rezervorului.

În cele ce urmează se prezintă, după [35], diferențele soluțiilor de realizare a celor trei tipuri de elemente componente - acoperisul, peretele și fundul rezervoarelor - plecînd de la rezervorul de tip 1 - din tabelul 2.2 - care asigură toate cele trei funcții: de rezistență, de etansare și de izolare.

#### 2.3.2.1 Acoperisul rezervoarelor.

Acoperisul rezervoarelor a evoluat foarte mult, odată cu dezvoltarea tehnicii construcțiilor. Dacă în trecut mai îndepărtat cînd rezervoarele erau realizate din zidărie, captusite pentru etansare, acoperisul era realizat ca o boltă de zidărie, soluții ce s-au folosit pînă la începutul secolului al XX-lea, boltă extinzîndu-se ulterior și la rezervoare din beton armat, în prezent se folosesc alte tipuri de acoperisuri, în general plate.

La rezervoarele metalice, folosite pe scară foarte largă în prezent, se utilizează acoperisuri plate, ușor înclinate sau curbe, cilindrice sau sferice, în funcție de soluția de realizare a rezervoarelor.

Aceste acoperisuri plate, puțin înclinate sau curbe se pot realiza ca acoperisuri autoportante, fără grinzi de susținere, sau ca acoperisuri cu grinzi de susținere, cu inimă plină sau cu zabrele, sau, la rezervoarele de la sol, ele pot fi susținute și de stâlpi ciuperca sau de cadre.

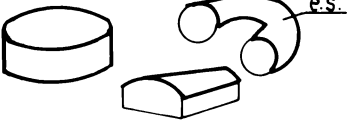
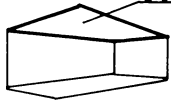
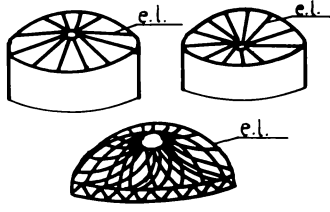

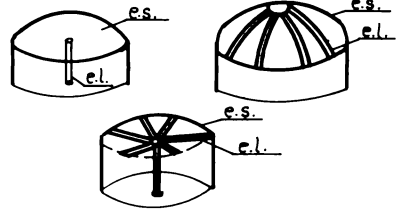
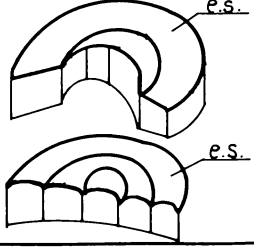
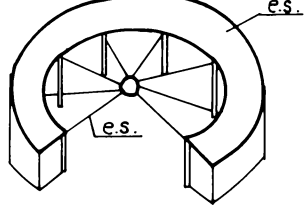
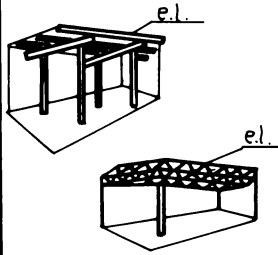
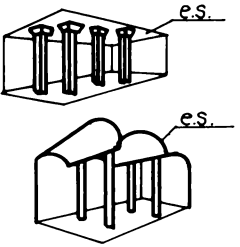
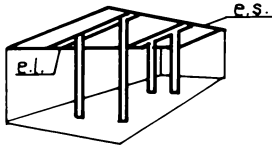
La acoperisurile rezervoarelor metalice se folosesc, de asemenea, și acoperisuri suspendate pe cabluri.

Uneori, la aceste acoperisuri ușoare pe cabluri, se pot folosi ca învelitoare membrane realizate din materiale plastice.

În tabelul 2.5 este prezentată o sistematizare a principalelor tipuri de tipuri de acoperisuri.



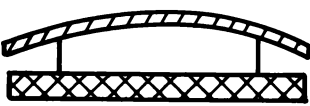
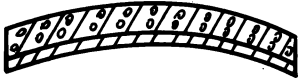

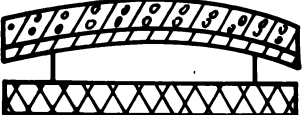



# FORME PRINCIPALE DE ACOPERISURI ALE REZERVOARELOR

Tabelul 2.5

1. Structuri portante ale acoperişurilor dintr-un element			
	Elemente de suprafață		
Combinate cu secțiunea de bază		Neîmbinate cu secțiunea de bază	
2. Structuri portante ale acoperişurilor din mai multe elemente			
	Elemente liniare	Elemente de suprafață	Elemente liniare și de suprafață
Combinate cu secțiunea de bază			
3. Structuri portante ale acoperişurilor, din mai multe tipuri de structuri portante elementare			
	Elemente liniare	Elemente de suprafață	Elemente liniare și de suprafață
Combinate cu secțiunea de bază			
Neîmbinate cu secțiunea de bază			 e.l. = elemente liniare e.s. = elemente de suprafață

# ACOPERISURI ÎN UNUL SAU DOUĂ STRATURI

Tabelul 2.6

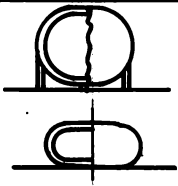
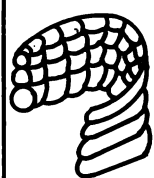



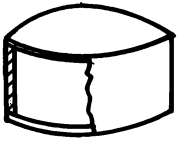
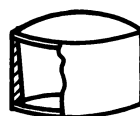
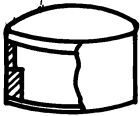
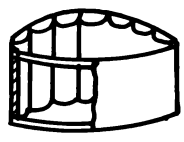
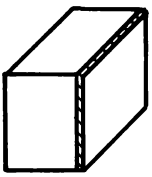
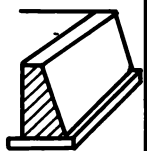
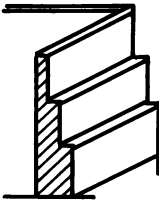
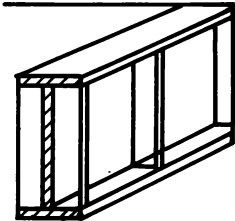
Construcția acoperișului		Denumire	Funcții îndeplinite		
			Portanță	Etanșeitate	Izolare
Structura acoperișului într-un singur strat					
Metal		2	Da	Da	-
		2 3	Da	Da	Da
		2 3	Da	Da	Da
Structura acoperișului în două straturi					
Metal cu beton		1	Da	Da	-
		2			
Metal cu izolație		2	Da	Da	Da
		3			
		2			
Metal, Beton, Izolație		1	Da	Da	Da
		2			
		3			
<p> Beton</p> <p> Metal</p> <p> Izolație din PUR sau perlit</p> <p style="text-align: right;">Da = Funcțiile care sînt îndeplinite</p>					

Se poate face și o trecere în revistă a posibilităților de realizare a acoperisurilor metalice într-un singur strat sau în două straturi, fără sau cu izolație, așa cum se arată în tabelul 2.6.

### 2.3.2.2 Peretii rezervoarelor.

## FORME ȘI TIPURI PRINCIPALE DE PEREȚI AI REZERVOARELOR

Tabelul 2.7

Structura portantă		Pereți dintr-un singur element			Pereți cu structură portantă din mai multe elemente
		Cu grosime constantă	Cu grosimi variabile		
			Continuă	Discontinuuă	
Elemente de suprafață ușor de îndoit	Membrane				 
	Îndoite Membrane				
Elemente de suprafață mărită	Plane Plăci				

Peretii sau mantaua rezervoarelor reprezinta elementul principal de rezistenta al acestora, avind rolul de a prelua incarcările din materialele de umplere ale rezervoarelor.

Odata cu dezvoltarea tehnicii constructiilor, si tehnica de executie a peretilor rezervoarelor a suferit o continua dezvoltare si modernizare.

Daca la inceput rezervoarele, in general de capacitati reduse, se executau din zidarie de caramida sau, pina la inceputul secolului al XX-lea, s-au folosit rezervoare realizate sub forma unor ziduri de sprijin din zidarie si din beton armat, aceste solutii au fost, in general, abandonate in acest secol.

In ultima vreme, in secolul al XX-lea, s-a trecut la tehnologii noi de realizare a rezervoarelor.

Producerea pe scara industriala a otelului a facut sa se dezvolte tehnologia de realizare a rezervoarelor metalice, atat la sol, cit si ca rezervoare montate la inaltime pe structuri de sustinere.

S-au extins, binenteles, pentru rezervoarele subterane si cele de la sol, si solutiile de realizare a acestora din beton armat, in ultima vreme mai ales, din beton precomprimat, la realizarea carora se folosesc tehnologii moderne de executie industriala.

In practica, in ultima vreme, au inceput sa se execute si rezervoare din elemente gonflabile, pentru rezervoare mai mici de apa.

Rezervoarele, in general, in functie de forma si marimea lor, pot sa aiba peretii realizati in doua forme constructive:

- \* ca pereti cu grosime constanta,
- \* ca pereti cu grosime variabila, care pot fi:
  - cu grosime variabila continuu (mai ales la beton)
  - cu grosime discontinuu variabila (mai ales la metal).

In tabelul 2.7 este prezentata o sistematizare de principiu a diferitelor tipuri de pereti ai rezervoarelor.

Pentru alte lichide, cum sint uleiurile minerale, si pentru gaz metan fluid, au fost realizate rezervoare cu pereti stratificati.

In cazul peretilor cu structura de rezistenta metalica nestratificati sau stratificati, posibilitatile de realizare a peretilor monostratificati si bistratificati sint cele inscrise in tabelul 2.8.

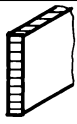
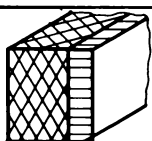
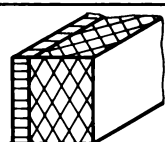

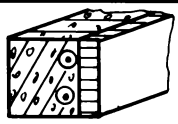
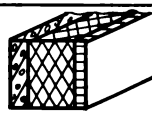
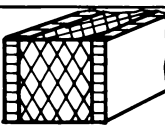
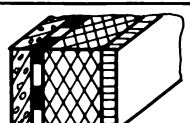
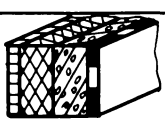
### 2.3.2.3. Pardoseala sau fundul rezervoarelor.


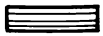



Pardoseala (fundul rezervoarelor) se poate realiza, ca si peretii, in foarte multe variante, variante ce sint influentate de urmatoarii factori:

- \* modul de rezemare a fundului rezervorului.
- \* cerintele functionale ale fundului (rezistenta, etansare si izolare).
- \* natura materialelor de constructie din care se realizeaza.
- \* felul racordului dintre fundul si peretii rezervorului, ca si natura infrastructurii rezervorului.

# TIPURI DE PEREȚI MONO ȘI BISTRATIFICAȚI

Tabelul 2.8.

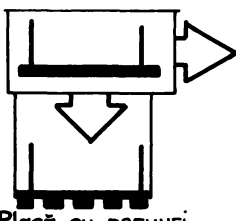

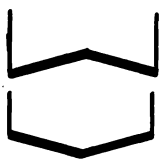
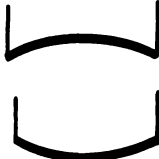


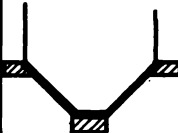


Tip pereți	Sistemul de construcție a peretelui	Denumirea material de depozitat	Funcțiile peretelui			
			Rezistență	Etanșare	Îzolare	
	exterior ↔ interior					
Pereți realizați dintr-un singur strat						
Nestratificat	Metal		2 Apă Gaze Uleiuri	Da	Da	—
	Metal		3 Nămol 4 Uleiuri 2	Da	Da	Da
Stratificat	Metal		2 4 — 3	Da	Da	Da
	Metal		2 4 — 3	Da	Da	Da
Pereți realizați în două straturi						
Nestratificat	Beton Metal		1 2 Ulei	Da	Da	Da
	Beton Metal		1 4 — 2	Da	Da	Da
Stratificat	Metal Metal		2 4 — 2	Da	Da	Da
	Beton Metal		1 5 4 — 2	Da	Da	Da
	Metal Beton		2 4 — 1 5	Da	Da	Da

1.  Beton      3.  Membrană      5.  Șpăcluire -vopsire  
 2.  Metal      4.  Izolație

Citeva variante de realizare a fundului rezervorului functie de modul de rezemare sint indicate in tabelul 2.9

FORME PRINCIPALE ALE FUNDULUI REZERVOARELOR

Tabelul 2.9

Forme impuse de cerințele specifice de depozitare				
Calitate	Forme de bază	Variante		
Forme deformate cerințelor specifice ale terenului de fundație	Bună  Placă cu nervuri	 Membrană cu trunchi de con	 Fund conic	 Fund sferic
	Sensibil la tasări  Placă rezemată în două părți Grinzi cu rasturi	 Placă frântă rezemată pe grinzi	 Placă cu fund conic rezemat într-un punct	
	Rău 		 Alte posibilități de adaptare la terenul de fundație	

Si in cazul fundului rezervoarelor, acestea se pot realiza nestratificate sau stratificate.



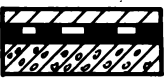







Pentru rezervoarele metalice, aceste modalitati de realizare a fundului rezervorului sint date in Tabelul 2.10.

Asa cum se observa din tabelele 2.6, 2.8 si 2.10, in general, pentru rezervoarele de apa se folosesc rezervoare cu elemente nestratificate.



EXECUTIA FUNDULUI REZERVOARELOR DIN UNA SAU  
DOUĂ STRATURI

Tabelul 2.10

Tipul fundului rezervor	Sistemul de construcție a fundului	Denumirea	Materialul depozitat	Funcțiile fundului			
				Rezistența	Etanșare	Îzolare	
Fund monostrat de rezistență							
stratificat	Metal		2	Apă Ulei	Da	Da	—
	Metal		6 2	Ulei	Da	Da	—
Fund bistratificat cu elemente de rezistență							
stratificat	Metal Beton		2 5 6 1	Ulei	Da	Da	Da
	Metal Beton		2 4 6 1	—	Da	Da	Da
<p>1.  Beton    3.  Membrană    5.  Spăcluire - vopsire</p> <p>2.  Metal    4.  Izolație    6.  Etanșare cu bitum sau hîrtie uleioasă</p>							

### 2.3.3 Probleme de constructie a rezervoarelor metalice.

La realizarea rezervoarelor metalice se pun o serie de probleme constructive, in special la executia racordului dintre diferitele parti ale acestora, adica intre fundul si peretele rezervoarelor sau intre perete si capacul rezervoarelor, precum si o serie de probleme legate de rezemarea rezervoarelor.

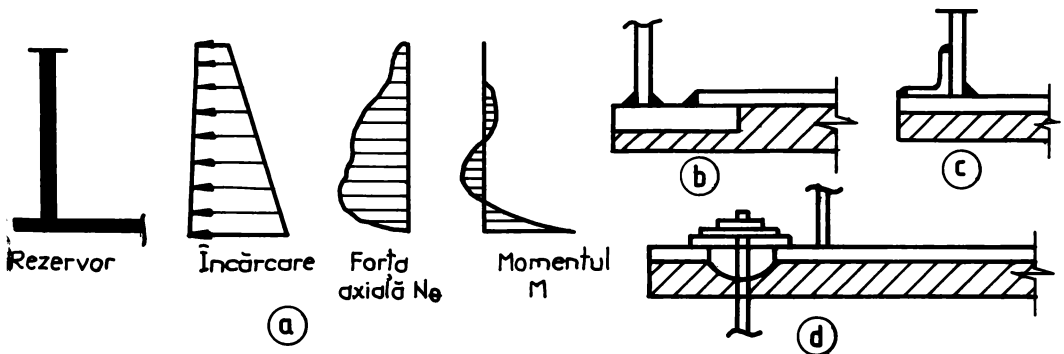
La executarea fundului rezervoarelor montate la sol trebuie avute in vedere eliminarea denivelarilor, iar terenul trebuie sa fie deosebit de bine compactat, pentru a evita tasarile inegale ale terenului de fundatie.

Pentru a evita tasarile, se pot realiza fundurile rezervoarelor foarte subtiri, usor deformabile dupa deformatia terenului de fundatie. Evitarea tasarilor se poate face si prin realizarea unor rosturi in terenul de sub fundul rezervorului.

Problemele constructive cele mai importante care se pun in practica sint legate, insa, de racordul peretelui rezervorului cu fundul si acoperisul acestuia.

De asemenea, probleme constructive se pun si legat de evitarea sau eliminarea deteriorarilor in peretele, fundul si acoperisul rezervoarelor.

Pentru rezervoarele cu sectiune simetric rotativa, racordurile dintre perete si fundul rezervorului cel mai des folosite sint cele din figura 2.1.



**FIG. 2.1 Soluții pentru racordul peretelui cu fundul rezervoarelor**

In figura 2.1.a este aratata variatia fortei axiale si a momentului incovoiator din incarcarea variind liniar, din presiunea lichidului pe peretii rezervorului, calculate in stadiul de membrana si de incovoiere.

In figurile 2.1.b si 2.1.c este aratat racordul simplu cu sudura a mantalei de fundul rezervorului in cazul unor momente incovoiatoare mai mici, eventual cu marirea grosimii tablei in

zona de racord, precum si racordul intarit cu o corniera in cazul solicitarilor prea mari in aceasta zona.

In figura 2.1.d se prezinta racordul dintre mantaua si fundul rezervorului, impreuna cu o solutie de prindere a fundului de fundatia de beton cu suruburi de ancoraj.

Desigur, aceste probleme constructive nu apar la rezervoarele sferice montate la inaltime, la care cele trei elemente: fundul, mantaua si acoperisul rezervorului sint continue, neexistind nici o delimitare intre acestea.

Alegerea uneia sau altei forme si solutii constructive de racord depinde de urmatoarii factori:

- natura materialelor de constructie folosite la realizarea elementelor de rezervor imbinat la racord.
- marimea rezervoarelor si deformatiile maxime care apar la umplerea cu lichid a rezervorului.
- capacitatea de deformare a elementelor suplimentare de etansare si izolare.

Pentru racordurile dintre perete si acoperisul rezervorului se pot adopta, la rezervoarele metalice, urmatoarele solutii constructive (Fig.2.2):

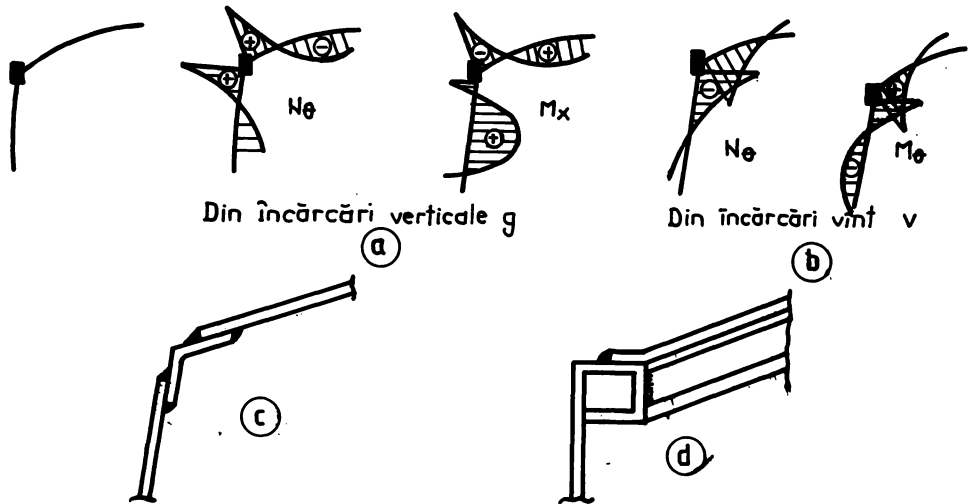


FIG. 2.2. Soluții racord perete – acoperiș

La calculul rezervoarelor metalice in stadiul de membrana trebuie sa se tina seama de tulburarea acestuia in anumite zone, unde se face calculul in stadiul de incovoiere.

Zonele in care apar fenomene de perturbare a stadiului de membrana sint indicate in figura 2.3.

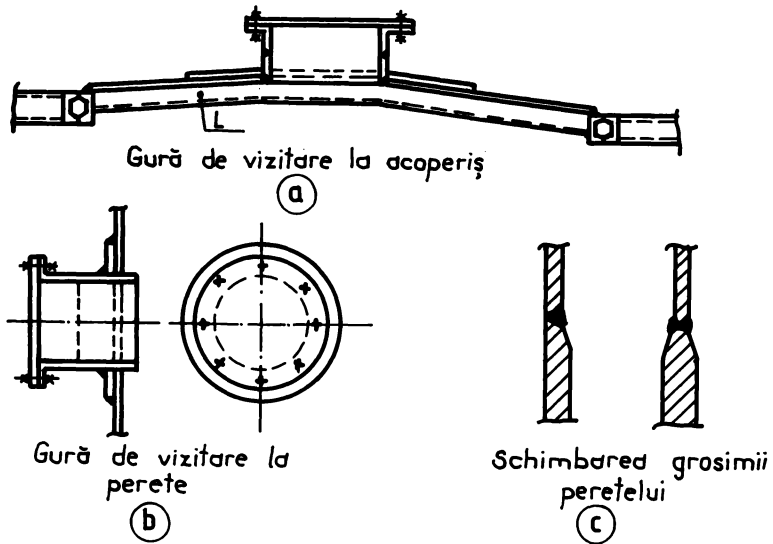


FIG.2.3. Zone de tulburare a stadiului de

De toate aceste tulburari trebuie sa se tina seama la proiectarea rezervoarelor, iar, pentru preluarea eforturilor suplimentare, regiunea respectiva, mai ales in cazul golurilor, trebuie sa fie intarita in jurul acestora, asa cum se arata in figurile 2.3.a,b.

## CAPITOLUL 3 STRUCTURI DE REZISTENȚĂ PENTRU CASTELE DE APA

### 3.1 GENERALITĂȚI

Tema tezei de doctorat referindu-se, în principal, la rezervoarele de apă montate la înălțime, în acest capitol se face o sistematizare a tuturor tipurilor de rezervoare și a structurilor metalice de susținere a acestora, denumite, în general "castele de apă". [55][56][57][66]

Destinația castelilor de apă este aceea de a asigura, în general, immagazinarea unei anumite cantități de apă, în scopul satisfacerii cerințelor de apă în următoarele situații mai importante:

- \* pentru asigurarea apei potabile necesare oamenilor în marile aglomerări urbane.

- \* pentru satisfacerea nevoilor de apă industriale necesare întreprinderilor industriale și pentru încălzire.

- \* pentru asigurarea rezervelor de apă destinate stingerii incendiilor.

- \* pentru asigurarea rezervelor de apă la fermele de creștere a animalelor și a păsărilor.

- \* în alte locuri cum sunt: în stațiunile climatice sau în unități civile și militare izolate, etc..

Castelele de apă sunt formate, în principal, din două elemente de bază și din anexele ce le deservesc, și anume:

- \* rezervorul metalic propriu-zis pentru apă, montat la înălțime, care are rolul de a asigura immagazinarea apei necesare destinațiilor enumerate mai sus.

- \* structura metalică de tip turn pentru susținerea rezervorului la înălțime, având rolul de a prelua încărcările aduse de acesta și de a le preda fundației și, prin aceasta, terenului de fundație.

- \* instalațiile auxiliare necesare transportului apei de la conductă de aducțiune pînă la rezervorul montat la înălțime în castelul de apă și de la acesta la consumatori.

### 3.2 REZERVOARE PENTRU APA MONTATE LA ÎNĂLȚIME

Rezervoarele de apă montate la înălțime trebuie să satisfacă mai multe cerințe, și anume:

- \* să satisfacă, în primul rînd, condițiile de rezistență necesare preluării încărcărilor care acționează asupra lor și care provin din: presiunea apei din interiorul rezervorului, din acțiunea vîntului pe rezervor, din acțiunea seismică și din alte acțiuni.

- \* să satisfacă condițiile de etanșeitate, necesare împiedicării pierderilor de apă. În cazul rezervoarelor metalice executate în soluția sudată se asigură această condiție în bune condițiuni.

- \* să asigure izolarea necesară protecției apei împotriva temperaturilor mediului înconjurător.

\* fiind constructii aeriene, usor vizibile de la distante mari, castelele de apa trebuie sa indeplineasca si conditii estetice si arhitectonice. Aceasta impune alegerea unor forme si dimensiuni ale rezervoarelor cit mai estetice.

Satisfacerea tuturor acestor cerinte a condus la realizarea, in ultima vreme, a unei multitudini de solutii pentru structura portanta a rezervoarelor si a structurii de sustinere a acestora.

### 3.2.1 Forme si solutii de realizare a rezervoarelor metalice pentru castelele de apa.[35]

Rezervoarele montate la inaltime in castele de apa, spre deosebire de cele subterane sau montate la suprafata solului, care sint, in general, prismatice sau cilindrice, au forme mult mai variate si mai sofisticate din punct de vedere estetic si arhitectonic. Binenteles ca aceasta estetica trebuie corelata si cu structura metalica de sustinere a rezervoarelor, de care se leaga si impreuna cu care trebuie sa asigure un ansamblu arhitectonic cit mai reusit, astfel ca acesta sa nu fie in discordanta flagranta cu mediul de constructii care il inconjoara.

Pornind de la formele cele mai simple de rezervoare, denumite forme de baza: cilindrice, conice, sferice si in forma de hiperboloid, au fost imaginate o serie foarte variata de rezervoare, de forme si dimensiuni dintre cele mai interesante, asa cum se arata in tabelul 3.1, si care sint denumite forme derivate.

In acest tabel sint aratate sectiunile transversale verticale ale rezervoarelor, facute in dreptul axei verticale a acestora.

### 3.2.2 Elemente componente ale structurii portante a rezervoarelor castelelor de apa.

Forma, dimensiunile si alcatuirea constructiva a elementelor componente ale structurii de rezistenta a castelelor de apa sint determinate de o serie de factori, si anume:

- \* sistemul de constructie a rezervorului si a structurii de sustinere a acestuia.
- \* materialele de constructie folosite la realizarea rezervoarelor si a turnurilor de sustinere.
- \* cerintele functionale ale elementelor componente ale castelelor de apa.
- \* tehnologiile de fabricatie (executie) a castelelor de apa.

In cele ce urmeaza sint prezentate o serie de principii privind realizarea elementelor componente ale castelelor de apa.

Rezervoarele metalice montate la inaltime in castele de apa pot avea forme multiple, pornind de la elemente plane, frunte sau curbe.

In tabelul 3.2 este facuta o sistematizare a diferitelor sectiuni orizontale ale rezervoarelor de apa din castelele de apa. [35]

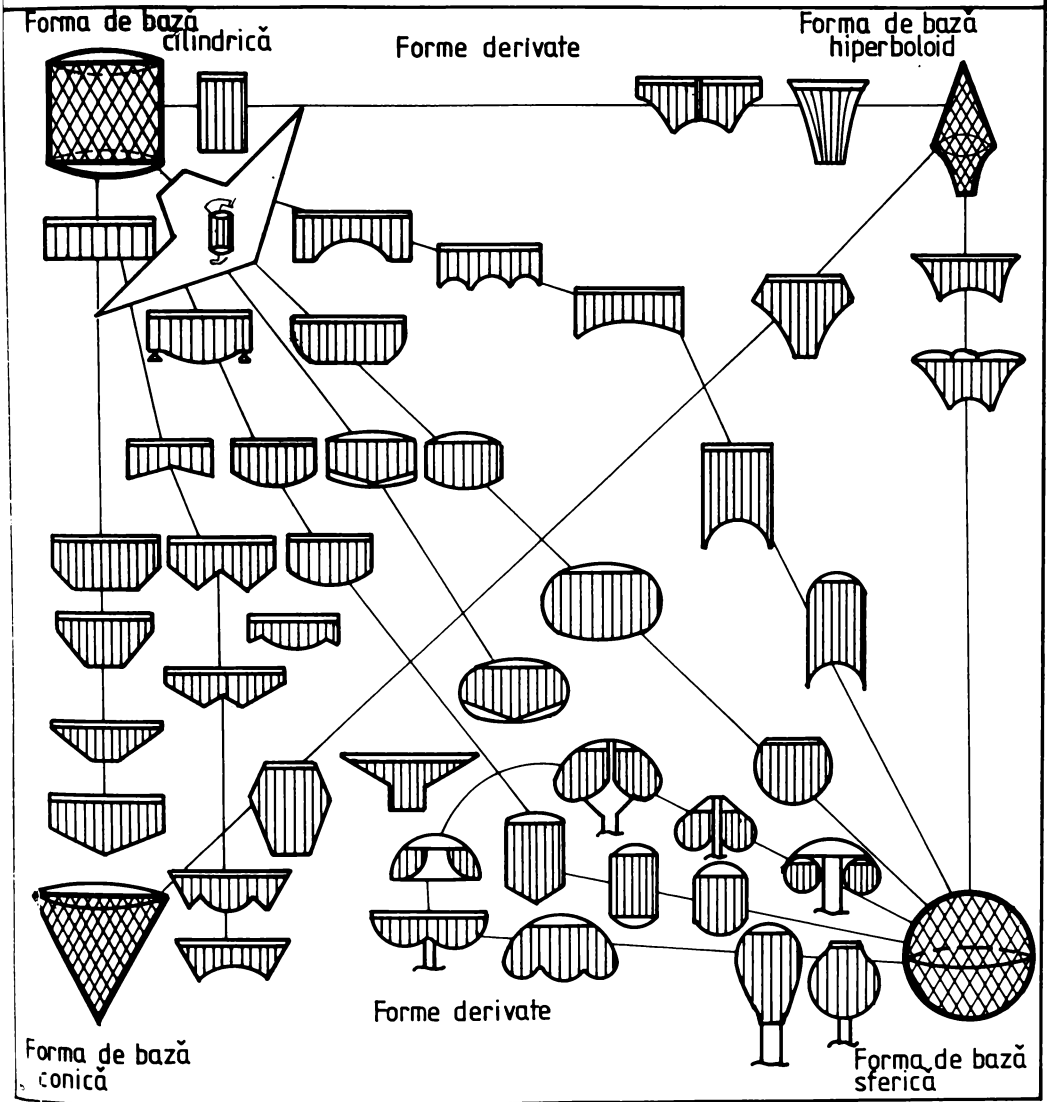
Executia diferitelor tipuri de rezervoare, a caror sectiuni orizontale este prezentata in tabelul 3.2, se poate realiza in doua moduri diferite, si anume:

- \* prin aditie, cind peretii rezervoarelor se obtin din

FORME DE SECTIUNI TRANSVERSALE VERTICALE ALE UNOR REZERVOARE ALE CASTELOR DE APA

Tabelul 3.1

Forme de sectiuni verticale ale rezervoarelor castelilor de apă



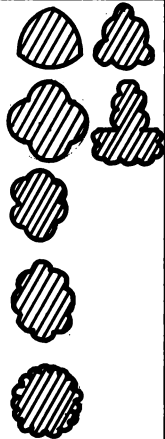
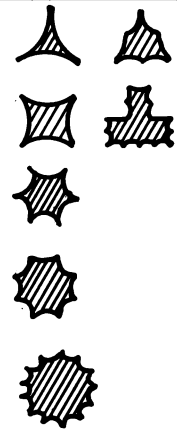
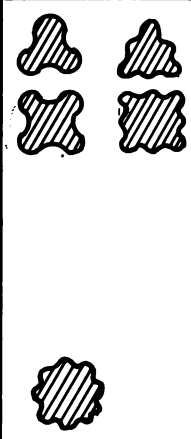


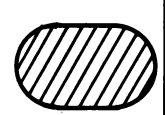




însuşirea mai multor elemente de pereti de acelaşi fel, drepte drepte, curbe cu curbe, sinusoidale cu sinusoidale.

\* prin combinaţie, cînd pereţii rezervoarelor sînt obţinuţi din combinarea unor elemente de pereti de tipuri diferite, şi atunci cu suprafeţe drepte cu elemente cu suprafeţe curbe.

**FORME ALE SECȚIUNILOR ORIZONTALE DE BAZA A REZERVOARELOR CASTELOR DE APA**

**Tabelul 3.2**

Tipul elementelor pereților	Forme de bază izolate de la care se pleacă				
	plane	frînte	curbe-convex	curbe-concav	sinusoidale
Pereți obținuți prin adiție	 <p>triunghi pătrat hexagon octogon cerc</p>				
Pereți obținuți prin combinație					

Deșigur, la alegerea unei anumite tip de rezervor trebuie să se aibă în vedere și condițiile cuprinse în tabelele 3.1 și 3.2, trebuie avută în vedere și ușurința de execuție a rezervoarelor, în multe situații, rezervoarele cele mai simple pot fi preferate.

În unele cazuri, mai ales la castelele de apă cu rezervoare de mare capacitate, cerințele de funcționare a castelului de apă impun executarea unor rezervoare cu mai multe compartimente, se, în unele cazuri chiar montarea a doua sau mai multe rezervoare în înălțime în castele de apă.

Dacă la aceste rezervoare nu sînt necesare condiții suplimentare, legate de diferențe de presiune între cele două sau mai multe rezervoare, atunci se poate face și astfel.



acestor tipuri de rezervoare, așa cum se arată în tabelul 3.3.

**TIPURI DE REZERVOARE COMPARTIMENTATE SI PUNCTE DE REZEMARE A ACESTORA**

**Tabelul 3.3**

Numărul inelelor de rezemare	Secțiunea transversală verticală de principiu	Numărul compartimentelor din aceeași zonă		
		1	2	3
1. 				posibilități de compartimentare paralele radiale concen- trice 
2. 				
3. 				

În acest tabel sunt prezentate diferitele tipuri de rezervoare cu mai multe compartimente, sau castela cu mai multe rezervoare, arătându-se și spațiile libere dintr-un rezervoare, și puse, în general, în zona centrală, spații prin care se asigură, de obicei, accesul la rezervor, controlul și demersivitatea acestuia.

De regulă, în aceste spații se plasează și scările sau ascensoarele de acces la rezervoarele castelelor de apă.

În tabelul 3.3 sunt arătate cu săgeți și punctele de rezemare a rezervoarelor pe structura de existență a bazei și de susținere a acestora.

### 3.3 STRUCTURI DE REZISTENTA PENTRU TURNURI DE SUSTINERE A REZERVOARELOR

Del demai deosebit element important al castelului de apa, după rezervoar, îl reprezintă structura de rezistență a turnului de susținere a rezervorului, care trebuie să satisfacă condițiile de rezistență și stabilitate necesare realizării siguranței deplină în exploatare. [55][56][57]

Structura metalică de susținere a rezervoarelor de tip I poate fi realizată în forme foarte variate, și să cuprindă, general, trei părți:

- \* partea superioară a structurii de susținere, intermediul careia se realizează rezervorul pe turn,
- \* partea centrală a turnului care asigură înălțimea necesară a castelului de apă,
- \* partea inferioară, infrastructura sau fundația castelului de apă, prin care se descinde pe terenul de fundație.

#### 3.3.1 Modalități de rezemare a rezervoarelor pe structura metalică a turnului.

Construcția de rezemare a rezervorului, formată din partea superioară a structurii de susținere în forma de turn, asigură trecerea de la rezervor la turnul propriu-zis. Această trecere prin rezemare se poate face punctiform, liniiform sau pe suprafațe plane sau curbă, așa cum se arată în tabelul 3.4.

Așa cum se vede din tabelul 3.4, rezemarea punctiformă se face pe capul unor stâlpi așezați în soluțiile din coloana a doua a tabelului, în timp ce rezemarea pe o suprafață se face pe stâlpi de tip lamă cu o suprafață mai mare în depășire, și în rezemarea rezervorului (vezi coloana a treia).

Rezemarea pe suprafețe curbă se poate face fie prin intermediul unui inel, ca în coloana a patra, fie a unei membrane sub rezervor, ca în coloana a cincea a tabelului 3.4.

În tabelul 3.4, pe prima linie sînt prezentate soluțiile de rezemare pentru rezervoarele cilindrice, în a doua linie pentru cele conice sau tronconice, iar în linia a treia soluțiile de rezemare a rezervoarelor sferice. În toate categoriile sînt prezentate alături vederea în elevație a structurii turnului de susținere, cit și o secțiune transversală orizontală la nivelul rezemării a rezervorului pe structura metalică a turnului.


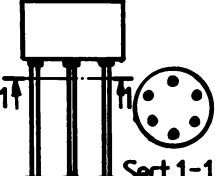
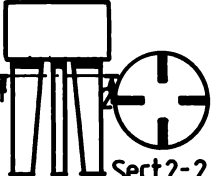
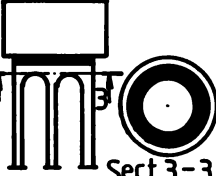
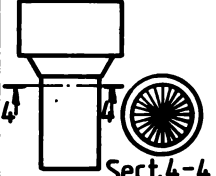

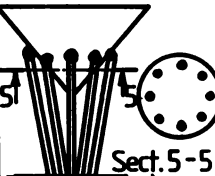
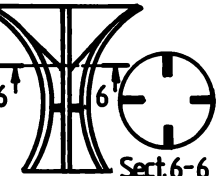

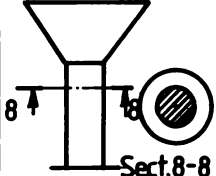

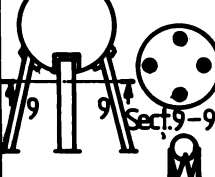
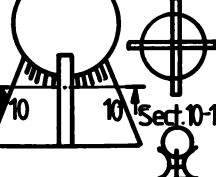
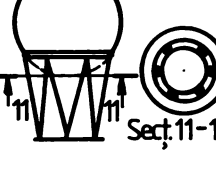
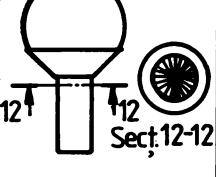
Rămânând să se pot folosi și unele sisteme de pe o linie a rezervoarelor de pe alta linie. De exemplu, turnul de susținere de pe linia a doua, coloana a treia, de la rezervoarele conice, poate fi folosit cu reale avantaje și la rezervoarele sferice, linia a treia, coloana a treia.

#### 3.3.2 Tipuri de structuri metalice ale turnului de susținere a rezervoarelor.

Există în practică foarte multe soluții de realizare a coloanelor (turnurilor) metalice de susținere a rezervoarelor, și

**MODALITATI DE ASEZARE A REZERVORULUI PE SUPRAFETELE  
DE REAZEM A TURNULUI**

Tabelul 3.4

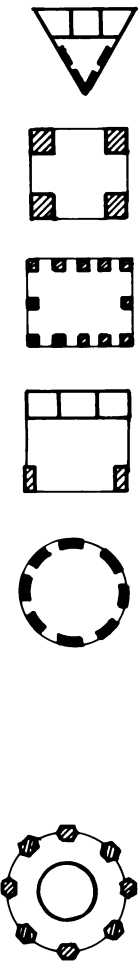
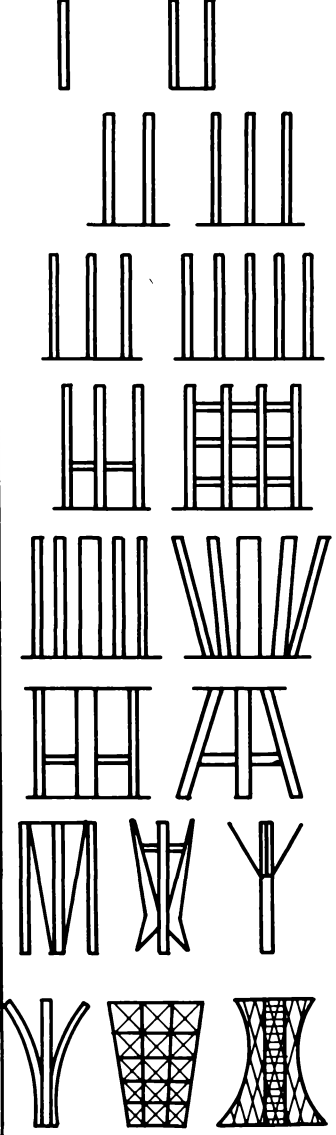
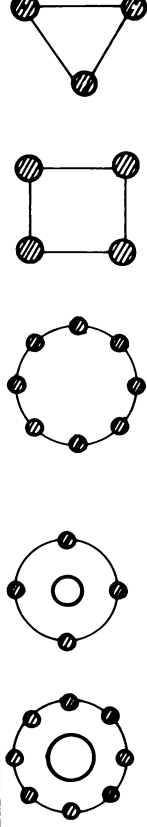
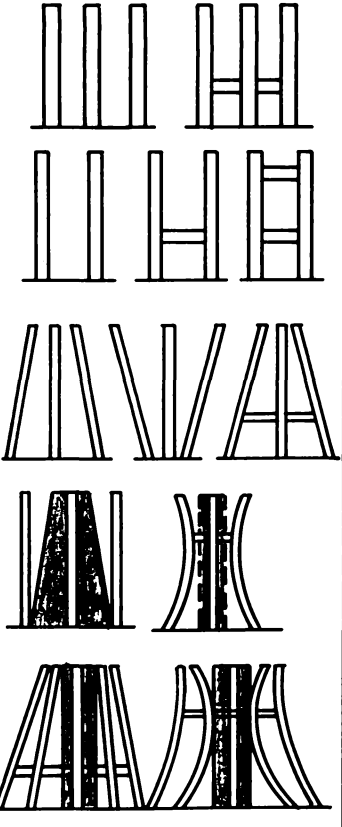
Sectiune transversală verticală prin rezervor	Modalități de rezemare a rezervorului			
	Rezemare punctiformă	Rezemare pe o suprafață	Rezemare pe un inel	Rezemare prin membrană
1	2	3	4	5
<p>1</p>  <p>Cilindric</p>	 <p>Sect. 1-1</p>	 <p>Sect. 2-2</p>	 <p>Sect. 3-3</p>	 <p>Sect. 4-4</p>
<p>2</p>  <p>Conic</p>	 <p>Sect. 5-5</p>	 <p>Sect. 6-6</p>	 <p>Sect. 7-7</p>	 <p>Sect. 8-8</p>
<p>3</p>  <p>Sferic</p>	 <p>Sect. 9-9</p>	 <p>Sect. 10-10</p>	 <p>Sect. 11-11</p>	 <p>Sect. 12-12</p>

tabelul 3.4 prezentându-se soluțiile de principiu ale acestora legate de modul de rezemare a rezervorului pe structura metalică a turnului.

O clasificare și o sistematizare a tuturor variantelor tipurilor de structuri ale turnurilor de susținere este prezentată în tabelul 3.5, în care se prezintă alături de secțiunile verticale și orizontale prin structura metalică a turnului, și al

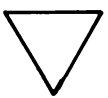
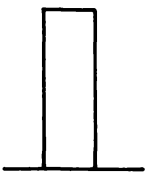
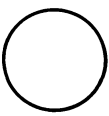
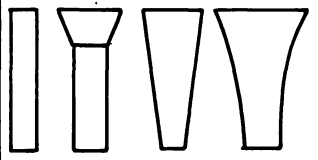

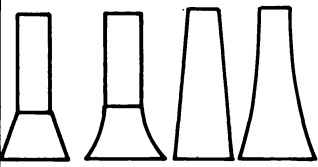
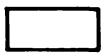
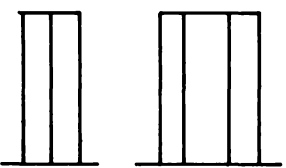
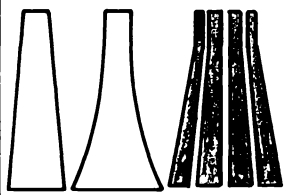

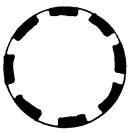
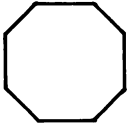
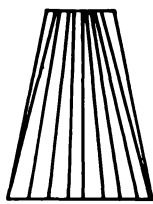
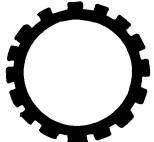
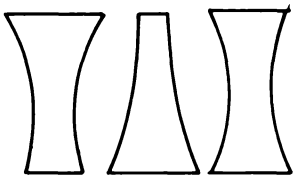
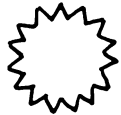
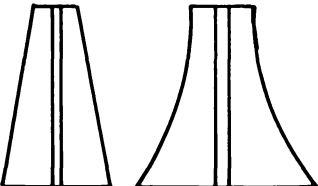

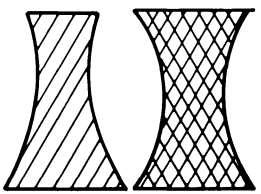
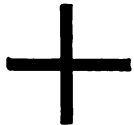
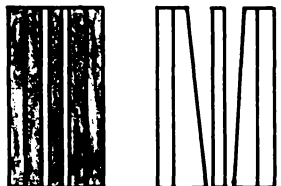

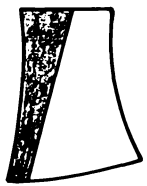
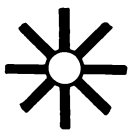
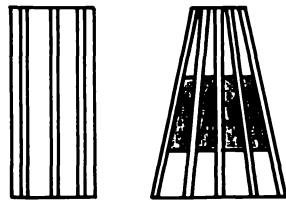

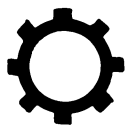

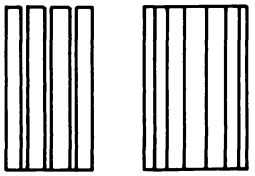
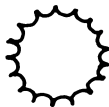
CONSTRUCTII - FORMA DE TURN PENTRU  
SUSTINEREA CASTELOR DE APA

Tabelul 3.5

Tipuri de structuri portante pentru turnuri de susținere a castelilor de apă			
Din elemente cu colțuri		Din elemente rotunde	
Secțiune transversală orizontală	Vederea în elevație a turnurilor metalice	Secțiune transversală orizontală	Vederea în elevație a turnurilor metalice
<b>A) Structuri portante pentru turnuri din elemente liniare-bare</b>			
			

Tabelul 3.5 (continuare)

B) Structuri portante pentru turnuri din elemente de suprafață - tub

elevatie a acestei structuri.[35]

Turnurile din tabelul 3.5 au doua tipuri de structuri:

- \* structuri formate din elemente liniare, adica din bare verticale si inclinate, eventual si din bare de legatura;
- \* structuri formate din elemente de suprafata de forma tubulara cu sectiune triunghiulara, patrata, poligonala sau circulara.

Clasificarea din tabelul 3.5 este facuta pe doua coloane, si anume: din elemente colturoase si din elemente rotunde.

In cazul structurilor portante din elemente liniare de tip bara, acest lucru se refera la forma si sectiunea barelor cu colturi (patrate, dreptunghi, hexagoane, etc.) sau la sectiunea barelor rotunde, cind acestea au sectiune circulara.

La structurile portante din elemente de suprafata, cele doua grupari se refera la astfel de elemente cu suprafete mari, avind forme cu colturi (triunghiuri, patrate, dreptunghiuri, hexagoane, octogoane in cruce, sau cu elemente radiale), precum si la elemente de suprafata avind sectiune circulara sau sectiuni si forme speciale.

### 3.3.3 Tipuri de fundatii pentru rezemarea turnurilor castelelor de apa.

Turnurile care formeaza structura principala de rezistenta ce sustine rezervoarele castelelor de apa, se rezama, la partea inferioara, pe fundatii, care au rolul de a prelua sarcinile aduse de turnul de sustinere si de a le preda apoi terenului de fundatie pe care se aseaza.

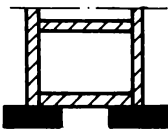
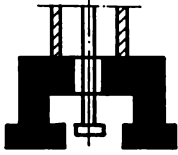
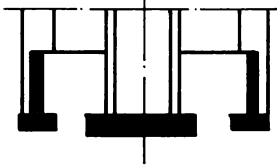
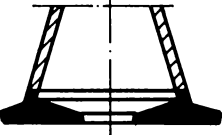


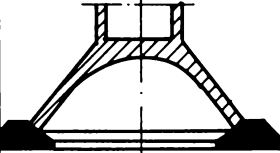
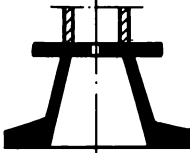
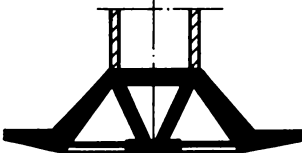
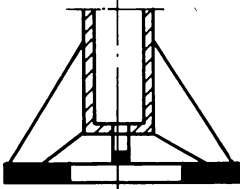
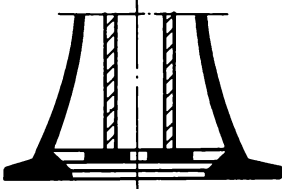
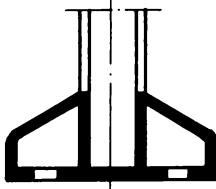
Fundatiile ce sustin turnurile castelelor de apa sînt asemanatoare cu fundatiile altor constructii de tip turn.

Datorita formei de ansamblu a turnurilor, fundatiile acestora sînt, de regula, fundatii inelare, pe care se sprijinesc barele turnurilor sau elementele de suprafata ale acestora, asa cum se arata in tabelul 3.6.

Fundatiile au diferite forma si sisteme de realizare, care depind de natura sarcinilor care se transmit de la turnul de sustinere la fundatia acestora.

Astfel, se prevad modalitati de realizare a fundatiilor pentru incarcari verticale, orizontale transversale sau combinate (vezi tabelul 3.6), adica atit verticale cit si orizontale transversale.

Sigur ca alegerea unuia sau altui tip de fundatie este functie atit de marimea si directia incarcarilor care actioneaza asupra turnului, cit si de natura terenului de fundatie pe care se aseaza castelul de apa.

		Fundații inelare ale turnului castelelor de apă		
Transmiterea sarcinilor la fundatie	Vertical			
	Orizontal vertical			
	Orizontal			
	Combinat			

un anumit număr de ani, de întreprinderi specializate.

Pentru protecția interioară a rezervorului se folosesc fie rasini metalice, fie vopsele pe baza de cauciuc cu un conținut de clor, așa numitul clor-cauciuc, fie vopsele cu grund bituminoasă.

O soluție modernă la ora actuală este aceea de folosire a tablelor bimetalice.

Pentru obținerea rezultatelor cele mai bune în protejerea rezervoarelor, se recomandă să se facă pregătirea inițială a tablelor destinate construcției rezervoarelor prin soldare, după care să se facă flecarea oxiacetilenică, operații care contribuie la reducerea cu adevărat a cheltuielilor de întreținere.

La nevoie, se face o metalizare cu zinc prin proiectare cu pistolul oxiacetilenic a acestor metal, care conferă o durabilitate și mai crescută structurilor ulterioare de vopsea sau de rasini, care nu mai trebuie să fie refăcute decât după intervale foarte mari de ani.

Desigur, la stabilirea formei și dimensiunilor rezervoarelor trebuie să se țină seama de cei de proiectare astfel de construcții, în funcție de forma și aspectul estetic al acestora.

#### 3.4.1 Tipurile de rezervoare realizate pentru pastele de apă cu structuri metalice.

Un prim tip și cel mai simplu de rezervor este cel înalt înaltic este rezervorul cilindric cu fundul conic, care se poate realiza la virful conului pe un trepied (fig.3.1,a), sau pe fundul sferic, care se realizează pe un inel montat la înălțimea dorită a structurilor de susținere (fig.3.1,b). Aceste rezervoare se folosesc la capacități mici, și sunt cuprinse între (60 - 250) m<sup>3</sup> (11,1391540115611573).

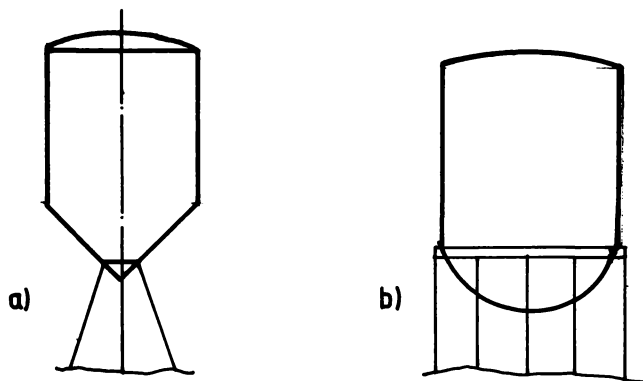


FIG.3.1

6

Un tip de rezervor des folosit, este înaltic înaltic, (fig.3.1, a).



a) fost asamblatul rezervor tip I (fig.3.2), care se poate realiza in doua variante: cu fund convex (fig.3.2,a) si cu fund concav (fig.3.2,b), care se folosesc la capacitati de (100..1500)mc [2].

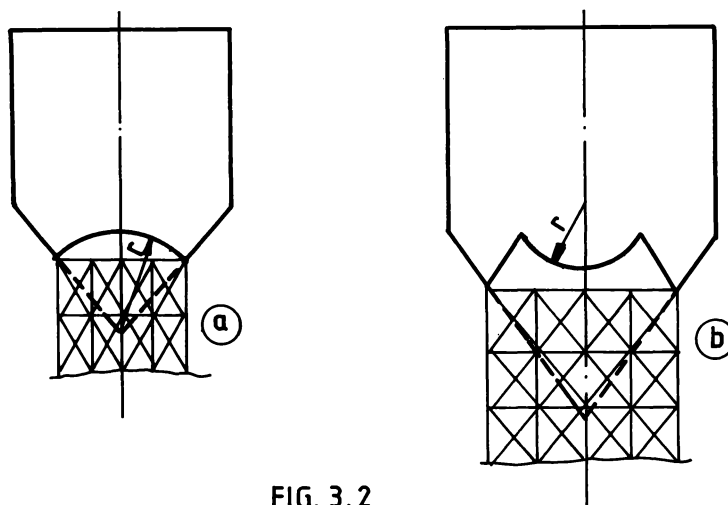


FIG. 3.2

Daca rezervoarele Inoze cu fund convex din figura 3.2, au fost montate la castele de apa de capacitate medie, unde pierderea de pierdere a stabilitatii nu este prea mare si pentru care se poate adopta o celata putin bombata fara a prezenta eforturi excesive pe carcasa (si cel) de sustinere, in cazul rezervorului cu capacitate mai mare de 1000 mc se recomanda al doilea tip de rezervor Inoze (fig.3.2,b), cu fund concav, format dintr-o parte cilindrica, doua parti conice - unul dirijet in jos, celalalt sus - si o parte centrala sferica, care realizeaza in primul de contact al celor doua parti tronconice.

Rezervoarele Inoze prezinta dezavantajul existent partiilor ale fundului comprimate, mai mare la tipul a (fig.3.2,a), la care trebuie luate masuri de rigidizare "lobi", sau chiar de marire a grosimii acestora, pentru a evita pierderea stabilitatii acestora.

Al treilea tip de rezervor montat in inaltime in castele de apa si care este cel mai des folosit la ora actuala, este rezervorul sferic, care prezinta avantaje privind capacitatea rezervorului, precum si consumul de otel mai redus al acestuia in comparatie cu alte rezervoare. Acest tip de rezervoare dezavantajul unei executii mai dificile.

Acest tip de rezervor se justifica din punct de vedere foloseasca, in general, la castelele de apa ce folosesc aparate de presiune mare. Rezervoarele sferice se recomanda pentru capacitati de (100..600) mc [35] (fig.3.7), avind in general diametri de

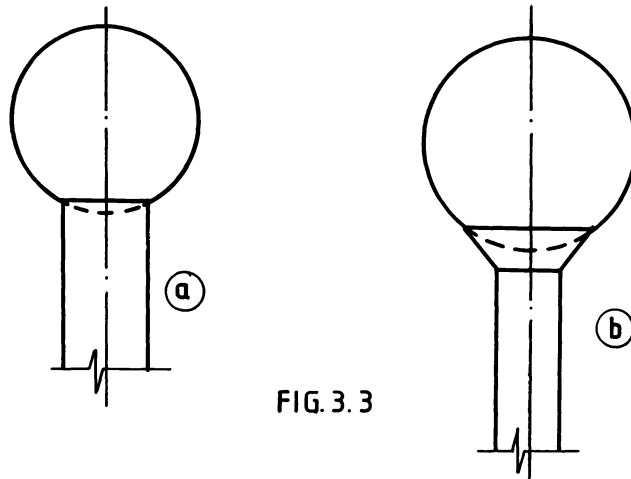


FIG. 3.3

Receiver of ...  
 positive ...  
 (fig. 3.3, a)  
 also, ...  
 the ...  
 forward ...  
 (fig. 3.4). ...

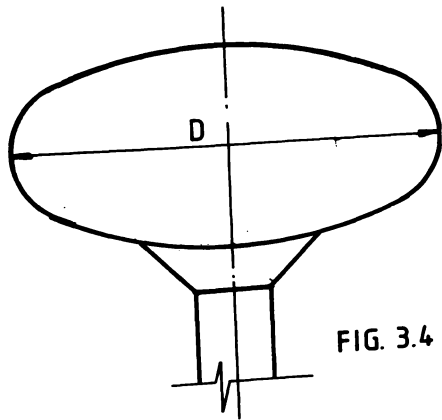


FIG. 3.4

...  
 ...  
 ...  
 ...

Rezervoare de tip special (Fig. 3.5), cu pereți curbi (Fig. 3.5.a) cu fund elipsoidal (Fig. 3.5.a), cu pereți curbi (Fig. 3.5.b) cu fund sferoidal (Fig. 3.5.b), sau cu pereți curbi (Fig. 3.5.c) și picături de apă (Fig. 3.5).

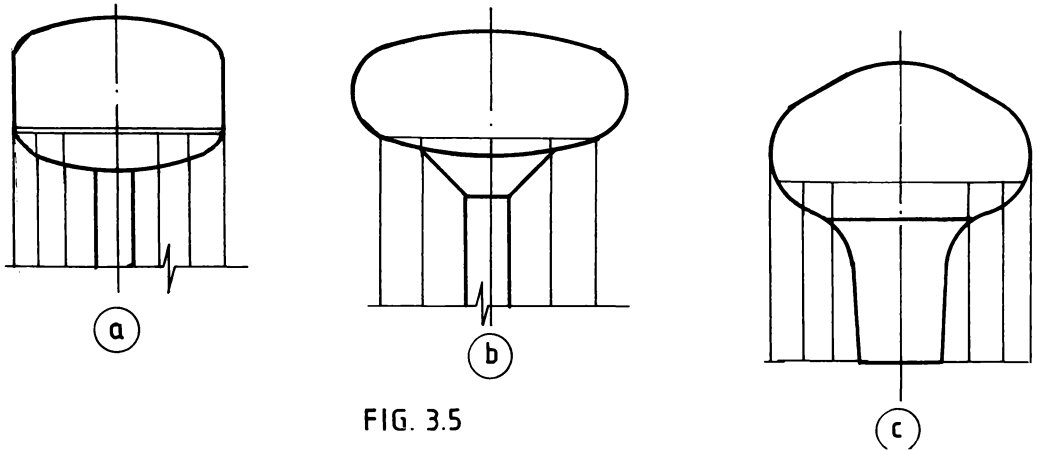


FIG. 3.5

Rezervoarele de tip special (Fig. 3.5) se folosesc, în general, la capacitate de 100 - 500 m<sup>3</sup> și sunt realizate în formă de beton sau în formă de piatră. Pentru rezervoarele de formă de piatră (de apă) se folosesc în general (2000 - 15000) m<sup>3</sup> [327540].

3.4.2 Exemple de castelă de apă realizate în...

În lucrările de proiectare și execuție sunt utilizate următoarele structuri de castelă de apă:

1. Castelă de apă cu rezervor (Fig. 3.6) realizate din beton armat, cu pereți curbi, diametru, capacitate, la baza...
2. Castelă de apă cu rezervor (Fig. 3.7) realizate din beton armat, cu pereți curbi, diametru, capacitate, la baza...
3. Castelă de apă (Fig. 3.8) realizate din beton armat, cu pereți curbi, diametru, capacitate, la baza...

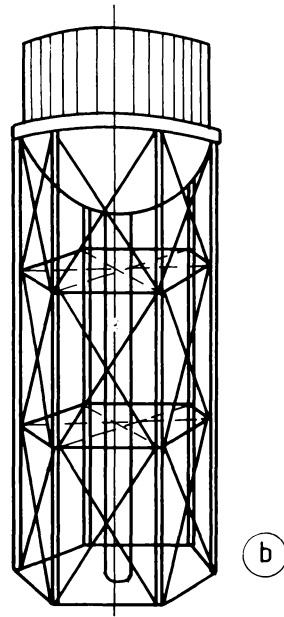
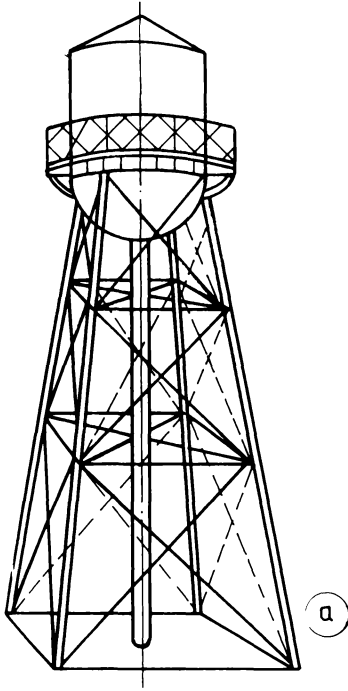


FIG. 3.6

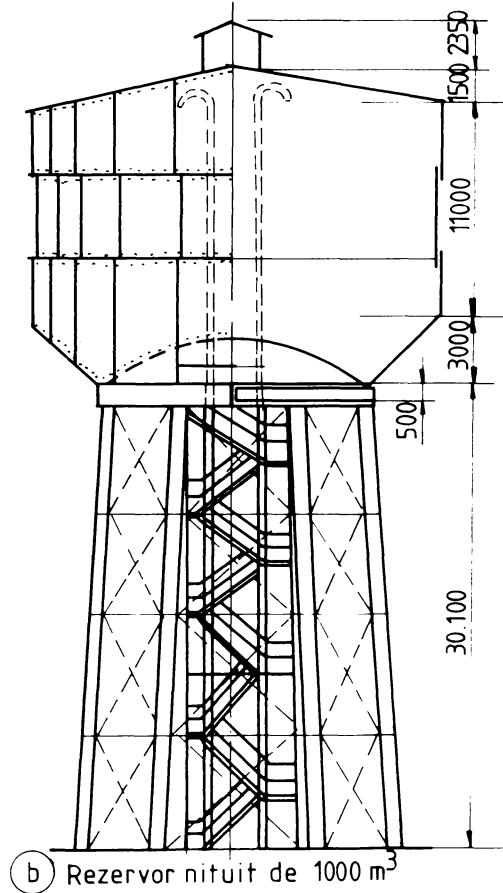
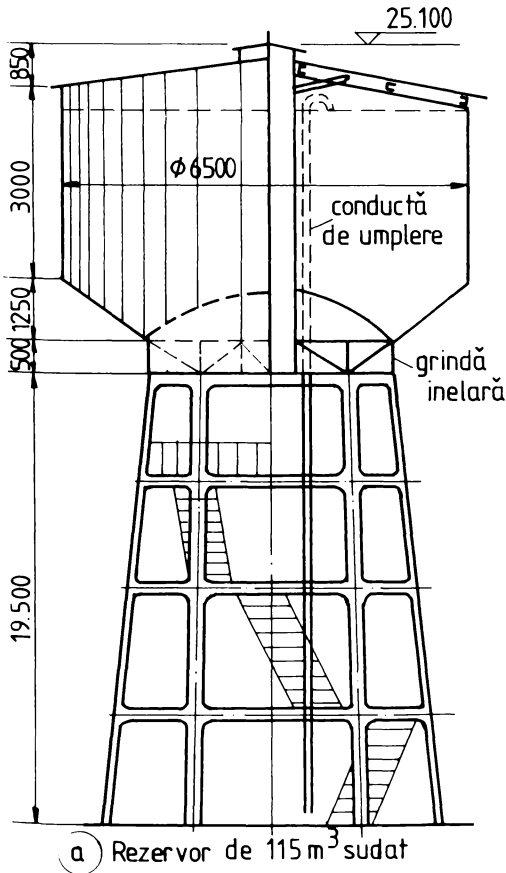


FIG. 3.7

În [38][39][40][41] sunt prezentate mai multe castele de apă rezervoare sferice de diferite capacități.

Astfel, rezervorul din figura 3.8, a are 125 mc și 36,3 m înălțime la vîrf și a fost construit în Italia, cel din figura 3.8 b are 500 mc și este construit în Belgia. Castelele

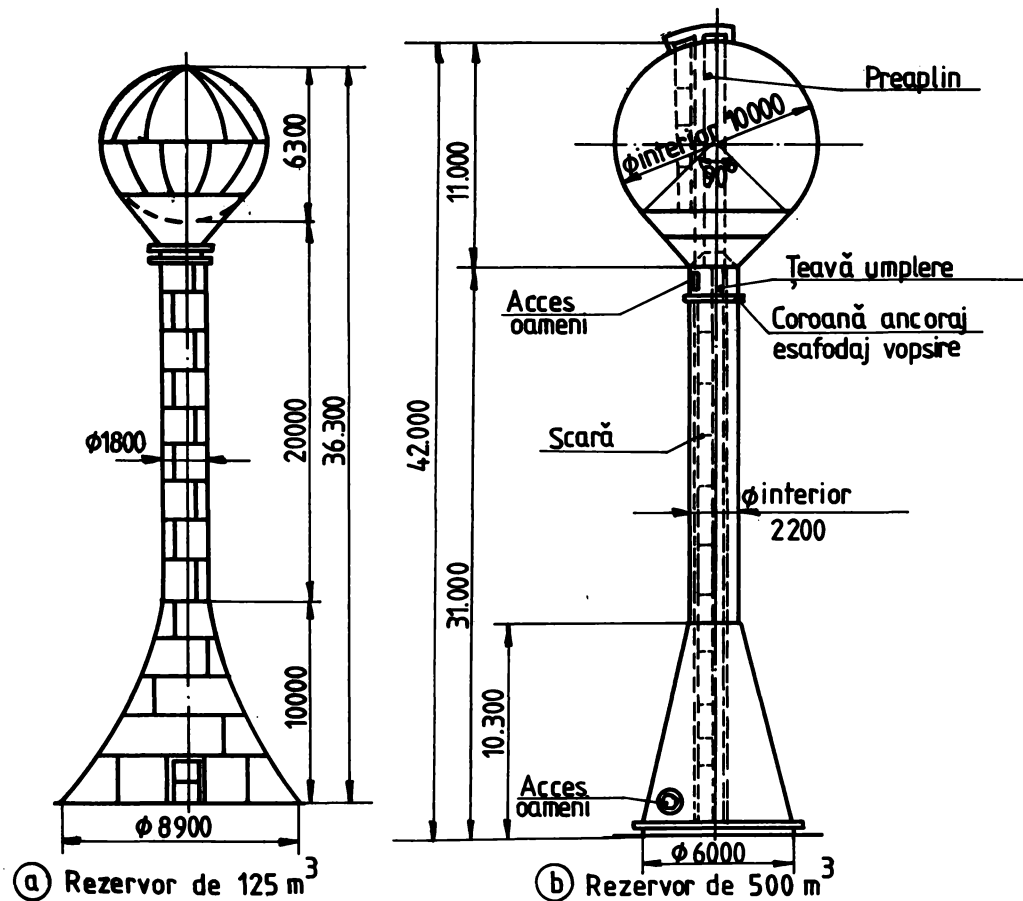


FIG. 3.8

rezervoare sferice sînt prevăzute cu scări de acces la vîrf și la pompier [39].

O soluție interesantă folosită la un turn de apă de mare capacitate (48 mc) este cea de la Imâmene, Sahara, în aeroportul din acest oraș din sud-estul Alger. Căminul de apă prezintă probleme dictate de presiunile foarte mari în interior, și de existența alabastrului în interiorul acestuia.

rezistența variare în funcție de umiditate. Forma sferică asigură faptul că ea asigură capacitatea maximă la o suprafață dată de țelid. Pentru a asigura rezistența la pierderea stabilității în cazul unui sferic sub acțiunea vântului, a fost montat un inel în interiorul profilului I în interiorul sferei.

Structura de susținere a rezervorului este formată din trei tuburi prinse în canauchi, pentru a mări stabilitatea acestora la vânt, care la baza sunt evazate în trei picioare, la fel ca în fig. 3.9. [15]

4. O soluție interesantă de realizare a castelelor de apă este cea cu rezervoare sferoidale, cu porțiuni de sferă de rază diferită (fig. 3.10,a), cum este rezervorul de 1100 mc construit în Bulgaria, având înălțimea de 30 m și diametrul rezervorului în axul orizontal de 9 m, sau cu rezervoare sferoidale cu porțiuni toroidale, este rezervorul din figura 3.10,b care are 5700 mc, o înălțime de 30 m și diametrul de 29,70 m [15][38].

5. Deosebit de interesante sînt castelele de apă cu rezervoare de apă în forma de picătură de apă, dintre care poate fi citit ca exemplu un rezervor de 4500 mc (fig. 3.11), construit la Tuzaco, Argentina, S.U.A. care are un sistem interesant de alimentare pe pistole grîni nervurizate sub rezervor și care se rezează, prin vîntul lor, pe stîlpi.

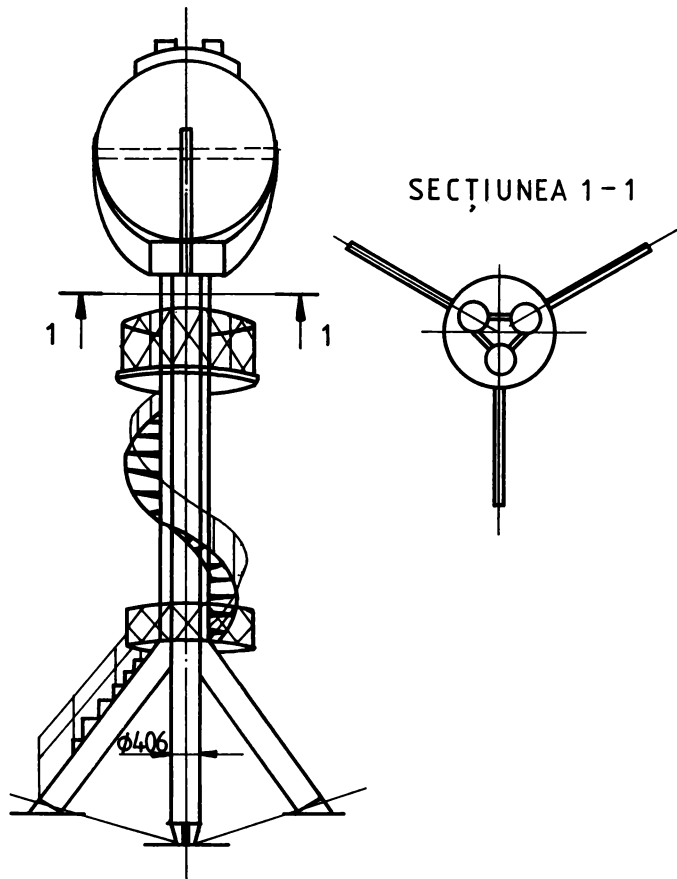


FIG.3.9

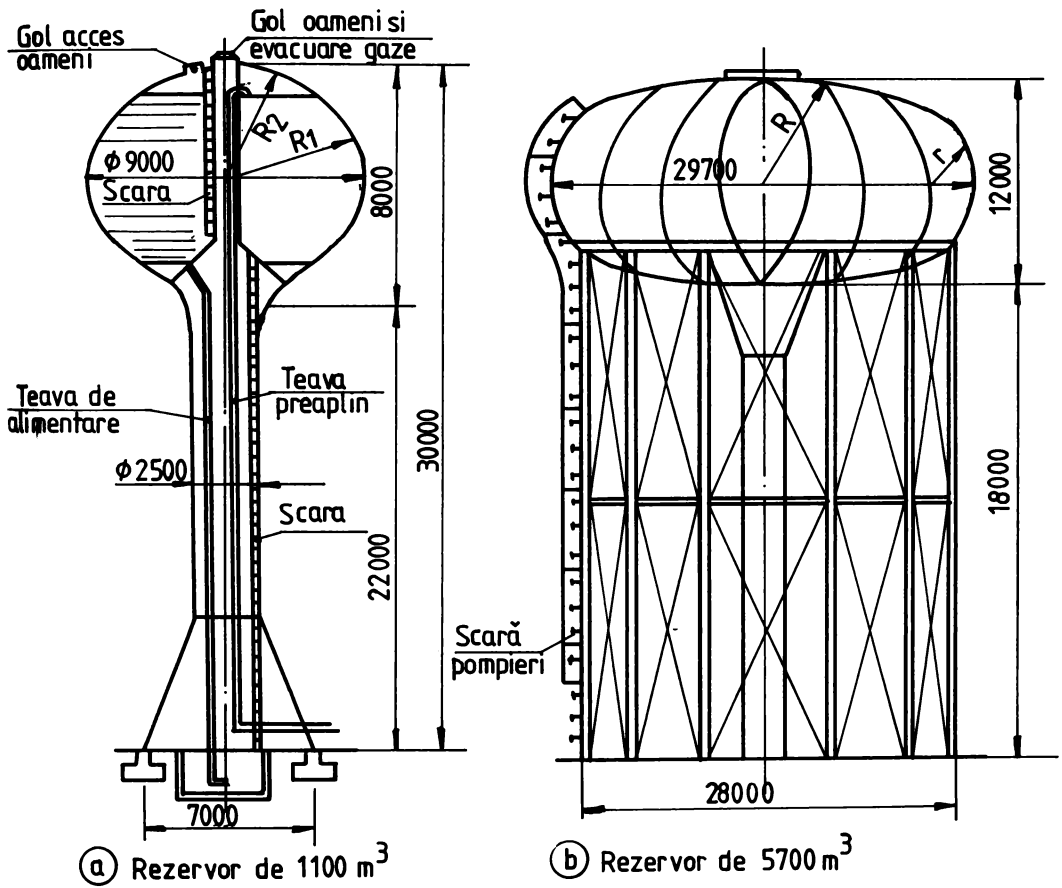
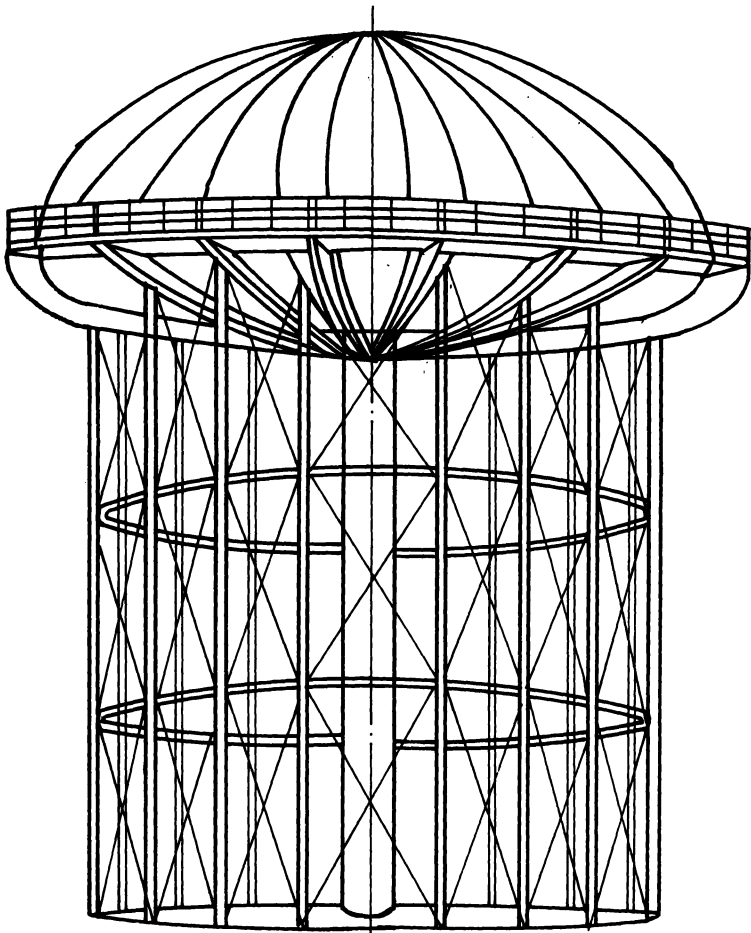


FIG. 3.10





Rezervor de 4500 m<sup>3</sup>

FIG. 3.11

### 3.5 CASTELE DE APA STUDIATE

#### 3.5.1. Generalitati.

Castelele de apa, asa cum s-a aratat in capitolele anterioare, pot fi realizate intr-un fel sau altul de catre si dimensiuni. Alegerea unui sau altui tip de castel depinde de mai multi factori, dintre care cei mai importanti sunt:

- \* Capacitatea de a realiza un rezervor de apa pentru scopurile pentru care s-a construit;
- \* Facilitatea de a realiza la costuri mici;
- \* Conditia de rezistenta si stabilitate pe care trebuie sa le asigure rezerva de apa;
- \* Conditia de incalzire a castelului de apa construit in zone de amplasare, rezerva de apa construita adecvat si izolata in zone unde exista temperaturi existente;
- \* Facilitatea de a realiza proiectantului locului unde se realizeaza castelul de apa;
- \* Forma care poate fi realizata in terenul unde se realizeaza castelul de apa, pentru a realiza castelul de apa cu o forma si o structura adecvate;
- \* Suprafata de realizare a castelului de apa.

Din punctul de vedere de posibilitati de realizare a castelului de apa, in cadrul lucrului de proiectare castelul de apa este principalul, pe langa varianta, si este deosebit de interesanta si optima din punct de vedere al realizarii constructiei si al stabilitatii acestuia in timpul scurtelei scurte.

In urma analizarii acestor patru variante de castel de apa, s-a aprofundat si studiat in detaliu varianta care prezinta cel mai bun grad de realizabilitate si optimitate in realizarea structurilor de sustinere a rezervorului de apa, urmeaza si de prezenta considerentului care a stat la baza realizarii acestor variante, analizandu-se si de avantajele si dezavantajele fiecare din aceste variante.

#### 3.5.2. Castelul de apa cu structura de sustinere din beton.

O prima varianta realizata a fost aceea in care castelul de apa, format din rezervorul propriu-zis si din structura de sustinere a acestuia, este realizat in intregime din beton (fig.3.12).

Aceasta solutie se utilizeaza, in general, pentru realizarea unor castele de apa de mai mica capacitate si adancime de la 100 cm pana la 200 cm. Castelul de apa analizat a fost realizat avand capacitatea de 600 mc, pentru care rezervorul propriu-zis are diametrul de 10.500 mm. Acesta este realizat pe o structura de sustinere la inaltimea de 30 m, masurata de la nivelul terenului si pana la fundul rezervorului. Alina care este realizata este cele patru variante studiate.

$D = 10.500 \text{ mm}$      $V = 600 \text{ m}^3$

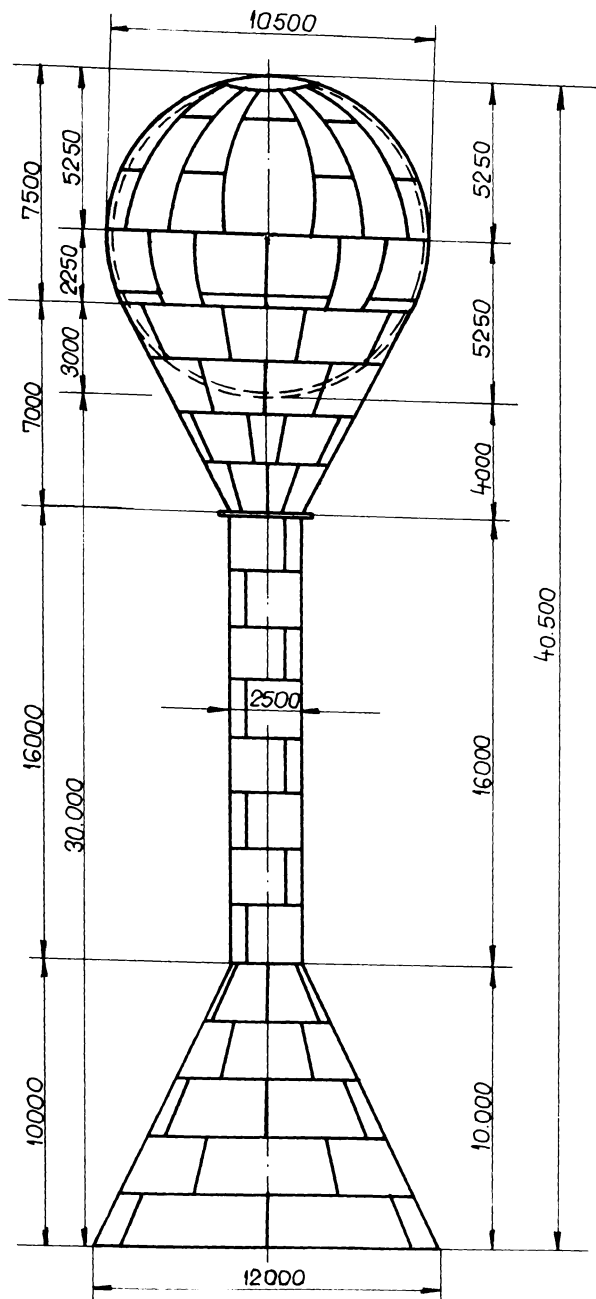


FIG. 3.12 Castel de apă cu structura de susținere din tablă

Rezervorul sferic are diametrul exterior de 10.500 mm și o grosime a tablei de 6.128 mm, care conduce la un volum de cca. 600 mc. El este realizat din vinile dispuse vertical după meridiane și asamblate prin sudură. La partea superioară și cea inferioară a rezervorului, adică la cei doi poli, vinile se prind cu sudura la capete într-o tablă de forma circulară în plan, dispusă după suprafața exterioară a unei calote sferice.

Structura de susținere a rezervorului este realizată dintr-un cilindru de tablă de aceeași grosime, care se termină atât la partea superioară cât și la cea inferioară cu două trunchiuri de con. Trunchiul de con de la partea superioară se extinde pentru a putea rezema rezervorul sferic tangent la această suprafață astfel că în pinza rezervorului să ia naștere pe posibil numai eforturi de întindere.

Trunchiul de con inferior are baza mare jos, astfel că secțiunea structurii de susținere se crește spre bază, corespunzător cu variația momentelor îndovătoare produse de încărcarea din vânt și din acțiunea seismică, care sînt maxime la bază.

Structura de susținere a rezervorului este realizată din vinile orizontale de tablă groasă, îmbinate prin sudură.

Aștit rezervorul metalic cât și la structura de susținere, vinile se pot îmbina și cu ajutorul niturilor, cînd marginile vinilelor se suprapun în vederea nituirii.

Această variantă prezintă o serie de avantaje și dezavantaje în comparație cu alte variante.

Dintre avantajele mai importante pot fi enumerate:

- \* Structura cilindrică de susținere a rezervorului are o rigiditate mare spațială, deci o comportare foarte bună la încărcările care acționează asupra rezervorului și structurii de susținere.
- \* Structura de susținere a rezervorului de forma cilindrică, poate conduce la soluții eficiente, avînd în vedere că în ansamblu volumele cilindrice au o comportare favorabilă la acțiunea vîntului, întrucît, în comparație cu volumele piramidale, colturoase, permit o scurgere mai bună a fluxului de curenți de aer produși de acțiunea vîntului.
- \* Structura cilindrică are și avantajul că fiind plină, asigură trecerea conductelor și instalațiilor de deservesc rezervorului prin interiorul cilindrului de susținere, ceea ce face ca ele să nu fie vizibile, aceasta ducînd la ridicarea calității arhitectonice a ansamblului castelului de apă.
- \* Castelul de apă cu structura de susținere a rezervorului realizată din tablă are un aspect estetic foarte reștit în comparație cu alte structuri, în special cele cu zăbrele.
- \* Rezervorul este realizat fără înșule de rigidizare și susținere.

Ca dezavantaje ale acestui tip de castel de apă, cele mai importante sînt următoarele:

- \* Structura de susținere din tablă are dezavantajul că fiind cu suprafața plină, conduce la încărcări foarte mari din acțiunea vîntului, deoarece suprafața expusă acțiunii vîntului este foarte mare, ea fiind întreaga suprafață a cilindrului.
- \* Structura de susținere din tablă necesită introducerea unor rigidizări în interiorul cilindrului, întrucît grosimea tablei este foarte mică în comparație cu diametrul structurii, raportul  $t/D$  fiind cuprins între  $1/200$  și  $1/300$ , unde  $t$  este grosimea

tabelul iar D este diametrul cilindricului (fig. 3.12) care se dispune în jurul cilindricului (fig. 3.12) pentru consumul de oel.

- \* În cazul în care în structura (fig. 3.12) sudata este necesar să se realizeze în jurul perimetrului executarea colectorilor de gaze (fig. 3.12) lungimii,
- \* Din cauza suprafețelor mari pline ale acestei structuri, consumul de oel este mai ridicat decât în cazul (fig. 3.12) de susținere cu cabre!

### 3.5.3. Castelul de apă cu rezervor sferic sustinut de o structură cu cabrele cu poduri răsdate.

O alta variantă de realizare a structurii castelului de apă este aceea în care rezervoarele sferice sunt susținute de structura cu cabrele cu oel rigidă de forma unui hiperboloid de rotație (Fig. 3.13) este solida și are o abilitate, de asemenea, pentru rezistență de 100-15000 MPa, și este în mod normal fabricată din oel de mare capacitate (400 MPa), și în diametrul e bazei de 10-500 mm, astfel încât să poată suporta o sarcină de 1-100 t.

Rezervoarul este identic cu cel din figura 3.12a și este realizat din oel de abilitate de abilitate de 100-150 MPa.

Structura de susținere a rezervorului de apă este, în acest caz, și în jurul rezervoarelor sferice rigidă, alcătuită din 4, 6 sau 8 stilpi în funcție de mărimea rezervorului (Fig. 3.13) și este considerată ca o structură cu cabrele de susținere. Acești stilpi de susținere au o formă de cabre structură în modurile și formă unor hiperboloidi. Stilpii de susținere sunt realizați fie din profile laminare sau de oel profilat în T, fie cu secțiune etajată în parte din oel de abilitate de 100-150 MPa și table sudate în chen, care asigură în jurul stilpilor structuri mari de compresiune provenite din greutatea rezervorului și din rezervoare, precum și a partii structurale din oel de abilitate (Fig. 3.13).

Stilpii curbi ai structurii sunt legați în jurul rezervoarelor sferice rigide la 5 nivele, legați în jurul rezervoarelor sferice și stilpilor fiind legați în jurul rezervoarelor sferice și stilpilor rigiditate structurilor pentru a rezista rigiditatei structurilor pentru a rezista rigiditatei structurilor.

Stilpii curbi ai structurii de susținere sunt pe fundamentele prin aceste plăci de bază, legate prin surduri de rezonant de rezonant. În punctele de rezonanță a rezonantului pentru oel de susținere, care este tangente la rezervoare, se pot produce și plăci care se realizează în jurul rezervoarelor sferice și stilpilor rigiditate structurilor în punctele în care se transmit reacțiunile de rezonanță.

Structura spațială este rigidă și este realizată din oel de abilitate.

- \* Structura fiind realizată în oel de abilitate de 100-150 MPa, are o suprafață expusă vântului mult mai mică decât structura plină și, în consecință, se poate realiza în oel de abilitate mai redus.

- \* Structura spațială este rigidă și este realizată în oel de abilitate de 100-150 MPa, are o suprafață expusă vântului mult mai mică decât structura plină și, în consecință, se poate realiza în oel de abilitate mai redus.

D = 10.500 mm

V = 600 m<sup>3</sup>

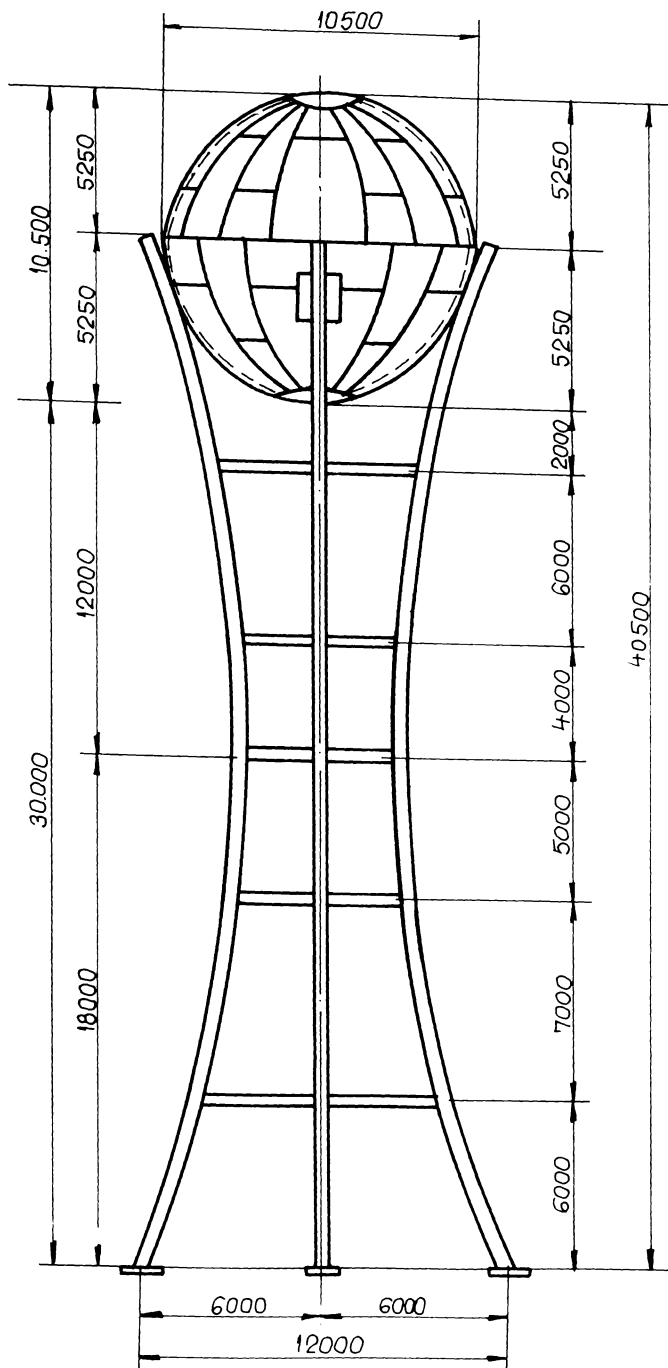


FIG. 3.13 Castel de apă cu structură de susținere cu zăbrele cu noduri rigide

din tabla - secțiuni compuse sudate, care se poate vedea la sol și se poate monta întreaga.

- \* În acest caz se obține și o structură foarte reusită din punct de vedere arhitectonic, datorită formei și simplității soluției constructive alese.

Ca dezavantaje ale acestei structuri ar putea fi amintite următoarele:

- \* Toate instalațiile și conductele de aducțiune a apei sunt exterioare, deci vizibile, ceea ce poate reduce puțin din aspectul estetic exterior al castelului de apă cu astfel de structură.
- \* Execuția structurii de susținere cu barele curbe, care înlocuiesc stâlpii verticali, necesită o trasare exactă a curbei după care se înșiră axele acestor bare, ceea ce impune o bună pregătire a celor care execută această structură.
- \* Nodurile structurii fiind rigide, prinderea șașilor trebuie să fie foarte puternică, pentru preluarea unei din nod, ceea ce complica execuția.

#### 3.5.4. Castel de apă cu rezervor sferic realizat printr-un inel interior, pe o structură cu zabrele.

Cea de-a treia soluție de realizare a castelului de apă care prevede la rezervorare de 200...1500 mc are aceeași capacitate a rezervorului de apă de 600 mc și diametral de 10.500 mm, fiind o soluție specială, care rezervează la rezema pe structură de susținere, realizată ca o structură spațială cu zabrele de formă tronconică, prin intermediul unui inel interior și a unor stâlpi dispuse în inel și construcția de susținere (fig.3.14).

În acest caz, structura de susținere a rezervorului este montată la partea ei superioară în interiorul rezervorului, sub formă de elemente din teava cu diametrul mai mic decât la structura exterioară de susținere. Pe capatul acestor tevi de susținere sunt legați între ele cu bare horizontale, rezema o structură cu zabrele și 8 noduri care susțin de inel interior cu secțiune în formă de T, de care se fixează rezervorul, care este înșirat la acest inel în interiorul său (fig.3.14) în secțiunea de contact.

Structura de susținere, de formă octogonală în secțiune, este rezolvată ca o structură cu zabrele, formată din 8 stâlpi din teava, bare de legătură orizontale și diagonale din otel, fiind încrucisate.

Această structură de susținere prezintă următoarele avantaje mai importante:

- \* Structura de susținere a rezervorului, fiind realizată cu zabrele, are o comportare foarte bună la acțiunea vântului, având o suprafață expusă vântului foarte redusă, mai ales că zabrelele se pot realiza din otel rotund cu suprafața foarte mică.
- \* Stâlpii structurii de susținere fiind aliniați din teava circulară, au, de asemenea, o foarte bună comportare la efectul acțiunii vântului, deoarece permit o scurgere ușoară a curentului de aer produs de vânt.
- \* Inelul montat în interiorul rezervorului, prin intermediul căruia acesta se rezemă pe structura de susținere exterioară a rezervorului, constituie și o foarte puternică rigidizare pentru pinza sferică a rezervorului, asigurându-i în permanență

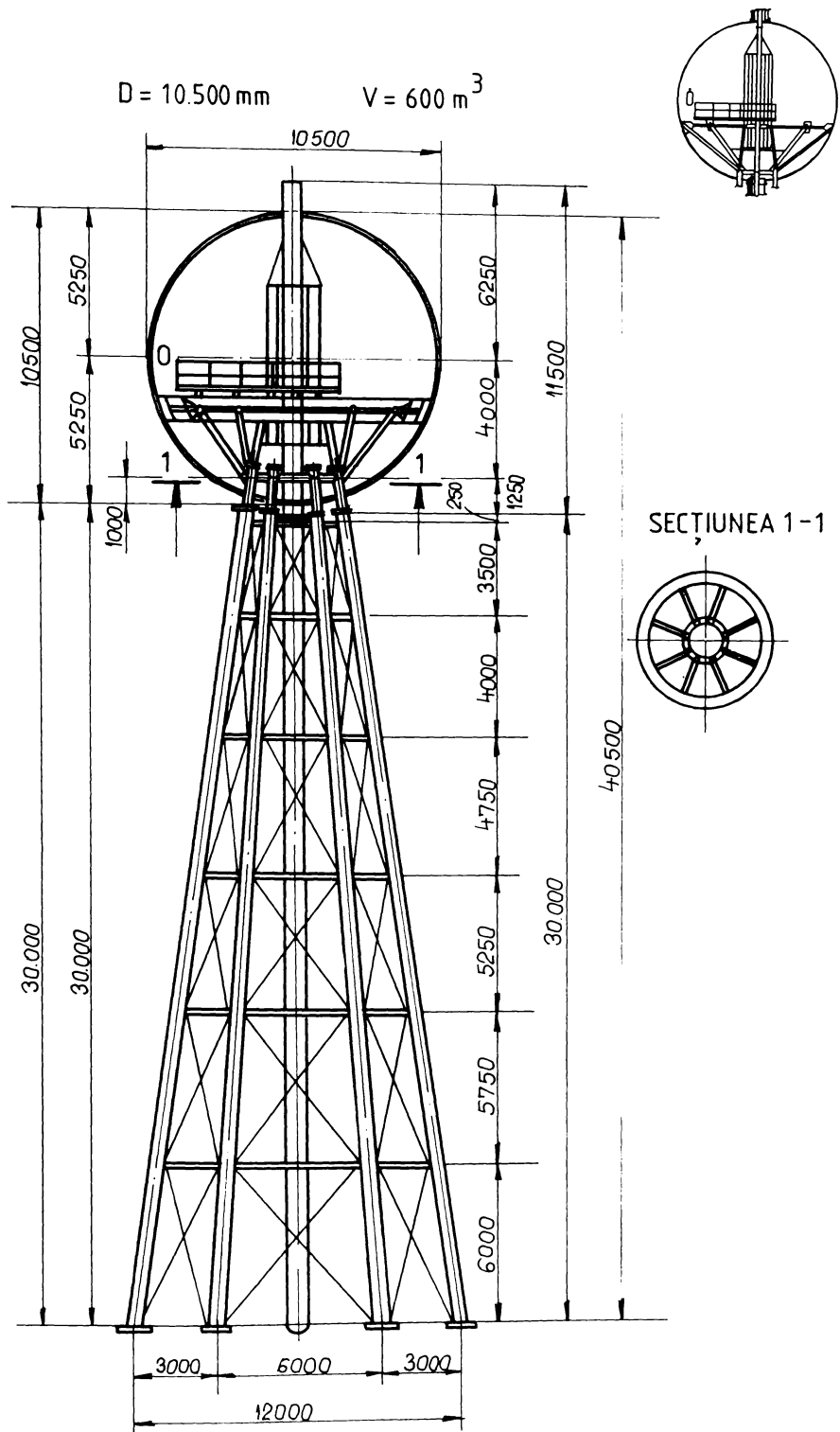


FIG. 3.14 Castel de apă cu rezervor sferic rezemat printr-un inel interior pe structura cu zăbrele.



stabilitatii.

\* Structura in ansamblu este foarte zvelta, deci are aspect exterior foarte reusit.

Ca dezavantaje ale acestei structuri ar putea fi enumerate urmatoarele:

\* Toate conductele si instalatiile care deserveasc rezervorul si care trec prin interiorul structurii de sustinere a rezervorului snt aparente, deci reduc aspectul arhitectonic al structurii.

\* Un dezavantaj important il constituie faptul ca structura de sustinere trece, la baza rezervorului, prin peretelii acestuia, ceea ce complica mult executia acestei castei de apa. Pentru usurarea executiei, odata cu asamblarea rezervorului la el se monteaza si inelul interior cu zabrelele ce-l sustin si cu peretelii superiori ai structurii de sustinere, se trece din interiorul rezervorului exteriorul rezervorului. In acest caz se poate realiza si o etansare a rezervorului in punctele de legare a inelului de sustinere din rezervor spre exterior.

### 3.5.5. Castei de apa cu rezervor sferic rezemat pe o structura interioara cu doua inele legate cu zabrele si o constructie de sustinere.

O solutie deosebit de interesanta, care a fost studiata si aprofundata pina la proiectare, este aceea a unui castei de apa cu rezervor sferic sustinut de o structura de zabrele, pe care rezervorul rezema pe o structura metalica formata din doua chesonate legate intre ele cu diagonale si montanti.

Inelul superior este asezat in interiorul rezervorului, iar rezervorul se sudeaza in exteriorul lui, in timp ce inelul inferior este amplasat in exterior si rezervorul se sudeaza pe talpa superioara inclinata a acestuia (fig.3.15). Descrierea detaliata a acestei solutii este prezentata si studiata in capitolele 5,6,7 si 8.

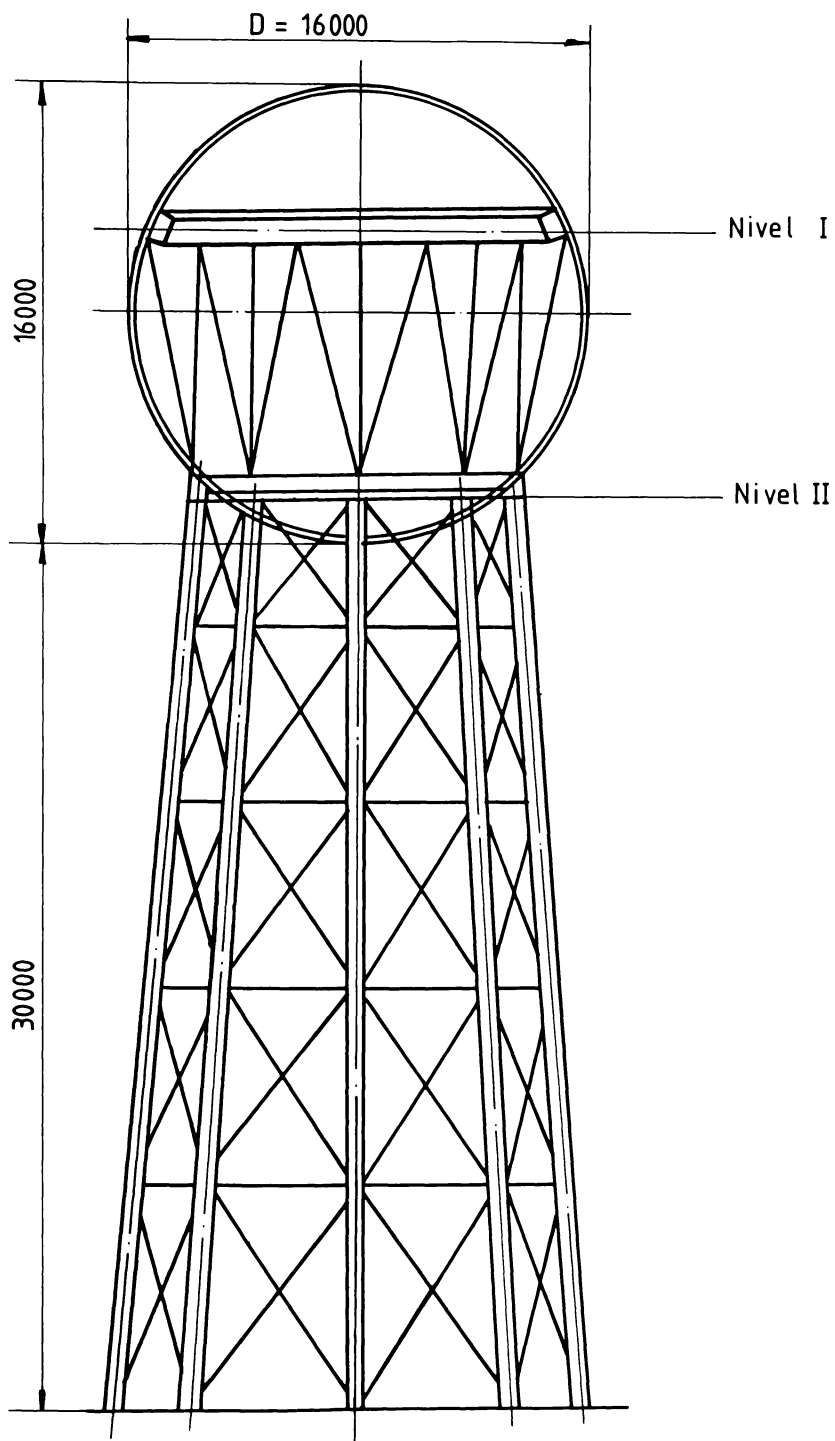


FIG. 3.15 – Castel de apă cu rezervor sferic, rezemat pe o structură interioară cu două inele legate cu zăbrele și o construcție de susținere cu zăbrele.

## CAPITOLUL 4

### MATERIALE FOLOSITE LA CONSTRUCTIA CASTELELOR DE APA

#### 4.1 GENERALITATI

Constructia castelului de apa metalice este o constructie de mare anvergura, atat din punct de vedere al dimensiunilor, cat si din punct de vedere al complexitatii lor, si ea este formata din mai multe elemente principale, si anume:

- \* rezervorul metalic, care serveste pentru depozitarea apei si care se monteaza la inaltime;
- \* structura metalica de sustinere a rezervorului, executata in diferite variante, prezentate in capitolele anterioare;
- \* conducte, instalatii, posarile de circulatie cu balustrade, scari de acces si alte elemente auxiliare.

Pentru executarea rezervoarelor montate la inaltime, altele decat cele sferice, se folosesc ca materiale de constructie otelul sau, in cazuri speciale, aliaje de aluminiu [14][22][56][57].

Structura de sustinere a rezervoarelor montate la inaltime se executa, in general, numai din otel.

#### 4.2 OTELUL PENTRU REALIZAREA CASTELELOR DE APA

La realizarea castelului de apa, materialul cel mai folosit este otelul, care poate fi folosit sub diferite forme, si anume [87]:

- \* ca otel normal, fabricat prin procedeele Siemens-Martin sau prin procedeele convertitoarelor [88];
- \* ca otel slab aliat sau aliat, obtinut prin aliere si, in unele cazuri, prin alierea cu alte metale avind rolul de a-i spori rezistenta [88];
- \* ca otel rezistent la coroziune, de care o compozitie favorabila la actiunea agentilor interni si externi [89];
- \* sub forma unor oteluri speciale.

Otelurile folosite pentru constructia rezervoarelor si structurilor metalice de sustinere a acestora, sunt, in general, oteluri de uz general pentru constructii, cuprinse in STAS 500/1-80.

Aceste oteluri se clasifica, din punct de vedere al caracteristicilor garantate la livrare, in clase de calitate, fiind prezentate in tabelul 4.1.

In ceea ce priveste compozitia chimica si caracteristicile mecanice si tehnologice ale otelurilor din tabelul 4.1, acestea definesc marile de otel folosite in constructii metalice, care sunt prezentate in STAS 500/2-80 pentru otelurile de uz general pentru constructii si in STAS 500/3-80 pentru cele de uz general.

Tabelul 4.1

Nr. crt	Clase de calitate	Caracteristici garantate					
		Compozitia chimica	Caracteristici la traciune	Unghiul de indoire	Energia la rupere		
					+20°C	0°C	-20°C
1	1	Da	Da	Da			
2	1a	Da					
3	1b		Da	Da			
4	2	Da	Da	Da	Da		
5	3	Da	Da	Da		Da	
6	4	Da	Da	Da			Da

pentru constructii, rezistente la coroziune atmosferica [38].

Otelurile cuprinse in aceste doua standarde, au un procent de maximum 0,25% Carbon pe produs, si sunt in general sudabile.

In ceea ce priveste gradul de deoxidare a otelurilor acestea se pot livra sub forma de otel calmat, sau otel calmat calmat.

#### 4.2.1 Oteluri de uz general pentru constructii.

Marci si domenii de utilizare, dupa STAS 500/2-80.

Otelurile de uz general destinate fabricarii produselor cu deformare plastica la cald sub forma de produse laminata, si profile laminata, precum si ca table sau teavouri, produse de grosle 4 mm, sunt prezentate in STAS 500/2-80 [38].

In tabel 4.1 din standardul susmentionat sunt inscise si marci de otel, cu indicarea domeniilor de utilizare.

Asa cum este indicat in acest tabel, pentru constructii de rezervoarelor si a constructiilor de sustinere a scuzelor, folosesc, in principal, doua alitati de oteluri folosite in Romania, si anume:

\* otel normal OL 37, care se livreaza in toate cele 6 clase de calitate indicate in tabelul 4.1;

\* otel slab aliat OL 52, care se foloseste, in general, la rezervoare de mare capacitate si care se livreaza in clasele de calitate 2, 3, 4.

Compozitia chimica a celor doua calitati de oteluri inscise in tabelul 4.2.

Notarea acestor oteluri folosite la realizarea vaselor in de apa se face prin simbolul OL ce semnifica otelul laminat, urmat de doua cifre care reprezinta valoarea rezistentei minime la rupere, exprimata in daN/cm<sup>2</sup> (kgf/cm<sup>2</sup>), dupa care este indicata calitatea de calitate a otelului conform tabelului 4.1, precum si gradul de

Tabelul 4.2

Marca otelului	Clasa de calitate	Compozitia chimica % mas. pe produs				Gradul de caldare
		C	Mn	P	S	
OL 37	1;1a;1b	0,25	0,85	0,045	0,065	-
	2	0,22	0,85	0,055	0,055	
	3	0,19	0,85	0,050	0,050	
	4	0,19	0,85	0,045	0,045	
OL 52	2	0,22	1,65	0,055	0,055	K
	3	0,22	1,65	0,050	0,050	K <sub>Al</sub>
	4	0,20	1,65	0,045	0,045	K <sub>Al</sub>

deoxidare al acestuia, respectiv STAS-ul dupa care sint elaborate otelurile, ca de exemplu:

\* OL 37.2.n.STAS 500/2-80 insemna otel laminat de uz general cu rezistenta minima la rupere la tractiune de 37 daN/mm<sup>2</sup>, din clasa a doua de calitate (tabel 4.1) livrat in stare necaldata, conform STAS 500/2-80 [88].

\* OL 52.3.k.STAS 500/2-80 reprezinta otel laminat de uz general, cu rezistenta minima la rupere la tractiune de 52 daN/mm<sup>2</sup>, din clasa a treia de calitate (tabel 4.1), livrat sub forma caldata, pe baza STAS 500/2-80 [88].

In general, pentru realizarea castelului de apa, alii rezervorul metallic cit si structura metalica de sustinere, acestuia se realizeaza din otel avind lasa de calitate 2,3 sau 4, recomandandu-se sa fie caldat, pentru a satisface necesitatea de rezistenta ceruta in conditii cit mai bune, avind in vedere dimensiunile foarte mari ale elementelor castelului de apa.

In privinta gradului de deoxidare al otelurilor, otel prevazute in STAS 500/2-80, asa cum se arata in tabelul 4.2, din posibilitati de caldare:

\* otel caldat "K", la care din masa de otel topit oxigenul a fost eliminat cu ajutorul unor feroliage pe baza de siliciu la care STAS 500/2-80 prescrie ca procentul de siliciu sa fie de maximum 0,40% la otelul OL 37 si de maximum 0,50% la otelul OL 52.

\* otel caldat suplimentar cu aluminiu "K<sub>Al</sub>", la care, dupa caldarea cu feroliage pe baza de siliciu, se face o caldare suplimentara cu aluminiu; la aceste oteluri, standardul prescrie aceleasi procente maxime de siliciu ca si la otelurile caldate "K", iar continutul de aluminiu trebuie sa fie de minimum 0,02%.

La clasele 1, 1a, 1b si 2 pentru otelul OL 37 indicat in tabelul 4.2 la care nu este indicat gradul de deoxidare, otelurile pot fi livrate in stare necaldata "n", semicaldata "s" sau caldata "k", cind procentul maxim de siliciu trebuie sa fie 0,02% la cele necaldate, 0,17% la cele semicaldate si 0,50% la otelurile caldate.

In STAS 500/2-80 sint, indicate in tabelul 4.1, caracteristicile mecanice si tehnologice ale otelurilor pentru otelurile OL 37 si OL 52, aceste caracteristici sint date in tabelul 4.3 pentru cele doua calitati de otel.

Tabelul 1.3

Marca otel	Clasa de calitate	Limita de curgere daN/mm <sup>2</sup> pentru grosimea a			Rezistența la tracțiune R <sub>m</sub> daN/mm <sup>2</sup>	Alungirea la rupere %	Rezistența la coroziune KCV 70°C daN/mm <sup>2</sup>		Elongația	
		a≤16	16-40	40-100			a≤16	a>16	T	R <sub>100</sub>
OL 37	1,1a,1b	24	23	21	37...45	25	-	-	-	-
	2	24	23	21	37...45	25	7	-	100	200
	3	24	23	21	37...45	26	-	-	100	200
	4	24	21	21	37...45	26	-	-	100	200
OL 52	2	34	33	34	52...64	21	4	4	100	200
	3	36	35	34	52...64	22	-	-	100	200
	4	36	35	34	52...64	22	-	-	100	200

În lume s-a încercat folosirea unor oțeluri aliate rezistența la rupere mai mare ca a oțelului OL 52, și acestea nu au fost folosite la construcția rezervoarelor oțeluri rezistența la tracțiune minimă de pînă la 70 daN/mm<sup>2</sup>. Aceste oțeluri avînd un procent ridicat de carbon au dus și în construcțiile rezervoarelor la apariția unor avarii, din cauza înclinării acestora spre rupere fragilă la temperaturi joase și a sensibilității lor la sulf, care nu se pot evita la început.

În ce privește compoziția chimică a oțelurilor, cantitatea este cantitatea de carbon, care în cazul oțelurilor de uz general pentru construcții OL 37 și OL 52 este, în general, 0,25%, 0,25%, ceea ce face ca ele să fie modulare în condiții normale de utilizare mai dure, cu rezistențe mai mari de 70 daN/mm<sup>2</sup>. Ele se pot face numai în condiții speciale și cu luarea unor măsuri la prelucrare tehnico-aplicativă.

Un rol important revine la asigurarea condițiilor de utilizare a oțelurilor cu procent mai ridicat de carbon și, consecința, cu rezistențe mai ridicate, și anume în ceea ce privește sulf din compoziția oțelului produs, deoarece, în cazul în care procentul acestor două elemente, poate să fie mai mare, oțelul devine fragil și oțelului prin fisurarea.

#### 4.2.2 Oțeluri pentru țevi fără sudură, de uz general

La realizarea structurilor de oțel pentru rezervoare, țevile de apă se folosesc cu foarte mare frecvență. În general, se folosesc de uz general, laminată la cald, care se fabrică după prevederile STAS 9123-80. La realizarea acestor structuri, în cazul în care tipul de rezervor, studiul și proiectat în cadrul țevilor de apă, sunt folosite, în principal, țevile fără sudură pentru construcții.

Marcele de oțel folosite pentru fabricarea țevilor de apă se notează în mod asemănător cu cele ale oțelurilor de uz general pentru construcții, înlocuind doar simbolul OL cu OT, care

otel carbon laminat pentru levi.

În STAS 2193-80 sînt prevăzute trei calități de otel carbon laminat pentru levi: OLT 35; OLT 45; OLT 65.

În general, la execuția construcțiilor metalice, pentru structurile de susținere a cistivelor de apă se folosesc otelurile de otel OLT 35 la elementele normale solicitate și OLT 45 la elementele mai puternic solicitate, otelul OLT 65 folosindu-se la realizarea unor elemente speciale și forțe puternic solicitate.

#### 4.2.3 Oteluri de uz general pentru construcții, rezistente la coroziune atmosferică STAS 500/3-80.

Marcele de oteluri cuprinse în STAS 500/3-80 caracterizează printr-o rezistență specifică la acțiunea mediului atmosferic, rezistența pe care o dobîndesc prin prezența elemente de aliere în continutul general, care favorizează formarea în timp a unui strat aderent de oxizi la suprafață, strat îndeplinesc apoi rolul de protecție a otelului.

În standardul român sînt prevăzute două calități de otel și rezistențele la coroziune, și anume:

\* RCB 37 - folosite la construcții metalice normale solicitate, cu rezistența mare la coroziunea atmosferică, de stâlpi 150, cistele de apă, rezervoare și altele recipiente sau hale industriale.

\* RCB 52 - folosite la elemente de construcții metalice normale solicitate, cu rezistență mare la coroziune atmosferică, cistele, bastele de apă sau recipientele sub presiune.

Otelurile rezistente la coroziune atmosferică, altele decât prin RC, se notează cu RCB pentru otelul cu conținut de fosfor  $P10,04\%$  și cu RCB pentru cel cu conținut de fosfor  $P10,01\%$ , unde  $P$  este din două cifre care reprezintă valoarea rezistenței la rupere la tracțiune, exprimată în  $daN/mm^2$ , apoi de calitate conform STAS 500/1-78, astfel:

\* RCB 37 2 STAS 500/3-80, care reprezintă un otel de uz general rezistent la coroziune atmosferică, cu conținut de fosfor  $P10,04\%$  și cu rezistența minimă la rupere la tracțiune de  $37 daN/mm^2$ , din clasa a doua de calitate.

\* RCB 52 3 STAS 500/3-80, care este un otel de uz general rezistent la coroziune atmosferică, cu conținut de fosfor  $P10,04\%$ , cu rezistența minimă la rupere la tracțiune de  $52 daN/mm^2$ , din clasa a treia de calitate.

Pentru aceste oteluri, compoziția chimică este dată în tabelul 4.4.

Pentru cele două calități de oteluri de uz general rezistente la coroziune atmosferică din STAS 500/3-80, în tabelul 4.7 sînt redate caracteristicile mecanice tehnologice.

#### 4.2.4 Oteluri speciale pentru rezervoare.

Prin introducerea construcțiilor speciale, în rezervoarelor au fost folosite, în țările puternic industrializate și oteluri cu rezistență ridicată la coroziune și la capacitate de sudare. Astfel de oteluri au fost împărțite în două grupe, și anume:

\* oteluri cu limita de curgere de peste  $35 daN/mm^2$  și rezistența minimă la rupere de peste  $50 daN/mm^2$ , care sînt utilizate

Tabela 4.4

Marca otel	Clasa de calitate	Compozitia chimica (procent %)										
		C max	Mn max	Si	P	S max	Cu	Cr	Al max	N	V	
RCA 37	1; 1a			0,12	min			0,30	0,50			
	1b; 2	0,12	0,45	0,35	0,055	0,040	0,60	0,80	0,020	0,010		
	3											
RCB 52	2;3;4			max	max		0,30	0,50				
		0,20	1,20	0,60	0,045	0,045	0,60	0,80	0,020	0,010	0,12	

Tabela 4.5

Marca otel	Clasa de calitate	Limita de curgere daN/mm <sup>2</sup>	Rezistenta minima la tractiune Rm daN/mm <sup>2</sup>	Alungirea la rupere A %	Rarilitate KVH 30/2 la +20°C daJ/cm <sup>2</sup>	Elongatie	
						Tempe- ratur 30	daN/mm <sup>2</sup>
RCA 37	1;1a;1b	24	37...45	25	-	100	0,6
	2	24	37...45	25	7	100	0,6
	3	24	37...45	26	-	100	0,6
RCB 52	2	34	52...60	21	7	100	0,6
	3	34	52...62	22	-	100	0,6
	4	34	52...62	22	-	100	0,6

din imbunatatirea calitatii otelului CL 50.

\* oțeluri cu limita de curgere cuprinsa intre 50...70 daN/mm<sup>2</sup> si rezistenta minima la rupere la 1...1,1 70...90 daN/mm<sup>2</sup>, care realizeaza pe langa o rezistenta si o buna capacitate buna de sudare prin si la toate metodele, si sint cromul, nichelul si molibdenul.

\* oțeluri imbunatatite, suparezistente, cu limita de curgere minima de 120 daN/mm<sup>2</sup> si o rezistenta minima la rupere de 140...220 daN/mm<sup>2</sup>, valori care se obtin alt printre alii prin aliere a acestor oțeluri cu crom, nichel, molibden, vanadiu, si si printr-un tratament de imbunatatire si ameliorare a oțelului oțelului, oțeluri care sint sudabile doar prin metode speciale. In tarile scandinave se folosesc, pe langa oțelii specializati, si oțeluri rezistente la temperaturi joase, care sint oțeluri feritice realizate aliate cu nichel sau oțelurilor austenitice aliate cu crom-nichel sau cu manganeu.

### 4.3 ALUMINIUL IN CONSTRUCTIA REZERVOARELOR

Aluminiul si aliajele sale se inceput sa fie folosite pe scara tot mai larga in ultima vreme la constructia rezervoarelor si, in special, a rezervoarelor de gaze si aer condiționat.



polimerizare a titeliului si la depozitarea gevelor fluide.

Aceasta datorita, pe de o parte, stabilitatii aliajelor aluminiu in medii agresive, iar pe de alta parte, din raportarii lor la temperaturi joase.

Datorita greutatii reduse aluminului si aliajelor sale, a si posibilitatii de realizare a unor solutii structurale de coloratie foarte variate, s-a extins in ultima vreme posibilitatea folosirii aluminului la executarea fatadelor pe la cladiri inalte, precum si de material izolator, respectiv pentru placarea rezervoarelor montate la inaltime, dar si aluminului contribuie la ridicarea aspectului estetic al constructiilor castelilor de apa.

Alumiul, avind o densitate sub 2700 kg/m<sup>3</sup>, apartine fatadelor usoare, iar ca metal pur este foarte moale, avind rezistenta la intindere sub 4 daN/mm<sup>2</sup>, ceea ce face ca el sa poata fi folosit in aceasta stare la constructii rezervoarelor.

In practica se utilizeaza, insa, aliajele de aluminiu, cu rezistenta mult mai mari. In acest scop se folosesc aliaje cu adausuri de siliciu Si, magneziu Mg, mangan Mn, cupru Cu, etc.

Aceste aliaje se impart in doua grupe:

\* aliaje de aluminiu caldibile, care, printr-o expunere la cald sau la rece, realizeaza o imbunatatire a proprietatilor de rezistenta;

\* aliaje de aluminiu caldibile, care prezinta caracteristici mecanice pot fi imbunatatite prin deformare la rece.

Alumiul si aliajele sale au o buna comportare anticoroziva, care se datoreaza unei pasivizari a suprafelelor prin oxidarea care se produce in atmosfera. In cazul folosirii aliajelor de aluminiu in medii alcaline sau in apropierea apei sarate a oceanilor si oceanelor, componentele magneziului din aliajele de aluminiu maresc rezistenta la coroziune a acestora.

#### 4.4 OBSERVATII FINALE

La realizarea castelilor de apa, trebuie sa se acorde o atentie deosebita alegerii materialului folosit la realizarea rezervorului si a structurii de sustinere a acestuia.

Aceasta alegere trebuie sa tina seama, asa cum s-a aratat, in primul rind de satisfacerea conditiilor de rezistenta si stabilitate si, in al doilea rind, de asigurarea unor aspecte estetice sporite la coroziune.

Sigur ca otelul, cel pe care si Smealia de dezvoltare, este materialul folosit pe scarile mai largi la executia rezervoarelor si a structurilor de sustinere.

O atentie importanta la alegerea materialului trebuie acordata si aspectului estetic al castelilor de apa, mai ales atunci cind acestea se executa in interiorul localitatilor.

## CAPITOLUL 5

### CONTRIBUTII LA CALCULUL DE REZISTENTA AL REZERVOARELOR SFERICE DE APA MONTATE LA INALTIME

#### 5.1 ELEMENTE GEOMETRICE

Placa curba poate fi definita geometric daca este cunoscuta ecuatia suprafetei mediane, care este locul geometric al punctelor egal distantate fata de suprafata superioara si inferioara a placii, si variatia grosimii ei masurata dupa normala.

Suprafata sferei poate fi definita in coordonate carteziane sub forma ecuatiei (fig.5.1):

$$x^2 + y^2 + z^2 = R^2$$

O alta exprimare a suprafetei mediane se face in coordonate sferice. Pentru incarcările verticale, la care axa de simetrie este axa verticala (fig.5.1.a), coordonate sferice sint  $\varphi$ , unghiul format de normala la suprafata mediana si axa verticala, si  $\theta$ , unghiul format cu planul de referinta.

Pentru incarcările orizontale, la care axa de simetrie este orizontala (fig.5.1.b), coordonatele sferice sint  $\alpha$ , unghiul format de normala la suprafata cu axa orizontala, si  $\beta$ , unghiul format cu planul de referinta.

Din cauza prezentei celor doua grinzi inelare, sfera se imparte in trei parti (fig.5.1.c):

- portiunea superioara (1), in intervalul  $(0 < \varphi \leq \varphi_1)$ .
- portiunea centrala (2), in intervalul  $(\varphi_1 < \varphi \leq \varphi_2)$ .
- portiunea inferioara (3), in intervalul  $(\varphi_2 < \varphi \leq \pi)$ .

Unghiurile de separare intre aceste parti sint  $\varphi_1 \approx 75^\circ$  si  $\varphi_2 \approx 135^\circ$ .

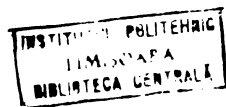
#### 5.2 INCARCARI PENTRU CALCULUL REZERVOARELOR

##### 5.2.1 Elemente generale.

Actiunile asupra rezervorului montat la inaltime sint:

- greutatea proprie;
- presiunea lichidului, variabila in functie de gradul de umplere cu lichid a rezervorului;
- depresiunea interioara;
- vint;
- zapada;
- seism.

Dintre aceste actiuni, cele mai importante sint greutatea proprie, presiunea lichidului, depresiunea si vintul. Actiunea din zapada este neglijabila, din cauza ca zapada aluneca de pe rezervorul sferic, zona incarcata din virf fiind foarte mica. De asemenea, nici seismul nu produce eforturi importante in peretii rezervorului, ci numai in structura de sustinere. Reducerea actiunii miscarii lichidului din rezervor asupra peretilor este rezolvata prin procedee speciale.



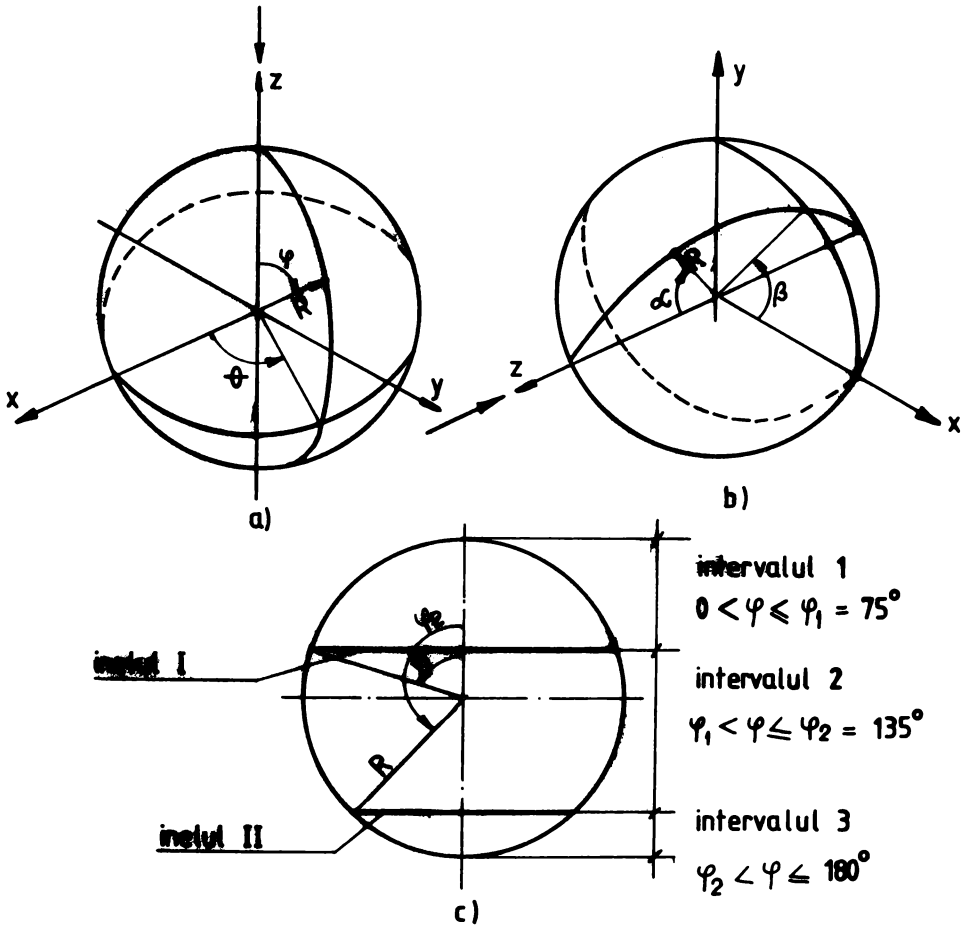
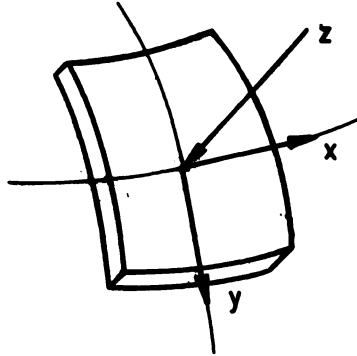


FIG. 5.1  
Elemente geometrice

Pe suprafata sferica a rezervorului pot actiona incarcari uniform distribuite oarecare, care pot fi descompuse dupa cele trei directii caracteristice (fig.5.2):

- X - componenta dupa tangenta la cercul paralel;
- Y - componenta dupa tangenta la cercul meridian;
- Z - componenta dupa normala la suprafata mediana.

Mentionam ca acestea sint incarcari distribuite pe unitatea de suprafata.



**FIG. 5.2**  
**Încărcările pe suprafața rezervorului**

**5.2.2 Incarcarea din greutatea proprie.**

Incarcarea din greutatea proprie este o incarcare gravitacionala  $g$ , uniform distribuita pe suprafata curba (fig.5.3.a). Rezulta componentele incarcarii pe suprafata curba:

$$X_g = 0 \quad (5.1a)$$

$$Y_g = g \cdot \sin \xi \quad (5.1b)$$

$$Z_g = g \cdot \cos \xi \quad (5.1c)$$

**5.2.3 Incarcarea din presiunea lichidului.**

Este o incarcare normala la suprafata curba (fig.5.3.b) ce depinde de inaltimea coloanei de apa situata deasupra punctului considerat. Astfel, rezulta urmatoarele componente:

$$X_p = 0, \quad Y_p = 0 \quad (5.2a,b)$$

$$Z_p = -\gamma \cdot (h-z) = -\gamma R \cdot (\cos \xi_0 - \cos \xi) \text{ pentru } z \leq h \quad (5.2c)$$

$$Z_p = 0 \text{ pentru } z > h \quad (5.2d)$$

unde  $\gamma$  - densitatea specifica a lichidului depozitat;  
 $h$  - inaltimea lichidului masurata fata de planul  $xOy$ ;  
 $\xi_0$  - unghiul corespunzator inaltimii lichidului.

Presiunea maxima obtinuta pe fundul rezervorului va fi:

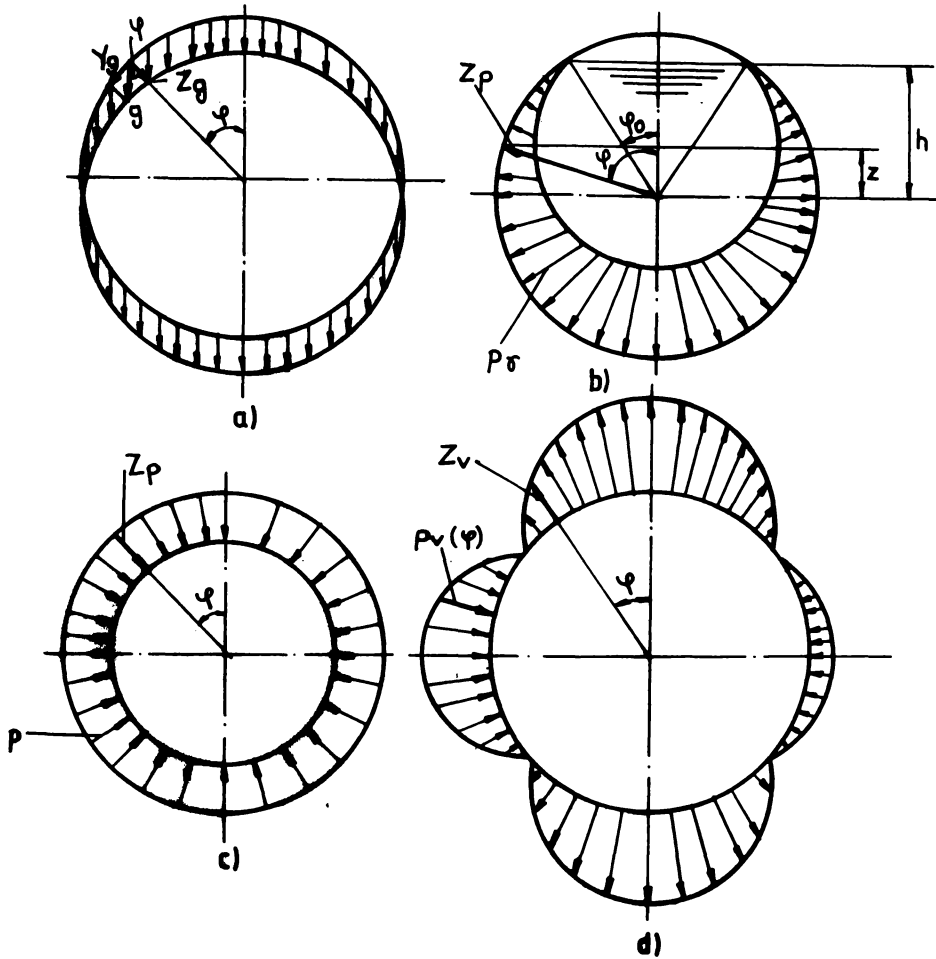
$$Z_p = -\gamma \cdot (h+R) \quad (5.3)$$

**5.2.4 Incarcarea din depresiune.**

Este o incarcare uniform distribuita, normala la suprafata curba (fig.5.3.c). Rezulta astfel:

$$X_d = 0, \quad Y_d = 0, \quad Z_d = p \quad (5.4)$$

unde  $p$  - incarcarea normala corespunzatoare depresiunii din interiorul rezervorului (se admite  $p = 0.025 \dots 0.3 \text{ N/cm}^2$  [14]).



**FIG. 5.3**  
**Acțiuni asupra rezervorului sfenc**  
 a) greutate proprie ; b) presiunea lichidului ; c) depresiuni ; d) vînt

5.2.5 Incarcari din vînt.

Este o acțiune orizontală cu o variație a valorilor obținute prin măsuratori efectuate in situ, conform STAS 10101/20-90 [94], distribuția presiunilor la o sferă fiind dată de relația:

$$P_v = \beta \cdot c_{ni} \cdot c_h(z) \cdot q_v \quad (5.5a)$$

unde:  $\beta$  - coeficientul de rafala,  
 $c_{ni}$  - coeficient aerodinamic pe suprafata sferei,  
 $c_h(z)$  - coeficientul de variatie a presiunii dinamice de baza in raport cu inaltimea  $z$  deasupra terenului,  
 $g_v$  - presiunea dinamica de baza.

Pentru variatia eforturilor din rezervor, factorul cel mai important este coeficientul  $c_n$ . De aceea, relatia 5.5 poate fi scrisa sub forma:

$$P_v(\alpha) = c_n(\alpha) \cdot p_v \quad (5.5b)$$

$$p_v = \beta \cdot c_h(z) \cdot g_v \quad (5.5c)$$

Variatia coeficientului  $c_n$  este data in tabelul A:

Tabelul A. VARIATIA COEFICIENTULUI  $c_n$ .

$\alpha$	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°	120°	135°	150°	165°	180°
$c_n$	1,0	0,9	0,5	-0,1	-0,7	-1,1	-1,2	-1,0	-0,6	-0,2	+0,1	+0,3	+0,4

Pentru calculul eforturilor din rezervor este nevoie de o exprimare analitica a variatiei presiunii vintului pe sfera (fig.5.4). Astfel, coeficientul  $c_n$  poate fi scris sub forma:

$$c_n(\alpha) = c_0 + c_1 \cdot \cos\alpha + c_2 \cdot \cos 2\alpha + c_3 \cdot \cos 3\alpha + c_4 \cdot \cos 4\alpha \quad (5.6)$$

unde coeficientii  $c_0 \dots c_4$  se vor determina astfel ca variatia analitica sa corespunda cu cea numerica data in tabelul A.

Se aleg drept puncte obligate de trecere a curbei, punctele corespunzatoare unghiurilor  $\alpha = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ, 180^\circ$ , din care vor rezulta cei 5 coeficienti numerici. Se va face apoi o verificare si pentru celelalte puncte, astfel ca diferentele sa nu fie mari.

$$\alpha = 0^\circ \quad c_0 + c_1 + c_2 + c_3 + c_4 = 1,0 \quad (5.7a)$$

$$\alpha = 45^\circ \quad c_0 + c_1 \cdot \frac{1}{2} + 0 - c_3 \cdot \frac{1}{2} - c_4 = -0,1 \quad (5.7b)$$

$$\alpha = 90^\circ \quad c_0 + 0 - c_2 + 0 + c_4 = -1,2 \quad (5.7c)$$

$$\alpha = 135^\circ \quad c_0 - c_1 \cdot \frac{1}{2} + 0 + c_3 \cdot \frac{1}{2} - c_4 = -0,2 \quad (5.7d)$$

$$\alpha = 180^\circ \quad c_0 - c_1 + c_2 - c_3 + c_4 = 0,4 \quad (5.7e)$$

Din rezolvarea sistemului de ecuatii rezulta valorile:

$$c_0 = -0,200$$

$$c_1 = 0,185$$

$$c_2 = 0,950$$

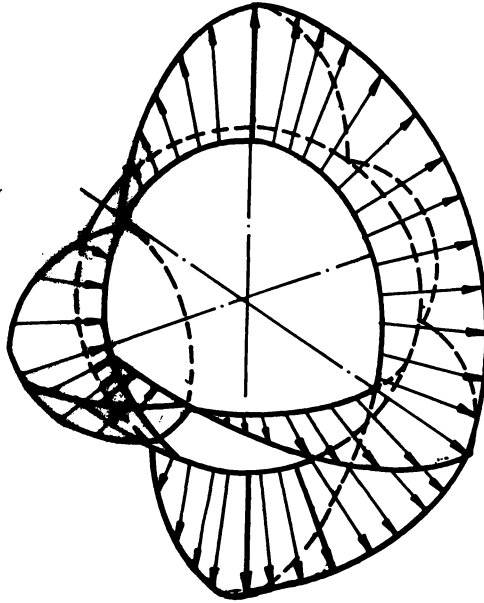
$$c_3 = 0,115$$

$$c_4 = -0,050$$

Astfel, coeficientul  $c_n$  poate fi exprimat cu relatia:

$$c_n(\alpha) = -0,200 + 0,185 \cdot \cos\alpha + 0,950 \cdot \cos 2\alpha + 0,115 \cdot \cos 3\alpha - 0,050 \cdot \cos 4\alpha \quad (5.8)$$

O comparatie a valorilor lui  $c_n$  rezultate din relatia (5.8) si valorile din tabelul A, dupa STAS 10101/20-90[94], se face in tabelul B.



**FIG. 5.4**  
**Distribuția vântului pe suprafața rezervorului**

Tabelul B. COMPARATIA VALORILOR LUI  $c_n$

$\alpha$	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°	120°	135°	150°	165°	180°
Formula (5.8)	1,0	0,86	0,46	-0,1	-0,67	-1,08	-1,2	-1,01	-0,63	-0,2	0,14	0,34	0,40
STAC 10101/20	1,0	0,90	0,50	-0,1	-0,70	-1,10	-1,2	-1,00	-0,60	-0,2	+0,1	+0,3	+0,4
Diferența %	0	4	8	0	4	1,8	0	1	5	0	40	13,3	0

Comparatia facuta in tabelul B arata ca formula propusa (5.8) descrie foarte bine variatia presiunilor din vint pe rezervorul metalic. Diferentele care sint mai mari, la unghiurile de 150° si 165°, nu sint semnificative, pentru ca sint in zona eforturilor mai mici din peretele rezervorului. Presiunile cele mai importante sint in zona  $\alpha=60^\circ \dots 120^\circ$ , unde valorile lui  $c_n$  date de relatia propusa si cele din norme corespund foarte bine.

Variatia presiunii vintului pe rezervor este axial simetrica in raport cu o axa orizontala.

## 5.3 TEORIA MATEMATICA A REZERVOARELOR SFERICE

### 5.3.1 Ipoteze de baza.

Pentru calculul eforturilor din rezervor se folosesc urmatoarele ipoteze de baza:

a) Se considera ca grosimea placii curbe este mica in raport cu celelalte dimensiuni ale placii curbe, de exemplu - raza de curbura R. Dupa [27][28], se poate face urmatoarea clasificare a placilor curbe:

$$\text{- placi foarte subtiri: } \frac{t}{R} < \frac{1}{200}$$

$$\text{- placi subtiri: } \frac{1}{200} \leq \frac{t}{R} < \frac{1}{25}$$

$$\text{- placi groase: } \frac{1}{25} \leq \frac{t}{R} < \frac{1}{10}$$

$$\text{- placi foarte groase: } \frac{1}{10} \leq \frac{t}{R} < \frac{1}{5}$$

Rezervorul studiat in lucrare, cu  $t=10$  mm si  $R=8000$  mm, deci cu:

$$\frac{t}{R} = \frac{10}{8000} = \frac{1}{800}$$

se incadreaza in categoria placilor foarte subtiri.

b) Greutatea proprie actioneaza pe suprafata mediana, pe cind celelalte tipuri de incarcari actioneaza pe fetele placii (presiunea lichidului si depresiunea pe fata interioara, vintul pe fata exterioara). Din cauza grosimii mici a placii, se poate considera ca toate actiunile sint aplicate pe suprafata mediana.

c) Materialul se considera omogen si izotrop, avind aceleasi proprietati in fiecare punct al suprafetei si dupa orice directie.

d) Sint valabile ipotezele simplificatoare ale lui Love-Kirchoff astfel:

1- punctele situate pe o normala la suprafata mediana nedeformata, ramin si dupa deformatie pe normala la suprafata deformata.

2- tensiunile normale pe suprafetele paralele cu suprafata mediana sint neglijabile.

3- grosimea placii nu se modifica prin deformatie.

e) Pentru studiul starii de eforturi si deformatii, se considera deformatiile mici in raport cu grosimea placii, ceea ce permite utilizarea teoriei liniare. In cazul studierii stabilitatii rezervorului, aceasta ipoteza nu mai este valabila.

### 5.3.2 Starea de eforturi.

Daca se decupeaza din suprafata sferei un element diferentiat de placa curba definit de unghiurile  $\varphi$  si  $\varphi+d\varphi$ , respectiv  $\theta$  si  $\theta+d\theta$  (fig.5.5.a) si se evidentiaza tensiunile care iau nastere, se



obtin (fig.5.5.b):

- pe suprafata  $\varphi = \text{const.}$ , tensiunile normale  $\sigma_\varphi$  si tangentiale  $\tau_{\varphi\theta}$  si  $\tau_{\varphi z}$ .
- pe suprafata  $\theta = \text{const.}$ , tensiunile normale  $\sigma_\theta$  si tangentiale  $\tau_{\theta\varphi}$  si  $\tau_{\theta z}$ .

Pe baza ipotezelor admise, placa curba poate fi inlocuita cu suprafata ei mediana. Astfel, daca se insumeaza aceste tensiuni pe grosimea placii, se obtine (fig.5.6):

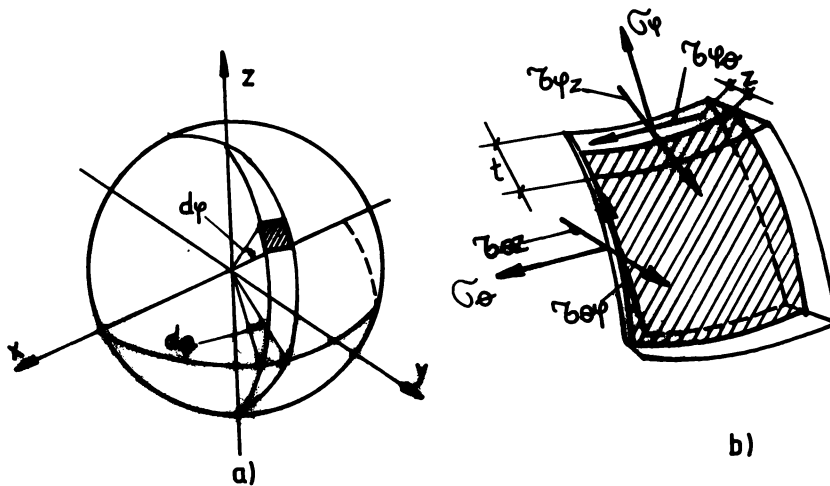


FIG. 5.5  
Tensiuni caracteristice

- eforturile normale:

$$N_\varphi = \int_{-t/2}^{t/2} \sigma_\varphi \cdot \left(1 - \frac{z}{R}\right) \cdot dz \approx \int_{-t/2}^{t/2} \sigma_\varphi \cdot dz \quad (5.9a)$$

$$N_\theta = \int_{-t/2}^{t/2} \sigma_\theta \cdot \left(1 - \frac{z}{R}\right) \cdot dz \approx \int_{-t/2}^{t/2} \sigma_\theta \cdot dz \quad (5.9b)$$

- eforturi de alunecare:

$$N_{\varphi\theta} = \int_{-t/2}^{t/2} \tau_{\varphi\theta} \cdot \left(1 - \frac{z}{R}\right) \cdot dz \approx \int_{-t/2}^{t/2} \tau_{\varphi\theta} \cdot dz \quad (5.9c)$$

$$N_{\theta\varphi} = \int_{-t/2}^{t/2} \tau_{\theta\varphi} \cdot \left(1 - \frac{z}{R}\right) \cdot dz \approx \int_{-t/2}^{t/2} \tau_{\theta\varphi} \cdot dz \quad (5.9d)$$

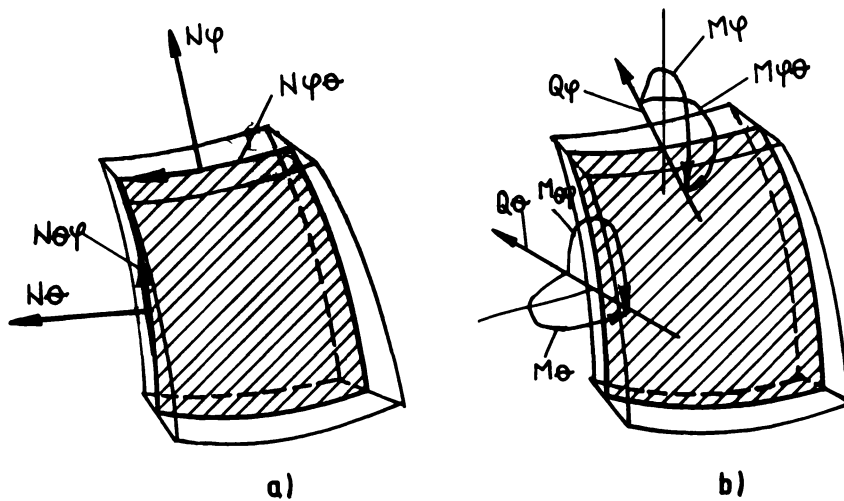


FIG. 5.6  
Eforturi axiale și de încovoiere

- momente de încovoiere:

$$M_{\phi} = \int_{-t/2}^{t/2} \sigma_{\phi} \cdot z \cdot \left(1 - \frac{z}{R}\right) \cdot dz \approx \int_{-t/2}^{t/2} \sigma_{\phi} \cdot z \cdot dz \quad (5.9e)$$

$$M_{\theta} = \int_{-t/2}^{t/2} \sigma_{\theta} \cdot z \cdot \left(1 - \frac{z}{R}\right) \cdot dz \approx \int_{-t/2}^{t/2} \sigma_{\theta} \cdot z \cdot dz \quad (5.9f)$$

- momente de torsiune:

$$M_{\phi\theta} = \int_{-t/2}^{t/2} \tau_{\phi\theta} \cdot z \cdot \left(1 - \frac{z}{R}\right) \cdot dz \approx \int_{-t/2}^{t/2} \tau_{\phi\theta} \cdot z \cdot dz \quad (5.9g)$$

$$M_{\theta\phi} = \int_{-t/2}^{t/2} \tau_{\theta\phi} \cdot z \cdot \left(1 - \frac{z}{R}\right) \cdot dz \approx \int_{-t/2}^{t/2} \tau_{\theta\phi} \cdot z \cdot dz \quad (5.9h)$$

- forte tăietoare:

$$Q_{\phi} = \int_{-t/2}^{t/2} \tau_{\phi z} \cdot \left(1 - \frac{z}{R}\right) \cdot dz \approx \int_{-t/2}^{t/2} \tau_{\phi z} \cdot dz \quad (5.9i)$$

$$Q_{\theta} = \int_{-t/2}^{t/2} \tau_{\theta z} \cdot \left(1 - \frac{z}{R}\right) \cdot dz \approx \int_{-t/2}^{t/2} \tau_{\theta z} \cdot dz \quad (5.9j)$$

În relațiile (5.9) neglijarea termenului  $z/R$  în comparație cu 1 s-a putut face pe baza ipotezelor admise, în sensul că grosimea plăcii este foarte mică în raport cu raza sferei.

Ținând seama de legea dualității tensiunilor tangențiale, rezulta și dualitatea:

$$N_{\phi\theta} = N_{\theta\phi}, \quad M_{\phi\theta} = M_{\theta\phi} \quad (5.10)$$

Se considera pozitive eforturile dacă:

- $N_{\theta}$  și  $N_{\phi}$  sunt de întindere,
- $N_{\phi\theta}$  și  $N_{\theta\phi}$  micșorează unghiul dintre ele,
- $M_{\phi}$  și  $M_{\theta}$  întind fibrele interioare,
- $M_{\phi\theta}$  și  $M_{\theta\phi}$  produc rotații în sensul acelor de ceasornic pentru un observator privind în sensul crescător al lui  $\phi$ , respectiv în sens descrescător pentru  $\theta$ ,
- $Q_{\phi}$  și  $Q_{\theta}$  sunt dirijate spre exteriorul plăcii în secțiunile  $\phi = \text{const.}$  și  $\theta = \text{const.}$

### 5.3.3 Starea de deformării.

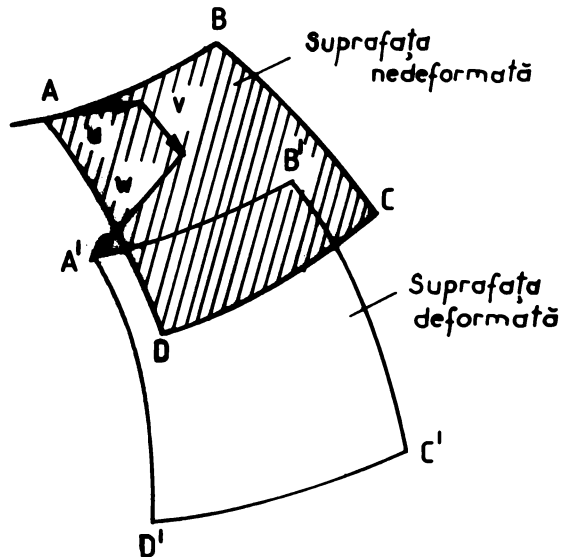


FIG. 5.7  
Deplasările caracteristice

Starea de deformatii a unei placi curbe subtiri este definita daca se cunosc deplasările unui punct de pe suprafata mediana si variatiile acestor deplasari in jurul punctului respectiv. Astfel, se definesc (fig.5.7)

- deplasările tangențiale  $u$  si  $v$  dirijate dupa cercurile paralele si respectiv meridiane.
- deplasările  $w$  dirijate dupa normala la suprafata placii.

Variatia acestor deplasari in jurul punctului respectiv sint caracterizate de:

- deformatiile axiale  $\epsilon_f$  si  $\epsilon_\theta$ ;
- deformatiile specifice de lunecare  $\gamma_{f\theta} = \gamma_{\theta f}$ ;
- variatiile pantelor la liniile de coordonate  $f = \text{const.}$  si  $\theta = \text{const.}$ ,  $\chi_f$  si  $\chi_\theta$ ;
- rotirea in jurul normalei  $\chi_{f\theta}$ ;
- variatiile curburilor normale  $\alpha_f, \alpha_\theta$ ;
- variatia curburii de torsiune  $\alpha_{f\theta}$ .

### 5.3.4 Ecuatiile de echilibru.

Pentru o suprafata de rotatie, ecuatiile de echilibru sint date, dupa [3][4][5][6][7]:

$$\frac{\partial N_\theta}{\partial \theta} \cdot r_1 + \frac{\partial (N_{f\theta} \cdot r_0)}{\partial f} + N_{\theta f} \cdot r_1 \cdot \cos f - Q_\theta \cdot r_1 \cdot \sin f + X \cdot r_0 \cdot r_1 = 0 \quad (5.11a)$$

$$\frac{\partial N_{\theta f}}{\partial \theta} \cdot r_1 + \frac{\partial (N_f \cdot r_0)}{\partial f} - N_\theta \cdot r_1 \cdot \cos f - Q_f \cdot r_0 + Y \cdot r_0 \cdot r_1 = 0 \quad (5.11b)$$

$$\frac{N_f}{r_1} + \frac{N_\theta}{r_2} + \frac{1}{r_0 \cdot r_1} \cdot \frac{\partial (Q_f \cdot r_0)}{\partial f} + \frac{1}{r_0} \cdot \frac{\partial Q_\theta}{\partial \theta} + Z = 0 \quad (5.11c)$$

$$\frac{\partial M_\theta}{\partial \theta} \cdot r_1 + \frac{\partial (M_{f\theta} \cdot r_0)}{\partial f} + M_{\theta f} \cdot r_1 \cdot \cos f - Q_\theta \cdot r_0 \cdot r_1 = 0 \quad (5.11d)$$

$$\frac{\partial M_{f\theta}}{\partial \theta} \cdot r_1 + \frac{\partial (M_f \cdot r_0)}{\partial f} - M_\theta \cdot r_1 \cdot \cos f - Q_f \cdot r_0 \cdot r_1 = 0 \quad (5.11e)$$

$$\frac{M_{f\theta}}{r_1} - \frac{M_{\theta f}}{r_2} - N_{f\theta} + N_{\theta f} = 0 \quad (5.11f)$$

Pentru cazul suprafetei sferice, la care  $r_1=r_2=R$  si  $r_0=R \cdot \sin f$ , ecuatiile (5.11) devin:

$$\frac{\partial N_\theta}{\partial \theta} + \frac{\partial (N_{f\theta} \cdot \sin f)}{\partial f} + N_{\theta f} \cdot \cos f - Q_\theta \cdot \sin f + X \cdot R \cdot \sin f = 0 \quad (5.12a)$$

$$\frac{\partial N_{\theta f}}{\partial \theta} + \frac{\partial (N_f \cdot \sin f)}{\partial f} - N_\theta \cdot \cos f - Q_f \cdot \sin f + Y \cdot R \cdot \sin f = 0 \quad (5.12b)$$

$$N_f + N_\theta + \frac{1}{\sin f} \cdot \frac{\partial (Q_f \cdot \sin f)}{\partial f} + \frac{1}{\sin f} \cdot \frac{\partial Q_\theta}{\partial \theta} + Z \cdot R = 0 \quad (5.12c)$$

$$\frac{\partial M_\theta}{\partial \theta} + \frac{\partial (M_{f\theta} \cdot \sin f)}{\partial f} + M_{\theta f} \cdot \cos f - Q_\theta \cdot R \cdot \sin f = 0 \quad (5.12d)$$

$$\frac{\partial M_{\varphi 0}}{\partial \theta} + \frac{\partial (M_{\varphi} \cdot \sin \varphi)}{\partial \varphi} - M_0 \cdot \cos \varphi - Q_{\varphi} \cdot R \cdot \sin \varphi = 0 \quad (5.12e)$$

Ultima ecuatie (5.11e) este identic satisfacuta din cauza dualitatii tensiunilor tangentiale.

Din examinarea relatiilor (5.12) rezulta ca acestea contin 8 necunoscute:  $N_{\varphi}$ ,  $N_0$ ,  $N_{\varphi 0}=N_{0\varphi}$ ,  $M_{\varphi}$ ,  $M_0$ ,  $M_{\varphi 0}=M_{0\varphi}$ ,  $Q_{\varphi}$ ,  $Q_0$ . Pentru ca avem la dispozitie numai 5 ecuatii, problema este static nedeterminata si trebuie sa se apeleze la ecuatiile de deformatii.

### 5.3.5 Ecuatiile de deformatii.

Pentru suprafetele de rotatie, in Beles si Soare [3][4][5][6][7] sint date relatiile dintre deformatii si deplasari:

- deformatii axiale:

$$\epsilon_{\varphi} = \frac{1}{r_1} \cdot \left( \frac{\partial v}{\partial \varphi} - w \right) \quad (5.13a)$$

$$\epsilon_0 = \frac{1}{r_2} \cdot (v \cdot \operatorname{ctg} \varphi - w) + \frac{1}{r_0} \cdot \frac{\partial u}{\partial \theta} \quad (5.13a)$$

- deformatii de lunecare:

$$\gamma_{\varphi 0} = \frac{1}{r_0} \cdot \frac{\partial v}{\partial \theta} + \frac{1}{r_1} \cdot \frac{\partial u}{\partial \varphi} - \frac{u \cdot \cos \varphi}{r_0} \quad (5.13b)$$

- schimbarea pantei tangentei la cercurile meridiene si paralele:

$$\chi_{\varphi} = \frac{1}{r_1} \cdot \left( v + \frac{\partial w}{\partial \varphi} \right) \quad (5.13c)$$

$$\chi_0 = \frac{1}{r_0} \cdot \left( u + \frac{1}{\sin \varphi} \cdot \frac{\partial w}{\partial \theta} \right) \quad (5.13c)$$

- schimbarea curburilor normale:

$$\kappa_{\varphi} = \frac{1}{r_1} \cdot \frac{\partial \chi_{\varphi}}{\partial \varphi} \quad (5.13d)$$

$$\kappa_0 = \frac{1}{r_2} \cdot \frac{\partial \chi_0}{\partial \theta} + \frac{\chi_{\varphi} \cdot \operatorname{ctg} \varphi}{r_2} \quad (5.13d)$$

- schimbarea curburii la rasucire:

$$\chi_{\varphi 0} = \frac{1}{r_0} \cdot \frac{\partial \chi_{\varphi}}{\partial \theta} - \frac{\chi_0 \cdot \operatorname{ctg} \varphi}{r_0} + \frac{1}{r_1} \cdot \frac{\partial (\chi_0 \cdot \sin \varphi)}{\partial \varphi} \quad (5.13e)$$

Pentru suprafetele sferice, la care  $r_1=r_2=R$  si  $r_0=R \cdot \sin \varphi$ , rezulta:

- deformatiile axiale:

$$\epsilon_{\varphi} = \frac{1}{R} \cdot \left( \frac{\partial v}{\partial \varphi} - w \right) \quad (5.14a)$$

$$\epsilon_0 = \frac{1}{R} \cdot \left( v \cdot \operatorname{ctg} \varphi - w + \frac{1}{\sin \varphi} \cdot \frac{\partial u}{\partial \theta} \right) \quad (5.14a)$$

- deformatii de lunecare:

$$\gamma_{\varphi 0} = \frac{1}{R} \cdot \left( \frac{\partial v}{\partial \theta} + \frac{\partial u}{\partial \varphi} - u \cdot \operatorname{ctg} \varphi \right) \quad (5.14b)$$

- schimbarea pantei tangentei la cercurile meridiane si paralele:

$$\chi_{\varphi} = \frac{1}{R} \cdot \left( v + \frac{\partial w}{\partial \varphi} \right) \quad (5.14c)$$

$$\chi_{\theta} = \frac{1}{R \cdot \sin \varphi} \cdot \left( u + \frac{1}{\sin \varphi} \cdot \frac{\partial w}{\partial \theta} \right) \quad (5.14e)$$

- schimbarea curburilor normale:

$$\kappa_{\varphi} = \frac{1}{R} \cdot \frac{\partial \chi_{\varphi}}{\partial \varphi} \quad (5.14d)$$

$$\kappa_{\theta} = \frac{1}{R} \cdot \left( \frac{\partial \chi_{\theta}}{\partial \theta} + \chi_{\varphi} \cdot \operatorname{ctg} \varphi \right) \quad (5.14d)$$

- schimbarea curburii la răsucire:

$$\kappa_{\varphi\theta} = \frac{1}{R} \cdot \left( \frac{1}{\sin \varphi} \cdot \frac{\partial \chi_{\varphi}}{\partial \theta} - \frac{\chi_{\theta} \cdot \operatorname{ctg} \varphi}{\sin \varphi} + \frac{\partial (\chi_{\theta} \cdot \sin \varphi)}{\partial \varphi} \right) \quad (5.14e)$$

Ecuatiile de deformatii (geometrice) au introdus 11 necunoscute:  $u, v, w, \epsilon_{\varphi}, \epsilon_{\theta}, \gamma_{\varphi\theta}, \chi_{\varphi}, \chi_{\theta}, \kappa_{\varphi}, \kappa_{\theta}$  si  $\kappa_{\varphi\theta}$ . Relatiile de legatura sînt in numar de 8 si, prin urmare, nici aspectul geometric nu a rezolvat problema nedeterminarii.

### 5.3.6 Ecuatiile fizice.

Legaturile dintre tensiuni si deformatii, la o cota ( $z$ ) fata de suprafata mediana, sînt date de relatiile lui Hooke:

$$\sigma_{\varphi} = \frac{E}{1 - \mu^2} \cdot (\epsilon_{\varphi}^{(z)} + \mu \cdot \epsilon_{\theta}^{(z)}) \quad (5.15a)$$

$$\sigma_{\theta} = \frac{E}{1 - \mu^2} \cdot (\epsilon_{\theta}^{(z)} + \mu \cdot \epsilon_{\varphi}^{(z)}) \quad (5.15b)$$

$$\tau_{\varphi\theta} = \frac{E}{2 \cdot (1 + \mu)} \cdot \gamma_{\varphi\theta}^{(z)} \quad (5.15c)$$

in care: -  $E$  este modulul de elasticitate al materialului,  
-  $\mu$  este coeficientul contractiei transversale (coeficientul lui Poisson).

Tinind seama ca deformatiile de la cota ( $z$ ) pot fi scrise in functie de deformatiile suprafetei mediane, rezulta, dupa [3][4][5][6][7]:

$$\epsilon_{\varphi}^{(z)} = \epsilon_{\varphi} - z \cdot \left( \kappa_{\varphi} - \frac{\epsilon_{\varphi}}{r_1} \right) \quad (5.16a)$$

$$\epsilon_{\theta}^{(z)} = \epsilon_{\theta} - z \cdot \left( \kappa_{\theta} - \frac{\epsilon_{\theta}}{r_2} \right) \quad (5.16b)$$

$$\gamma_{\varphi\theta}^{(z)} = \gamma_{\varphi\theta} - z \cdot \left[ 2 \cdot \kappa_{\varphi\theta} - \left( \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right) \cdot \gamma_{\varphi\theta} \right] \quad (5.16c)$$

Introducind (5.16) in (5.15) si rezultatele in ecuatiile (5.9), se obtin relatiile (dupa [3][4][5][6][7]):

$$N_f = D \cdot (\epsilon_f + \mu \cdot \epsilon_\theta) + \frac{k}{r_1^2} \cdot \left(1 - \frac{r_1}{r_2}\right) \cdot (\epsilon_f - r_1 \cdot \chi_f) \quad (5.17a)$$

$$N_\theta = D \cdot (\epsilon_\theta + \mu \cdot \epsilon_f) + \frac{k}{r_2^2} \cdot \left(1 - \frac{r_2}{r_1}\right) \cdot (\epsilon_\theta - r_2 \cdot \chi_\theta) \quad (5.17a)$$

$$N_{f\theta} = D \cdot \frac{1 - \mu}{2} \cdot \gamma_{f\theta} + \frac{k}{r_1^2} \cdot \frac{1 - \mu}{2} \cdot \left(1 - \frac{r_1}{r_2}\right) \cdot (\gamma_{f\theta} - r_1 \cdot \chi_{f\theta}) \quad (5.17b)$$

$$N_{\theta f} = D \cdot \frac{1 - \mu}{2} \cdot \gamma_{\theta f} + \frac{k}{r_2^2} \cdot \frac{1 - \mu}{2} \cdot \left(1 - \frac{r_2}{r_1}\right) \cdot (\gamma_{\theta f} - r_2 \cdot \chi_{\theta f}) \quad (5.17b)$$

$$M_f = -k \cdot [\chi_f + \mu \cdot \chi_\theta - \frac{1}{r_1} \cdot \left(1 - \frac{r_1}{r_2}\right) \cdot \epsilon_f] \quad (5.17c)$$

$$M_\theta = -k \cdot [\chi_\theta + \mu \cdot \chi_f - \frac{1}{r_2} \cdot \left(1 - \frac{r_2}{r_1}\right) \cdot \epsilon_\theta] \quad (5.17c)$$

$$M_{f\theta} = -k \cdot (1 - \mu) \cdot \left(\chi_{f\theta} - \frac{\gamma_{f\theta}}{2 \cdot r_1}\right) \quad (5.17d)$$

$$M_{\theta f} = -k \cdot (1 - \mu) \cdot \left(\chi_{\theta f} - \frac{\gamma_{\theta f}}{2 \cdot r_2}\right) \quad (5.17d)$$

In ecuatiile (5.17) s-au introdus notatiile:

$$D = \frac{E \cdot t}{1 - \mu^2} \quad - \text{rigiditatea axiala a placii} \quad (5.18a)$$

$$k = \frac{E \cdot t^3}{12 \cdot (1 - \mu^2)} \quad - \text{rigiditatea la incovoiere} \quad (5.18b)$$

Pentru suprafetele sferice, la care  $r_1=r_2=R$ , rezulta relatiile:

$$N_f = D \cdot (\epsilon_f + \mu \cdot \epsilon_\theta) \quad (5.19a)$$

$$N_\theta = D \cdot (\epsilon_\theta + \mu \cdot \epsilon_f) \quad (5.19a)$$

$$N_{f\theta} = N_{\theta f} = D \cdot \frac{1 - \mu}{2} \cdot \gamma_{f\theta} \quad (5.19b)$$

$$M_f = -k \cdot (\chi_f + \mu \cdot \chi_\theta) \quad (5.19c)$$

$$M_\theta = -k \cdot (\chi_\theta + \mu \cdot \chi_f) \quad (5.19c)$$

$$M_{f\theta} = M_{\theta f} = -k \cdot (1 - \mu) \cdot \chi_{f\theta} \quad (5.19d)$$

In relatiile (5.17d), ultimul termen din paranteza s-a neglijat, fiind mult mai mic decit primul termen.

Ecuatiile fizice au dat 6 relatii fara sa introduca nici o necunoscuta noua.

### 5.3.7 Sinteza celor trei aspecte

Facind bilantul necunoscutelor introduse de ecuatiile date in paragrafele (5.3.4), (5.3.5), (5.3.6) si numarul ecuatiilor obtinute, rezulta:

	Numar necunoscute	Numar ecuatii
- ecuatiile de echilibru	8	5
- ecuatiile de deformatii	11	6
- ecuatiile fizice	--	6
<b>Total:</b>	<b>19</b>	<b>19</b>

Prin urmare, numarul necunoscutelor este egal cu cel al ecuatiilor si problema devine rezolvabila.

Totusi, pentru ca in multe cazuri rezolvarea este foarte dificila, se introduc ipoteze simplificatoare suplimentare, care reduc gradul de dificultate al rezolvarii. Astfel de simplificari vor fi discutate in cele ce urmeaza.

## 5.4 TEORIA DE MEMBRANA

### 5.4.1 Ipotezele teoriei de membrana.

O simplificare a ecuatiilor de mai sus se bazeaza pe introducerea unei ipoteze suplimentare. Din cauza grosimii mici de placa, momentele de incovoiere si de rasucire sint mici si pot fi neglijate din ecuatiile de echilibru si, ca o consecinta, fortele taietoare sint, de asemenea, nule.

Conditiiile in care aceasta simplificare este valabila sint (dupa [7][56][57]) :

- suprafata mediana are o curbura continua,
- grosimea placii curbe este constanta sau variaza continuu,
- incarcarea este repartizata fara discontinuitati,
- incarcările pe margini si reactiunile sint tangente la suprafata mediana.

### 5.4.2 Ecuatiile teoriei de membrana.

In teoria de membrana se stabilesc relatiile:

$$M_f = M_\theta = M_{f\theta} = M_{\theta f} = 0 \quad (5.20)$$

$$Q_f = Q_\theta = 0 \quad (5.20)$$

Introducind relatiile (5.20) in ecuatiile de echilibru (5.12) rezulta ecuatiile diferentiale:

$$\frac{\partial N_\theta}{\partial \theta} + \frac{\partial(N_{f\theta} \cdot \sin f)}{\partial f} + N_{\theta f} \cdot \cos f + X \cdot R \cdot \sin f = 0 \quad (5.21a)$$

$$\frac{\partial N_{\theta f}}{\partial \theta} + \frac{\partial(N_f \cdot \sin f)}{\partial f} - N_\theta \cdot \cos f + Y \cdot R \cdot \sin f = 0 \quad (5.21b)$$

$$N_f + N_\theta + Z \cdot R = 0 \quad (5.21c)$$

Se constata ca ecuatiile (5.21) contin 3 necunoscute:  $N_f$ ,  $N_\theta$  si  $N_{f\theta} = N_{\theta f}$ . Numarul de ecuatii fiind de 3, rezulta ca in teoria de membrana starea de eforturi este static determinata. Astfel, eforturile din sfera pot fi determinate direct din relatiile (5.21), fara sa se mai apeleze la ecuatiile de deformatii si la ecuatiile fizice.

Un caz particular al starii de eforturi este cel al incarcarii axial simetrice, caz in care:



$X = 0$  ,  $N_{\varphi 0} = N_{\varphi \varphi} = 0$  (5.22)  
 și toate derivatele parțiale în raport cu  $\varphi$  sunt nule. În acest caz, ecuațiile (5.21) devin:

$$\frac{\partial(N_{\varphi} \cdot \sin \varphi)}{\partial \varphi} - N_0 \cdot \cos \varphi + Y \cdot R \cdot \sin \varphi = 0 \quad (5.23a)$$

$$N_{\varphi} + N_0 + Z \cdot R = 0 \quad (5.23b)$$

Se constată că ecuația (5.21a) a devenit, în acest caz de încărcare, o identitate.

Eforturile rezultă din integrarea ecuațiilor (5.23). Dacă se introduce (5.23b) în (5.23a) rezultă:

$$\frac{\partial(N_{\varphi} \cdot \sin^2 \varphi)}{\partial \varphi} + R \cdot (Y \cdot \sin \varphi + Z \cdot \cos \varphi) \cdot \sin \varphi = 0 \quad (5.24)$$

și prin integrare:

$$N_{\varphi} = - \frac{R}{\sin^2 \varphi} \cdot \left[ \int (Y \cdot \sin \varphi + Z \cdot \cos \varphi) \cdot \sin \varphi \cdot d\varphi + C \right] \quad (5.25)$$

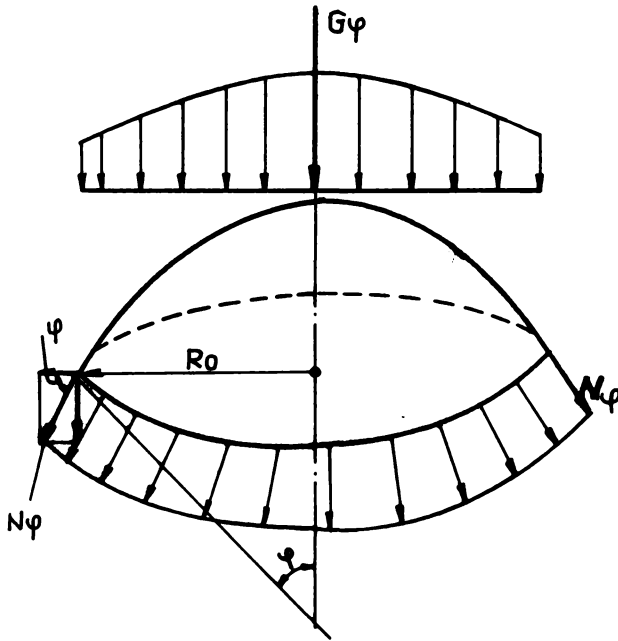


FIG. 5.8  
 Condiție de echilibru global

unde  $C$  este o constanta de integrare care se va determina din conditia de rezemare. Cunoscind valoarea lui  $N_{\varphi}$ , din ecuatia (5.23b) rezulta celalalt efort axial:

$$N_{\theta} = -Z \cdot R - N_{\varphi} \quad (5.26)$$

Pentru cazul incarcarii axial simetrice, efortul axial  $N_{\varphi}$  poate fi determinat si direct din ecuatia de echilibru global pe vertical (fig.5.8):

$$N_{\varphi} \cdot 2 \cdot \pi \cdot R_0 \cdot \sin \varphi + G_{\varphi} = 0 \quad (5.27)$$

unde  $G_{\varphi}$  este rezultanta incarcarilor aplicate pe placa curba pina la sectiunea caracterizata de unghiul  $\varphi$ . Rezulta astfel din relatia (5.27):

$$N_{\varphi} = - \frac{G_{\varphi}}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot \sin^2 \varphi} \quad (5.28)$$

### 5.4.3 Calculul deplasarilor in teoria de membrana.

Din ecuatiile (5.19a,b) rezulta:

$$\epsilon_{\varphi} = \frac{1}{E \cdot t} \cdot (N_{\varphi} - \mu \cdot N_{\theta}) \quad (5.29a)$$

$$\epsilon_{\theta} = \frac{1}{E \cdot t} \cdot (N_{\theta} - \mu \cdot N_{\varphi}) \quad (5.29b)$$

$$\gamma_{\varphi\theta} = \frac{2 \cdot (1 + \mu)}{E \cdot t} \cdot N_{\varphi\theta} \quad (5.29c)$$

Din ecuatiile (5.14a,b) se obtin ecuatiile diferentiale:

$$\frac{\delta v}{\delta \varphi} - w = R \cdot \epsilon_{\varphi} \quad (5.30a)$$

$$\frac{1}{\sin \varphi} \cdot \frac{\partial u}{\partial \theta} + v \cdot \operatorname{ctg} \varphi - w = R \cdot \epsilon_{\theta} \quad (5.30b)$$

$$\frac{\partial u}{\delta \varphi} - u \cdot \operatorname{ctg} \varphi + \frac{1}{\sin \varphi} \cdot \frac{\delta v}{\delta \theta} = R \cdot \gamma_{\varphi\theta} \quad (5.30c)$$

Deformatiile specifice  $\epsilon_{\varphi}$ ,  $\epsilon_{\theta}$  si  $\gamma_{\varphi\theta}$  din (5.30) fiind cunoscute din relatiile (5.29), rezulta ca sistemul de trei ecuatii contine trei necunoscute  $u$ ,  $v$ ,  $w$  si astfel deplasarile pot fi determinate direct din eforturile sferei.

Pentru cazul incarcarii axial simetrice, sistemul (5.30)

devine:

$$\frac{dv}{d\varphi} - w = R \cdot \varepsilon_{\varphi} \quad (5.31a)$$

$$v \cdot \text{ctg}\varphi - w = R \cdot \varepsilon_0 \quad (5.31b)$$

care este un sistem de doua ecuatii diferentiale cu doua necunoscute.

Eliminind pe  $w$  din sistemul (5.31) se obtine:

$$\frac{dv}{d\varphi} - v \cdot \text{ctg}\varphi = R \cdot (\varepsilon_{\varphi} - \varepsilon_0) \quad (5.32)$$

Solutia ecuatiei omogene

$$\frac{dv}{d\varphi} - v \cdot \text{ctg}\varphi = 0 \quad (5.33)$$

este:

$$v = c \cdot \sin\varphi \quad (5.34)$$

iar solutia ecuatiei cu partea dreapta, care poate fi transformata in ecuatie:

$$\frac{d}{d\varphi} \left( \frac{v}{\sin\varphi} \right) = \frac{R}{\sin\varphi} \cdot (\varepsilon_{\varphi} - \varepsilon_0) \quad (5.35)$$

este:

$$v = R \cdot \sin\varphi \cdot \int \frac{\varepsilon_{\varphi} - \varepsilon_0}{\sin\varphi} \cdot d\varphi \quad (5.36)$$

Solutia generala a ecuatiei (5.32) este:

$$v = c \cdot \sin\varphi + R \cdot \sin\varphi \cdot \int \frac{\varepsilon_{\varphi} - \varepsilon_0}{\sin\varphi} \cdot d\varphi \quad (5.37)$$

Deplasarea  $w$  se determina din ecuatie (5.31b):

$$w = c \cdot \cos\varphi + R \cdot \cos\varphi \cdot \int \frac{\varepsilon_{\varphi} - \varepsilon_0}{\sin\varphi} \cdot d\varphi - R \cdot \varepsilon_0 \quad (5.38)$$

Rotirea tangentei la cercul meridian  $\chi_{\varphi}$  rezulta din ecuatie (5.14c):

$$\chi_{\varphi} = \frac{1}{R} \cdot \left( v + \frac{dw}{d\varphi} \right) = (\varepsilon_{\varphi} - \varepsilon_0) \cdot \text{ctg}\varphi - \frac{d\varepsilon_0}{d\varphi}$$

Tinind seama de anexa A01, rezulta:

$$\chi_{\varphi} = - \frac{R}{E \cdot t} \cdot \left[ (1 + \mu) \cdot \gamma - \frac{dz}{d\varphi} \right] \quad (5.39)$$

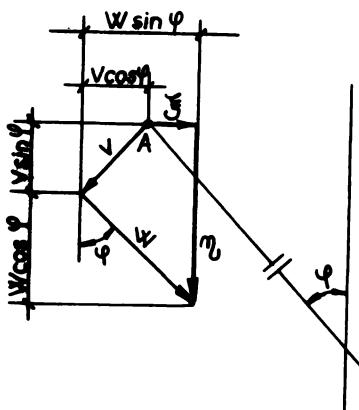


FIG. 5.9  
Deplasările orizontale și verticale  $\xi$  și  $\eta$

În calculele care urmează se vor folosi și deplasările orizontale  $\xi$  și verticale  $\eta$ , care se calculează din relațiile de mai jos (v. fig. 5.9):

$$\xi = v \cdot \cos \varphi - w \cdot \sin \varphi \quad (5.40a)$$

$$\eta = v \cdot \sin \varphi + w \cdot \cos \varphi \quad (5.40b)$$

Introducând relațiile (5.37) și (5.38) în (5.40), rezultă:

$$\xi = R \cdot \sin \varphi \cdot \epsilon_{\varphi} \quad (5.41a)$$

$$\eta = c - R \cdot \cos \varphi \cdot \epsilon_{\varphi} + R \cdot \int \frac{\epsilon_{\varphi} - \epsilon_0}{\sin \varphi} \cdot d\varphi \quad (5.41b)$$

#### 5.4.4 Sistemul static în cadrul teoriei de membrană.

Așa cum s-a arătat în paragraful 5.1, sfera este împărțită în trei porțiuni, separate de inele structurale de susținere. Ținând seama de ipotezele teoriei de membrană, care presupun că reacțiunile sunt tangente la suprafața mediană, sfera va fi împărțită în trei părți, așa cum rezultă din figura 5.10.

Analizând sistemul static al celor trei porțiuni, rezultă că porțiunile (1) și (3) sunt rezemate direct pe inele, sunt static determinate. În schimb, porțiunea de mijloc (2), care este fixată

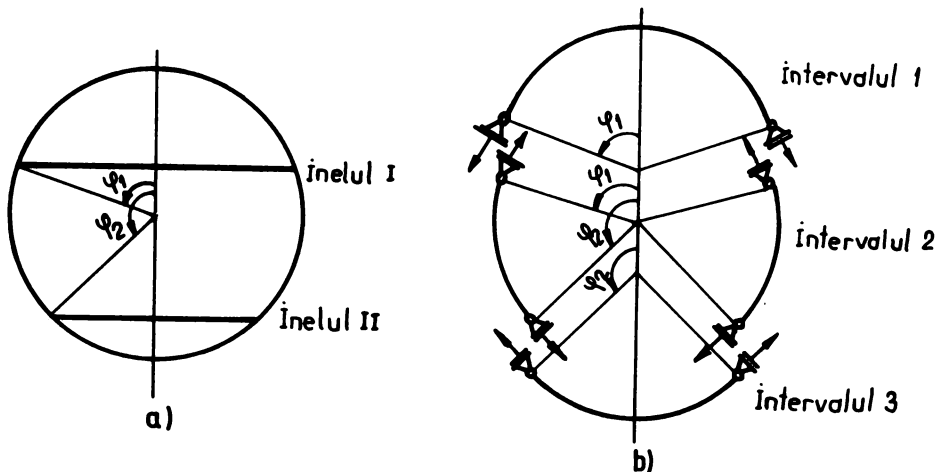


FIG. 5.10  
Condiții de rezemare în stadiul de membrană

la partea superioara in inelul I iar la partea inferioara in inelul II, este static nedeterminata, distanta între cele doua inele fiind fixa din cauza diagonalelor.

Rezulta ca eforturile din portiunile (1) si (3) vor fi determinate direct din ecuatiile de echilibru (5.21), iar pentru portiunea (2) va trebui sa se faca apel la ecuatiile de deformatii (5.30).

#### 5.4.5 Eforturile si deformatiile din greutatea proprie.

##### 5.4.5.1 Intervalul 1 ( $0 < \varphi \leq \varphi_1$ ):

Incarcarea din greutatea proprie este axial simetrica si poate fi folosita relatia (5.25) pentru calculul efortului axial  $N_\varphi$ . Tinind seama de relatiile (5.1), rezulta:

$$Y_g \cdot \sin \varphi + Z_g \cdot \cos \varphi = g \cdot (\sin^2 \varphi + \cos^2 \varphi) = g \quad (5.42)$$

Se obtine astfel:

$$N_\varphi = - \frac{R}{\sin^2 \varphi} \cdot \left( \int g \cdot \sin \varphi \cdot d\varphi + c \right) = - \frac{R}{\sin^2 \varphi} \cdot (-g \cdot \cos \varphi + c) \quad (5.43)$$

Constanta de integrare se determina din conditia ca pentru  $\varphi = 0$ , valoarea efortului axial  $N_\varphi$  sa fie finita, rezultind astfel:

$$c = g \quad (5.44)$$

si, prin urmare, din (5.43) si (5.23b) rezultind:

$$N_\varphi = -g \cdot R \cdot \frac{1 - \cos \varphi}{\sin^2 \varphi} = - \frac{g \cdot R}{1 + \cos \varphi} \quad (5.45a)$$

$$N_{\theta} = -g \cdot R \cdot \left( \cos \varphi - \frac{1 - \cos \varphi}{\sin^2 \varphi} \right) = -g \cdot R \cdot \left( \cos \varphi - \frac{1}{1 + \cos \varphi} \right) \quad (5.45b)$$

Se observa ca efortul axial  $N_{\varphi}$  este de compresiune si creste cu cresterea unghiului  $\varphi$ ; in schimb,  $N_{\theta}$  scade cu cresterea acestui unghi si devine nul pentru

$$\begin{aligned} \cos^2 \varphi_0 + \cos \varphi_0 - 1 &= 0 \\ \cos \varphi_0 &= \frac{-1 + \sqrt{5}}{2} = 0,6180 \Rightarrow \varphi_0 = 51,82^\circ \end{aligned} \quad (5.46)$$

Pentru unghiuri  $\varphi > \varphi_0$ , efortul axial  $N_{\theta}$  devine de intindere. Eforturile axiale  $N_{\varphi}$  si  $N_{\theta}$  sint calculate in tabelul 5.1.

**Tabelul 5.1. EFORTURILE AXIALE  $N_{\varphi}$  SI  $N_{\theta}$  DIN GREUTATEA PROPRIE PE INTERVALUL 1 AL SFEREI.**

$\varphi^\circ$	$N_{\varphi}/gR$	$N_{\theta}/gR$
0°	-0,5000	-0,5000
15°	-0,5087	-0,4572
30°	-0,5359	-0,3301
45°	-0,5858	-0,1213
60°	-0,6667	+0,1667
75°	-0,7944	+0,5356

Deplasarile portiunii (1) se determina din relatiile (5.37) si (5.38), in care  $\epsilon_{\varphi}$  si  $\epsilon_{\theta}$  sint date de (5.29a,b). Rezulta:

$$\epsilon_{\varphi} - \epsilon_{\theta} = \frac{1+\mu}{E \cdot t} \cdot (N_{\varphi} - N_{\theta}) = -(1+\mu) \cdot \frac{g \cdot R}{E \cdot t} \cdot \left( 2 \cdot \frac{1 - \cos \varphi}{\sin^2 \varphi} - \cos \varphi \right) \quad (5.47)$$

care, introdusa in relatia (5.37), genereaza:

$$v = C \cdot \sin \varphi - (1+\mu) \cdot \frac{g \cdot R^2}{E \cdot t} \cdot \sin \varphi \cdot \int \left( 2 \cdot \frac{1 - \cos \varphi}{\sin^3 \varphi} - \operatorname{ctg} \varphi \right) \cdot d\varphi \quad (5.48)$$

Conform anexei A1.1, integrala are valoarea

$$I = \frac{1}{1 + \cos \varphi} - \ln(1 + \cos \varphi) \quad (5.49)$$

si, prin urmare:

$$v = C \cdot \sin \varphi - (1+\mu) \cdot \frac{g \cdot R^2}{E \cdot t} \cdot \sin \varphi \cdot \left[ \frac{1}{1 + \cos \varphi} - \ln(1 + \cos \varphi) \right] \quad (5.50)$$

Din relatia (5.38) rezulta:

$$\begin{aligned} w = C \cdot \cos \varphi - (1+\mu) \cdot \frac{g \cdot R^2}{E \cdot t} \cdot \cos \varphi \cdot \left\{ \left( 2 \cdot \frac{1 - \cos \varphi}{\sin^3 \varphi} - \frac{\cos \varphi}{\sin \varphi} \right) \cdot d\varphi + \right. \\ \left. + \frac{g \cdot R^2}{E \cdot t} \cdot \left( \cos \varphi - \frac{1+\mu}{1 + \cos \varphi} \right) \right\} \end{aligned} \quad (5.51)$$

Introducind integrala (5.49) rezulta:

$$w = C \cdot \cos \varphi - \frac{g \cdot R^2}{E \cdot t} \cdot \{1 + \mu \cdot \cos \varphi \cdot [1 + (1 + \mu) \cdot \ln(1 + \cos \varphi)]\} \quad (5.52)$$

(5.40) si (5.41): Deplasarile horizontale si verticale  $\xi$  si  $\zeta$  rezulta din

$$\xi = - \frac{g \cdot R^2}{E \cdot t} \cdot \sin \varphi \cdot \left( \cos \varphi - \frac{1 + \mu}{1 + \cos \varphi} \right) \quad (5.53a)$$

$$\zeta = C - \frac{g \cdot R^2}{E \cdot t} \cdot [1 + \mu \cdot \cos^2 \varphi - (1 + \mu) \cdot \ln(1 + \cos \varphi)] \quad (5.53b)$$

Constanta C se determina din conditia ca pentru  $\varphi = \varphi_1$ ,  $v = 0$ . Rezulta din relatia (5.50) conditia:

$$C \cdot \sin \varphi_1 - (1 + \mu) \cdot \frac{g \cdot R^2}{E \cdot t} \cdot \sin \varphi_1 \cdot \left[ \frac{1}{1 + \cos \varphi_1} - \ln(1 + \cos \varphi_1) \right] = 0 \quad (5.54)$$

de unde:

$$C = (1 + \mu) \cdot \frac{g \cdot R^2}{E \cdot t} \cdot \left[ \frac{1}{1 + \cos \varphi_1} - \ln(1 + \cos \varphi_1) \right] = (1 + \mu) \cdot \frac{g \cdot R^2}{E \cdot t} \cdot \Phi_1 \quad (5.55a)$$

$$\text{unde: } \Phi_1 = \frac{1}{1 + \cos \varphi_1} - \ln(1 + \cos \varphi_1) \quad (5.55b)$$

Astfel, deplasarile sint:

$$v = (1 + \mu) \cdot \frac{g \cdot R^2}{E \cdot t} \cdot \sin \varphi \cdot \left[ \Phi_1 - \frac{1}{1 + \cos \varphi} + \ln(1 + \cos \varphi) \right] \quad (5.56a)$$

$$w = \frac{g \cdot R^2}{E \cdot t} \cdot \{ (1 + \mu) \cdot \cos \varphi \cdot \Phi_1 - (1 + \mu) + \cos \varphi \cdot [1 + (1 + \mu) \cdot \ln(1 + \cos \varphi)] \} \quad (5.56b)$$

Deplasarea  $\xi$  nu depinde de constanta C si este data de (5.53a)

$$\zeta = \frac{g \cdot R^2}{E \cdot t} \cdot [ (1 + \mu) \cdot \Phi_1 - (1 + \mu) + \cos^2 \varphi + (1 + \mu) \cdot \ln(1 + \cos \varphi) ] \quad (5.57)$$

Rotirea tangentei la cercul meridian rezulta din (5.39) si (5.1):

$$\chi_\varphi = - \frac{R}{E \cdot t} \cdot [ (1 + \mu) \cdot g \cdot \sin \varphi + g \cdot \cos \varphi ] = -(2 + \mu) \cdot \frac{g \cdot R}{E \cdot t} \cdot \sin \varphi \quad (5.58)$$

Deplasarile  $v, w, \xi$  si  $\zeta$  sint prezentate in tabelul 5.2, calculate cu  $\mu = 0,3$ .

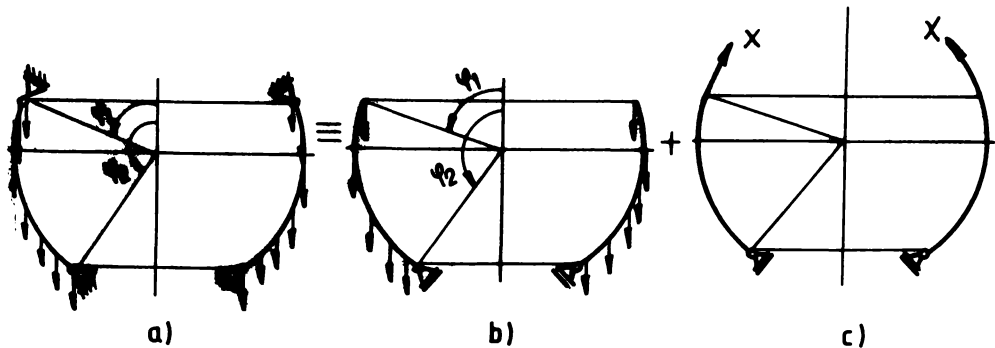
Tabelul 5.2. DEPLASARILE  $v, w, \xi, \eta$  PE INTERVALUL 1 AL SFEREI.

$\varphi^\circ$	$\frac{v/g \cdot R^2}{E \cdot t}$	$\frac{w/g \cdot R^2}{E \cdot t}$	$\frac{\xi/g \cdot R^2}{E \cdot t}$	$\frac{\eta/g \cdot R^2}{E \cdot t}$
0°	0,0000	+1,3346	±0,0000	+1,3346
15°	0,2461	+1,2232	-0,0789	+1,2452
30°	0,4239	+0,9035	-0,0846	+0,9944
45°	0,4718	+0,4174	+0,0385	+0,6287
60°	0,3411	-0,1697	+0,3175	+0,2106
75°	0,0000	-0,7739	+0,7475	-0,2003

5.4.5.2 Intervalul 2 ( $\varphi_1 < \varphi \leq \varphi_2$ )

Deoarece cele doua margini ale intervalului (2) sint fixe, structura este static nedeterminata. Problema se rezolva transformind structura intr-una static determinata, eliberand rezemarea de la partea superioara si aplicind in locul ei o forta tangenta la suprafata - X - aplicata uniform pe tot conturul.

Necunoscuta X se va determina din conditia ca deplasarea tangenta la suprafata in dreptul rezemarii superioare sa fie nula. Prin urmare, calculul trebuie sa cuprinda rezolvarea sistemului de baza static determinat si determinarea eforturilor si deplasarilor dintr-o forta unitara X=1.



**FIG. 5.11**  
**Sistemul de bază pentru intervalul 2 static nedeterminat**



al Sistemul de baza.

Eforturile si deplasările sistemului de baza se notează cu indicii ( $\circ$ )° (fig.5.11b).

Pentru calculul efortului  $N_{\varphi}^{\circ}$  se folosesc relațiile (5.42) si (5.43). Constanta de integrare C se va determina din condiția ca pentru  $\varphi = \varphi_1$ ,  $N_{\varphi}^{\circ} = 0$ . Rezulta:

$$C = g \cdot \cos \varphi_1 \quad (5.59)$$

si, prin urmare, din (5.43) si (5.23b) rezulta:

$$N_{\varphi}^{\circ} = -g \cdot R \cdot \frac{\cos \varphi_1 - \cos \varphi}{\sin^2 \varphi} \quad (5.60a)$$

$$N_{\theta}^{\circ} = -g \cdot R \cdot \left( \cos \varphi - \frac{\cos \varphi_1 - \cos \varphi}{\sin^2 \varphi} \right) \quad (5.60b)$$

Eforturile axiale  $N_{\varphi}^{\circ}$  si  $N_{\theta}^{\circ}$  sint date in tabelul 5.3.

Tabelul 5.3. EFORTURILE AXIALE  $N_{\varphi}^{\circ}$  SI  $N_{\theta}^{\circ}$  DIN GREUTATEA PROPRIE PE INTERVALUL 2 AL SFEREI.

$\varphi^{\circ}$	$N_{\varphi}^{\circ}/g \cdot R$	$N_{\theta}^{\circ}/g \cdot R$
75°	0,0000	-0,2588
90°	-0,2588	+0,2588
105°	-0,5548	+0,8136
120°	-1,0117	+1,5117
135°	-1,9318	+2,6389

Deplasările porțiunii (2) se determina similar ca cele pentru porțiunea (1).

$$\varepsilon_{\varphi}^{\circ} - \varepsilon_{\theta}^{\circ} = \frac{1+\mu}{E \cdot t} \cdot (N_{\varphi}^{\circ} - N_{\theta}^{\circ}) = (1+\mu) \cdot \frac{g \cdot R}{E \cdot t} \cdot \left( 2 \cdot \frac{\cos \varphi_1 - \cos \varphi}{\sin^2 \varphi} - \cos \varphi \right) \quad (5.61)$$

Rezulta astfel:

$$v^{\circ} = C \cdot \sin \varphi - (1+\mu) \cdot \frac{g \cdot R^2}{E \cdot t} \cdot \sin \varphi \int \left( 2 \cdot \frac{\cos \varphi_1 - \cos \varphi}{\sin^3 \varphi} - \operatorname{ctg} \varphi \right) \cdot d\varphi \quad (5.62)$$

Conform anexei A1,2, integrala I are valoarea

$$I = \cos \varphi_1 \cdot \ln \left( \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} \right) + \ln(\sin \varphi) + \frac{1 - \cos \varphi_1 \cdot \cos \varphi}{\sin^2 \varphi} \quad (5.63)$$

Introducind (5.63) in (5.62) se obtine:

$$v^{\circ} = C \cdot \sin \varphi - (1+\mu) \cdot \frac{g \cdot R^2}{E \cdot t} \cdot \sin \varphi \cdot \left( \frac{1 - \cos \varphi_1 \cdot \cos \varphi}{\sin^2 \varphi} + \cos \varphi_1 \cdot \ln \left( \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} \right) - \ln(\sin \varphi) \right) \quad (5.64)$$

Din relatia (5.38) rezulta:

$$w^{\circ} = C \cdot \cos \varphi - (1+\mu) \cdot \frac{g \cdot R^2}{E \cdot t} \cdot \cos \varphi \cdot \left\{ 2 \cdot \frac{\cos \varphi_1 - \cos \varphi}{\sin^2 \varphi} - \frac{\cos \varphi}{\sin \varphi} \right\} d\varphi + \frac{g \cdot R^2}{E \cdot t} \cdot \left[ \cos \varphi - (1+\mu) \cdot \frac{\cos \varphi_1 - \cos \varphi}{\sin^2 \varphi} \right] \quad (5.65)$$

Introducind integrala (5.63) rezulta:

$$w^{\circ} = C \cdot \cos \varphi - \frac{g \cdot R^2}{E \cdot t} \cdot \left\{ (1+\mu) \cdot \cos \varphi_1 - \cos \varphi \cdot \left[ 1 - (1+\mu) \cdot \left( \cos \varphi_1 \cdot \ln \left( \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} \right) - \ln(\sin \varphi) \right) \right] \right\} \quad (5.66)$$

Deplasarile orizontale si verticale  $\xi^{\circ}$  si  $\eta^{\circ}$  rezulta din (5.40) si (5.41):

$$\xi^{\circ} = - \frac{g \cdot R^2}{E \cdot t} \cdot \sin \varphi \cdot \left[ \cos \varphi - (1+\mu) \cdot \frac{\cos \varphi_1 - \cos \varphi}{\sin^2 \varphi} \right] \quad (5.67a)$$

$$\eta^{\circ} = C - \frac{g \cdot R^2}{E \cdot t} \cdot \left[ 1 + \mu - \cos^2 \varphi + (1+\mu) \cdot \left( \cos \varphi_1 \cdot \ln \left( \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} \right) - \ln(\sin \varphi) \right) \right] \quad (5.67b)$$

Constanta C de integrare se determina din conditia ca pentru  $\varphi = \varphi_2$ ,  $v^{\circ} = 0$ . Rezulta din (5.64)

$$C \cdot \sin \varphi_2 - (1+\mu) \cdot \frac{g \cdot R^2}{E \cdot t} \cdot \sin \varphi_2 \cdot \left( \frac{1 - \cos \varphi_1 \cdot \cos \varphi_2}{\sin^2 \varphi_2} + \cos \varphi_1 \cdot \ln \left( \operatorname{tg} \frac{\varphi_2}{2} \right) - \ln(\sin \varphi_2) \right) = 0 \quad (5.68)$$

si astfel:

$$C = (1+\mu) \cdot \frac{g \cdot R^2}{E \cdot t} \cdot \left( \frac{1 - \cos \varphi_1 \cdot \cos \varphi_2}{\sin^2 \varphi_2} + \cos \varphi_1 \cdot \ln \left( \operatorname{tg} \frac{\varphi_2}{2} \right) - \ln(\sin \varphi_2) \right) = (1+\mu) \cdot \frac{g \cdot R^2}{E \cdot t} \cdot \xi_2 \quad (5.69)$$

unde

$$\xi_2 = \frac{1 - \cos \varphi_1 \cdot \cos \varphi_2}{\sin^2 \varphi_2} + \cos \varphi_1 \cdot \ln \left( \operatorname{tg} \frac{\varphi_2}{2} \right) - \ln(\sin \varphi_2) \quad (5.70)$$

Se obtin astfel deplasările:

$$v^{\circ} = (1+\mu) \cdot \frac{g \cdot R^2}{E \cdot t} \cdot \sin \varphi \cdot \left[ \frac{1 - \cos \varphi_1 \cdot \cos \varphi}{\sin^2 \varphi} + \cos \varphi_1 \cdot \ln \left( \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} \right) - \ln(\sin \varphi) \right] \quad (5.71a)$$

$$w^{\circ} = \frac{g \cdot R^2}{E \cdot t} \cdot \left\{ (1+\mu) \cdot \frac{1}{2} \cdot \cos \varphi - [(1+\mu) \cos \varphi_1 - \cos \varphi \cdot [1 - (1+\mu) \cdot (\cos \varphi_1 \cdot \ln \left( \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} \right) - \ln(\sin \varphi)])] \right\} \quad (5.71b)$$

Deplasarea  $\varphi^{\circ}$  nu depinde de constanta C si este data de relatia (5.67a).

$$\varphi^{\circ} = \frac{g \cdot R^2}{E \cdot t} \cdot \left\{ (1+\mu) \cdot \frac{1}{2} - [1 + \mu - \cos^2 \varphi + (1+\mu) \cdot (\cos \varphi_1 \cdot \ln \left( \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} \right) - \ln(\sin \varphi))] \right\} \quad (5.72)$$

Rotirea tangentei la cercul meridian  $\chi_{\varphi}^{\circ}$  rezulta din (5.58). Deplasarile  $v^{\circ}$ ,  $w^{\circ}$ ,  $\varphi^{\circ}$  si  $\varphi^{\circ}$  si  $\varphi^{\circ}$  sunt prezentate in tabelul 5.4, calculate cu  $\mu=0,3$ .

**Tabelul 5.4. DEPLASARILE  $v^{\circ}, w^{\circ}, \varphi^{\circ}$  SI  $\varphi^{\circ}$  DIN GREUTATEA PROPRIE PE INTERVALUL 2.**

$\varphi^{\circ}$	$v^{\circ} / \frac{g \cdot R^2}{E \cdot t}$	$w^{\circ} / \frac{g \cdot R^2}{E \cdot t}$	$\varphi^{\circ} / \frac{g \cdot R^2}{E \cdot t}$	$\varphi^{\circ} / \frac{g \cdot R^2}{E \cdot t}$
75°	+2,4793	+0,9232	-0,2500	+2,6338
90°	+2,5228	-0,3364	+0,3364	+2,5228
105°	+2,1269	-1,5500	+0,9466	+2,4556
120°	+1,2933	-2,5619	+1,5721	+2,4010
135°	0,0000	-3,2184	+2,2758	+2,2757

**b] Eforturi si deplasari din  $X=1$  (v. fig. 5.11c).**

Eforturile si deplasarile rezultate din X vor fi notate cu indicele  $( )^X$ , iar cele din  $X=1$  cu  $( )^{X=1}$ .

Efortul axial  $N_{\varphi}^X$  va rezulta din conditia de echilibru pe verticala (5.28) (v. fig. 5.12).

$$N_{\varphi}^X = \frac{X \cdot 2 \cdot \pi \cdot R \cdot \sin^2 \varphi_1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot \sin^2 \varphi} = X \cdot \frac{\sin^2 \varphi_1}{\sin^2 \varphi} \quad (5.73)$$

Din relatia (5.23b) rezulta

$$N_{\varphi}^X + N_{\theta}^X = 0 \quad (5.74)$$

de unde

$$N_{\theta}^X = -N_{\varphi}^X = -X \cdot \frac{\sin^2 \varphi_1}{\sin^2 \varphi} \quad (5.75)$$

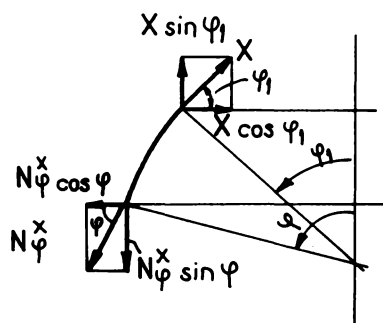


FIG. 5.12  
Condiție de echilibru global

Variația eforturilor axiale  $N_{\varphi}^X$  și  $N_{\theta}^X$  este dată în tabelul 5.5.

Tabelul 5.5. EFORTURILE AXIALE  $N_{\varphi}^X$  ȘI  $N_{\theta}^X$  PE INTERVALUL 2.

$\varphi^\circ$	$N_{\varphi}^X/X$	$N_{\theta}^X/X$
75°	1,0000	-1,0000
90°	0,9330	-0,9330
105°	1,0000	-1,0000
120°	1,2440	-1,2440
135°	1,8660	-1,8660

Eforturile din  $X=1$ ,  $N_{\varphi}^{X=1}$  și  $N_{\theta}^{X=1}$ , rezulta din relațiile (5.73) și (5.75), punind  $X=1$ .

Deplasările se determina din relațiile (5.37) și (5.38), în care

$$\epsilon_{\varphi}^X - \epsilon_{\theta}^X = \frac{1+\mu}{E \cdot t} \cdot (N_{\varphi}^X - N_{\theta}^X) = 2 \cdot \frac{1+\mu}{E \cdot t} \cdot N_{\varphi}^X = 2 \cdot \frac{1+\mu}{E \cdot t} \cdot X \cdot \frac{\sin^2 \varphi_1}{\sin^2 \varphi} \quad (5.76)$$

Rezulta:

$$v^X = C \cdot \sin \varphi + 2 \cdot (1+\mu) \cdot \frac{X \cdot R}{E \cdot t} \cdot \sin^2 \varphi_1 \cdot \sin \varphi \cdot \int \frac{1}{\sin^3 \varphi} d\varphi \quad (5.77)$$

Ținând seama de anexa A1.1 în care s-a calculat integrala din

relatia de mai sus:

$$I = -\frac{1}{2} \cdot \ln\left(\operatorname{tg}\frac{\varphi}{2}\right) - \frac{1}{2} \cdot \frac{\cos\varphi}{\sin^2\varphi} \quad (5.78)$$

se obtine:

$$v^x = C \cdot \sin\varphi + (1+\mu) \cdot \frac{X \cdot R}{E \cdot t} \cdot \sin^2\varphi_1 \cdot \sin\varphi \cdot \left( \ln\left(\operatorname{tg}\frac{\varphi}{2}\right) - \frac{\cos\varphi}{\sin^2\varphi} \right) \quad (5.79)$$

Deplasarea  $w^x$  rezulta din (5.38)

$$w^x = C \cdot \cos\varphi + 2 \cdot (1+\mu) \cdot \frac{X \cdot R}{E \cdot t} \cdot \sin^2\varphi_1 \cdot \cos\varphi \cdot \left[ \int \frac{1}{\sin^3\varphi} d\varphi + (1+\mu) \cdot \frac{X \cdot R \cdot \sin^2\varphi_1}{E \cdot t \cdot \sin^2\varphi} \right]$$

$$= C \cdot \cos\varphi + (1+\mu) \cdot \frac{X \cdot R}{E \cdot t} \cdot \sin^2\varphi_1 \cdot \left( 1 + \cos\varphi \cdot \ln\left(\operatorname{tg}\frac{\varphi}{2}\right) \right) \quad (5.80)$$

Deplasarile orizontale si verticale  $\xi^x$  si  $\eta^x$  rezulta din (5.40) si (5.41):

$$\xi^x = -(1+\mu) \cdot \frac{X \cdot R}{E \cdot t} \cdot \sin^2\varphi_1 \cdot \frac{1}{\sin\varphi} \quad (5.81a)$$

$$\eta^x = C + (1+\mu) \cdot \frac{X \cdot R}{E \cdot t} \cdot \sin^2\varphi_1 \cdot \ln\left(\operatorname{tg}\frac{\varphi}{2}\right) \quad (5.81b)$$

Constanta de integrare C se determina din conditia ca pentru  $\varphi = \varphi_2$ , sa rezulte  $v^x = 0$ . Din (5.79) rezulta:

$$C \cdot \sin\varphi_2 + (1+\mu) \cdot \frac{X \cdot R}{E \cdot t} \cdot \sin^2\varphi_1 \cdot \sin\varphi_2 \cdot \left( \ln\left(\operatorname{tg}\frac{\varphi_2}{2}\right) - \frac{\cos\varphi_2}{\sin^2\varphi_2} \right) = 0 \quad (5.82)$$

$$C = -(1+\mu) \cdot \frac{X \cdot R}{E \cdot t} \cdot \sin^2\varphi_1 \cdot \left( \ln\left(\operatorname{tg}\left(\frac{\varphi_2}{2}\right)\right) - \frac{\cos\varphi_2}{\sin^2\varphi_2} \right) =$$

$$= -(1+\mu) \cdot \frac{X \cdot R}{E \cdot t} \cdot \sin^2\varphi_1 \cdot \bar{\varphi}_3 \quad (5.83)$$

unde

$$\bar{\varphi}_3 = \ln\left(\operatorname{tg}\left(\frac{\varphi_2}{2}\right)\right) - \frac{\cos\varphi_2}{\sin^2\varphi_2} \quad (5.84)$$

Rezulta astfel:

$$v^x = -(1+\mu) \cdot \frac{X \cdot R}{E \cdot t} \cdot \sin^2\varphi_1 \cdot \sin\varphi \cdot \left[ \bar{\varphi}_3 - \left( \ln\left(\operatorname{tg}\left(\frac{\varphi}{2}\right)\right) - \frac{\cos\varphi}{\sin^2\varphi} \right) \right] \quad (5.85a)$$

$$w^x = -(1+\mu) \cdot \frac{X \cdot R}{E \cdot t} \cdot \sin^2 \varphi_1 \cdot [\Phi_3 \cdot \cos \varphi - (1 + \cos \varphi \cdot \ln(\operatorname{tg}(\frac{\varphi}{2})))] \quad (5.85b)$$

Deplasarea orizontală  $\xi^x$  nu depinde de C și va fi calculată cu relația (5.81a). Deplasarea verticală  $\eta^x$  va fi:

$$\eta^x = -(1+\mu) \cdot \frac{X \cdot R}{E \cdot t} \cdot \sin^2 \varphi_1 \cdot (\Phi_3 - \ln(\operatorname{tg}(\frac{\varphi}{2}))) \quad (5.86)$$

Rotirea tangentei la cercul median  $\chi_{\varphi}^x$  este nula. Deplasările  $v^x, w^x, \xi^x$  și  $\eta^x$  sunt date în tabelul 5.6.

Tabelul 5.6. DEPLASARILE  $v^x, w^x, \xi^x$  SI  $\eta^x$  PE INTERVALUL 2.

$\varphi^\circ$	$v^x / \frac{X \cdot R}{E \cdot t}$	$w^x / \frac{X \cdot R}{E \cdot t}$	$\xi^x / \frac{X \cdot R}{E \cdot t}$	$\eta^x / \frac{X \cdot R}{E \cdot t}$
75°	-3,3247	+0,4091	-1,2557	-3,1056
90°	-2,7843	+1,2129	-1,2129	-2,7843
105°	-2,0542	+1,8504	-1,2557	-2,4631
120°	-1,1340	+2,2719	-1,4006	-2,1121
135°	0,0000	+2,4258	-1,7153	-1,7153

Deplasările pentru  $X=1, v^{x=1}, w^{x=1}, \xi^{x=1}$  și  $\eta^{x=1}$ , se determină din relațiile (5.85), (5.81a) și (5.86) punând  $X=1$ .

c) Eforturi și deplasări finale.

Necunoscuta X se determină din condiția că pentru  $\varphi = \varphi_1$ , deplasarea finală din g și X să fie nula. Rezultă:

$$v^0(\varphi_1) + X \cdot v^{x=1}(\varphi_1) = 0 \quad (5.87)$$

Înlocuind în (5.87) valorile (5.71a) și (5.85a), rezultă:

$$(1+\mu) \cdot \frac{g \cdot R^2}{E \cdot t} \cdot \sin \varphi_1 \left[ \Phi_2 - (1 + \cos \varphi_1 \cdot \ln(\operatorname{tg}(\frac{\varphi_1}{2})) - \ln(\sin \varphi_1)) \right] - (1+\mu) \cdot \frac{X \cdot R}{E \cdot t} \cdot \sin^3 \varphi_1 \cdot [\Phi_3 - (\ln(\operatorname{tg}(\frac{\varphi_1}{2})) - \frac{\cos \varphi_1}{\sin^2 \varphi_1})] = 0 \quad (5.88)$$

de unde rezultă:

$$X = g \cdot R \cdot \frac{\varphi_2 - (1 + \cos \varphi_1 \cdot \ln(\operatorname{tg}(\frac{\varphi_1}{2})) - \ln(\sin \varphi_1))}{\sin^2 \varphi_1 \cdot [\varphi_3 - (\ln(\operatorname{tg}(\frac{\varphi_1}{2})) - \frac{\cos \varphi_1}{\sin^2 \varphi_1})]} \quad (5.89)$$

Inlocuind relatia (5.89),  $\varphi_1 = 75^\circ$  si  $\varphi_2 = 135^\circ$ , rezulta  $X = 0,7457 \cdot g \cdot R$  (5.90)

Eforturile din intervalul 2 rezulta din relatiile

$$N_\varphi = N_\varphi^\circ + X \cdot N_\varphi^{x=1} \quad (5.91a)$$

$$N_\theta = N_\theta^\circ + X \cdot N_\theta^{x=1} \quad (5.91b)$$

Valorile finale ale eforturilor axiale sint date in tabelul 5.7.

Tabelul 5.7. VALORILE FINALE ALE EFORTURILOR AXIALE  $N_\varphi$  SI  $N_\theta$  DIN GREUTATEA PROPRIE, PE INTERVALUL 2.

$\varphi^\circ$	$N_\varphi/g \cdot R$	$N_\theta/g \cdot R$
75°	+0,7457	-1,0045
90°	+0,4369	-0,4369
105°	+0,1909	+0,0679
120°	-0,0840	+0,5840
135°	-0,5403	+1,2474

Tabelul 5.8. DEPLASARILE FINALE  $v, w, \varphi, \psi$  DIN GREUTATEA PROPRIE PE INTERVALUL 2.

$\varphi^\circ$	$v / \frac{g \cdot R^2}{E \cdot t}$	$w / \frac{g \cdot R^2}{E \cdot t}$	$\varphi / \frac{g \cdot R^2}{E \cdot t}$	$\psi / \frac{g \cdot R^2}{E \cdot t}$
75°	±0,0000	+1,2283	-1,1864	+0,3180
90°	+0,4465	+0,5681	-0,5681	+0,4465
105°	+0,5951	-0,1702	+0,0102	+0,6189
120°	+0,4477	-0,8677	+0,5277	+0,8215
135°	±0,0000	-1,4095	+0,9966	+0,9966

Se observa ca la partea superioara, eforturile  $N_\varphi$  sint de intindere, portiunea (2) fiind atrnata de inelul I. In schimb, in partea inferioara, eforturile  $N_\varphi$  sint de compresiune, sfera fiind rezemata pe inelul II. Pentru eforturile  $N_\theta$ , semnul eforturilor este contrar celui pentru  $N_\varphi$ .

Deplasarile finale rezulta din relatiile:

$$\begin{aligned}
 v &= v^0 + X \cdot v^{x=1} & (5.92a) \\
 w &= w^0 + X \cdot w^{x=1} & (5.92b) \\
 \xi &= \xi^0 + X \cdot \xi^{x=1} & (5.92c) \\
 \eta &= \eta^0 + X \cdot \eta^{x=1} & (5.92d) \\
 \chi_\varphi &= \chi_\varphi^0 & (5.92e)
 \end{aligned}$$

Valorile deplasărilor finale sînt date în tabelul 5.8.

### 5.4.5.3 Intervalul 3 ( $\varphi_2 < \varphi \leq \pi$ )

Intervalul (3) este static determinat și pot fi folosite relațiile din paragraful 5.4.5.1.

Efortul axial  $N_\varphi$  rezulta din (5.43), iar constanta de integrare C se determină din condiția că pentru  $\varphi=180^\circ$  efortul  $N_\varphi$  să aibă valoare finită. Rezulta, similar ca pentru intervalul (1).

$$C = -g$$

Eforturile axiale rezulta din (5.43) și (5.23b).

$$N_\varphi = \frac{g \cdot R}{1 - \cos \varphi} \quad (5.93a)$$

$$N_\theta = -g \cdot R \cdot \left( \cos \varphi + \frac{1}{1 - \cos \varphi} \right) \quad (5.93b)$$

Eforturile axiale  $N_\varphi$  și  $N_\theta$  sînt date în tabelul 5.9.

**Tabelul 5.9. EFORTURILE AXIALE  $N_\varphi$  ȘI  $N_\theta$  DIN GREUTATEA PROPRIE PE INTERVALUL 3.**

$\varphi^\circ$	$N_\varphi/g \cdot R$	$N_\theta/g \cdot R$
135°	0,5857	0,1214
150°	0,5359	0,3301
165°	0,5087	0,4572
180°	0,5000	0,5000

Deplasările pentru intervalul (3) se determină similar ca pentru intervalul (1).

$$\xi_\varphi - \xi_\theta = \frac{1+\mu}{E \cdot t} \cdot (N_\varphi - N_\theta) = (1+\mu) \cdot \frac{g \cdot R}{E \cdot t} \cdot \left( 2 \cdot \frac{1}{1 - \cos \varphi} + \cos \varphi \right) \quad (5.94)$$

din care se determină

$$v = C \cdot \sin \varphi + (1+\mu) \cdot \frac{g \cdot R^2}{E \cdot t} \cdot \sin \varphi \cdot \left[ 2 \cdot \frac{1 + \cos \varphi}{\sin \varphi} + \operatorname{ctg} \varphi \right] d\varphi \quad (5.95)$$

Integrala se calculează din anexa A1.3:

$$I = \ln(1 - \cos \varphi) - \frac{1}{1 - \cos \varphi} \quad (5.96)$$

Rezulta

$$v = C \cdot \sin \varphi - (1+\mu) \cdot \frac{g \cdot R^2}{E \cdot t} \cdot \sin \varphi \cdot \left[ \frac{1}{1 - \cos \varphi} \ln(1 - \cos \varphi) \right] \quad (5.97)$$



In mod similar se determina si w

$$w = C \cdot \cos \varphi + (1+\mu) \cdot \frac{g \cdot R^2}{E \cdot t} \cdot \cos \varphi \cdot \left\{ 2 \cdot \frac{1 + \cos \varphi}{\sin^3 \varphi} + \operatorname{ctg} \varphi \right\} d\varphi + \frac{g \cdot R^2}{E \cdot t} \cdot \frac{1+\mu}{1 - \cos \varphi} \quad (5.98)$$

Inlocuind integrala, rezulta:

$$w = C \cdot \cos \varphi + \frac{g \cdot R^2}{E \cdot t} \cdot \left[ (1+\mu) \cos \varphi \cdot [1 + (1+\mu) \cdot \ln(1 - \cos \varphi)] \right] \quad (5.99)$$

Deplasările  $\xi$  si  $\eta$  rezulta:

$$\xi = - \frac{g \cdot R^2}{E \cdot t} \cdot \sin \varphi \cdot \left( \cos \varphi + \frac{1+\mu}{1 - \cos \varphi} \right) \quad (5.100)$$

$$\eta = C - \frac{g \cdot R^2}{E \cdot t} \cdot [1 + \mu - \cos^2 \varphi - (1+\mu) \cdot \ln(1 - \cos \varphi)] \quad (5.101)$$

Constanta C se determina din conditia ca pentru  $\varphi = \varphi_2$ ,  $v=0$ . Rezulta din (5.97):

$$C \cdot \sin \varphi_2 - (1+\mu) \cdot \frac{g \cdot R^2}{E \cdot t} \cdot \sin \varphi_2 \cdot \left[ \frac{1}{1 - \cos \varphi_2} - \ln(1 - \cos \varphi_2) \right] = 0 \quad (5.102)$$

si astfel:

$$C = (1+\mu) \cdot \frac{g \cdot R^2}{E \cdot t} \cdot \left[ \frac{1}{1 - \cos \varphi_2} - \ln(1 - \cos \varphi_2) \right] = (1+\mu) \cdot \frac{g \cdot R^2}{E \cdot t} \cdot \Phi_4 \quad (5.103)$$

unde

$$\Phi_4 = \frac{1}{1 - \cos \varphi_2} - \ln(1 - \cos \varphi_2) \quad (5.104)$$

Astfel, deplasările sint:

$$v = (1+\mu) \cdot \frac{g \cdot R^2}{E \cdot t} \cdot \sin \varphi \cdot \left\{ \Phi_4 - \left[ \frac{1}{1 - \cos \varphi} - \ln(1 - \cos \varphi) \right] \right\} \quad (5.105a)$$

$$w = \frac{g \cdot R^2}{E \cdot t} \cdot \left\{ (1+\mu) \cdot \cos \varphi \cdot \Phi_4 + (1+\mu) \cos \varphi \cdot [1 + (1+\mu) \cdot \ln(1 - \cos \varphi)] \right\} \quad (5.105b)$$

Deplasarea  $\xi$  rezulta din (5.100), iar:

$$\xi = \frac{g \cdot R^2}{E \cdot t} \cdot \left[ (1+\mu) \cdot \Phi_4 - (1+\mu) + \cos^2 \varphi + (1+\mu) \cdot \ln(1 - \cos \varphi) \right] \quad (5.106)$$

**Tabelul 5.10. DEPLASARILE  $v, w, \xi$  SI  $\eta$  DIN GREUTATEA PROPRIE PE INTERVALUL 3.**

$\varphi^\circ$	$v / \frac{g \cdot R^2}{E \cdot t}$	$w / \frac{g \cdot R^2}{E \cdot t}$	$\xi / \frac{g \cdot R^2}{E \cdot t}$	$\eta / \frac{g \cdot R^2}{E \cdot t}$
135°	0,0000	+0,0544	-0,0385	-0,0385
150°	+0,0903	-0,3257	+0,0847	+0,3273
165°	+0,0734	-0,5788	+0,0789	+0,5781
180°	+0,0000	-0,6674	0,0000	+0,6674

Rotirea tangentei la cercul meridian  $X_{\varphi}$  rezulta din relatia (5.58). Valorile deplasariilor  $v, w, \varphi$  si  $\eta$  sint date in tabelul 5.10.

#### 5.4.5.4. Eforturi si deplasari pe sfera completa.

In figura 5.13 s-au prezentat diagramele de eforturi axiale  $N_{\varphi}$  si  $N_{\theta}$  din greutatea proprie pentru sfera completa.

Valorile cele mai mari pentru eforturile axiale  $N_{\varphi}$  rezulta in intervalul (1), iar pentru eforturile axiale  $N_{\theta}$ , in intervalul (2).

Se observa ca in dreptul celor doua inele exista discontinuitati in variatia eforturilor.

Pentru eforturile axiale  $N_{\varphi}$  aceste discontinuitati sint justificate prin aceea ca cele doua inele sint legate prin diagonale care, la rindul lor, sint rezemate pe structura de sustinere a

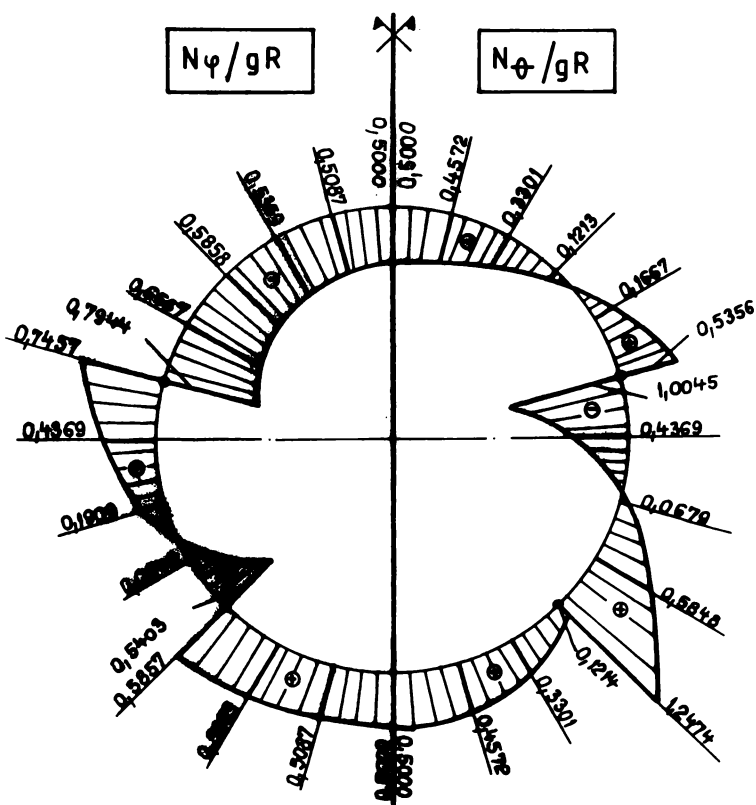


FIG. 5.13  
Eforturi axiale  $N_{\varphi}$  și  $N_{\theta}$  din greutate proprie

sferii. Astfel, eforturile superioare si inferioare la nivelul inelelor se transmit direct structurii de sustinere.

In schimb, discontinuitatile eforturilor  $N_0$  nu snt in concordanta cu fenomenul real. De exemplu, pentru inelul I, intervalele (1) si (2) snt legate de acest inel si acesta fiind intins, ambele eforturi  $N_0$  trebuie sa fie de intindere. Aceste neconcordanțe snt datorate ipotezelor teoriei de membrana, in care nu a fost posibila punerea conditiei de egalitate a deformatiilor. Determinarea corecta a eforturilor axiale  $N_0$  in dreptul inelelor se va face in cadrul teoriei de incovoiere, tratate in paragraful 5.5.

In figura 5.14 s-au trasat diagramele deplasarilor  $v$  si  $w$ . Se constata ca deplasările  $v$ , tangente la cercul meridian, nu au discontinuitati in dreptul inelelor, pentru ca in cadrul teoriei de

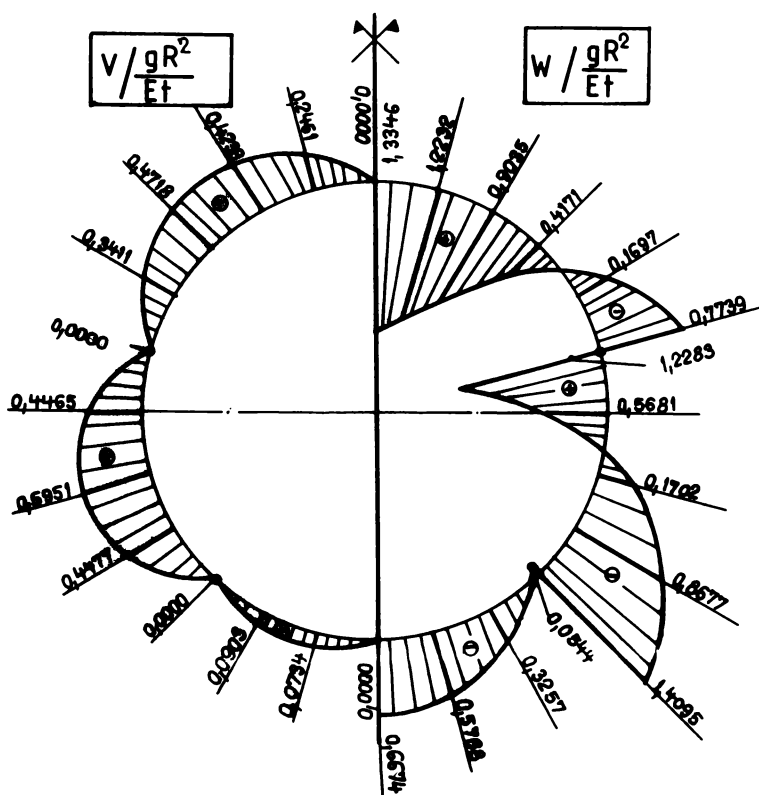


FIG. 5.14  
Deplasările  $V$  și  $W$  din greutate proprie

membrana aceasta a fost singura conditie ( $v=0$ ) care a putut fi satisfacuta. In schimb, deplasările  $w$ , normale la suprafata mediana a sferei, au discontinuitati in dreptul rezemarilor pe inele.

In figura 5.15 s-au trasat diagramele deplasărilor  $\xi$  si  $\eta$ , orizontale, respectiv verticale. Se observa pentru aceste deplasari discontinuitati importante in dreptul inelelor de sustinere.

Atit pentru deplasările  $w$ , cit si pentru  $\xi$  si  $\eta$ , aceste discontinuitati se datoresc conditiilor insuficiente din cadrul teoriei de membrana. Ele vor fi corectate in cadrul teoriei de incovoiere.

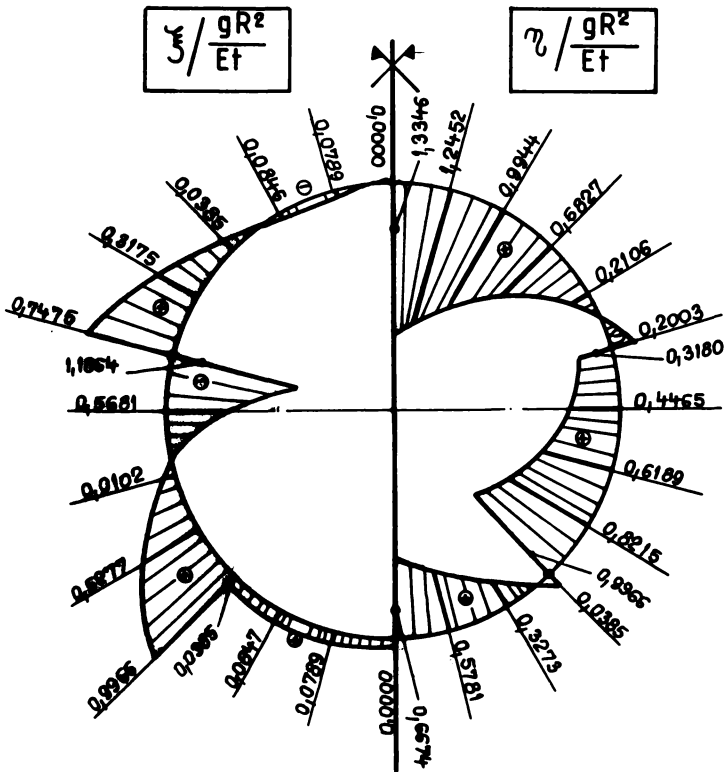


FIG. 5.15  
Deplasările  $\xi$  și  $\eta$  din greutate proprie

#### 5.4.5.5. Încărcări pentru inelele I și II.

Deoarece eforturile axiale  $N_{\varphi}$  nu vor fi influențate mult de corecțiile din teoria de înveliș, încărcările inelelor pot fi determinate din valorile teoriei de membrana (fig. 5.16a).

Astfel, pentru inelul I rezulta încărcarea tangenta la suprafața sferei (fig. 5.16b)

$$R^I = N_{\varphi}^1(\varphi_1) + N_{\varphi}^2(\varphi_1) = (0,7944 + 0,7457) \cdot g \cdot R = 1,5401 \cdot g \cdot R \quad (5.107)$$

unde indicii superiori pentru  $N_{\varphi}$  arată intervalul din care au fost calculate eforturile.

Componentele verticale și orizontale ale acestei încărcări sînt:

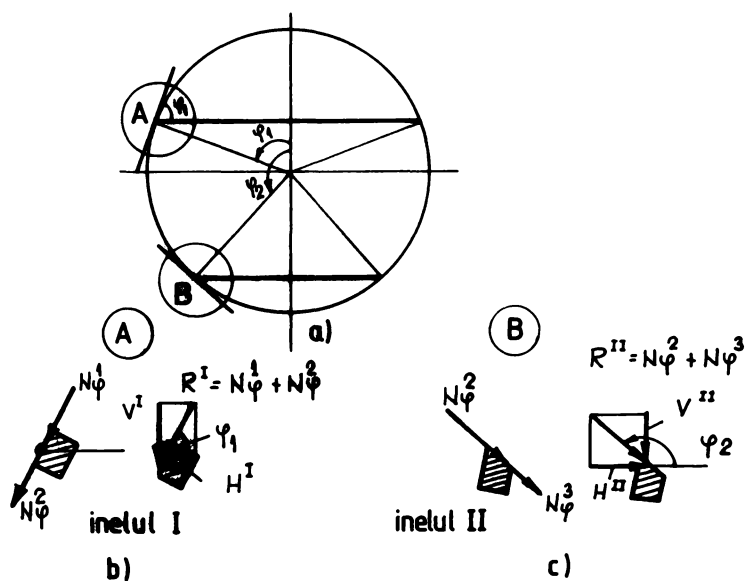


FIG. 5.16  
Încărcările inelelor I și II

$$V^I = R^I \cdot \sin \varphi_1 = 1,5401 \cdot g \cdot R \cdot 0,9659 = 1,4876 \cdot g \cdot R \quad (5.102a)$$

$$H^I = R^I \cdot \cos \varphi_1 = 1,5401 \cdot g \cdot R \cdot 0,2583 = 0,3986 \cdot g \cdot R \quad (5.102b)$$

Așa cum se observa, încărcarea orizontală  $H^I$  va produce întinderea inelului I.

Pentru inelul II (fig. 5.16c), rezultanta eforturilor  $N_{\varphi}$  din intervalele (2) și (3) va fi:

$$R^{II} = N_{\varphi}^2(\varphi_2) + N_{\varphi}^3(\varphi_2) = (0,5403 + 0,5857) \cdot g \cdot R = 1,1260 \cdot g \cdot R$$

Componentele verticale si orizontale ale incarcarii inelului II vor fi:

$$V^{II} = R^{II} \cdot \sin \varphi_2 = 1,1260 \cdot g \cdot R \cdot 0,7071 = 0,7962 \cdot g \cdot R \quad (5.109a)$$

$$H^{II} = R^{II} \cdot \cos \varphi_2 = -1,1260 \cdot g \cdot R \cdot 0,7071 = -0,7962 \cdot g \cdot R \quad (5.109b)$$

Se observa ca incarcarea orizontala  $H^{II}$  produce comprimarea inelului II.

#### 5.4.6. Eforturi si deformatiile din presiunea lichidului. Rezervor plin.

##### 5.4.6.1. Intervalul 1 ( $0 < \varphi \leq \varphi_1$ )

Pentru rezervorul plin,  $\varphi_0 = 0$  si din (5.2c) presiunea normala la suprafata sferei este

$$Z_p = -\gamma \cdot R \cdot (1 - \cos \varphi) \quad (5.110)$$

Din relatia (5.25) rezulta:

$$N_\varphi = + \frac{\gamma \cdot R^2}{\sin^2 \varphi} \cdot \left[ \int (1 - \cos \varphi) \cdot \cos \varphi \cdot \sin \varphi \cdot d\varphi + C \right] \quad (5.111)$$

Integrala I este calculata in anexa A<sub>1.4</sub>.

$$I = - \frac{\cos^2 \varphi}{2} + \frac{\cos^3 \varphi}{3} \quad (5.112)$$

$$N_\varphi = \frac{\gamma \cdot R^2}{\sin^2 \varphi} \cdot \left( \frac{\cos^3 \varphi}{3} - \frac{\cos^2 \varphi}{2} + C \right) \quad (5.113)$$

Constanta C se determina din conditia ca pentru  $\varphi = 0$ ,  $N_\varphi$  sa aiba o valoare finita. Astfel, rezulta:

$$C = -\frac{1}{6}$$

si, prin urmare:

$$N_\varphi = \frac{\gamma \cdot R^2}{6 \cdot \sin^2 \varphi} \cdot (2 \cdot \cos^3 \varphi - 3 \cdot \cos^2 \varphi + 1) = \frac{\gamma \cdot R^2}{6} \cdot \left( 1 - \frac{2 \cdot \cos^2 \varphi}{1 + \cos \varphi} \right) \quad (5.114)$$

Efortul axial  $N_\theta$  rezulta din ecuatia (5.26)

$$N_\theta = +\gamma \cdot R^2 \cdot (1 - \cos \varphi) - \frac{\gamma \cdot R^2}{6} \cdot \left( 1 - \frac{2 \cdot \cos^2 \varphi}{1 + \cos \varphi} \right) = \frac{\gamma \cdot R^2}{6} \cdot \frac{5 - \cos \varphi - 4 \cdot \cos^2 \varphi}{1 + \cos \varphi} \quad (5.115)$$

Valorile eforturilor axiale  $N_\varphi$  si  $N_\theta$  pe intervalul (1) din presiunea lichidului sint date in tabelul 5.11.

Deplasarile intervalului (1) vor fi determinate din (5.37) si (5.38), in care:

$$\epsilon_\varphi - \epsilon_\theta = \frac{1 + \mu}{E \cdot t} \cdot (N_\varphi - N_\theta) = (1 + \mu) \cdot \frac{\gamma \cdot R^2}{3 \cdot E \cdot t} \cdot \frac{3 \cdot \cos \varphi - \cos^3 \varphi - 2}{\sin^2 \varphi} \quad (5.116)$$

Tabelul 5.11. EFORTURILE AXIALE N<sub>F</sub> SI N<sub>θ</sub> DIN PRESIUNEA LICHIDULUI, REZERVOR PLIN, PE INTERVALUL 1

φ°	N <sub>F</sub> /γ·R <sup>2</sup>	N <sub>θ</sub> /γ·R <sup>2</sup>
0°	0,0000	0,0000
15°	0,0085	0,0256
30°	0,0327	0,1013
45°	0,0690	0,2239
60°	0,1111	0,3889
75°	0,1489	0,5923

Introducind (5.116) in relatia (5.37) se obtine

$$v = C \cdot \sin \varphi + (1 + \mu) \cdot \frac{\gamma \cdot R^3}{3 \cdot E \cdot t} \cdot \sin \varphi \cdot \int \frac{3 \cdot \cos \varphi - \cos^3 \varphi - 2}{\sin^3 \varphi} \cdot d\varphi \quad (5.117)$$

Notam

$$I = \int \frac{3 \cdot \cos \varphi - \cos^3 \varphi - 2}{\sin^3 \varphi} \cdot d\varphi$$

Integrala I rezulta din anexa A<sub>1.5</sub>:

$$I = -\frac{1}{1 + \cos \varphi} + \ln(1 + \cos \varphi) \quad (5.118)$$

si, prin urmare:

$$v = C \cdot \sin \varphi - (1 + \mu) \cdot \frac{\gamma \cdot R^3}{3 \cdot E \cdot t} \cdot \sin \varphi \cdot \left[ \frac{1}{1 + \cos \varphi} - \ln(1 + \cos \varphi) \right] \quad (5.119)$$

Deplasarea verticala w va fi:

$$w = C \cdot \cos \varphi + (1 + \mu) \cdot \frac{\gamma \cdot R^3}{3 \cdot E \cdot t} \cdot \cos \varphi \cdot \int \frac{3 \cdot \cos \varphi - \cos^3 \varphi - 2}{\sin^3 \varphi} \cdot d\varphi - \frac{\gamma \cdot R^3}{6 \cdot E \cdot t} \cdot \frac{5 - \mu - (1 + \mu) \cdot \cos \varphi - 2 \cdot (2 - \mu) \cdot \cos^2 \varphi}{1 + \cos \varphi} \quad (5.120)$$

Rezulta:

$$w = C \cdot \cos \varphi - \frac{\gamma \cdot R^3}{6 \cdot E \cdot t} \cdot \{ 5 - \mu - 2 \cdot \cos \varphi \cdot [ 2 - \mu + (1 + \mu) \cdot \ln(1 + \cos \varphi) ] \} \quad (5.121)$$

Deplasarile horizontale si verticale ξ si ζ rezulta din (5.40) si (5.41a):

$$\xi = \frac{\gamma \cdot R^3}{6 \cdot E \cdot t} \cdot \sin \varphi \cdot [ 5 - \mu - 2 \cdot (2 - \mu) \cdot \cos \varphi ] \quad (5.122a)$$

$$\zeta = C - \frac{\gamma \cdot R^3}{6 \cdot E \cdot t} \cdot [ 2 \cdot (1 + \mu) + 3 \cdot (1 - \mu) \cdot \cos \varphi - 2 \cdot (2 - \mu) \cdot \cos^2 \varphi - 2 \cdot (1 + \mu) \cdot \ln(1 + \cos \varphi) ] \quad (5.122b)$$

Constanta C se determina din conditia ca pentru  $\varphi = \varphi_1$ ,  $v=0$ . Din (5.119) rezulta:

$$C \cdot \sin \varphi_1 - (1+\mu) \cdot \frac{\gamma \cdot R^3}{3 \cdot E \cdot t} \cdot \sin \varphi_1 \cdot \left[ \frac{1}{1+\cos \varphi_1} - \ln(1+\cos \varphi_1) \right] = 0 \quad (5.123a)$$

de unde:

$$C = (1+\mu) \cdot \frac{\gamma \cdot R^3}{3 \cdot E \cdot t} \cdot \left[ \frac{1}{1+\cos \varphi_1} - \ln(1+\cos \varphi_1) \right] = (1+\mu) \cdot \frac{\gamma \cdot R^3}{3 \cdot E \cdot t} \cdot \xi_1 \quad (5.123b)$$

unde  $\xi_1$  este dat de relatia (5.55b), obtinandu-se astfel deplasările:

$$v = (1+\mu) \cdot \frac{\gamma \cdot R^3}{3 \cdot E \cdot t} \cdot \sin \varphi \cdot \left[ \xi_1 - \frac{1}{1+\cos \varphi} + \ln(1+\cos \varphi) \right] \quad (5.124a)$$

$$w = \frac{\gamma \cdot R^3}{6 \cdot E \cdot t} \cdot \left\{ 2 \cdot (1+\mu) \cdot \cos \varphi \cdot \xi_1 - (5-\mu) + 2 \cdot \cos \varphi \cdot [2 - \mu + (1+\mu) \cdot \ln(1+\cos \varphi)] \right\} \quad (5.124b)$$

Deplasarea  $\xi$  se obtine din (5.122a).

$$\xi = \frac{\gamma \cdot R^3}{6 \cdot E \cdot t} \cdot \left[ 2 \cdot (1+\mu) \cdot \xi_1 - 2 \cdot (1+\mu) - 3 \cdot (1-\mu) \cdot \cos \varphi + 2 \cdot (2-\mu) \cdot \cos^2 \varphi + 2 \cdot (1+\mu) \cdot \ln(1+\cos \varphi) \right] \quad (5.125)$$

Rotirea tangentei la cercul meridian rezulta din relatiile (5.39) si (5.2):

$$\chi_\varphi = \frac{R}{E \cdot t} \cdot \frac{dz}{d\varphi} = - \frac{\gamma \cdot R^2}{E \cdot t} \cdot \sin \varphi \quad (5.126)$$

Valorile deplasărilor  $v, w, \xi$  si  $\eta$  sint date in tabelul 5.12.

**Tabelul 5.12. DEPLASARILE  $v, w, \xi$  SI  $\eta$  DIN PRESIUNEA LICHIDULUI, REZERVOR PLIN, PE INTERVALUL 1**

$\varphi^\circ$	$v / \frac{\gamma \cdot R^3}{E \cdot t}$	$w / \frac{\gamma \cdot R^3}{E \cdot t}$	$\xi / \frac{\gamma \cdot R^3}{E \cdot t}$	$\eta / \frac{\gamma \cdot R^3}{E \cdot t}$
0°	0,0000	0,3282	0,0000	0,3282
15°	0,0820	0,2831	0,0611	0,2947
30°	0,1413	0,1532	0,1463	0,2034
45°	0,1572	-0,0459	0,2706	0,0787
60°	0,1137	-0,2899	0,4330	-0,0465
75°	0,0000	-0,5476	0,6150	-0,1417

#### 5.4.6.2. Intervalul 2 ( $\varphi_1 < \varphi \leq \varphi_2$ ).

Asa cum s-a procedat si pentru greutatea proprie, intervalul (2) se calculeaza ca un sistem static nedeterminat (fig.5.11).



al Sistemul de baza (fig. 5.11b).

Efortul axial  $N_{\varphi}^{\circ}$  rezulta din relatia (5.113), unde constanta de integrare  $C$  se determina din conditia ca pentru  $\varphi = \varphi_1$ , sa rezulte  $N_{\varphi}^{\circ} = 0$ . Rezulta:

$$\frac{\cos^3 \varphi_1}{3} - \frac{\cos^2 \varphi_1}{2} + C = 0 \quad (5.127)$$

$$C = \frac{\cos^2 \varphi_1}{2} - \frac{\cos^3 \varphi_1}{3} \quad (5.128)$$

si astfel:

$$N_{\varphi}^{\circ} = \frac{\gamma \cdot R^2}{\sin^2 \varphi} \cdot \left( \frac{\cos^3 \varphi}{3} - \frac{\cos^2 \varphi}{2} - \frac{\cos^3 \varphi_1}{3} + \frac{\cos^2 \varphi_1}{2} \right) \quad (5.129)$$

$$N_{\varphi}^{\circ} = \frac{\gamma \cdot R^2}{\sin^2 \varphi} \cdot \left( \bar{\varepsilon}_5 - \frac{\cos^2 \varphi}{2} + \frac{\cos^3 \varphi}{3} \right)$$

unde

$$\bar{\varepsilon}_5 = \frac{\cos^2 \varphi_1}{2} - \frac{\cos^3 \varphi_1}{3} \quad (5.130)$$

Efortul axial  $N_{\theta}^{\circ}$  rezulta din relatia (5.26):

$$N_{\theta}^{\circ} = - \frac{\gamma \cdot R^2}{\sin^2 \varphi} \cdot \left( \bar{\varepsilon}_5 - \frac{2}{3} \cdot \cos^3 \varphi + \frac{1}{2} \cdot \cos^2 \varphi + \cos \varphi - 1 \right) \quad (5.131)$$

Valorile eforturilor axiale  $N_{\varphi}^{\circ}$  si  $N_{\theta}^{\circ}$  sint date in tabelul 5.13.

**Tabelul 5.13. EFORTURILE AXIALE  $N_{\varphi}^{\circ}$  SI  $N_{\theta}^{\circ}$  DIN PRESIUNEA LICHIDULUI, REZERVOR PLIN, PE INTERVALUL 2**

$\varphi^{\circ}$	$N_{\varphi}^{\circ} / \gamma \cdot R^2$	$N_{\theta}^{\circ} / \gamma \cdot R^2$
75°	0,0000	+0,7412
90°	+0,0277	+0,9723
105°	-0,0124	+1,2712
120°	-0,1853	+1,6853
135°	-0,6803	+2,3874

Deplasarile intervalului (2) vor fi determinate din (5.37) si (5.38).

$$\begin{aligned} \varepsilon_{\varphi}^{\circ} - \varepsilon_{\theta}^{\circ} &= \frac{1+\mu}{E \cdot t} \cdot (N_{\varphi}^{\circ} - N_{\theta}^{\circ}) = \\ &= (1+\mu) \cdot \frac{\gamma \cdot R^2}{E \cdot t \sin^2 \varphi} \cdot \left( 2 \cdot \bar{\varepsilon}_5 - 1 - \frac{1}{3} \cdot \cos^3 \varphi + \cos \varphi \right) \quad (5.132) \end{aligned}$$

Introducind (5.132) in relatia (5.37), rezulta:

$$v^{\circ} = C \cdot \sin \varphi + (1+\mu) \cdot \frac{\gamma \cdot R^3}{E \cdot t} \cdot \sin \varphi \cdot \int \frac{2 \cdot \xi_5 - 1 - (1/3) \cdot \cos^3 \varphi + \cos \varphi}{\sin^3 \varphi} d\varphi \quad (5.133)$$

Notam:

$$I = \int \frac{2 \cdot \xi_5 - 1 - (1/3) \cdot \cos^3 \varphi + \cos \varphi}{\sin^3 \varphi} d\varphi$$

Integrala I rezulta din anexa A1.6:

$$I = \frac{2 \cdot \xi_5 - 1}{2} \cdot \ln(\operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}) + \frac{1}{3} \cdot \ln(\sin \varphi) - \frac{3 \cdot (2 \cdot \xi_5 - 1) \cdot \cos \varphi + 2}{6 \cdot \sin^2 \varphi} \quad (5.134)$$

Se obtine, astfel, deplasarea:

$$v^{\circ} = C \cdot \sin \varphi + (1+\mu) \cdot \frac{\gamma \cdot R^3}{E \cdot t} \cdot \sin \varphi \cdot \left[ \frac{2 \cdot \xi_5 - 1}{2} \cdot \ln(\operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}) + \frac{1}{3} \cdot \ln(\sin \varphi) - \frac{3 \cdot (2 \cdot \xi_5 - 1) \cdot \cos \varphi + 2}{6 \cdot \sin^2 \varphi} \right] \quad (5.135)$$

Deplasarea  $w^{\circ}$  se obtine din (5.38):

$$w^{\circ} = C \cdot \cos \varphi + (1+\mu) \cdot \frac{\gamma \cdot R^3}{E \cdot t} \cdot \cos \varphi \cdot \int \frac{2 \cdot \xi_5 - 1 - (1/3) \cdot \cos^3 \varphi + \cos \varphi}{\sin^3 \varphi} d\varphi + \frac{\gamma \cdot R^3}{E \cdot t} \cdot \frac{1}{\sin^2 \varphi} \cdot \left[ (1+\mu) \cdot \xi_5 - 1 - \frac{(2-\mu)}{3} \cdot \cos^3 \varphi + \frac{1-\mu}{2} \cdot \cos^2 \varphi + \cos \varphi \right] \quad (5.136)$$

Inlocuind integrala cu (5.134), rezulta:

$$w^{\circ} = C \cdot \cos \varphi + \frac{\gamma \cdot R^3}{E \cdot t} \cdot \left\{ (1+\mu) \cdot \cos \varphi \cdot \left( \frac{2 \cdot \xi_5 - 1}{2} \cdot \ln(\operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}) + \frac{1}{3} \cdot \ln(\sin \varphi) \right) + (1+\mu) \cdot \xi_5 - 1 + \frac{(2-\mu)}{3} \cdot \cos \varphi \right\} \quad (5.137)$$

Deplasarile orizontale si verticale rezulta din (5.40) si (5.41a):

$$\gamma^{\circ} = \frac{\gamma \cdot R^3}{E \cdot t} \cdot \frac{1}{\sin \varphi} \cdot \left[ (1+\mu) \cdot \xi_5 - \frac{(2-\mu)}{3} \cdot \cos^3 \varphi + \frac{(1-\mu)}{2} \cdot \cos^2 \varphi + \cos \varphi - 1 \right] \quad (5.138a)$$

$$\gamma^{\circ} = C + \frac{\gamma \cdot R^3}{E \cdot t} \cdot \left[ (1+\mu) \cdot \left( \frac{2 \cdot \xi_5 - 1}{2} \cdot \ln(\operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}) + \frac{1}{3} \cdot \ln(\sin \varphi) \right) + \frac{(2-\mu)}{3} \cdot \cos^2 \varphi + \left( \frac{1+\mu}{2} - 1 \right) \cdot \cos \varphi - \frac{(1+\mu)}{3} \right] \quad (5.138b)$$

Constanta C se determina din conditia ca pentru  $\varphi = \varphi_2$ , sa se obtina  $v^o = 0$ . Astfel, se obtine:

$$C \cdot \sin \varphi_2 + (1+\mu) \cdot \frac{\gamma \cdot R^3}{E \cdot t} \cdot \sin \varphi_2 \cdot \left[ \frac{2 \cdot \bar{\epsilon}_5 - 1}{2} \cdot \ln \left( \operatorname{tg} \frac{\varphi_2}{2} \right) + \frac{1}{3} \cdot \ln(\sin \varphi_2) \right] - \frac{3 \cdot (2 \cdot \bar{\epsilon}_5 - 1) \cdot \cos \varphi_2 + 2}{6 \cdot \sin^2 \varphi_2} = 0 \quad (5.139)$$

Rezulta:

$$C = -(1+\mu) \cdot \frac{\gamma \cdot R^3}{E \cdot t} \cdot \left[ \frac{2 \cdot \bar{\epsilon}_5 - 1}{2} \cdot \ln \left( \operatorname{tg} \frac{\varphi_2}{2} \right) - \frac{1}{3} \cdot \ln(\sin \varphi_2) \right] - \frac{3 \cdot (2 \cdot \bar{\epsilon}_5 - 1) \cdot \cos \varphi_2 + 2}{6 \cdot \sin^2 \varphi_2} = (1+\mu) \cdot \frac{\gamma \cdot R^3}{E \cdot t} \cdot \bar{\epsilon}_6 \quad (5.140)$$

unde:

$$\bar{\epsilon}_6 = - \frac{2 \cdot \bar{\epsilon}_5 - 1}{2} \cdot \ln \left( \operatorname{tg} \frac{\varphi_2}{2} \right) - \frac{1}{3} \cdot \ln(\sin \varphi_2) + \frac{3 \cdot (2 \cdot \bar{\epsilon}_5 - 1) \cdot \cos \varphi_2 + 2}{6 \cdot \sin^2 \varphi_2} \quad (5.141)$$

Astfel, deplasările sistemului de baza vor fi:

$$v^o = (1+\mu) \frac{\gamma \cdot R^3}{E \cdot t} \cdot \sin \varphi \cdot \left[ \bar{\epsilon}_6 + \frac{2 \cdot \bar{\epsilon}_5 - 1}{2} \cdot \ln \left( \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} \right) + \frac{1}{3} \cdot \ln(\sin \varphi) \right] - \frac{3 \cdot (2 \cdot \bar{\epsilon}_5 - 1) \cdot \cos \varphi + 2}{6 \cdot \sin^2 \varphi} \quad (5.142a)$$

$$w^o = \frac{\gamma \cdot R^3}{E \cdot t} \left[ (1+\mu) \cdot \cos \varphi \cdot \left( \bar{\epsilon}_6 + \frac{2 \cdot \bar{\epsilon}_5 - 1}{2} \cdot \ln \left( \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} \right) + \frac{1}{3} \cdot \ln(\sin \varphi) \right) + (1+\mu) \cdot \bar{\epsilon}_5 - 1 + \frac{1}{3} \cdot (2-\mu) \cdot \cos \varphi \right] \quad (5.142b)$$

$\xi^o$  rezulta din relatia (5.138a).

$$\xi^o = \frac{\gamma \cdot R^3}{E \cdot t} \left[ (1+\mu) \cdot \left( \bar{\epsilon}_6 + \frac{2 \cdot \bar{\epsilon}_5 - 1}{2} \cdot \ln \left( \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} \right) + \frac{1}{3} \cdot \ln(\sin \varphi) \right) + \frac{2-\mu}{3} \cdot \cos^2 \varphi + \left( \frac{1+\mu}{2} - 1 \right) \cdot \cos \varphi - \frac{1+\mu}{3} \right] \quad (5.143)$$

Rotirea  $\chi_{\varphi}^o$  este data de (5.126).

Valorile deplasărilor sistemului de baza sînt date în tabelul 5.14.

Tabelul 5.14. DEPLASARILE  $v^\circ, w^\circ, \xi^\circ$  SI  $\eta^\circ$  DIN PRESIUNEA LICHIDULUI, REZERVOR PLIN, PE INTERVALUL 2.

$\varphi^\circ$	$\frac{v^\circ/\gamma \cdot R^3}{E \cdot t}$	$\frac{w^\circ/\gamma \cdot R^3}{E \cdot t}$	$\frac{\xi^\circ/\gamma \cdot R^3}{E \cdot t}$	$\frac{\eta^\circ/\gamma \cdot R^3}{E \cdot t}$
75°	2,2021	-0,1511	+0,7159	+2,0879
90°	1,9930	-0,9640	+0,9640	+1,9930
105°	1,5589	-1,6927	+1,2315	+1,9439
120°	0,9003	-2,2607	+1,5076	+1,9100
135°	0,0000	-2,5915	+1,8325	+1,8325

b) Eforturi si deplasari din X=1.

Eforturile si deplasariile din X=1 sunt cele determinate in paragraful 5.4.5.2.b.

c) Eforturi si deplasari finale.

Necunoscuta X se determina din conditia ca pentru  $\varphi = \varphi_1$ , deplasarea finala din presiunea lichidului si X sa fie nule. Astfel, ecuatia (5.87) este valabila si in acest caz.

Rezulta:

$$(1+\mu) \frac{\gamma \cdot R^3}{E \cdot t} \cdot \sin \varphi_1 \cdot \left[ \xi_6 + \frac{2 \cdot \xi_5 - 1}{2} \ln \left( \operatorname{tg} \frac{\varphi_1}{2} \right) + \frac{1}{3} \cdot \ln (\sin \varphi_1) - \frac{3 \cdot (2 \xi_5 - 1) \cdot \cos \varphi_1 + 2}{6 \cdot \sin^2 \varphi_1} \right] - (1+\mu) \cdot \frac{X \cdot R}{E \cdot t} \cdot \sin^3 \varphi_1 \cdot \left[ \xi_3 - \left( \ln \left( \operatorname{tg} \frac{\varphi_1}{2} \right) - \frac{\cos \varphi_1}{\sin^2 \varphi_1} \right) \right] = 0 \quad (5.144)$$

de unde rezulta:

$$X = \gamma \cdot R^2 \cdot \frac{\xi_6 + \frac{2 \cdot \xi_5 - 1}{2} \ln \left( \operatorname{tg} \frac{\varphi_1}{2} \right) + \frac{1}{3} \cdot \ln (\sin \varphi_1) - \frac{3 \cdot (2 \xi_5 - 1) \cdot \cos \varphi_1 + 2}{6 \cdot \sin^2 \varphi_1}}{\sin^2 \varphi_1 \cdot \left[ \xi_3 - \left( \ln \left( \operatorname{tg} \frac{\varphi_1}{2} \right) - \frac{\cos \varphi_1}{\sin^2 \varphi_1} \right) \right]} \quad (5.145)$$

Inlocuind in relatia (5.145)  $\varphi_1 = 75^\circ$  si  $\varphi_2 = 135^\circ$ , rezulta:

$$X = 0,6623 \cdot \gamma \cdot R^2 \quad (5.146)$$

Eforturile din intervalul (2) rezulta din relatiile (5.91a,b).

Valorile finale ale eforturilor axiale  $N_\varphi$  si  $N_\theta$  sunt date in tabelul 5.15.

Deplasariile finale rezulta din relatiile (5.92a...d). Valorile acestor deplasari sunt date in tabelul 5.16.

Tabelul 5.15. VALORILE FINALE ALE EFORTURILOR AXIALE  $N_{\varphi}$  SI  $N_{\theta}$  DIN PRESIUNEA LICHIDULUI, REZERVOR PLIN, PE INTERVALUL 2.

$\varphi^{\circ}$	$N_{\varphi}/\gamma \cdot R^2$	$N_{\theta}/\gamma \cdot R^2$
75°	+0,6623	+0,0789
90°	+0,6456	+0,3544
105°	+0,6499	+0,6089
120°	+0,6386	+0,8614
135°	+0,5556	+1,1515

Tabelul 5.16. DEPLASARILE FINALE  $v, w, \xi$  SI  $\eta$  DIN PRESIUNEA LICHIDULUI, REZERVOR PLIN, PE INTERVALUL 2.

$\varphi^{\circ}$	$v/\gamma \cdot R^3$	$w/\gamma \cdot R^3$	$\xi/\gamma \cdot R^3$	$\eta/\gamma \cdot R^3$
	$E \cdot t$	$E \cdot t$	$E \cdot t$	$E \cdot t$
75°	+0,0000	+0,1198	-0,1158	+0,0311
90°	+0,1490	-0,1607	+0,1607	+0,1490
105°	+0,1984	-0,4672	+0,3998	+0,3126
120°	+0,1493	-0,7560	+0,5800	+0,5072
135°	+0,0000	-0,9849	+0,6965	+0,6965

5.4.6.3. Intervalul 3 ( $\varphi_2 < \varphi \leq \pi$ ).

Efortul axial  $N_{\varphi}$  rezulta din (5.113), in care C se determina din conditia ca pentru  $\varphi=180^{\circ}$ ,  $N_{\varphi}$  sa aiba valoare finita, rezultind:

$$C = -\frac{5}{6} \quad (5.147)$$

si astfel:

$$N_{\varphi} = \frac{\gamma \cdot R^2}{6 \cdot \sin^2 \varphi} \cdot (2 \cdot \cos^3 \varphi - 3 \cdot \cos^2 \varphi + 5) = \frac{\gamma \cdot R^2}{6} \cdot \left( 5 + \frac{2 \cdot \cos^2 \varphi}{1 - \cos \varphi} \right) \quad (5.148)$$

Efortul axial  $N_{\theta}$  rezulta din ecuatia (5.26):

$$N_{\theta} = \frac{\gamma \cdot R^2}{6} \cdot \left( 1 - 4 \cdot \cos \varphi - \frac{2 \cdot \cos \varphi}{1 - \cos \varphi} \right) \quad (5.149)$$

5.17. Valorile eforturilor axiale  $N_{\varphi}$  si  $N_{\theta}$  sint date in tabelul

Tabelul 5.17. EFORTURILE AXIALE  $N_{\varphi}$  SI  $N_{\theta}$  DIN PRESIUNEA LICHIDULUI, REZERVOR PLIN, PENTRU INTERVALUL 3.

$\varphi^{\circ}$	$N_{\varphi}/\gamma \cdot R^2$	$N_{\theta}/\gamma \cdot R^2$
135°	+0,9310	+0,7761
150°	+0,9673	+0,8987
165°	+0,9915	+0,9744
180°	+1,0000	+1,0000

Deplasările se determina similar cu determinarile din paragraful 5.4.6.1:

$$\epsilon_{\varphi} - \epsilon_{\theta} = \frac{1+\mu}{E \cdot t} \cdot (N_{\varphi} - N_{\theta}) = (1+\mu) \cdot \frac{\gamma \cdot R^2}{3 \cdot E \cdot t} \cdot \frac{3 \cdot \cos \varphi - \cos^3 \varphi + 2}{\sin^2 \varphi} \quad (5.150)$$

Introducind (5.150) in (5.37), se obtine:

$$v = C \cdot \sin \varphi + (1+\mu) \cdot \frac{\gamma \cdot R^3}{3 \cdot E \cdot t} \cdot \sin \varphi \cdot \int \frac{3 \cdot \cos \varphi - \cos^3 \varphi + 2}{\sin^3 \varphi} \cdot d\varphi \quad (5.151)$$

Notam:

$$I = \int \frac{3 \cdot \cos \varphi - \cos^3 \varphi + 2}{\sin^3 \varphi} \cdot d\varphi$$

Integrala I se calculeaza in anexa A<sub>1,7</sub>:

$$I = \ln(1 - \cos \varphi) - \frac{1}{1 - \cos \varphi} \quad (5.152)$$

si, prin urmare:

$$v = C \cdot \sin \varphi + (1+\mu) \cdot \frac{\gamma \cdot R^3}{3 \cdot E \cdot t} \cdot \sin \varphi \cdot \left[ \ln(1 - \cos \varphi) - \frac{1}{1 - \cos \varphi} \right] \quad (5.153)$$

Deplasarea verticala rezulta din (5.38):

$$w = C \cdot \cos \varphi + (1+\mu) \cdot \frac{\gamma \cdot R^3}{3 \cdot E \cdot t} \cdot \cos \varphi \cdot \int \frac{3 \cdot \cos \varphi - \cos^3 \varphi + 2}{\sin^2 \varphi} \cdot d\varphi - \frac{\gamma \cdot R^3}{6 \cdot E \cdot t} \cdot \left[ 1 - 5 \cdot \mu - 4 \cdot \cos \varphi - 2 \cdot \frac{\cos \varphi \cdot (1 + \mu \cdot \cos \varphi)}{1 - \cos \varphi} \right] \quad (5.154)$$

$$w = C \cdot \cos \varphi + \frac{\gamma \cdot R^3}{6 \cdot E \cdot t} \cdot \{ 5 \cdot \mu - 1 + 2 \cdot \cos \varphi \cdot [ 2 - \mu + (1+\mu) \cdot \ln(1 - \cos \varphi) ] \} \quad (5.155)$$

Deplasările orizontale si verticale sint:

$$\xi = \frac{\gamma \cdot R^3}{6 \cdot E \cdot t} \cdot \sin \varphi \cdot \left[ 1 - 5 \cdot \mu - 2 \cdot \frac{3 \cdot \cos \varphi - (2 - \mu) \cdot \cos^2 \varphi}{1 - \cos \varphi} \right] \quad (5.156a)$$

$$\eta = C + \frac{\gamma \cdot R^3}{6 \cdot E \cdot t} \cdot \left[ 2 \cdot (1+\mu) \cdot \ln(1 - \cos \varphi) + 2 \cdot (2 - \mu) \cdot \cos^2 \varphi - 3 \cdot (1 - \mu) \cdot \cos \varphi - 2 \cdot (1+\mu) \right] \quad (5.156b)$$

Constanta C se determina din conditia ca pentru  $\varphi = \varphi_2$ , sa rezulte  $v=0$ . Rezulta din (5.153):

$$C \cdot \sin \varphi_2 + (1+\mu) \cdot \frac{\gamma \cdot R^3}{3 \cdot E \cdot t} \cdot \sin \varphi_2 \cdot [\ln(1-\cos \varphi_2) - \frac{1}{1-\cos \varphi_2}] = 0 \quad (5.157)$$

de unde:

$$C = (1+\mu) \cdot \frac{\gamma \cdot R^3}{3 \cdot E \cdot t} \cdot \left[ \frac{1}{1-\cos \varphi_2} - \ln(1-\cos \varphi_2) \right] = \frac{1+\mu}{3} \cdot \frac{\gamma \cdot R^3}{E \cdot t} \cdot \Phi_4 \quad (5.158)$$

in care  $\Phi_4$  este dat de relatia (5.104). Se obtin deplasările:

$$v = \frac{1+\mu}{3} \cdot \frac{\gamma \cdot R^3}{E \cdot t} \cdot \sin \varphi \cdot \left[ \Phi_4 - \frac{1}{1-\cos \varphi} + \ln(1-\cos \varphi) \right] \quad (5.159a)$$

$$w = \frac{\gamma \cdot R^3}{6 \cdot E \cdot t} \cdot \{ 2(1+\mu) \cos \varphi \cdot \Phi_4 + 5\mu - 1 + 2 \cos \varphi [2 - \mu + (1+\mu) \ln(1-\cos \varphi)] \} \quad (5.159b)$$

Deplasarea orizontala  $\zeta$  rezulta din relatia (5.156a).

$$\zeta = \frac{\gamma \cdot R^3}{6 \cdot E \cdot t} \cdot [ 2(1+\mu) \Phi_4 + 2(1+\mu) \ln(1-\cos \varphi) + 2(2-\mu) \cos^2 \varphi - 3(1-\mu) \cos \varphi - 2(1+\mu) ] \quad (5.160)$$

Rotirea tangentei la cercul meridian este data de (5.126). Valorile deplasărilor  $v, w, \zeta$  si  $\zeta$  sînt date in tabelul 5.18.

**Tabelul 5.18. DEPLASĂRILE  $v, w, \zeta$  SI  $\zeta$  DIN PRESIUNEA LICHIDULUI, REZERVOR PLIN, PE INTERVALUL 3**

$\varphi^\circ$	$\frac{V/\gamma \cdot R^3}{E \cdot t}$	$\frac{W/\gamma \cdot R^3}{E \cdot t}$	$\frac{\zeta/\gamma \cdot R^3}{E \cdot t}$	$\frac{\zeta/\gamma \cdot R^3}{E \cdot t}$
135°	0,0000	-0,4969	0,3513	0,3513
150°	0,0301	-0,6607	0,3043	0,5872
165°	0,0214	-0,7683	0,1752	0,7485
180°	0,0000	-0,8058	0,0000	0,8058

#### 5.4.6.4. Eforturi si deplasari pe sfera completa.

In figura 5.17 se prezinta diagramele de eforturi  $N_\varphi$  si  $N_\theta$  din presiunea lichidului, rezervor plin, pentru sfera completa.

Se observa ca valorile maxime ale efortului axial  $N_\varphi$  rezulta pentru intervalul (3); in schimb, efortul  $N_\theta$  are un maxim la baza intervalului (2). In figura s-a trasat si diagrama eforturilor pentru cazul rezemarii numai pe inelul inferior dupa [56][57]. Se constata schimbari importante ale eforturilor numai pe intervalul

(2). Astfel, se observa ca nu exista eforturi de compresiune (care existau la baza intervalului (2) in cazul rezemarii pe un singur inel), intreaga sfera fiind solicitata numai la intindere. De asemenea, eforturile  $N_{\phi}$  s-au redus substantial in dreptul rezemarii pe inelul II.

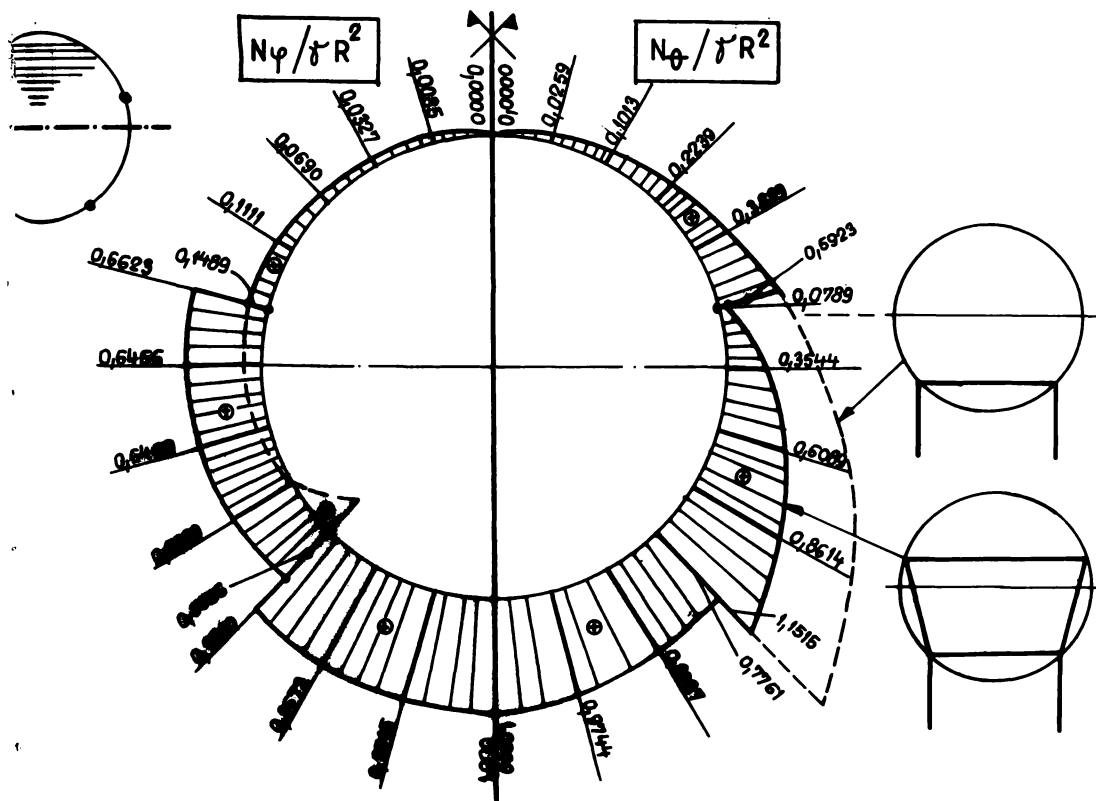


FIG. 5.17  
Eforturi axiale  $N_{\phi}$  și  $N_{\theta}$  din presiunea lichidului, rezervor plin. Rezemare pe un inel sau doua inele

Similar cazului incarcarii din greutatea proprie, se observa (figurile 5.18 si 5.19) discontinuitati in dreptul rezemarilor pe inele. Aceste discontinuitati in diagramele de deplasari vor fi corectate in cadrul teoriei de incovoiere.



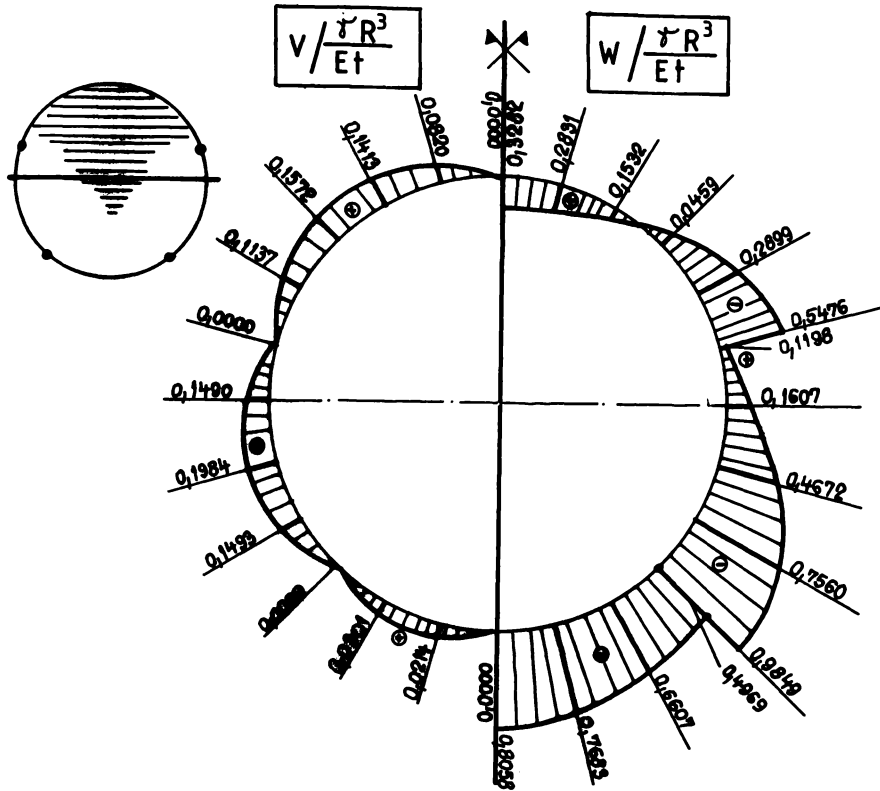


FIG. 5.10  
Deplasările  $V$  și  $W$  din presiunea lichidului, rezervor plin

5.4.6.5. Incarcari pentru inelele I si II.

Incarcarile inelelor vor fi determinate similar ca la punctul 5.4.5.5.

$$R^I = N_{\varphi}^2(\varphi_1) - N_{\varphi}^1(\varphi_1) = 0,6623 \cdot \gamma \cdot R^2 - 0,1489 \cdot \gamma \cdot R^2 = 0,5134 \cdot \gamma \cdot R^2 \quad (5.161)$$

Componentele verticale si orizontale ale incarcarii inelului I vor fi:

$$V^I = R^I \cdot \sin \varphi_1 = 0,5134 \cdot \gamma \cdot R^2 \cdot 0,9659 = 0,4960 \cdot \gamma \cdot R^2 \quad (5.162a)$$

$$H^I = R^I \cdot \cos \varphi_1 = 0,5134 \cdot \gamma \cdot R^2 \cdot 0,2588 = 0,1329 \cdot \gamma \cdot R^2 \quad (5.162b)$$

Se observa ca, componenta orizontala produce intinderea inelului I. Inelul II este solicitat de incarcarea:

$$R^{II} = N_{\varphi}^3(\varphi_2) - N_{\varphi}^2(\varphi_2) = 0,9310 \cdot \gamma \cdot R^2 - 0,5556 \cdot \gamma \cdot R^2 = 0,3754 \cdot \gamma \cdot R^2 \quad (5.163)$$

Componentele verticala si orizontala ale incarcarii inelului

II sint:

$$V^{II} = R^{II} \cdot \sin \varphi_2 = 0,3754 \cdot \gamma \cdot R^2 \cdot 0,7071 = 0,2654 \cdot \gamma \cdot R^2 \quad (5.164a)$$

$$H^{II} = R^{II} \cdot \cos \varphi_2 = 0,3754 \cdot \gamma \cdot R^2 \cdot 0,7071 = 0,2654 \cdot \gamma \cdot R^2 \quad (5.164b)$$

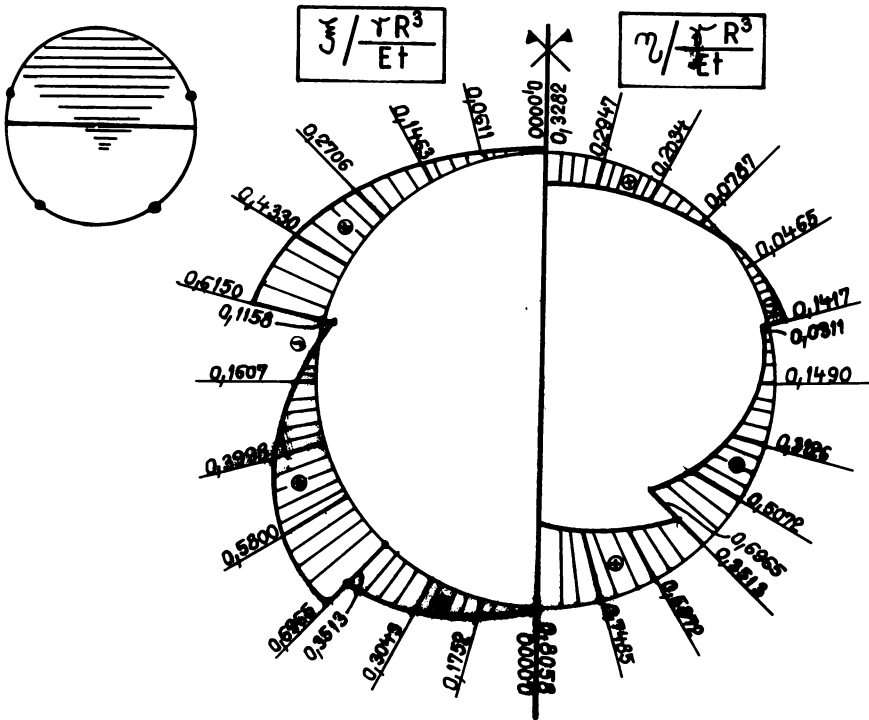


FIG. 5.19  
Deplasările  $\xi$  și  $\eta$  din presiunea lichidului, rezervor plin

Se observa ca încărcarea orizontală  $H^{II}$  comprimă inelul inferior (inelul II).

#### 5.4.7. Eforturi din presiunea lichidului. Rezervor parțial umplut.

##### 5.4.7.1. Rezervor parțial umplut I.

Pentru încărcări parțiale ale sferei cu lichid se pune problema dacă nu pot să apară eforturi axiale mai mari decât în cazul rezervorului plin.

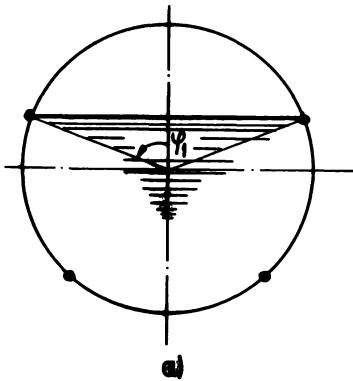
Deoarece nivelul de umplere cu lichid este arbitrar, în cele

ce urmeaza s-au ales doua ipoteze de umplere:

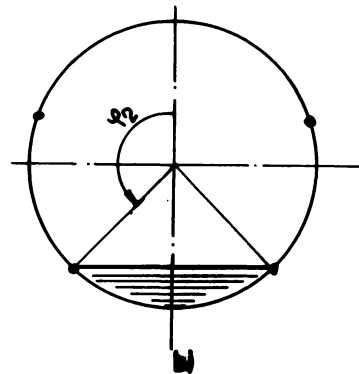
-rezervor partial umplut I, la care lichidul umple rezervorul pna la nivelul inelului I (fig.5.20.a);

1 - rezervor partial umplut II, lichidul fiind numai pna la nivelul inelului II (fig.5.20.b).

**umplerea partială I**



**umplerea partială II**



**FIG.5.20**  
**Rezervor partial plin; umplere partială I și II**

**1) Intervalul 1** ( $0 < \varphi \leq \varphi_1$ )

Deoarece nivelul lichidului nu depaseste nivelul inelului I, aceasta portiune din sfera nu este sollicitata.

**2) Intervalul 2** ( $\varphi_1 < \varphi \leq \varphi_2$ )

**a) Sistemul de baza.**

Presiunea lichidului pentru incarcarea partiala este:

$$Z_p = -\gamma \cdot R \cdot [(1 - \cos\varphi) \cdot (1 - \cos\varphi_1)] = -\gamma \cdot R \cdot (\cos\varphi_1 - \cos\varphi) \quad (5.165)$$

Din relatia (5.25) rezulta:

$$N_{\varphi'} = \frac{\gamma \cdot R^2}{\sin^2\varphi} \cdot \left[ (\cos\varphi_1 - \cos\varphi) \cdot \cos\varphi \cdot \sin\varphi \cdot d\varphi + C1 \right] \quad (5.166)$$

Notam:

$$I = \int (\cos\varphi_1 - \cos\varphi) \cdot \cos\varphi \cdot \sin\varphi \cdot d\varphi$$

Integrala I este calculata in anexa A1.8:

$$I = -\cos \varphi_1 \cdot \frac{\cos^2 \varphi}{2} + \frac{\cos^3 \varphi}{3} \quad (5.167)$$

$$N_{\varphi}^{\circ} = \frac{\gamma \cdot R^2}{\sin^2 \varphi} \cdot \left( \frac{\cos^3 \varphi}{3} - \cos \varphi_1 \cdot \frac{\cos^2 \varphi}{2} + C \right) \quad (5.168)$$

Constanta C se determina din conditia ca pentru  $\varphi = \varphi_1$ , sa rezulte  $N_{\varphi}^{\circ} = 0$ .

$$\frac{\cos^3 \varphi_1}{3} - \frac{\cos^3 \varphi_1}{2} + C = 0 \quad (5.169)$$

Rezulta:

$$C = \frac{\cos^3 \varphi_1}{6} \quad (5.170)$$

si astfel:

$$\begin{aligned} N_{\varphi}^{\circ} &= \frac{\gamma \cdot R^2}{\sin^2 \varphi} \cdot \left( \frac{\cos^3 \varphi}{3} - \cos \varphi_1 \cdot \frac{\cos^2 \varphi}{2} + \frac{\cos^3 \varphi_1}{6} \right) = \\ &= \frac{\gamma \cdot R^2}{6 \cdot \sin^2 \varphi} \cdot (2 \cdot \cos^3 \varphi - 3 \cdot \cos \varphi_1 \cdot \cos^2 \varphi + \cos^3 \varphi_1) \end{aligned} \quad (5.171)$$

Efortul axial  $N_{\theta}^{\circ}$  rezulta din (5.26):

$$\begin{aligned} N_{\theta}^{\circ} &= +\gamma \cdot R \cdot (\cos \varphi_1 - \cos \varphi) - \frac{\gamma \cdot R^2}{6 \cdot \sin^2 \varphi} \cdot (2 \cdot \cos^3 \varphi - 3 \cos \varphi_1 \cdot \cos^2 \varphi + \cos^3 \varphi_1) = \\ &= \frac{\gamma \cdot R^2}{6 \cdot \sin^2 \varphi} \cdot (4 \cdot \cos^3 \varphi - 3 \cdot \cos \varphi_1 \cdot \cos^2 \varphi - 6 \cdot \cos \varphi + 6 \cdot \cos \varphi_1 - \cos^3 \varphi_1) \end{aligned} \quad (5.172)$$

Valorile eforturilor axiale  $N_{\varphi}^{\circ}$  si  $N_{\theta}^{\circ}$  sint date in tabelul 5.19.

**Tabelul 5.19. EFORTURILE AXIALE  $N_{\varphi}^{\circ}$  SI  $N_{\theta}^{\circ}$  DIN PRESIUNEA LICHIDULUI, UMLERE PARTIALA I, PENTRU INTERVALUL 2.**

$\varphi^{\circ}$	$N_{\varphi}^{\circ} / \gamma \cdot R^2$	$N_{\theta}^{\circ} / \gamma \cdot R^2$
75°	0,0000	0,0000
90°	0,0029	0,2559
105°	-0,0124	0,5300
120°	-0,0948	0,8536
135°	-0,3593	1,3252

Deplasarile vor fi determinate similar cazurilor precedente:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{\varphi}^{\circ} - \varepsilon_{\theta}^{\circ} &= \frac{1+\mu}{E \cdot t} (N_{\varphi}^{\circ} - N_{\theta}^{\circ}) = (1+\mu) \frac{\gamma \cdot R^2}{3 \cdot E \cdot t \sin^2 \varphi} \cdot \frac{1}{(-\cos^3 \varphi + 3 \cdot \cos \varphi - 3 \cdot \cos \varphi_1 + \cos^3 \varphi_1)} \end{aligned} \quad (5.173)$$

$$v^{\circ} = C \cdot \sin \varphi + (1+\mu) \cdot \frac{\gamma \cdot R^3}{3 \cdot E \cdot t} \cdot \sin \varphi \cdot \int \frac{-\cos^3 \varphi + 3 \cos \varphi - 3 \cos \varphi_1 + \cos^3 \varphi_1}{\sin^3 \varphi} d\varphi \quad (5.174)$$

Notam:

$$I = \int \frac{-\cos^3 \varphi + 3 \cos \varphi - 3 \cos \varphi_1 + \cos^3 \varphi_1}{\sin^3 \varphi} d\varphi$$

Integrala I rezulta din anexa A1.9:

$$I = \ln(\sin \varphi) - \frac{(3 - \cos^2 \varphi_1) \cos \varphi_1}{2} \ln\left(\operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}\right) + \frac{(3 - \cos^2 \varphi_1) \cos \varphi_1 \cos \varphi - 2}{2 \cdot \sin^2 \varphi} \quad (5.175)$$

Inlocuind in (5.174) rezulta:

$$v^{\circ} = C \cdot \sin \varphi + (1+\mu) \cdot \frac{\gamma \cdot R^3}{3 \cdot E \cdot t} \cdot \sin \varphi \cdot \left[ \ln(\sin \varphi) - \frac{(3 - \cos^2 \varphi_1) \cos \varphi_1}{2} \ln\left(\operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}\right) + \frac{(3 - \cos^2 \varphi_1) \cos \varphi_1 \cos \varphi - 2}{2 \cdot \sin^2 \varphi} \right] \quad (5.176)$$

Se renunta la calculul celorlalte deplasari ( $w^{\circ}$ ,  $\chi^{\circ}$ ,  $\eta^{\circ}$ ), deoarece nu vor mai interveni in calculele urmatoare.

Constanta C se determina din conditia ca pentru  $\varphi = \varphi_2$ ,  $v = 0$ .

Rezulta:

$$C \cdot \sin \varphi_2 + (1+\mu) \cdot \frac{\gamma \cdot R^3}{3 \cdot E \cdot t} \cdot \sin \varphi_2 \cdot \left[ \ln(\sin \varphi_2) - \frac{(3 - \cos^2 \varphi_1) \cos \varphi_1}{2} \ln\left(\operatorname{tg} \frac{\varphi_2}{2}\right) + \frac{(3 - \cos^2 \varphi_1) \cos \varphi_1 \cos \varphi_2 - 2}{2 \cdot \sin^2 \varphi_2} \right] = 0 \quad (5.177)$$

de unde:

$$C = -(1+\mu) \cdot \frac{\gamma \cdot R^3}{3 \cdot E \cdot t} \cdot \eta_7 \quad (5.178)$$

unde:

$$\eta_7 = \ln(\sin \varphi_2) - \frac{(3 - \cos^2 \varphi_1) \cos \varphi_1}{2} \ln\left(\operatorname{tg} \frac{\varphi_2}{2}\right) + \frac{(3 - \cos^2 \varphi_1) \cos \varphi_1 \cos \varphi_2 - 2}{2 \cdot \sin^2 \varphi_2} \quad (5.179)$$

Rezulta:

$$v^{\circ} = -(1+\mu) \cdot \frac{\gamma \cdot R^3}{3 \cdot E \cdot t} \cdot \sin \varphi \cdot \left[ \eta_7 - \ln(\sin \varphi) + \frac{(3 - \cos^2 \varphi_1) \cdot \cos \varphi_1}{2} \cdot \ln\left(\operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}\right) - \frac{(3 - \cos^2 \varphi_1) \cdot \cos \varphi_1 \cdot \cos \varphi - 2}{2 \cdot \sin^2 \varphi} \right] \quad (5.180)$$

b) Eforturi si deplasari din  $X=1$ .

Eforturile si deplasările din  $X=1$  sint cele determinate in paragraful 5.4.5.2-b.

c) Eforturi finale.

Necunoscuta  $X$  se determina din ecuatia (5.87):

$$\begin{aligned}
 & -(1+\mu) \cdot \frac{\gamma \cdot R^3}{3 \cdot E \cdot t} \cdot \sin \varphi_1 \cdot [\xi_7 - \ln(\sin \varphi_1)] + \frac{(3 - \cos^2 \varphi_1) \cdot \cos \varphi_1}{2} \cdot \ln\left(\operatorname{tg} \frac{\varphi_1}{2}\right) - \\
 & - \frac{(3 - \cos^2 \varphi_1) \cdot \cos^2 \varphi_1 - 2}{2 \cdot \sin^2 \varphi_1} \cdot (1+\mu) \frac{X \cdot R}{E \cdot t} \cdot \sin^3 \varphi_1 [\xi_3 - (\ln\left(\operatorname{tg} \frac{\varphi_1}{2}\right) - \frac{\cos \varphi_1}{\sin^2 \varphi_1})] = 0
 \end{aligned}
 \tag{5.181}$$

Rezulta astfel:

$$X = - \frac{\gamma \cdot R^2}{3} \cdot \frac{\xi_7 - \ln(\sin \varphi_1) + \frac{(3 - \cos^2 \varphi_1) \cdot \cos \varphi_1}{2} \cdot \ln\left(\operatorname{tg} \frac{\varphi_1}{2}\right) - \frac{(3 - \cos^2 \varphi_1) \cdot \cos^2 \varphi_1 - 2}{2 \cdot \sin^2 \varphi_1}}{\sin^2 \varphi_1 \cdot [\xi_3 - (\ln\left(\operatorname{tg} \frac{\varphi_1}{2}\right) - \frac{\cos \varphi_1}{\sin^2 \varphi_1})]}
 \tag{5.182}$$

Pentru  $\varphi_1 = 75^\circ$  rezulta valoarea:

$$X = +0,2917 \cdot \gamma \cdot R^2
 \tag{5.183}$$

Suprapunind valorile sistemului de baza cu cele din  $X$ , rezulta eforturile finale din tabelul 5.20.

**Tabelul 5.20. EFORTURILE AXIALE FINALE  $N_\varphi$  SI  $N_\theta$  DIN PRESIUNEA LICHIDULUI, UMLEREA PARTIALA I, PE INTERVALUL 2**

$\varphi^\circ$	$N_\varphi / \gamma \cdot R^2$	$N_\theta / \gamma \cdot R^2$
75°	+0,2917	-0,2917
90°	+0,2751	-0,0163
105°	+0,2793	+0,2383
120°	+0,2681	+0,4907
135°	+0,1850	+0,7809

3) Intervalul 3. ( $\varphi_2 < \varphi \leq \pi$ )

Efortul  $N_\varphi$  poate fi calculat din relatia (5.168). Constanta  $C$  se determina din conditia ca pentru  $\varphi = 180^\circ$ ,  $N_\varphi$  sa aiba o valoare finita. Rezulta:

$$C = \frac{1}{3} + \frac{\cos \varphi_1}{2}
 \tag{5.184}$$

$$N_\varphi = \frac{\gamma \cdot R^2}{\sin^2 \varphi} \cdot \left( \frac{\cos^3 \varphi}{3} - \cos \varphi_1 \cdot \frac{\cos^2 \varphi}{2} + \frac{1}{3} + \frac{\cos \varphi_1}{2} \right) =$$

$$= \frac{\gamma \cdot R^2}{6} \cdot \left( 2 + 3 \cdot \cos \varphi_1 + \frac{2 \cdot \cos^2 \varphi}{1 - \cos \varphi} \right) \quad (5.185)$$

Efortul axial  $N_\theta$  rezulta din (5.26)

$$N_\theta = \frac{\gamma \cdot R^2}{6} \cdot \left( 3 \cdot \cos \varphi_1 - 2 - 4 \cdot \cos \varphi - \frac{2 \cdot \cos \varphi}{1 - \cos \varphi} \right) \quad (5.186)$$

Se observa ca daca se pune  $\varphi_1=0$ , adica umplere totala, se obtin aceleasi valori pentru  $N_\varphi$  si  $N_\theta$  ca cele pentru rezervor plin, determinate in paragraful 5.4.6.3.

Valorile eforturilor axiale  $N_\varphi$  si  $N_\theta$  sint prezentate in tabelul 5.21.

**Tabelul 5.21. EFORTURILE AXIALE  $N_\varphi$  SI  $N_\theta$  DIN PRESIUNEA LICHIDULUI, UMLERE PARTIALA I, PENTRU INTEVALUL 3.**

$\varphi^\circ$	$N_\varphi / \gamma \cdot R^2$	$N_\theta / \gamma \cdot R^2$
135°	+0,5604	+0,4056
150°	+0,5967	+0,5281
165°	+0,6210	+0,6038
180°	+0,6294	+0,6294

#### 4) Eforturi finale pe sfera completa.

In figura 5.21 sint trasate eforturile din presiunea lichidului, cu umplerea pina la nivelul inelului I. Se constata ca eforturile sint de intindere, cu exceptia unei mici zone linga inelul I, unde eforturile axiale  $N_\theta$  sint de compresiune. Tinind seama ca inelul I este intins, in urma conlucrarii lui cu placa de care se va tine seama in teoria de incovoiere, aceste eforturi de compresiune vor fi mult mai mici decit cele determinate din teoria de membrana.

#### 5.4.7.2. Rezervor partial umplut II.

##### 1) Intervalul 1 ( $0 < \varphi \leq \varphi_1$ )

Eforturile sint nule pe acest interval.

##### 2) Intervalul 2 ( $\varphi_1 < \varphi \leq \varphi_2$ )

Eforturile sint nule pe acest interval.

##### 3) Intervalul 3 ( $\varphi_2 < \varphi \leq \pi$ )

Presiunea lichidului pentru aceasta incarcare va fi (v. fig. 5.20b):

$$Z_P = -\gamma \cdot R \cdot [(1 - \cos \varphi) - (1 - \cos \varphi_2)] = -\gamma \cdot R \cdot (\cos \varphi_2 - \cos \varphi) \quad (5.187)$$

Similar paragrafului 5.4.7.1-2a, rezulta:

$$N_\varphi = \frac{\gamma \cdot R^2}{\sin^2 \varphi} \cdot \left( \frac{\cos^3 \varphi}{3} - \cos \varphi_2 \cdot \frac{\cos^2 \varphi}{2} + C \right) \quad (5.188)$$

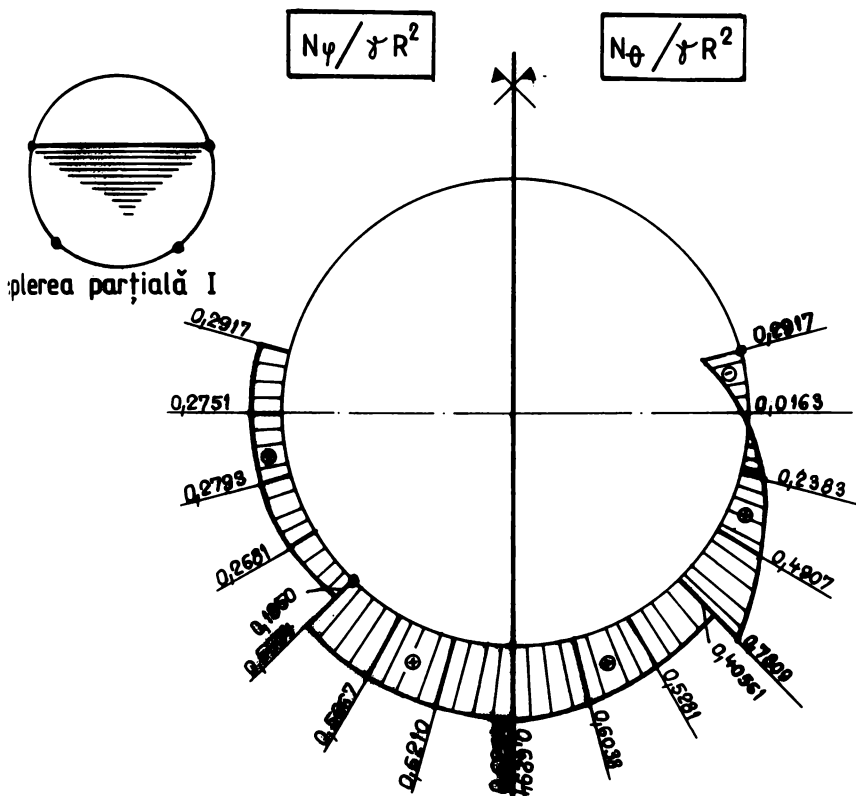


FIG. 5.21  
Eforturile axiale  $N_\varphi$  și  $N_\theta$  din presiunea lichidului,  
umplerea parțială I

Constanta  $C$  se determina similar paragrafului 5.4.7.1-3, introducând  $\varphi_1$  cu  $\varphi_2$ . Se obtine astfel:

$$C = \frac{1}{3} + \frac{\cos \varphi_2}{2} \quad (5.199)$$

$$N_\varphi = \frac{\gamma \cdot R^2}{6} \cdot \left( 2 + 3 \cdot \cos \varphi_2 + \frac{2 \cdot \cos^2 \varphi}{1 + \cos \varphi} \right) \quad (5.199a)$$

$$N_\theta = \frac{\gamma \cdot R^2}{6} \cdot \left( 3 \cdot \cos \varphi_2 - 2 - 4 \cdot \cos \varphi - \frac{2 \cdot \cos \varphi}{1 + \cos \varphi} \right) \quad (5.199b)$$



Eforturile axiale  $N_\varphi$  și  $N_\theta$  sînt trecute în tabelul 5.22.

Tabelul 5.22. EFORTURILE AXIALE  $N_\varphi$  ȘI  $N_\theta$  DIN PRESIUNEA LICHIDULUI, REZERVOR PARȚIAL UMPLUT II, PE INTERVALUL 3.

$\varphi^\circ$	$N_\varphi / \gamma \cdot R^2$	$N_\theta / \gamma \cdot R^2$
135°	+0,0774	-0,0774
150°	+0,1138	+0,0452
165°	+0,1380	+0,1208
180°	+0,1465	+0,1465

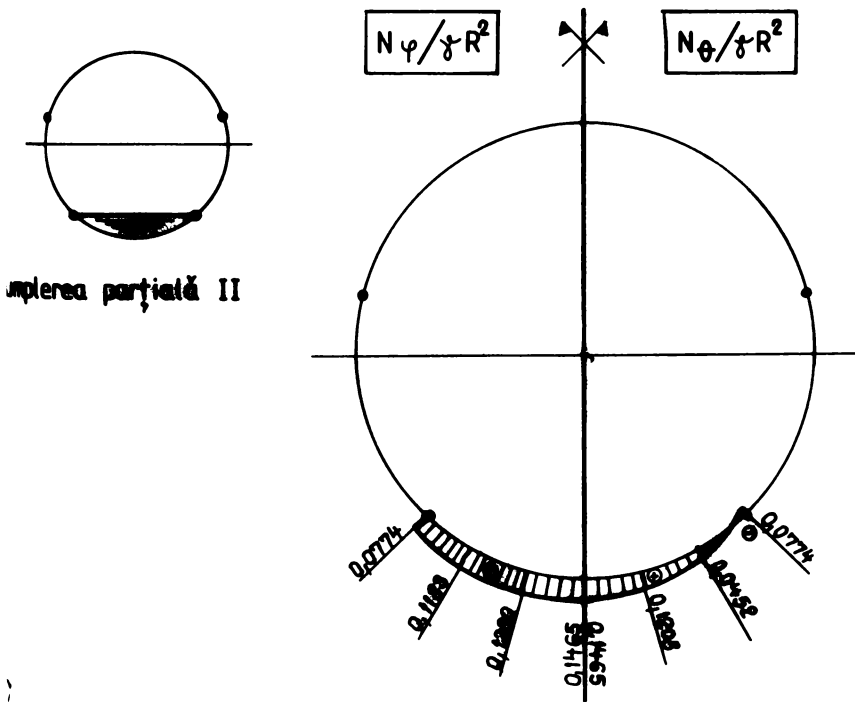


FIG. 5.22  
Eforturile axiale  $N_\varphi$  și  $N_\theta$  din presiunea lichidului  
umplere parțială II

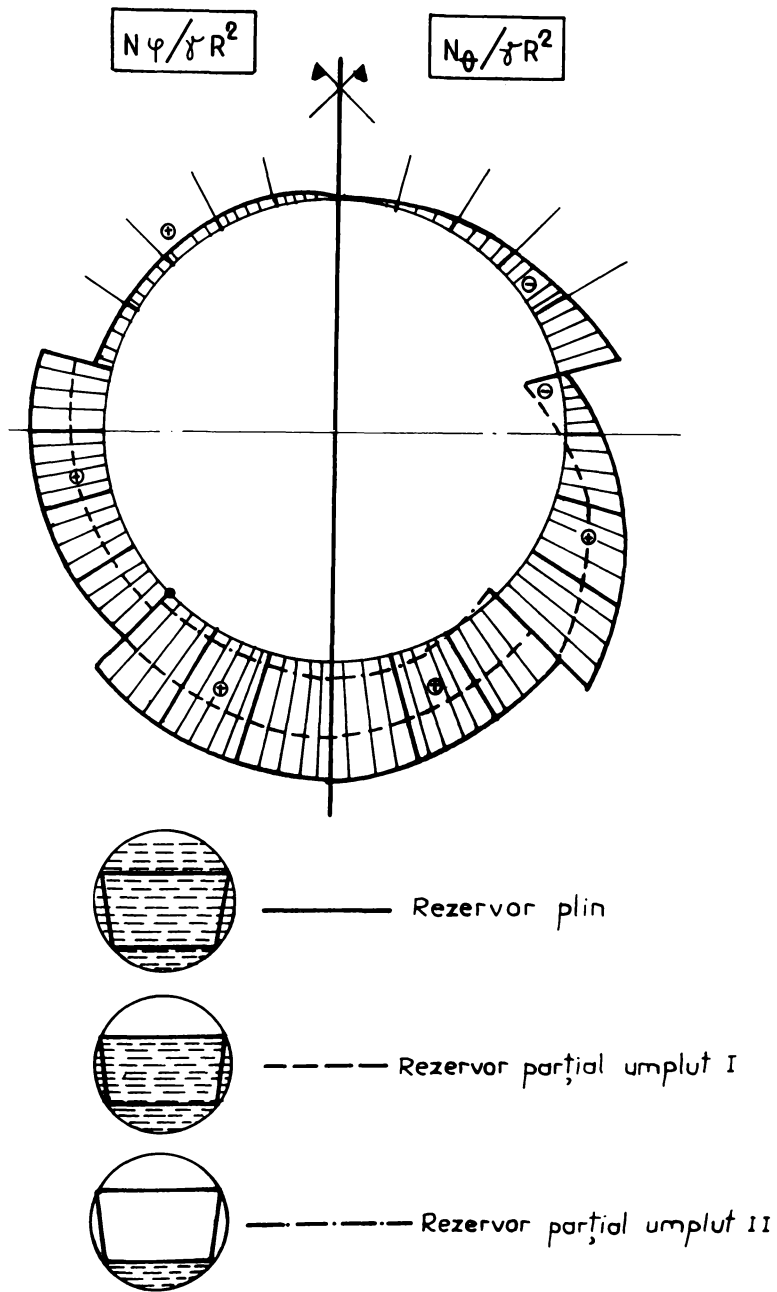


FIG. 5.23

Eforturi axiale  $N_\varphi$  și  $N_\theta$  din presiunea lichidului pentru diferite cazuri de umplere

#### 4) Eforturi finale pe sfera completa.

Eforturile sînt trasate in figura 5.22. Se observa ca numai fundul rezervorului este solicitat. Eforturile de compresiune  $N_{\theta}$  de sub inelul II sînt extrem de mici.

#### 5.4.7.3. Comparatie cu cazul rezervorului plin.

In figura 5.23 s-au trasat diagramele de eforturi pentru cazurile rezervorului plin si rezervorului cu umpleri parțiale I si II.

Se constata ca eforturile maxime rezulta in cazul rezervorului plin. Eforturile de compresiune  $N_{\theta}$  care rezulta in cazul umplerii parțiale sînt mici si, asa cum am aratat mai inainte, vor fi reduse prin conlucrarea cu inelele de rezemare, efecte de care se va tine seama in capitolele urmatoare.

#### 5.4.8. Eforturile si deformatiile din depresiune.

##### 5.4.8.1. Intervalul 1 ( $0 < \varphi \leq \varphi_1$ )

Incarcarea din depresiune reprezinta o actiune normala la suprafata sferei si uniform distribuita pe aceasta suprafata.

Rezulta, astfel:

$$X_d = 0 ; Y_d = 0 ; Z_d = p \quad (5.191)$$

Din ecuatie (5.25) rezulta:

$$N_{\varphi} = - \frac{P \cdot R}{\sin^2 \varphi} \cdot \left( \cos \varphi \cdot \sin \varphi \cdot d\varphi + C \right) = - \frac{P \cdot R}{\sin^2 \varphi} \cdot \left( \frac{\sin^2 \varphi}{2} + C \right) \quad (5.192)$$

Constanta de integrare  $C$  se determina din conditia ca pentru  $\varphi = 0$ ,  $N_{\varphi}$  sa aiba o valoare finita. Rezulta:

$$C = 0 \quad (5.193)$$

si astfel:

$$N_{\varphi} = - \frac{P \cdot R}{2} \quad (5.194a)$$

valoare constanta pe intregul interval 1. Din relatia (5.23b) se obtine:

$$N_{\theta} = -P \cdot R + \frac{P \cdot R}{2} = - \frac{P \cdot R}{2} \quad (5.194b)$$

si aceasta fiind constanta pe suprafata placii.

Eforturile axiale  $N_{\varphi}$  si  $N_{\theta}$  sînt prezentate in tabelul 5.23.

**Tabelul 5.23. EFORTURILE AXIALE  $N_{\varphi}$  SI  $N_{\theta}$  DIN DEPRESIUNE, PE INTERVALUL 1.**

$\varphi^\circ$	$N_{\varphi}/P \cdot R$	$N_{\theta}/P \cdot R$
0°	-0,5000	-0,5000
15°	-0,5000	-0,5000
30°	-0,5000	-0,5000
45°	-0,5000	-0,5000
60°	-0,5000	-0,5000
75°	-0,5000	-0,5000

Deformatiile rezulta din (5.37) si (5.38), in care:

$$\epsilon_{\varphi} - \epsilon_{\theta} = 0$$

rezultind astfel:  $v = C \cdot \sin \varphi$  (5.195a)

$$w = C \cdot \cos \varphi + \frac{1-\mu}{2} \frac{P \cdot R^2}{E \cdot t} \quad (5.195b)$$

$$\chi_{\varphi} = - \frac{1-\mu}{2} \frac{P \cdot R^2}{E \cdot t} \cdot \sin \varphi \quad (5.195c)$$

$$\chi_{\theta} = C + \frac{1-\mu}{2} \frac{P \cdot R^2}{E \cdot t} \cdot \cos \varphi \quad (5.195d)$$

Constanta C de integrare se determina din conditia ca pentru  $\varphi = \varphi_1$ ,  $v=0$ . Rezulta:  $C \cdot \sin \varphi_1 = 0$  (5.196)

de unde:  $C = 0$  (5.197)

si, prin urmare, deplasările intervalului 1 sînt:

$$v = 0 \quad (5.198a)$$

$$w = \frac{1-\mu}{2} \frac{P \cdot R^2}{E \cdot t} \quad (5.198b)$$

$$\chi_{\varphi} = - \frac{1-\mu}{2} \frac{P \cdot R^2}{E \cdot t} \cdot \sin \varphi \quad (5.198c)$$

$$\chi_{\theta} = \frac{1-\mu}{2} \frac{P \cdot R^2}{E \cdot t} \cdot \cos \varphi \quad (5.198d)$$

$$\chi_{\varphi} = 0 \quad (5.198e)$$

Valorile  $v$ ,  $w$ ,  $\chi_{\varphi}$  si  $\chi_{\theta}$ , din depresiune, pentru intervalul 1 sînt prezentate in tabelul 5.24.

**Tabelul 5.24. DEPLASARILE  $v$ ,  $w$ ,  $\chi_{\varphi}$  SI  $\chi_{\theta}$  DIN DEPRESIUNE PENTRU INTERVALUL 1.**

$\varphi^\circ$	$\frac{v/P \cdot R^2}{E \cdot t}$	$\frac{w/P \cdot R^2}{E \cdot t}$	$\frac{\chi_{\varphi}/P \cdot R^2}{E \cdot t}$	$\frac{\chi_{\theta}/P \cdot R^2}{E \cdot t}$
0°	0,0000	0,3500	0,0000	0,3500
15°	0,0000	0,3500	-0,0906	0,3381
30°	0,0000	0,3500	-0,1750	0,3031
45°	0,0000	0,3500	-0,2475	0,2475
60°	0,0000	0,3500	-0,3031	0,1750
75°	0,0000	0,3500	-0,3381	0,0906

### 5.4.8.2. Intervalul 2 ( $\varphi_1 < \varphi \leq \varphi_2$ )

a) Sistemul de baza.

Efortul axial  $N_{\varphi^{\circ}}$  rezulta din relatia (5.192), in care constanta  $C$  se determina din conditia ca pentru  $\varphi = \varphi_1$ ,  $N_{\varphi^{\circ}} = 0$ . Se obtine astfel:

$$\frac{\sin^2 \varphi_1}{2} + C = 0 \quad (5.196)$$

de unde:

$$C = - \frac{\sin^2 \varphi_1}{2} \quad (5.197)$$

Astfel, efortul  $N_{\varphi^{\circ}}$  va fi:

$$N_{\varphi^{\circ}} = - \frac{P \cdot R}{2} \cdot \left(1 - \frac{\sin^2 \varphi_1}{\sin^2 \varphi}\right) \quad (5.198)$$

Efortul axial  $N_{\theta^{\circ}}$  se obtine din relatia (5.23b):

$$N_{\theta^{\circ}} = -P \cdot R + \frac{P \cdot R}{2} \cdot \left(1 - \frac{\sin^2 \varphi_1}{\sin^2 \varphi}\right) = - \frac{P \cdot R}{2} \cdot \left(1 + \frac{\sin^2 \varphi_1}{\sin^2 \varphi}\right) \quad (5.199)$$

Eforturile axiale  $N_{\varphi^{\circ}}$  si  $N_{\theta^{\circ}}$  din depresiune pentru intervalul 2 sînt prezentate in tabelul 5.25.

**Tabelul 5.25. EFORTURILE AXIALE  $N_{\varphi^{\circ}}$  SI  $N_{\theta^{\circ}}$  DIN DEPRESIUNE PENTRU INTERVALUL 2.**

$\varphi^{\circ}$	$N_{\varphi^{\circ}}/P \cdot R$	$N_{\theta^{\circ}}/P \cdot R$
75°	0,0000	-1,0000
90°	-0,0335	-0,9665
105°	0,0000	-1,0000
120°	+0,1220	-1,1220
135°	+0,4330	-1,4330

Deplasarile se determina din ecuatia (5.37) si (5.38) cu:

$$\varepsilon_{\varphi^{\circ}} - \varepsilon_{\theta^{\circ}} = \frac{1+\mu}{E \cdot t} \cdot (N_{\varphi^{\circ}} - N_{\theta^{\circ}}) = (1+\mu) \cdot \frac{P \cdot R \sin^2 \varphi_1}{E \cdot t \sin^2 \varphi} \quad (5.200)$$

$$v^{\circ} = C \cdot \sin \varphi + (1+\mu) \cdot \frac{P \cdot R^2}{E \cdot t} \cdot \sin \varphi \cdot \sin^2 \varphi_1 \cdot \int \frac{1}{\sin^3 \varphi} \cdot d\varphi \quad (5.201)$$

Notam:

$$I = \int \frac{1}{\sin^3 \varphi} \cdot d\varphi$$

Integrala  $I$  se determina in anexa A1.1a:

$$I = \frac{1}{2} \cdot \left( \ln \left( \frac{\varphi}{\cos \varphi} \right) - \frac{\cos \varphi}{\sin^2 \varphi} \right) \quad (5.202)$$

si, prin urmare, rezulta:

$$v^{\circ} = C \cdot \sin \varphi + \frac{1+\mu}{2} \cdot \frac{P \cdot R^2}{E \cdot t} \cdot \sin \varphi \cdot \sin^2 \varphi_1 \cdot \left( \ln \left( \frac{\varphi}{\cos \varphi} \right) - \frac{\cos \varphi}{\sin^2 \varphi} \right) \quad (5.203a)$$

$$\begin{aligned}
 w^{\circ} &= C \cdot \cos \varphi + \frac{1+\mu}{2} \cdot \frac{P \cdot R^2}{E \cdot t} \cdot \cos \varphi \cdot \sin^2 \varphi_1 \cdot \left( \ln \left( \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} \right) - \frac{\cos \varphi}{\sin^2 \varphi} \right) + \\
 &+ \frac{P \cdot R^2}{2 \cdot E \cdot t} \cdot \left[ (1-\mu) + (1+\mu) \cdot \frac{\sin^2 \varphi_1}{\sin^2 \varphi} \right] = \\
 &= C \cdot \cos \varphi + \frac{P \cdot R^2}{2 \cdot E \cdot t} \cdot \left[ 1 - \mu + (1+\mu) \cdot \sin^2 \varphi_1 \cdot \left( 1 + \cos \varphi \cdot \ln \left( \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} \right) \right) \right] \quad (5.203b)
 \end{aligned}$$

Deplasările horizontale și verticale se obțin din (5.41a) și (5.40b).

$$\xi^{\circ} = - \frac{P \cdot R^2}{2 \cdot E \cdot t} \cdot \sin \varphi \cdot \left[ 1 - \mu + (1+\mu) \cdot \frac{\sin^2 \varphi_1}{\sin^2 \varphi} \right] \quad (5.204a)$$

$$\eta^{\circ} = C + \frac{P \cdot R^2}{2 \cdot E \cdot t} \cdot \left[ (1-\mu) \cdot \cos \varphi + (1+\mu) \cdot \sin^2 \varphi_1 \cdot \ln \left( \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} \right) \right] \quad (5.204b)$$

Constanta  $C$  se determina din condiția ca pentru  $\varphi = \varphi_2$ ,  $v^{\circ} = 0$ . Rezulta:

$$C \cdot \sin \varphi_2 + \frac{1+\mu}{2} \cdot \frac{P \cdot R^2}{E \cdot t} \cdot \sin \varphi_2 \cdot \sin^2 \varphi_1 \cdot \left( \ln \left( \operatorname{tg} \frac{\varphi_2}{2} \right) - \frac{\cos \varphi_2}{\sin^2 \varphi_2} \right) = 0 \quad (5.205)$$

de unde:

$$\begin{aligned}
 C &= - \frac{1+\mu}{2} \cdot \frac{P \cdot R^2}{E \cdot t} \cdot \sin^2 \varphi_1 \cdot \left( \ln \left( \operatorname{tg} \frac{\varphi_2}{2} \right) - \frac{\cos \varphi_2}{\sin^2 \varphi_2} \right) = \\
 &= - \frac{1+\mu}{2} \cdot \frac{P \cdot R^2}{E \cdot t} \cdot \sin^2 \varphi_1 \cdot \xi_3 \quad (5.206)
 \end{aligned}$$

unde  $\xi_3$  este data de relația (5.84).

Rezulta astfel:

$$w^{\circ} = - \frac{1+\mu}{2} \cdot \frac{P \cdot R^2}{E \cdot t} \cdot \sin \varphi \cdot \sin^2 \varphi_1 \cdot \left[ \xi_3 - \left( \ln \left( \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} \right) - \frac{\cos \varphi}{\sin^2 \varphi} \right) \right] \quad (5.207)$$

$$\begin{aligned}
 \xi^{\circ} &= - \frac{P \cdot R^2}{2 \cdot E \cdot t} \cdot \left\{ (1+\mu) \cdot \cos \varphi \cdot \sin^2 \varphi_1 \cdot \xi_3 - \left[ 1 - \mu + \right. \right. \\
 &\quad \left. \left. + (1+\mu) \cdot \sin^2 \varphi_1 \cdot \left( 1 + \cos \varphi \cdot \ln \left( \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} \right) \right) \right] \right\} \quad (5.208)
 \end{aligned}$$

Deplasarea horizontală  $\xi^{\circ}$  se determina din relația (5.204a), iar deplasarea verticală  $\eta^{\circ}$  va fi:

$$\begin{aligned}
 \eta^{\circ} &= - \frac{P \cdot R^2}{2 \cdot E \cdot t} \cdot \left\{ (1+\mu) \cdot \sin^2 \varphi_1 \cdot \xi_3 - \right. \\
 &\quad \left. - \left[ (1-\mu) \cdot \cos \varphi + (1+\mu) \cdot \sin^2 \varphi_1 \cdot \ln \left( \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} \right) \right] \right\} \quad (5.209)
 \end{aligned}$$

Rotirea tangentei la cercul meridian este nula.  
 Deplasările  $v^\circ$ ,  $w^\circ$ ,  $\xi^\circ$  și  $\eta^\circ$  sunt date în tabelul 5.26.

**Tabelul 5.26. DEPLASĂRILE  $v^\circ, w^\circ, \xi^\circ$  ȘI  $\eta^\circ$  DIN DEPRESIUNE PE INTERVALUL 2.**

$\varphi^\circ$	$\frac{v^\circ/P \cdot R^2}{E \cdot t}$	$\frac{w^\circ/P \cdot R^2}{E \cdot t}$	$\frac{\xi^\circ/P \cdot R^2}{E \cdot t}$	$\frac{\eta^\circ/P \cdot R^2}{E \cdot t}$
75°	-1,6625	+0,5545	-0,9660	-1,4622
90°	-1,3923	+0,9564	-0,9564	-1,3923
105°	-1,0272	+1,2752	-0,9660	-1,3222
120°	-0,5671	+1,4860	-1,0034	-1,2341
135°	0,0000	+1,5630	-1,1051	-1,1051

b) Eforturi și deplasări din  $X=1$ .

Eforturile și deplasările din  $X=1$  sunt determinate în paragraful 5.4.5.2.b.

c) Eforturi și deplasări finale.

Necunoscuta  $X$  se determină din condiția că pentru  $\varphi = \varphi_1$ , deplasarea finală  $v$  din depresiune și  $X$  să fie nule. Astfel, din ecuația (5.87) rezulta:

$$\begin{aligned}
 & - \frac{(1+\mu) P \cdot R^2}{2 E \cdot t} \cdot \sin^3 \varphi_1 \cdot \left[ \xi_3 - \left( \ln \left( \operatorname{tg} \frac{\varphi_1}{2} \right) - \frac{\cos \varphi_1}{\sin^2 \varphi_1} \right) \right] - \\
 & - (1+\mu) \cdot \frac{X \cdot R}{E \cdot t} \cdot \sin^3 \varphi_1 \cdot \left[ \xi_3 - \left( \ln \left( \operatorname{tg} \frac{\varphi_1}{2} \right) - \frac{\cos \varphi_1}{\sin^2 \varphi_1} \right) \right] = 0 \quad (5.210)
 \end{aligned}$$

de unde:

$$X = - \frac{P \cdot R}{E \cdot t} = -0,500 \cdot P \cdot R \quad (5.211)$$

Eforturile din intervalul 2 rezulta din relațiile (5.91a,b).  
 Valorile finale ale eforturilor axiale  $N_\varphi$  și  $N_\theta$  sunt date în tabelul 5.27.

**Tabelul 5.27. VALORILE FINALE ALE EFORTURILOR AXIALE  $N_\varphi$  ȘI  $N_\theta$  DIN DEPRESIUNE PE INTERVALUL 2.**

$\varphi^\circ$	$N_\varphi/P \cdot R$	$N_\theta/P \cdot R$
75°	-0,5000	-0,5000
90°	-0,5000	-0,5000
105°	-0,5000	-0,5000
120°	-0,5000	-0,5000
135°	-0,5000	-0,5000

Deplasările finale rezulta din relațiile (5.92a...d) și sunt prezentate în tabelul 5.28.

**Tabelul 5.28. DEPLASARILE FINALE  $v$ ,  $w$ ,  $\varphi$  SI  $\eta$  DIN DEPRESIUNE, PE INTERVALUL 2.**

$\varphi^\circ$	$\frac{v/P \cdot R^2}{E \cdot t}$	$\frac{w/P \cdot R^2}{E \cdot t}$	$\frac{\varphi/P \cdot R^2}{E \cdot t}$	$\frac{\eta/P \cdot R^2}{E \cdot t}$
75°	0,0000	+0,3500	-0,3381	+0,0906
90°	0,0000	+0,3500	-0,3500	0,0000
105°	0,0000	+0,3500	-0,3381	-0,0906
120°	0,0000	+0,3500	-0,3031	-0,1751
135°	0,0000	+0,3500	-0,2475	-0,2475

Se observa ca si pe acest interval, eforturile sint constante. Acest rezultat se datoreste faptului ca, in teoria de membrana, fixarea intervalului 2 in cele doua inele se face dupa directia tangentelor la suprafata mediana, iar deplasarea normala  $w$  este libera.

**5.4.8.3. Intervalul 3 ( $\varphi_2 < \varphi \leq \pi$ )**

Similar celor de la paragraful 5.4.8.1, efortul axial  $N_\varphi$  rezulta din (5.192), in care constanta  $C$  se determina din conditia ca pentru  $\varphi=180^\circ$ ,  $N_\varphi$  sa aiba o valoare finita. Se obtine  $C=0$  si, prin urmare:

$$N_\varphi = -\frac{P \cdot R}{2} \quad ; \quad N_\theta = -\frac{P \cdot R}{2} \quad (5.212)$$

Eforturile axiale  $N_\varphi$  si  $N_\theta$  sint prezentate in tabelul 5.29.

**Tabelul 5.29. EFORTURILE AXIALE  $N_\varphi$  SI  $N_\theta$ , PE INTERVALUL 3**

$\varphi^\circ$	$N_\varphi/P \cdot R$	$N_\theta/P \cdot R$
135°	-0,5000	-0,5000
150°	-0,5000	-0,5000
165°	-0,5000	-0,5000
180°	-0,5000	-0,5000

Deformatiile rezulta similar primului interval si constanta  $C$  se va determina din conditia ca pentru  $\varphi=\varphi_2$ , sa rezulte  $v=0$ . Rezulta astfel deplasari identice - ca relatii de calcul - cu cele pentru intervalul 1 (relatiile (5.198a...d)). Deplasările  $v$ ,  $w$ ,  $\varphi$  si  $\eta$  sint prezentate in tabelul 5.30.

**5.4.8.4. Eforturi si deplasari pe sfera completa.**

Eforturile pe intreaga sfera sint trecute in figura 5.24. Se observa ca, din depresiune, eforturile sint constante pe intreaga suprafata. Acest fapt se datoreaza ipotezei de membrana care a pretins ca reactiunile sa fie tangente la suprafata mediana.



Tabelul 5.30. DEPLASARILE  $v$ ,  $w$ ,  $\xi$  SI  $\eta$  DIN DEPRESIUNE PE INTERVALUL 3.

$\varphi$ , °	$\frac{v/P \cdot R^2}{E \cdot t}$	$\frac{w/P \cdot R^2}{E \cdot t}$	$\frac{\xi/P \cdot R^2}{E \cdot t}$	$\frac{\eta/P \cdot R^2}{E \cdot t}$
135°	0,0000	+0,3500	-0,2475	-0,2475
150°	0,0000	+0,3500	-0,1750	-0,3031
165°	0,0000	+0,3500	-0,0906	-0,3381
180°	0,0000	+0,3500	0,0000	-0,3500

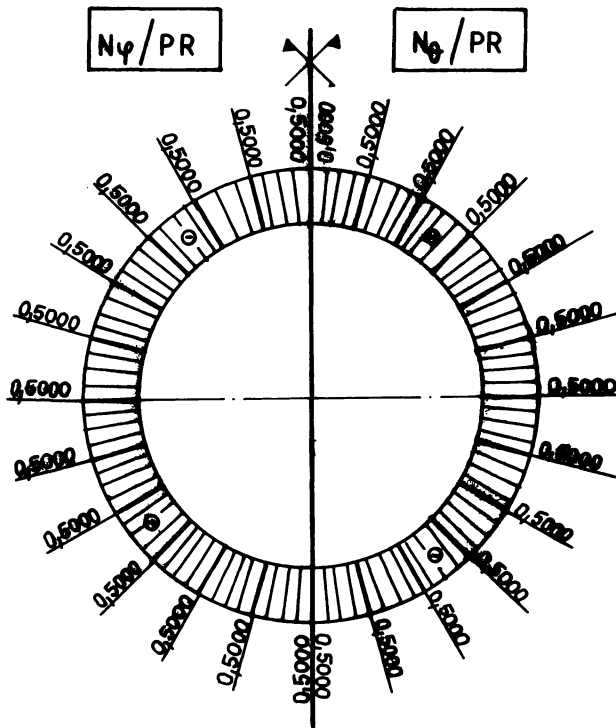


FIG. 5.24  
Eforturi axiale  $N_\psi$  și  $N_\phi$  din depresiune

Astfel, prezenta inelelor I si II nu a perturbat starea de eforturi.

Deplasările  $v$  și  $w$  sunt prezentate în figura 5.25. Se constată că  $v$  este nulă pe întreaga suprafață, iar  $w$  este constantă, neinfluențată de rezemările pe inelele I și II.

Deplasările  $\xi$  și  $\eta$  sunt trasate în figura 5.26. Se observă și în acest caz, continuitatea deformațiilor în dreptul rezemării pe inele.

Ca și în cazul eforturilor axiale, se constată că inelele de rezemare nu au produs nici o perturbare a stării de deformații, din cauza ipotezelor făcute în teoria de membrană.

În realitate însă, deplasările sferei sunt legate de cele ale inelelor și va exista o perturbare a stării de eforturi și deformații, care va fi determinată în cadrul teoriei de înveliș.

Încărcările pe inelele I și II din depresiune sunt nule.

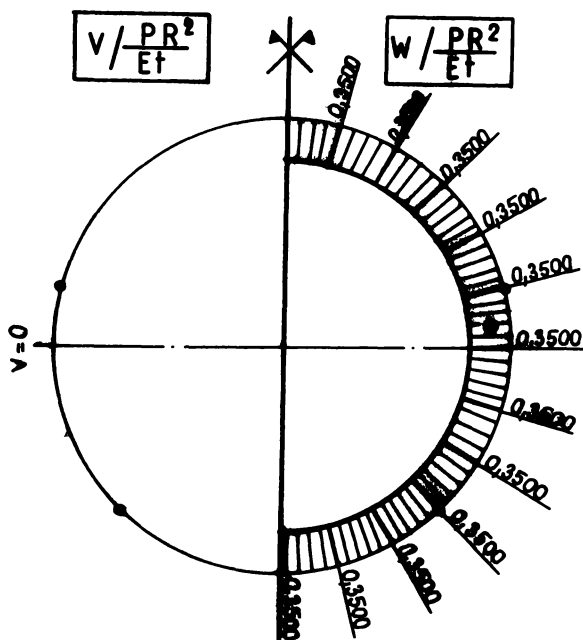


FIG. 5.25  
Deplasările  $V$  și  $W$  din depresiune

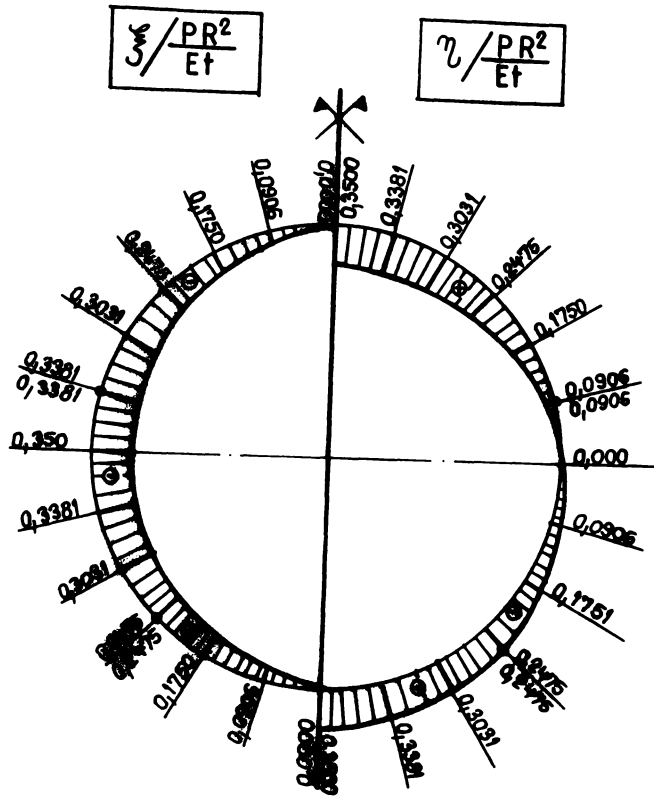


FIG. 5.26  
Deplasările  $\xi$  și  $\eta$  din depresiune

5.4.9. Eforturi si deformatii din vint.

5.4.9.1. Incarcarea din vint.

Asa cum rezulta din figura 5.4, incarcarea din vint pe sfera prezinta o simetrie axiala in jurul axei horizontale.

Rezultanta incarcarii din vint pe suprafata aferenta unghiului  $\alpha$  este  $P_V(\alpha)$  (fig.5.27a), iar cea corespunzatoare suprafeței întregi  $P_V$  (fig.5.27b). Rezultanta  $P_V(\alpha)$  se va determina din relatia (vezi si figura 5.28):

$$P_V(\alpha) = \int_0^\alpha P_V(\alpha) \cdot \cos\alpha \cdot 2\pi R \cdot \sin\alpha \cdot R \cdot d\alpha = 2\pi \cdot R^2 \cdot P_V \cdot \int_0^\alpha \cos\alpha \cdot \sin\alpha \cdot d\alpha \quad (5.213)$$

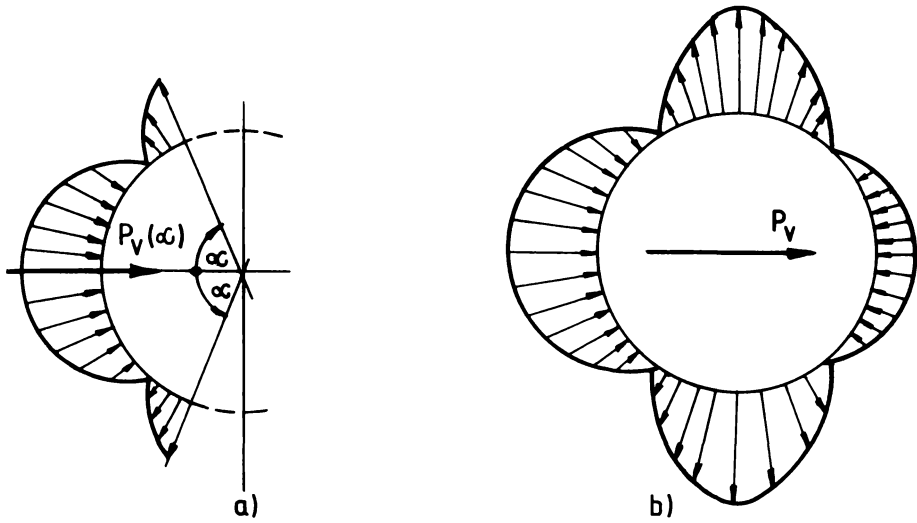


FIG. 5.27  
Rezultanta acțiunii vîntului a)rezultantă parțială, b)rezultanta suprafeței întregi

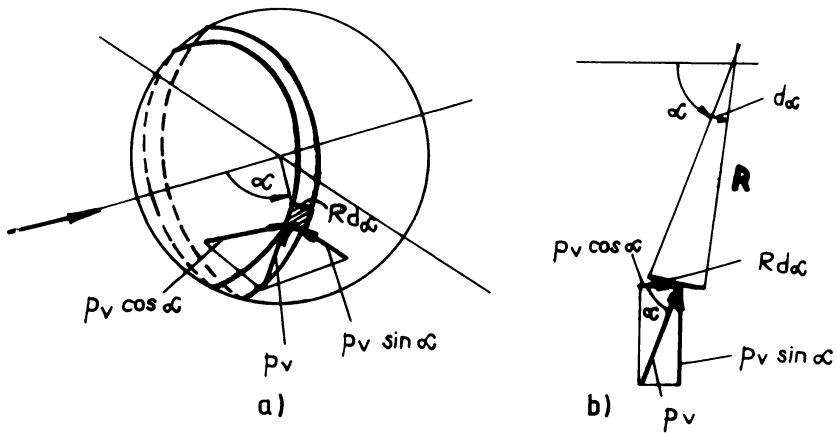


FIG. 5.28  
Calculul rezultantei parțiale  $P_v(\alpha)$

in care s-a folosit relatia (5.5b). Pentru coeficientul  $c_n(\alpha)$  se foloseste expresia (5.6) si, astfel:

$$P_V(\alpha) = 2\pi R^2 \cdot p_V \cdot \int_0^\alpha (c_0 + c_1 \cdot \cos \alpha + c_2 \cdot \cos 2\alpha + c_3 \cdot \cos 3\alpha + c_4 \cdot \cos 4\alpha) \cdot \cos \alpha \cdot \sin \alpha \cdot d\alpha =$$

$$= 2\pi \cdot R^2 \cdot p_V \cdot (c_0 \cdot I_0 + c_1 \cdot I_1 + c_2 \cdot I_2 + c_3 \cdot I_3 + c_4 \cdot I_4) \quad (5.214)$$

in care integralele sint calculate in anexa A1.10.

$$I_0 = \int_0^\alpha \cos \alpha \cdot \sin \alpha \cdot d\alpha = - \left. \frac{\cos^2 \alpha}{2} \right|_0^\alpha = - \frac{1}{2} \cdot (\cos^2 \alpha - 1) \quad (5.215a)$$

$$I_1 = \int_0^\alpha \cos^2 \alpha \cdot \sin \alpha \cdot d\alpha = - \left. \frac{\cos^3 \alpha}{3} \right|_0^\alpha = - \frac{1}{3} \cdot (\cos^3 \alpha - 1) \quad (5.215b)$$

$$I_2 = \int_0^\alpha \cos 2\alpha \cdot \cos \alpha \cdot \sin \alpha \cdot d\alpha = - \left. \frac{\cos^2 \alpha}{2} (\cos^2 \alpha - 1) \right|_0^\alpha = - \frac{\cos^2 \alpha}{2} \cdot (\cos^2 \alpha - 1) \quad (5.215c)$$

$$I_3 = \int_0^\alpha \cos 3\alpha \cdot \cos \alpha \cdot \sin \alpha \cdot d\alpha = - \left. \cos^3 \alpha \cdot \left( \frac{4 \cdot \cos^2 \alpha}{5} - 1 \right) \right|_0^\alpha =$$

$$= - \left[ \cos^3 \alpha \cdot \left( \frac{4 \cdot \cos^2 \alpha}{5} - 1 \right) + \frac{1}{5} \right] \quad (5.215d)$$

$$I_4 = \int_0^\alpha \cos^4 \alpha \cdot \cos \alpha \cdot \sin \alpha \cdot d\alpha = - \left. \frac{\cos^2 \alpha}{2} \cdot \left( \frac{8 \cdot \cos^4 \alpha}{3} - 4 \cos^2 \alpha + 1 \right) \right|_0^\alpha =$$

$$= - \left[ \frac{\cos^2 \alpha}{2} \cdot \left( \frac{8 \cdot \cos^4 \alpha}{3} - 4 \cdot \cos^2 \alpha + 1 \right) + \frac{1}{6} \right] \quad (5.215e)$$

Se obtine astfel:

$$P_V(\alpha) = -2\pi \cdot p_V \cdot R^2 \cdot \left\{ \frac{c_0}{2} \cdot (\cos^2 \alpha - 1) + \frac{c_1}{3} \cdot (\cos^3 \alpha - 1) + \frac{c_2 \cdot \cos^2 \alpha}{2} \cdot (\cos^2 \alpha - 1) + \right.$$

$$\left. + c_3 \cdot \left[ \cos^3 \alpha \cdot \left( \frac{4 \cdot \cos^2 \alpha}{5} - 1 \right) + \frac{1}{5} \right] + c_4 \cdot \left[ \frac{\cos^2 \alpha}{2} \cdot \left( \frac{8 \cdot \cos^4 \alpha}{3} - 4 \cdot \cos^2 \alpha + 1 \right) + \frac{1}{6} \right] \right\} \quad (5.216)$$

Ordonind relatia in raport cu puterile lui  $\cos \alpha$ , se obtine:

$$P_V(\alpha) = -2\pi \cdot p_V \cdot R^2 \cdot (A_0 + A_2 \cdot \cos^2 \alpha + A_3 \cdot \cos^3 \alpha + A_4 \cdot \cos^4 \alpha + A_5 \cdot \cos^5 \alpha + A_6 \cdot \cos^6 \alpha) =$$

$$= -2\pi \cdot p_V \cdot R^2 \cdot (0,053 - 0,600 \cdot \cos^2 \alpha - 0,053 \cdot \cos^3 \alpha + 0,575 \cdot \cos^4 \alpha +$$

$$+ 0,092 \cdot \cos^5 \alpha - 0,067 \cdot \cos^6 \alpha) \quad (5.217)$$

$$A_0 = -\frac{c_0}{2} - \frac{c_1}{3} + \frac{c_3}{5} + \frac{c_4}{6} = 0,053 \quad (5.218a)$$

$$A_2 = \frac{c_0}{2} - \frac{c_2}{2} + \frac{c_4}{2} = -0,600 \quad (5.218b)$$

$$A_3 = \frac{c_1}{3} - c_3 = -0,053 \quad (5.218c)$$

$$A_4 = \frac{c_2}{2} - 2 \cdot c_4 = 0,575 \quad (5.218d)$$

$$A_5 = \frac{4}{5} \cdot c_3 = 0,092 \quad (5.218e)$$

$$A_6 = \frac{4}{3} \cdot c_4 = -0,067 \quad (5.218f)$$

La calculul coeficientilor  $A_0 \dots A_6$  s-au utilizat valorile  $c_0 \dots c_4$  determinate la punctul 5.2.5.

Incarcarea totala  $P_V$  se determina pentru  $\alpha=180^\circ$ . Rezulta din (5.216):

$$P_V = P_V(180^\circ) = -2\pi \cdot p_V \cdot R^2 \cdot \left( -\frac{2}{3} \cdot c_1 + \frac{2}{5} \cdot c_3 \right) \quad (5.219)$$

Tinind seama de valorile determinate la punctul 5.2.5:

$$c_1 = 0,185$$

$$c_3 = 0,115$$

se obtine:

$$P_V = 0,4859 \cdot p_V \cdot R^2 \quad (5.220)$$

#### 5.4.9.2. Schema statica.

Incarcarea din vint este preluata de sfera, care o transmite inelelor de sustinere. Acestea, la rindul lor, prin intermediul diagonalelor si montantilor, transmit incarcarea din vint la structura de sustinere.

Deoarece cele doua inele nu sint amplasate simetric fata de axa orizontala a rezervorului, nu vor fi incarcate egal, inelul I fiind incarcat mai mult decit inelul II. Modul de repartizare al incarcarii totale  $P_V$  la cele doua inele se determina din conditiile (vezi figura 5.29)

$$P_V^I + P_V^{II} = P_V \quad (5.221a)$$

$$P_V^I \cdot R \cdot \sin\beta_1 - P_V^{II} \cdot R \cdot \sin\beta_2 = 0 \quad (5.221b)$$

Se obtine astfel:

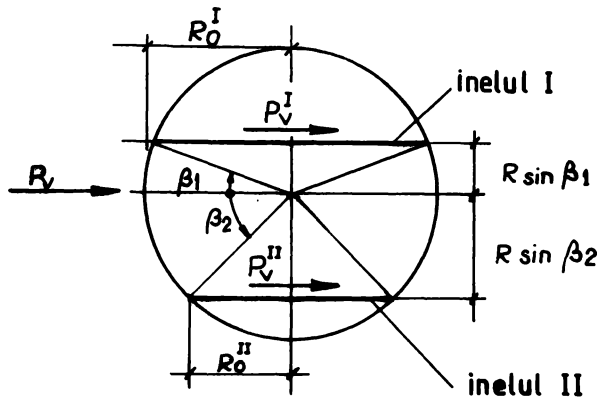


FIG. 5.29  
Distribuția presiunii vîntului la cele două inele

$$\frac{P_{v}^I}{P_{v}^{II}} = + \frac{\sin \beta_2}{\sin \beta_1} \quad (5.222)$$

si, astfel, rezultantele:

$$P_{v}^I = +P_v \cdot \frac{\frac{\sin \beta_2}{\sin \beta_1}}{1 + \frac{\sin \beta_2}{\sin \beta_1}} \quad (5.223a)$$

$$P_{v}^{II} = +P_v \cdot \frac{1}{1 + \frac{\sin \beta_2}{\sin \beta_1}} \quad (5.223b)$$

Tinind seama ca  $\beta_1=15^\circ$  si  $\beta_2=45^\circ$ , rezulta:

$$P_{v}^I=0,7321 \cdot P_v=0,3557 \cdot P_v \cdot R^2, \quad P_{v}^{II}=0,2679 \cdot P_v=0,1302 \cdot P_v \cdot R^2 \quad (5.224)$$

Aceste actiuni produc reactionile rezultante

$$R_{v}^I = P_{v}^I \quad ; \quad R_{v}^{II} = P_{v}^{II}$$

care apar in inele I si II.

Pentru a determina reactionile distribuite  $r_{v}^I$  care apar la nivelul legaturii dintre inelul I si sfera, care au ca rezultanta

pe  $R_v^I$  se face ipoteza ca variatia acestora este constanta pe lungimea inelului (fig. 5.30a). Cu toate ca aceasta ipoteza nu este perfect valabila, fortele variind dupa o lege mai complexa, rezultatele nu pot sa difere foarte mult de cele ce se vor obtine, pentru ca fortele  $r_v^I$  situate paralel cu axa de rotatie preiau cea mai mare parte din incarcare, cele apropiate de axa fiind practic normale pe ea. Rezulta astfel (fig. 5.30b):

$$R_v^I = 2 \int_0^\pi r_v^I \cdot \sin \alpha^I \cdot R_0^I \cdot d\alpha^I = 2 \cdot r_v^I \cdot R_0^I \cdot \left[ -\cos \alpha^I \right]_0^\pi = 4 \cdot r_v^I \cdot R_0^I \quad (5.225)$$

Rezulta, astfel:

$$r_v^I = \frac{R_v^I}{4 \cdot R_0^I} = \frac{R_v^I}{4 \cdot R \cdot \cos \beta_1} = 0,0921 \cdot p_v \cdot R \quad (5.226)$$

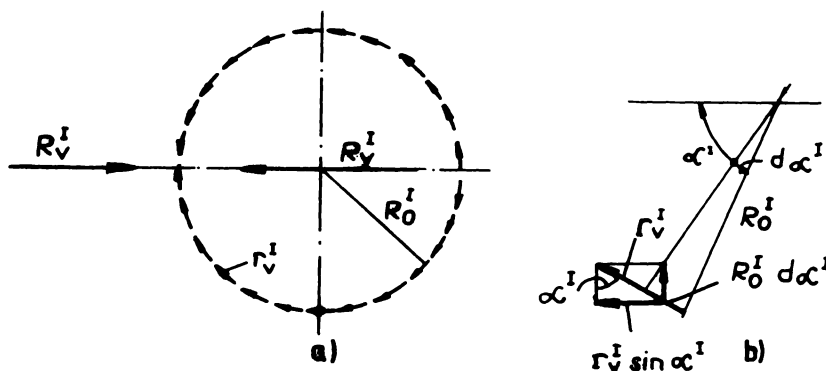


FIG. 5.30  
Calculul reacțiunii inelului asupra plăcii  $r_v^I$

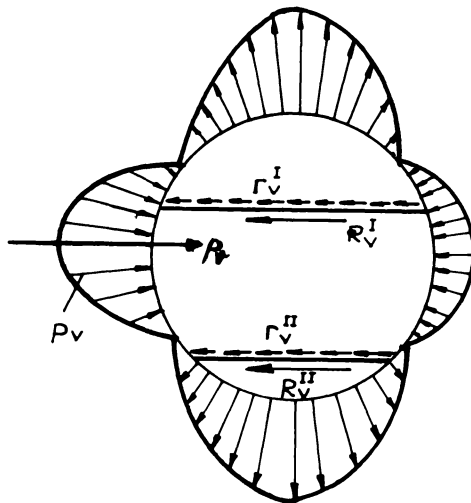
Similar, se calculează și:

$$r_v^{II} = \frac{R_v^{II}}{4 \cdot R_0^{II}} = \frac{R_v^{II}}{4 \cdot R \cdot \cos \beta_2} = 0,0460 \cdot p_v \cdot R \quad (5.227)$$

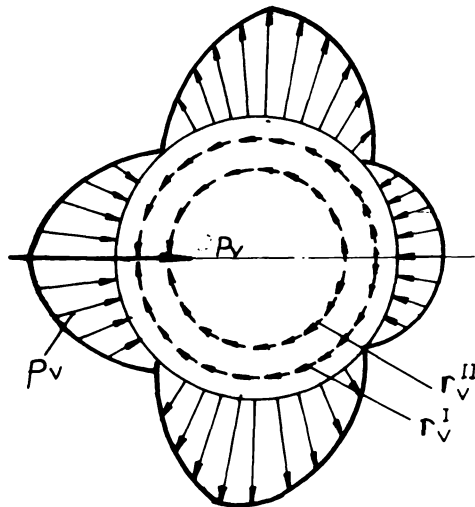
#### 5.4.9.3. Calculul eforturilor pe sistemul static determinat.

În figura 5.31 se prezintă încărcările din vânt ale sferei.





a) Secțiunea verticală



b) Secțiunea orizontală

FIG. 5.31

Încărcările totale din vînt și inele asupra rezervorului

Ele sint:

- presiunea vintului  $p_v(\alpha)$ , cu rezultanta  $P_v(\alpha)$ ;
- reactiunile rezultate din rezemarea pe cele doua inele,  $r_v^I$

si  $r_v^{II}$ , cu rezultantele  $R_v^I = P_v^I$  si  $R_v^{II} = P_v^{II}$ .

Rezultanta  $P_v(\alpha)$  va fi calculata cu relatia (5.217).

Rezultanta  $R_v^I(\alpha)$  se determina cu relatia (vezi figura 5.32b):

$$\begin{aligned} R_v^I(\alpha) &= 2 \int_0^{\alpha I} r_v^I \cdot \sin \alpha^I \cdot R_0^I \cdot d\alpha^I = 2 \cdot r_v^I \cdot R_0^I \cdot \int_0^{\alpha I} \sin \alpha^I \cdot d\alpha^I = \\ &= -2 \cdot r_v^I \cdot R_0^I \cdot \cos \alpha^I \Big|_0^{\alpha I} = 2 \cdot r_v^I \cdot R_0^I \cdot (1 - \cos \alpha^I) \end{aligned} \quad (5.228)$$

Din figura 5.32b rezulta:

$$R_0^I \cdot \cos \alpha^I = R \cdot \cos \alpha \quad (5.229)$$

de unde:

$$\cos \alpha^I = \frac{R \cdot \cos \alpha}{R \cdot \cos \beta_1} = \frac{\cos \alpha}{\cos \beta_1} \quad (5.230)$$

Se obtine, astfel:

$$R_v^I(\alpha) = 2 \cdot r_v^I \cdot R \cdot (\cos \beta_1 - \cos \alpha) = 0,1842 \cdot p_v \cdot R^2 \cdot (\cos \beta_1 - \cos \alpha) \quad (5.231)$$

Similar se calculeaza si  $R_v^{II}(\alpha)$

$$R_v^{II}(\alpha) = 2 \cdot r_v^{II} \cdot R \cdot (\cos \beta_2 - \cos \alpha) = 0,0920 \cdot p_v \cdot R^2 \cdot (\cos \beta_2 - \cos \alpha) \quad (5.232)$$

Relatiile (5.231) si (5.232) sint valabile numai pentru:

$$\cos \alpha \leq \cos \beta_1 \quad (5.233a)$$

$$\cos \alpha \leq \cos \beta_2 \quad (5.233b)$$

Reactiunile  $R_v^I(\alpha)$  si  $R_v^{II}(\alpha)$  dau o rezultanta:

$$\begin{aligned} R_v(\alpha) &= R_v^I(\alpha) + R_v^{II}(\alpha) = \\ &= p_v \cdot R^2 \cdot [0,1842 \cdot (\cos \beta_1 - \cos \alpha) + 0,0920 \cdot (\cos \beta_2 - \cos \alpha)] \end{aligned} \quad (5.234)$$

si un moment de incovoiere  $M_v(\alpha)$

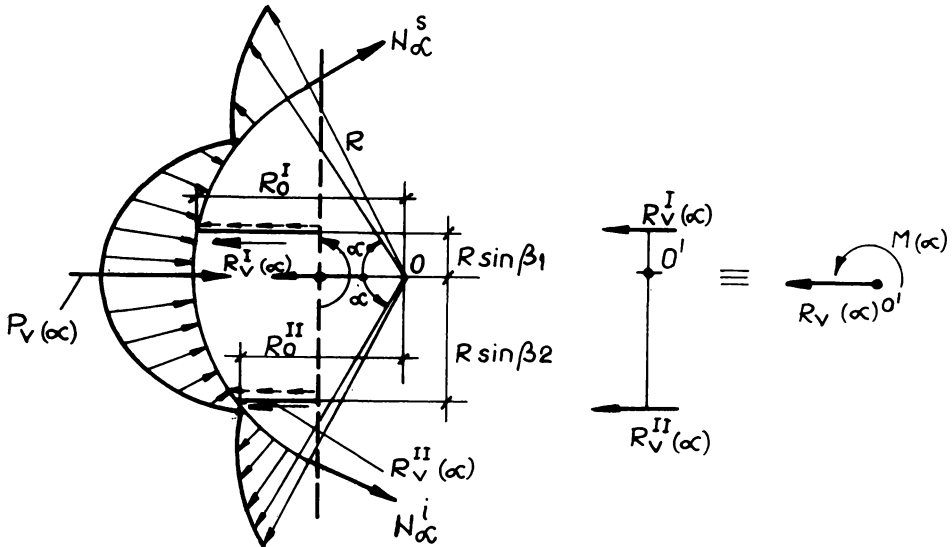
$$\begin{aligned} M_v(\alpha) &= R_v^I(\alpha) \cdot R \cdot \sin \beta_1 - R_v^{II}(\alpha) \cdot R \cdot \sin \beta_2 = \\ &= p_v \cdot R^3 \cdot [0,1842 \cdot (\cos \beta_1 - \cos \alpha) \cdot \sin \beta_1 - 0,0920 \cdot (\cos \beta_2 - \cos \alpha) \cdot \sin \beta_2] \end{aligned} \quad (5.235)$$

Din cauza conditiilor (5.233), momentul de incovoiere (5.235) are urmatoarele expresii:

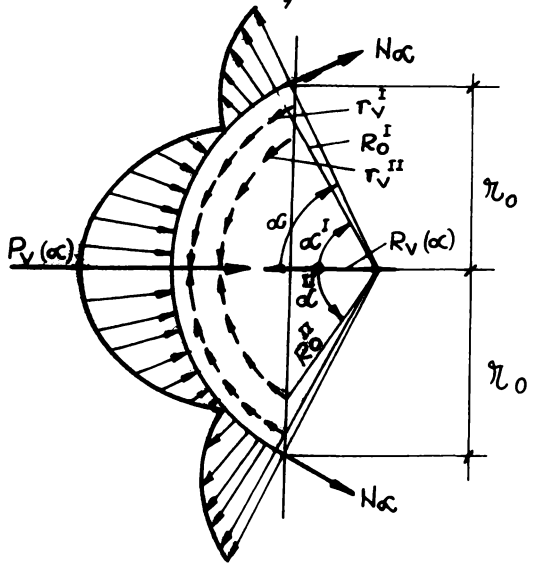
a)  $\alpha \leq 15^\circ$  - ambele reactiuni  $R_v^I$  si  $R_v^{II}$  sint nule,  $M_v(\alpha) = 0$ .

b)  $15^\circ < \alpha \leq 45^\circ$  - este nula reactiunea  $R_v^{II}$ .

$$M_v(\alpha) = R_v^I(\alpha) \cdot R \cdot \sin \beta_1 = 0,1842 \cdot p_v \cdot R^3 \cdot (\cos \beta_1 - \cos \alpha) \cdot \sin \beta_1 \quad (5.236)$$



a) Secțiunea verticală



b) Secțiunea orizontală

FIG. 5.32  
Încărcări și eforturi în secțiunea

- c)  $45^\circ < \alpha \leq 135^\circ$  - ambele reactiuni  $R_V^I$  si  $R_V^{II}$  exista si este valabila relatia (5.235)
- d)  $135^\circ < \alpha \leq 165^\circ$  -  $R_V^I$  este dat de relatia (5.231), iar  $R_V^{II}$  are valoare constanta:  
 $R_V^{II}(\alpha) = 0,1302 \cdot p_V \cdot R^2$

$$M_V(\alpha) = p_V \cdot R^3 \cdot [0,1842 \cdot (\cos\beta_1 - \cos\alpha) \cdot \sin\beta_1 - 0,1302 \cdot \sin\beta_2] \quad (5.237)$$

- e)  $165^\circ < \alpha \leq 180^\circ$  - ambele reactiuni au valori constante:

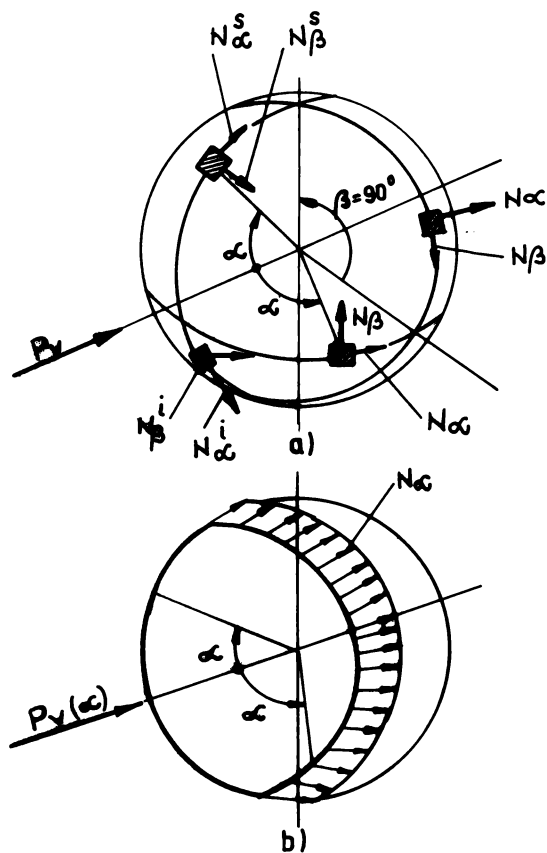


FIG. 5.33  
Eforturi axiale caracteristice

$$R_{V}^I(\alpha) = 0,3557 \cdot p_V \cdot R^2$$

$$R_{V}^{II}(\alpha) = 0,1302 \cdot p_V \cdot R^2$$

$$M_V(\alpha) = p_V \cdot R^3 \cdot (0,3557 \cdot \sin \beta_1 - 0,1302 \cdot \sin \beta_2) \quad (5.238)$$

Pentru ca determinarea eforturilor axiale pe întreaga suprafața a sferei este foarte dificilă, se vor calcula eforturile după câteva curbe caracteristice ale sferei (v. fig. 5.33a):

a) Eforturile axiale  $N_{\alpha}^S, N_{\beta}^S$  și  $N_{\alpha}^I, N_{\beta}^I$ , în lungul cercului  $\beta=90^\circ$ .

b) Eforturile axiale  $N_{\alpha}$  și  $N_{\beta}$ , în lungul cercului ecuator  $\beta=0^\circ$ .

c) Eforturile axiale  $N_{\alpha}$  și  $N_{\beta}$ , în lungul meridianului  $\alpha=90^\circ$

Calculul eforturilor se face în secțiuni verticale (v. fig. 5.33b) caracterizate de unghiul  $\alpha$ .

Pentru calculul eforturilor axiale  $N_{\alpha}^S$  și  $N_{\alpha}^I$  se poate folosi analogia lui Dischinger [3][4][5][6][7], care extinde la plăcile curbe încărcate nesimetric relația lui Navier. Astfel, din  $P_V(\alpha)$  și  $R_V(\alpha)$ , care sînt privite ca forțe axiale, se produc eforturile axiale  $N_{\alpha}$  uniform distribuite, care pot fi calculate dintr-o relație similară cu (5.28):

$$N_{\alpha}^n = - \frac{P_V(\alpha) - R_V(\alpha)}{2\pi \cdot R \cdot \sin^2 \alpha} \quad (5.239)$$

Din momentul de încovoiere  $M_V(\alpha)$  se produc eforturi axiale care variază liniar pe înălțimea inelului.

$$N_{\alpha}^m = \frac{M_V(\alpha)}{\pi \cdot r_0^2 \cdot \sin \alpha} = \frac{M_V(\alpha)}{\pi \cdot R^2 \cdot \sin^3 \alpha} \quad (5.240)$$

în care  $\pi \cdot r_0^2$  are rolul modulului de rezistență  $W$ ,  $r_0$  fiind raza secțiunii (v. fig. 5.32).

$$r_0 = R \cdot \sin \alpha \quad (5.241)$$

Eforturile de la partea superioară a sferei  $N_{\alpha}^S$ , respectiv de pe partea inferioară  $N_{\alpha}^I$ , vor fi:

$$\left. \begin{array}{l} N_{\alpha}^S \\ N_{\alpha}^I \end{array} \right\} = N_{\alpha}^n \pm N_{\alpha}^m = - \frac{P_V(\alpha) - R_V(\alpha)}{2\pi \cdot R \cdot \sin^2 \alpha} \pm \frac{M_V(\alpha)}{\pi \cdot R^2 \cdot \sin^3 \alpha} \quad (5.242)$$

Calculul eforturilor axiale  $N_{\alpha}$  se face în tabelul 5.31.

Deoarece pentru  $\alpha=0$ , din relația (5.239), ținând seama că  $R_V(\alpha)=0$ , rezulta nedeterminarea  $\infty$ , aceasta putînd fi scisă sub forma:

$$N_{\alpha}^n = p_V \cdot R \cdot \frac{1 - \cos \alpha}{(1 - \cos \alpha)(1 + \cos \alpha)} \cdot \left[ - \frac{c_0}{2} \cdot (1 + \cos \alpha) - \frac{c_1}{3} \cdot (\cos^2 \alpha + \cos \alpha + 1) - \frac{c_2}{2} \cdot \cos^2 \alpha \cdot (1 + \cos \alpha) + \frac{c_3}{5} \cdot (-4 \cdot \cos^4 \alpha - 4 \cdot \cos^3 \alpha + \cos^2 \alpha + \cos \alpha + 1) + \frac{c_4}{6} \cdot (1 + \cos \alpha) \cdot (-8 \cdot \cos^4 \alpha + 4 \cdot \cos^2 \alpha + 1) \right] =$$

$$\begin{aligned}
= & - \frac{P_V \cdot R}{1 + \cos \alpha} \cdot \left[ \frac{c_0}{2} \cdot (1 + \cos \alpha) + \frac{c_1}{3} \cdot (\cos^2 \alpha + \cos \alpha + 1) + \frac{c_2}{2} \cdot \cos^2 \alpha \cdot (1 + \cos \alpha) - \right. \\
& - \frac{c_3}{5} \cdot (-4 \cdot \cos^4 \alpha - 4 \cdot \cos^3 \alpha + \cos^2 \alpha + \cos \alpha + 1) - \\
& \left. - \frac{c_4}{6} \cdot (1 + \cos \alpha) \cdot (-8 \cdot \cos^4 \alpha + 4 \cdot \cos^2 \alpha + 1) \right] \quad (5.243)
\end{aligned}$$

Pentru  $\alpha=0$  se obtine:

$$N_{\alpha}^n = -P_V \cdot R \cdot \frac{c_0 + c_1 + c_2 + c_3 + c_4}{2} = -0,5000 \cdot P_V \cdot R \quad (5.244)$$

in care s-a tinut seama de relatia (5.7a).

In mod similar, pentru  $\alpha=180^\circ$ , din relatia (5.239) si (5.219) rezulta de asemenea nedeterminarea  $\%$ . Relatia (5.239) poate fi scrisa sub forma de mai jos:

Tabelul 5.31. CALCULUL EFORTURILOR AXIALE  $N_{\alpha}^s$  SI  $N_{\alpha}^n$  DIN VINT PENTRU  $\beta=90^\circ$  PE STRUCTURA STATIC DETERMINATA.

$\alpha$	$\frac{P_V(\alpha)}{P_V \cdot R}$	$\frac{R_V^I(\alpha)}{P_V \cdot R}$	$\frac{R_V^{II}(\alpha)}{P_V \cdot R}$	$\frac{R_V(\alpha)}{P_V \cdot R}$	$\frac{M_V(\alpha)}{P_V \cdot R}$	$\frac{N_{\alpha}^n}{P_V \cdot R}$	$\frac{N_{\alpha}^m}{P_V \cdot R}$	$\frac{N_{\alpha}^s}{P_V \cdot R}$	$\frac{M_{\alpha}}{P_V \cdot R}$
0°	0,0000	-	-	-	-	-0,5000*	-	-0,5000	-0,5000
15°	+0,1953	0,0000	-	0,0000	0,0000	-0,4640	-	-0,4640	-0,4640
30°	+0,5745	+0,0184	-	+0,0184	+0,0048	-0,3540	+0,0122	-0,2662	-0,3418
45°	+0,7169	+0,0477	0,0000	+0,0477	+0,0123	-0,2130	+0,0111	-0,2241	-0,2015
60°	+0,4138	+0,0858	+0,0191	+0,1049	+0,0087	-0,0656	+0,0043	-0,0659	-0,0613
75°	-0,0915	+0,1302	+0,0412	+0,1714	+0,0045	+0,0448	+0,0016	+0,0432	+0,0464
90°	-0,3330	+0,1779	+0,0651	+0,2430	0,0000	+0,0917	0,0000	+0,0917	+0,0917
105°	-0,1017	+0,2256	+0,0889	+0,3145	-0,0045	+0,0710	-0,0016	+0,0726	+0,0654
120°	+0,3667	+0,2700	+0,1111	+0,3811	-0,0087	+0,0021	-0,0042	+0,0073	+0,0011
135°	+0,6858	+0,3082	+0,1302	+0,4384	-0,0123	-0,0787	-0,0110	-0,0677	-0,0897
150°	+0,7051	+0,3374	+0,1302	+0,4676	-0,0047	-0,1512	-0,0120	-0,1292	-0,1632
165°	+0,5672	+0,3557	+0,1302	+0,4859	0,0000	-0,1932	0,0000	-0,1932	-0,1932
180°	+0,4900	+0,3557	+0,1302	+0,4859	0,0000	-0,2000**	0,0000	-0,2000	-0,2000

(\*) Valoarea efortului se determina din relatia (5.244)

(\*\*) Valoarea efortului se determina din relatia (5.246).

$$\begin{aligned}
N_{\alpha}^n = & P_V \cdot R \cdot \frac{(1 + \cos \alpha)}{(1 - \cos \alpha) \cdot (1 + \cos \alpha)} \cdot \left[ - \frac{c_0}{2} \cdot (1 - \cos \alpha) + \frac{c_1}{3} \cdot (\cos^2 \alpha - \cos \alpha + 1) - \right. \\
& - \frac{c_2}{2} \cdot \cos^2 \alpha \cdot (1 - \cos \alpha) - \frac{c_3}{5} \cdot (-4 \cos^4 \alpha + 4 \cos^3 \alpha + \cos^2 \alpha - \cos \alpha + 1) + \\
& \left. + \frac{c_4}{6} \cdot (1 - \cos \alpha) \cdot (-8 \cos^4 \alpha + 4 \cos^2 \alpha + 1) \right]
\end{aligned}$$

**Tabelul 5.32. CALCULUL EFORTURILOR  $N^s_\beta$  SI  $N^i_\beta$  DIN VINT  
PENTRU  $\beta=90^\circ$  PE STRUCTURA STATIC DETERMINATA**

$\alpha^\circ$	$-\frac{Z \cdot R}{P_V \cdot R}$	$-\frac{N^s_\alpha}{P_V \cdot R}$	$-\frac{N^i_\alpha}{P_V \cdot R}$	$\frac{N^s_\beta}{P_V \cdot R}$	$\frac{N^i_\beta}{P_V \cdot R}$
0°	-1,0000	+0,5000	+0,5000	-0,5000	-0,5000
15°	-0,8600	+0,4640	+0,4640	-0,3960	-0,3960
30°	-0,4600	+0,3662	+0,3418	-0,0938	-0,1182
45°	+0,1000	+0,2241	+0,2019	+0,3241	+0,3019
60°	+0,6700	+0,0699	+0,0613	+0,7399	+0,7313
75°	+1,0800	-0,0432	-0,0464	+1,0368	+1,0336
90°	+1,2000	-0,0917	-0,0917	+1,1083	+1,1083
105°	+1,0100	-0,0726	-0,0694	+0,9374	+0,9406
120°	+0,6300	-0,0073	+0,0011	+0,6227	+0,6310
135°	+0,2000	+0,0677	+0,0897	+0,2677	+0,2897
150°	-0,1400	+0,1392	+0,1632	-0,0008	+0,0232
165°	-0,3400	+0,1932	+0,1932	-0,1468	-0,1468
180°	-0,4000	+0,2000	+0,2000	-0,2000	-0,2000

$$\begin{aligned}
 N^n_\alpha = & -\frac{P_V \cdot R}{1 - \cos \alpha} \cdot \left[ \frac{c_0}{2} \cdot (1 - \cos \alpha) - \frac{c_1}{3} \cdot (\cos^2 \alpha - \cos \alpha + 1) + \right. \\
 & + \frac{c_2}{2} \cdot \cos^2 \alpha \cdot (1 - \cos \alpha) + \frac{c_3}{5} \cdot (-4 \cos^4 \alpha + 4 \cos^3 \alpha + \cos^2 \alpha - \cos \alpha + 1) - \\
 & \left. - \frac{c_4}{6} \cdot (1 - \cos \alpha) \cdot (-8 \cos^4 \alpha + 4 \cos^2 \alpha + 1) \right] \quad (5.245)
 \end{aligned}$$

Pentru  $\alpha=180^\circ$  rezulta:

$$N^n_\alpha = -P_V \cdot R \cdot \frac{c_0 - c_1 + c_2 - c_3 + c_4}{2} = -0,200 \cdot P_V \cdot R \quad (5.246)$$

in care s-a tinut seama de relatia (5.7a).

Calculul eforturilor axiale  $N_\beta$  se face din relatia (5.26).

$$N_\beta = -Z \cdot R - N_\alpha = c_n(\alpha) \cdot P_V \cdot R - N_\alpha \quad (5.247)$$

Eforturile  $N_\beta$  sint date in tabelul 5.32.

In tabelul 5.33 sint date valorile lui  $N_\alpha$  si  $N_\beta$  pentru  $\beta=0$  (in lungul ecuatorului), iar in tabelul 5.34 aceleasi eforturi in lungul meridianului  $\alpha=90^\circ$

**Tabelul 5.33.**  
**EFORTURILE AXIALE  $N_\alpha$  SI  $N_\beta$**   
**PENTRU  $\beta=0$ .**

$\alpha^\circ$	$N_\alpha/P_V \cdot R$	$N_\beta/P_V \cdot R$
0°	-0,5000	-0,5000
15°	-0,4640	-0,3960
30°	-0,3540	-0,1060
45°	-0,2130	+0,3130
60°	-0,0656	+0,7356
75°	+0,0448	+1,0352
90°	+0,0917	+1,1083
105°	+0,0710	+0,9390
120°	+0,0031	+0,6269
135°	-0,0787	+0,2787
150°	-0,1512	+0,0112
165°	-0,1932	-0,1468
180°	-0,2000	-0,2000

**Tabelul 5.34.**  
**EFORTURILE AXIALE  $N_\alpha$  SI  $N_\beta$**   
**PENTRU  $\alpha=90^\circ$ .**

$\beta^\circ$	$N_\alpha/P_V \cdot R$	$N_\beta/P_V \cdot R$
0°	0,0917	1,1083
15°	0,0917	1,1083
30°	0,0917	1,1083
45°	0,0917	1,1083
60°	0,0917	1,1083
75°	0,0917	1,1083
90°	0,0917	1,1083
105°	0,0917	1,1083
120°	0,0917	1,1083
135°	0,0917	1,1083
150°	0,0917	1,1083
165°	0,0917	1,1083
180°	0,0917	1,1083

In privinta eforturilor de lunecare, acestea sint nule daca starea de eforturi este axial simetrica.

Se constata ca, in cazul nostru, abaterile de la simetria axiala (diferentele intre  $N_\beta$ ,  $N_\alpha$  si  $N_\alpha^1$  pentru un  $\alpha$  dat) sint foarte mici si, prin urmare, si eforturile de lunecare va avea valori nesemnificative pentru proiectarea rezervorului. Intradevar, eforturile de lunecare pot fi calculate conform analogiei Dischinger [3][4][5][6][7] din relatia:

$$N_{\alpha\beta} = \frac{M_V}{\pi \cdot r_0^2 \cdot \text{tg}^2 \alpha} = \frac{M_V}{\pi \cdot R^2 \cdot \sin^2 \alpha \cdot \text{tg}^2 \alpha} \quad (5.248)$$

Momentul maxim ( $M_V$ )<sub>max</sub> rezulta din tabelul 5.31. In sectiunea  $\alpha=45^\circ$  se obtine:

$$N_{\alpha\beta\text{max}} = \frac{0,0123 \cdot P_V \cdot R^3}{\pi \cdot R^2 \cdot \sin^2 45 \cdot \text{tg}^2 45} = 0,0078 \cdot P_V \cdot R \quad (5.249)$$

ceea ce confirma cele aratate mai sus.

#### 5.4.9.4. Eforturi suplimentare pe intervalul 2. static nedeterminate.

Deoarece inelele I si II sint legate cu un sistem de diagonale si montanti, distantele dintre ele trebuie sa ramina constante.

Astfel, vor apare eforturi suplimentare numai pentru intervalul 2.

Spre deosebire de calculul efectuat pentru celelalte tipuri de incarcari, la care exista o simetrie fata de o axa verticala, in cazul incarcarii din vint aceasta simetrie nu exista. Deoarece deducerea unei formule de calcul general este foarte dificila, s-a adoptat o metoda simplificata care determina conditiile de eforturi numai in liniile caracteristice a-a, b-b, c-c, prezentate



in figura 5.34. In plus, tinind seama de complexitatea formulelor de determinare a eforturilor, in locul metodei analitice utilizate in celelalte cazuri, s-a adoptat o metoda numerica.

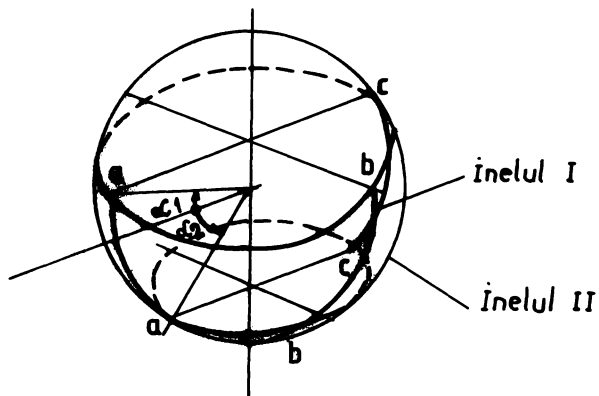


FIG. 5.34  
Linii caracteristice pentru calculul efectului nedeterminării  
statice la intervalul 2

a) Sectiunea a-a.

Deplasarea din eforturile static determinate este, conform relatiei (5.37):

$$v^{\circ}(\alpha_1) = R \cdot \sin \alpha_1 \cdot \int_{\alpha_2}^{\alpha_1} \frac{\epsilon_{\alpha} - \epsilon_{\beta}}{\sin \alpha} \cdot d\alpha = R \cdot \sin \alpha_1 \cdot \frac{1+\mu}{E \cdot t} \int_{\alpha_2}^{\alpha_1} \frac{N_{\alpha} - N_{\beta}}{\sin \alpha} \cdot d\alpha =$$

$$= (1+\mu) \cdot \frac{R \cdot \sin \alpha_1}{E \cdot t} \cdot \left[ -\frac{1}{2} \cdot \frac{N_{\alpha} - N_{\beta}}{\sin \alpha} \right]_{\alpha=45^{\circ}} + \frac{N_{\alpha} - N_{\beta}}{\sin \alpha} \Big|_{\alpha=30^{\circ}} + \frac{N_{\alpha} - N_{\beta}}{\sin \alpha} \Big|_{\alpha=15^{\circ}} + \frac{N_{\alpha} - N_{\beta}}{\sin \alpha} \Big|_{\alpha=0^{\circ}} +$$

$$\frac{1}{2} \cdot \frac{N_{\alpha} - N_{\beta}}{\sin \alpha} \Big|_{\alpha=15^{\circ}} ] \cdot \Delta \alpha \quad (5.250)$$

in care s-a folosit metoda trapezului pentru calculul integralei. Deoarece pentru  $\alpha=0$  rezulta nedeterminarea  $\infty$ , s-a folosit regula lui L'Hopital:

$$\left. \frac{N_\alpha - N_\beta}{\sin \alpha} \right|_{\alpha=0^\circ} = \frac{\frac{d(N_\alpha - N_\beta)}{d\alpha}}{\frac{d(\sin \alpha)}{d\alpha}} \Bigg|_{\alpha=0} \approx \frac{\left. N_\alpha - N_\beta \right|_{\alpha=15^\circ} - \left. N_\alpha - N_\beta \right|_{\alpha=0^\circ}}{\left. \sin \alpha \right|_{\alpha=15^\circ} - \left. \sin \alpha \right|_{\alpha=0^\circ}} =$$

$$= \frac{N_\alpha - N_\beta}{\sin \alpha} \Bigg|_{\alpha=15^\circ} \quad (5.251)$$

in care s-a folosit derivarea cu diferente finite. Rezulta, astfel, din (5.250), tinind seama ca la transformarea in radiani:

$$\Delta \alpha = \frac{2 \cdot \pi \cdot 15^\circ}{360^\circ} = \frac{\pi}{12} = 0,2618 \quad (5.252)$$

$$v(\alpha_1) = R \cdot \sin \alpha_1 \cdot \frac{1+\mu}{E \cdot t} \cdot p_V \cdot R \cdot (-0,3562 - 0,4472 - 0,6568) \cdot 0,2618 =$$

$$= -0,3823 \cdot (1+\mu) \cdot \frac{p_V \cdot R^2}{E \cdot t} \cdot \sin \alpha_1 \quad (5.253)$$

Deplasarea din  $X=1$  este data de relatia (5.85a). Scriind o conditie similara cu (5.87), rezulta:

$$-0,4756(1+\mu) \frac{p_V \cdot R^2}{E \cdot t} \sin \alpha_1 - (1+\mu) \frac{X \cdot R}{E \cdot t} \sin^3 \varphi_1 \cdot \left[ \frac{3}{2} - \ln(\operatorname{tg} \frac{\varphi_1}{2}) - \frac{\cos \varphi_1}{\sin^2 \varphi_1} \right] = 0 \quad (5.254)$$

Se obtine, astfel:

$$X = - \frac{0,3823 \cdot p_V \cdot R \cdot \sin \alpha_1}{\sin^3 \varphi_1 \cdot \left[ \frac{3}{2} - \ln(\operatorname{tg} \frac{\varphi_1}{2}) - \frac{\cos \varphi_1}{\sin^2 \varphi_1} \right]} = -0,0387 \cdot p_V \cdot R \quad (5.255)$$

Calculul eforturilor corectate pe intervalul 2 in sectiunea a-a este prezentat in tabelul 5.35.

**Tabelul 5.35. EFORTURILE AXIALE CORECTATE  $N_\alpha$  SI  $N_\beta$  PE INTERVALUL 2, IN SECTIUNEA a-a.**

$\alpha$		$N_\alpha^\circ$	$N_\alpha^x$	$N_\alpha$	$N_\beta^\circ$	$N_\beta^x$	$N_\beta$
		$p_V \cdot R$	$p_V \cdot R$	$p_V \cdot R$	$p_V \cdot R$	$p_V \cdot R$	$p_V \cdot R$
sup	15°	-0,4640	-0,0387	-0,5027	-0,3960	+0,0387	-0,3573
	0°	-0,5000	-0,0361	-0,5361	-0,5000	+0,0361	-0,4639
inf	15°	-0,4640	-0,0387	-0,5027	-0,3960	+0,0387	-0,3573
	30°	-0,3418	-0,0481	-0,3899	-0,1182	+0,0481	-0,0701
	45°	-0,2019	-0,0722	-0,2741	+0,3019	+0,0722	+0,3741

b) Sectiunea b-b.

Eforturile axiale sînt constante in lungul sectiunii b-b, asa cum rezulta din tabelul 5.34. In paragraful 5.4.8.2, in care s-au calculat eforturile suplimentare in cazul depresiunii in intervalul 2, s-a aratat ca, pentru eforturi constante, nedeterminarea statica nu modifica starea de eforturi. Astfel, si in acest caz, eforturile pe structura static determinata ramine la aceleasi valori.

c) Sectiune c-c.

Relatiile stabilite pentru sectiunea a-a ramin valabile si in acest caz. Rezulta astfel:

$$v(\alpha_1) = R \cdot \sin \alpha_1 \cdot \frac{1+\mu}{E \cdot t} \cdot p_V \cdot R \cdot (-0,2683 - 0,3728 - 0,4482) \cdot 0,2618 =$$

$$= -0,2852 \cdot (1+\mu) \cdot \frac{p_V \cdot R^2}{E \cdot t} \cdot \sin \alpha_1 \quad (5.256)$$

Se obtine astfel:

$$X = - \frac{0,2852 \cdot p_V \cdot R \cdot \sin \alpha_1}{\sin^3 \varphi_1 \cdot \left[ \frac{3}{2} - \ln \left( \operatorname{tg} \frac{\varphi_1}{2} \right) - \frac{\cos \varphi_1}{\sin^2 \varphi_1} \right]} = -0,0289 \cdot p_V \cdot R \quad (5.257)$$

Eforturile corectate pe intervalul 2 in sectiunea c-c sînt date in tabelul 5.36.

d) Sectiunea intermediara.

Se constata ca modificarile datorate nedeterminarilor statice nu sînt foarte mari. Modificarile au fost calculate pentru sectiunile a-a si c-c, cele din sectiunea b-b fiind nule. Pentru a trasa diagrama eforturilor axiale in lungul ecuatorului  $\beta=0$ , se admite ca intre sectiunile a-a si b-b, respectiv b-b si c-c, corectia eforturilor este liniara cu  $\alpha$ . Calculul acestor eforturi se face in tabelul 5.37.

Tabelul 5.36. EFORTURILE AXIALE CORECTATE  $N_\alpha$  SI  $N_\beta$  PE INTERVALUL 2, IN SECTIUNEA c-c.

$\alpha$		$\frac{N_\alpha^\circ}{p_V \cdot R}$	$\frac{N_\alpha^x}{p_V \cdot R}$	$\frac{N_\alpha}{p_V \cdot R}$	$\frac{N_\beta^\circ}{p_V \cdot R}$	$\frac{N_\beta^x}{p_V \cdot R}$	$\frac{N_\beta}{p_V \cdot R}$
inf	135°	-0,0897	-0,0539	-0,1436	+0,2897	+0,0539	+0,3436
	150°	-0,1632	-0,0360	-0,1992	+0,0232	+0,0360	+0,0592
	165°	-0,1932	-0,0289	-0,2221	-0,1468	+0,0289	-0,1179
	180°	-0,2000	-0,0270	-0,2270	-0,2000	+0,0270	-0,1730
sup	165°	-0,1932	-0,0289	-0,2221	-0,1468	+0,0289	-0,1179

#### 5.4.9.5. Eforturi pe sfera completa.

Eforturile axiale  $N_\alpha$  si  $N_\beta$  sînt trasate in figura 5.35

*Handwritten signature or note*

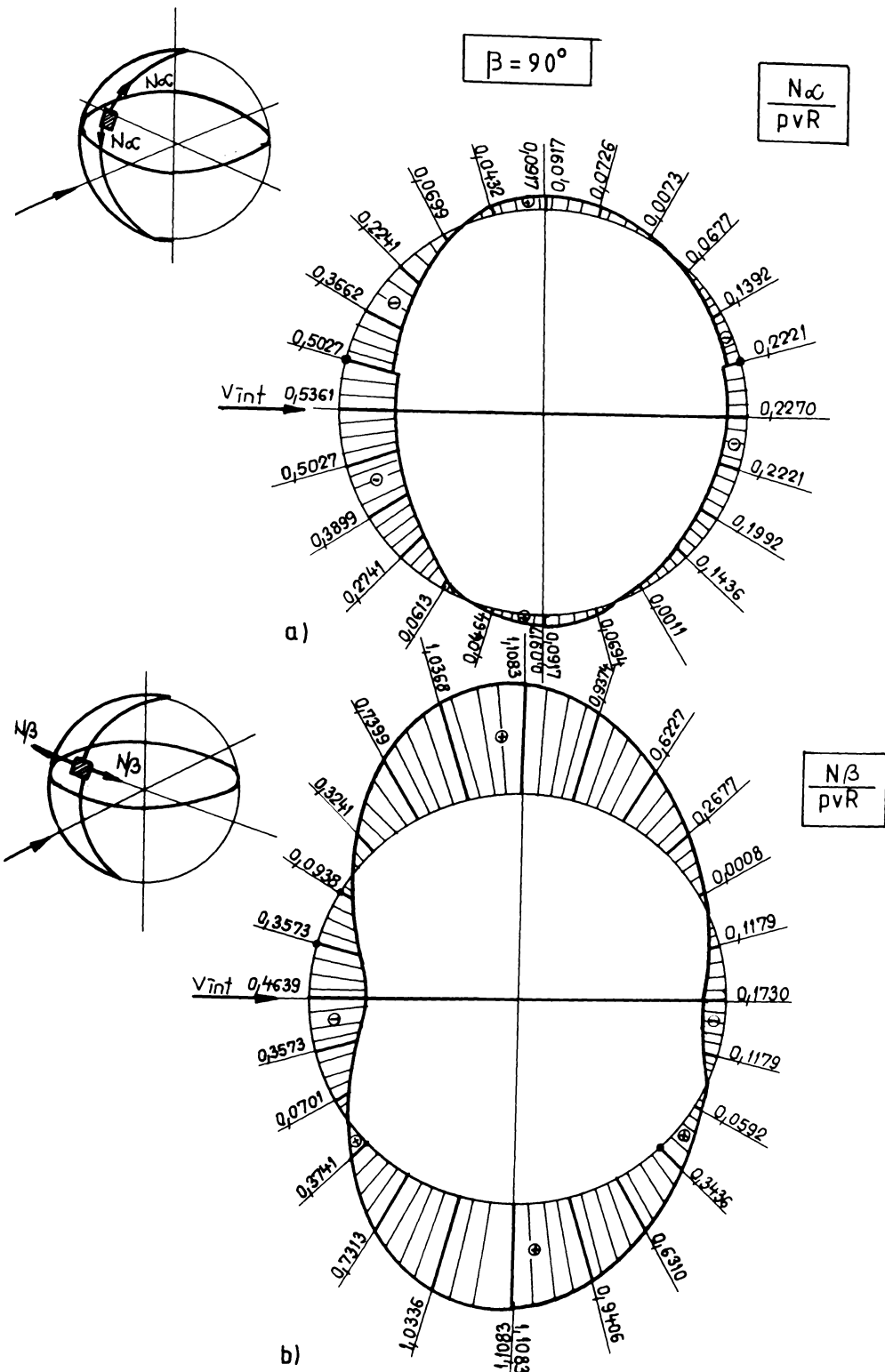


FIG. 5.35  
Eforturile axiale  $N_\alpha$  și  $N_\beta$  din vînt pentru  $\beta = 90^\circ$

**Tabelul 5.37. EFORTURILE  $N_\alpha$  SI  $N_\beta$  CORECTATE PENTRU  $\beta=0$ .**

$\alpha$	$N_\alpha^\circ$	$\frac{\Delta N_\alpha^x}{P_V \cdot R}$	$N_\alpha$	$N_\beta^\circ$	$\frac{\Delta N_\beta^x}{P_V \cdot R}$	$N_\beta$
	$P_V \cdot R$	$P_V \cdot R$	$P_V \cdot R$	$P_V \cdot R$	$P_V \cdot R$	$P_V \cdot R$
0°	-0,5000	-0,0361	-0,5361	-0,5000	+0,0361	-0,4639
15°	-0,4640	-0,0301	-0,4941	-0,3960	+0,0301	-0,3659
30°	-0,3540	-0,0241	-0,3781	-0,1060	+0,0241	-0,0819
45°	-0,2130	-0,0181	-0,2311	+0,3130	+0,0181	+0,3311
60°	-0,0656	-0,0120	-0,0776	+0,7356	+0,0120	+0,7476
75°	+0,0448	-0,0060	+0,0388	+1,0352	+0,0060	+1,0412
90°	+0,0917	0,0000	+0,0917	+1,1083	+0,0000	+1,1083
105°	+0,0710	-0,0045	+0,0665	+0,9390	+0,0045	+0,9435
120°	+0,0031	-0,0090	-0,0059	+0,6269	+0,0090	+0,6359
135°	-0,0787	-0,0135	-0,0922	+0,2787	+0,0135	+0,2922
150°	-0,1512	-0,0180	-0,1692	+0,0112	+0,0180	+0,0292
165°	-0,1932	-0,0225	-0,2157	-0,1468	+0,0225	-0,1243
180°	-0,2000	-0,0270	-0,2270	-0,2000	+0,0270	-0,1730

pentru  $\beta=90^\circ$ , figura 5.36 pentru  $\beta=0^\circ$  si figura 5.37 pentru  $\alpha=90^\circ$ .  
 In aceste figuri s-au aratat si corectiile pe intervalul 2 datorate nedeterminarii statice. Se constata urmatoarele:

- cu toata prezenta inelelor asezate nesimetric fata de mijlocul sferei, simetria axiala este putin perturbata;
- in zona de presiune a vintului, ambele eforturi sint de compresiune si participa aproape egal la preluarea incarcarii;
- in zona de succiune a vintului, ambele eforturi sint de intindere, dar efortul axial inelar  $N_\beta$  preia cea mai mare parte a incarcarii (circa 92%) (v.fig.5.37);
- influenta inelelor este mica, modificarile de eforturi fiind de ordinul a 8% pentru eforturile maxime de compresiune;
- eforturile de lunecare sint foarte mici in comparatie cu eforturile axiale si nu influenteaza dimensionarea structurii.

**5.4.9.6. Incarcari pentru inelele I si II.**

Asupra inelelor actioneaza doua tipuri de incarcari:  
 a) incarcari tangentiale la inele, ca actiune a sferei asupra acestora (v.fig.5.38a);  
 b) incarcari tangentiale la sfera, care sint datorate nedeterminarii statice (v.fig.5.38b).

Inelul I este incarcat cu actiunile tangentiale

$$P_V^I = r_V^I = 0,0921 \cdot p_V \cdot R \quad (5.258)$$

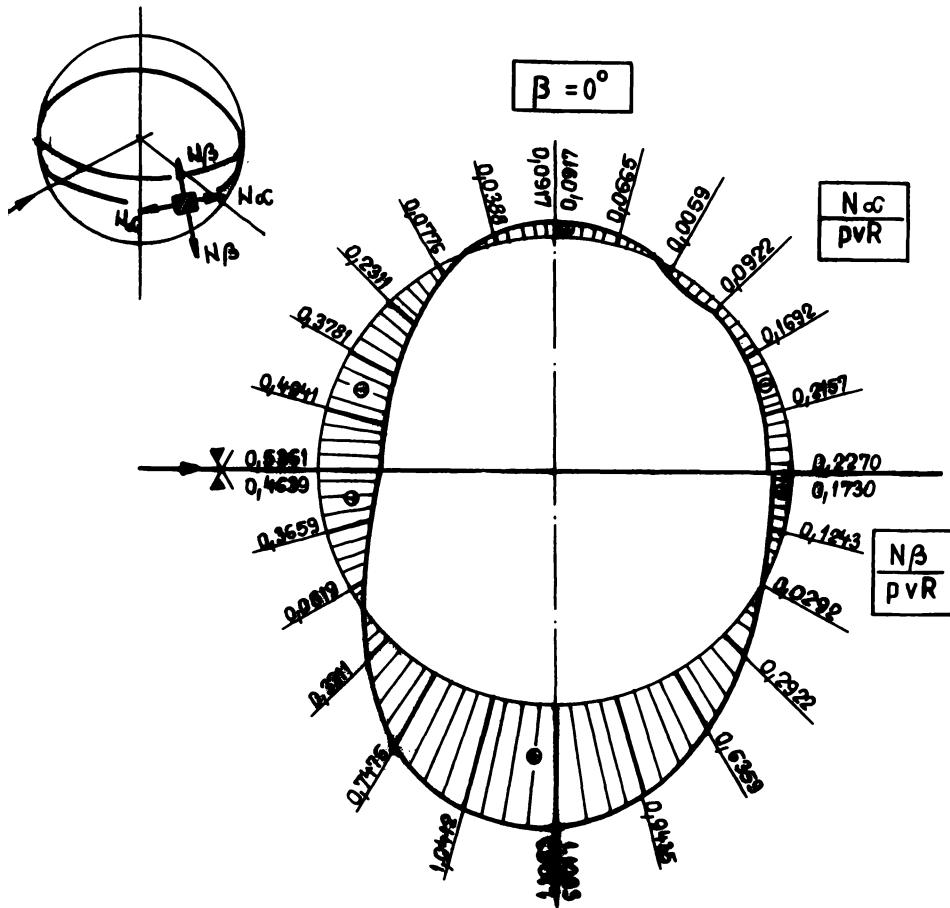
si

$$R^I = X_{a-a} \cdot \left(1 - \frac{\alpha^\circ}{90^\circ}\right) = 0,0465 \cdot p_V \cdot R \cdot \left(1 - \frac{\alpha^\circ}{90^\circ}\right); \quad 0 \leq \alpha \leq 90^\circ \quad (5.259a)$$

$$R^I = X_{c-c} \cdot \left(\frac{\alpha^\circ}{90^\circ} - 1\right) = 0,0347 \cdot p_V \cdot R \cdot \left(\frac{\alpha^\circ}{90^\circ} - 1\right); \quad 90^\circ < \alpha \leq 180^\circ \quad (5.259b)$$

Din reactiunile  $R^I$  rezulta incarcari verticale si orizontale ale inelului I:

$$V^I = R^I \cdot \cos \alpha_1 \quad ; \quad H^I = R^I \cdot \sin \alpha_1 \quad (5.260)$$



**FIG. 5.36**  
**Eforturile axiale  $N_\alpha$  și  $N_\beta$  din vînt pentru  $\beta=0^\circ$**

Inelul II este incarcad cu actiunile tangentiale:

$$P_{\nu}^{II} = r_{\nu}^{II} \cdot P_{\nu} \cdot R = 0,0460 \cdot P_{\nu} \cdot R \quad (5.261)$$

si (vezi tabelul 5.5)

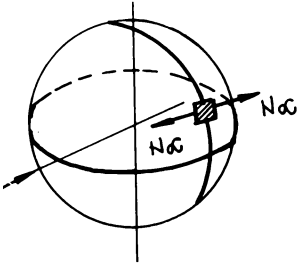
$$R^{II} = 1,8660 \cdot X_{a-a} \cdot \left(1 - \frac{\alpha^\circ}{90^\circ}\right) = 0,0868 \cdot P_{\nu} \cdot R \cdot \left(1 - \frac{\alpha^\circ}{90^\circ}\right); \quad 0^\circ \leq \alpha^\circ < 90^\circ \quad (5.262a)$$

$$R^{II} = 1,8660 \cdot X_{c-c} \cdot \left(\frac{\alpha^\circ}{90^\circ} - 1\right) = 0,0648 \cdot P_{\nu} \cdot R \cdot \left(\frac{\alpha^\circ}{90^\circ} - 1\right); \quad 90^\circ \leq \alpha^\circ < 180^\circ \quad (5.262b)$$

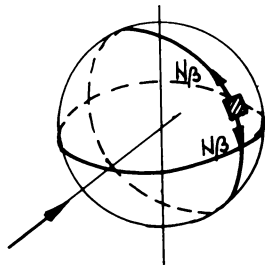
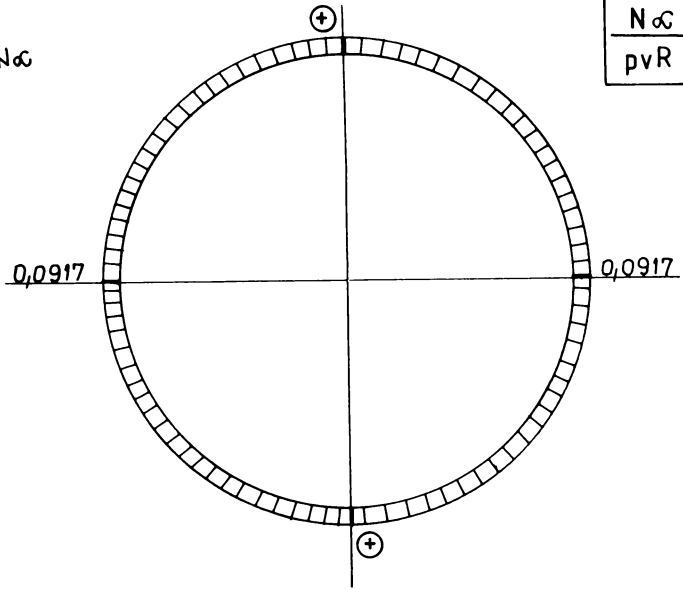
Din aceste reactiuni rezulta incarcarea inelului II:

$$V^{II} = R^{II} \cdot \cos \alpha_2 \quad ; \quad H^{II} = R^{II} \cdot \sin \alpha_2 \quad (5.263)$$

$\alpha_G = 90^\circ$



$\frac{N_\alpha}{p v R}$



$\frac{N_\beta}{p v R}$

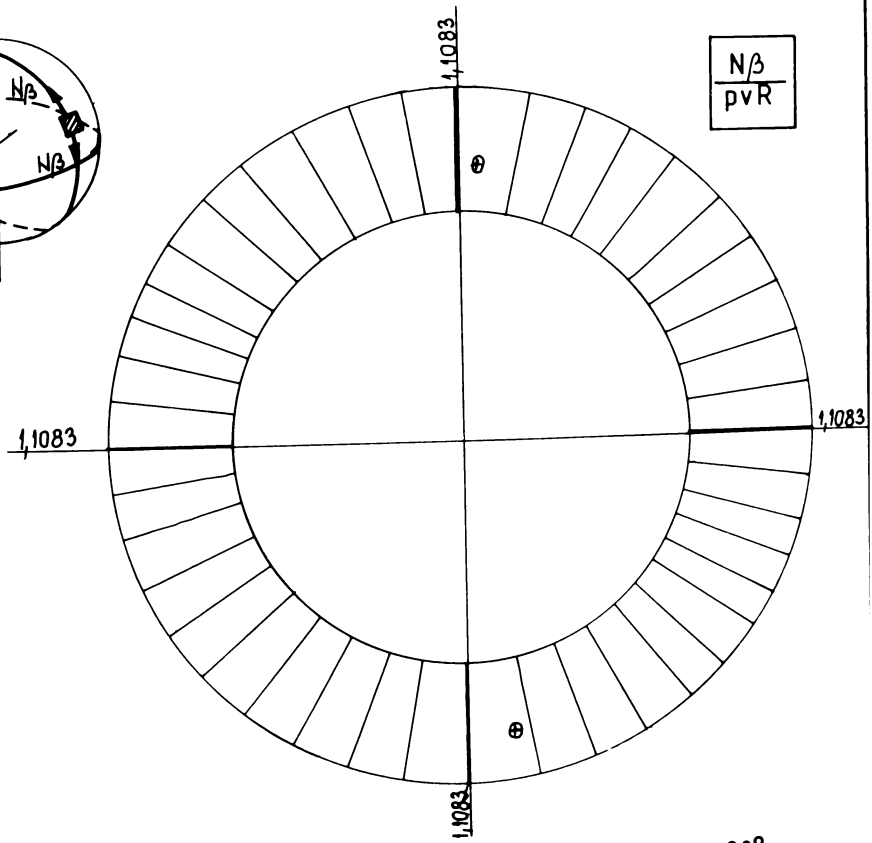


FIG. 5.37 Eforturile axiale  $N_\alpha$  și  $N_\beta$  din vînt pentru  $\alpha = 90^\circ$

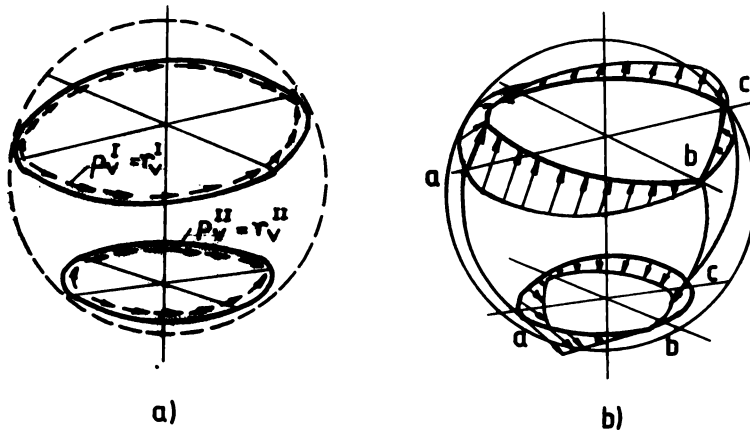


FIG. 5.38

### Încărcările din vînt ale inelelor I și II

## 5.5 TEORIA DE INCOVOIERE

### 5.5.1. Ipoteze suplimentare.

Asa cum s-a aratat in paragrafele precedente, toate incarcările pot fi considerate axial simetrice; greutatea proprie, presiunea lichidului, depresiunea au axa de simetrie verticala, iar vîntul are axa de simetrie orizontala. De aceea se va dezvolta in continuare numai cazul incarcărilor axial simetrice cu  $X=0$ . Astfel, in ecuatiile paragrafelor 5.3.4, 5.3.5 și 5.3.6 toate derivatele in raport cu  $\theta$  sînt nule. De asemenea, sînt nule și eforturile și deformatiile:

$$N_{\varphi\theta} = N_{\theta\varphi} \equiv 0 ; \quad M_{\varphi\theta} = M_{\theta\varphi} \equiv 0 ; \quad Q_{\theta} \equiv 0 \quad (5.264)$$

$$\chi_{\varphi\theta} = 0 ; \quad \chi_{\theta} = 0 ; \quad \kappa_{\varphi\theta} = 0 \quad (5.265)$$

### 5.5.2. Ecuatiile de echilibru, de deformatii și fizice.

Tinînd seama de (5.264), relațiile (5.12) devin:

$$\frac{d(N_{\varphi} \cdot \sin\varphi)}{d\varphi} - Q_{\varphi} \cdot \sin\varphi + Y \cdot R \cdot \sin\varphi = 0 \quad (5.266a)$$

$$N_{\varphi} + N_{\theta} + \frac{1}{\sin\varphi} \cdot \frac{d(Q_{\varphi} \cdot \sin\varphi)}{d\varphi} + Z \cdot R = 0 \quad (5.266b)$$



$$\frac{d(M_{\varphi} \cdot \sin \varphi)}{d\varphi} - M_{\theta} \cdot \cos \varphi - Q_{\varphi} \cdot R \cdot \sin \varphi = 0 \quad (5.266c)$$

restul ecuatiilor devenind identitati.

Ecuatiile de deformatii (5.14) sint:

$$\varepsilon_{\varphi} = \frac{1}{R} \cdot \frac{dv}{d\varphi} - w \quad (5.267a)$$

$$\varepsilon_{\theta} = \frac{1}{R} \cdot (v \cdot \operatorname{ctg} \varphi - w) \quad (5.267b)$$

$$\chi_{\varphi} = \frac{1}{R} \cdot \left( v + \frac{dw}{d\varphi} \right) \quad (5.267c)$$

$$\chi_{\varphi} = \frac{1}{R} \cdot \frac{d(\chi_{\varphi})}{d\varphi} \quad (5.267d)$$

$$\chi_{\theta} = \frac{\chi_{\varphi}}{R} \cdot \operatorname{ctg} \varphi \quad (5.267e)$$

Dintre ecuatiile fizice (5.19) ramin semnificative numai relatiile:

$$N_{\varphi} = D(\varepsilon_{\varphi} + \mu \cdot \varepsilon_{\theta}) \quad (5.268a)$$

$$N_{\theta} = D(\varepsilon_{\theta} + \mu \cdot \varepsilon_{\varphi}) \quad (5.268b)$$

$$M_{\varphi} = -K \cdot (\chi_{\varphi} + \mu \cdot \chi_{\theta}) \quad (5.268c)$$

$$M_{\theta} = -K \cdot (\chi_{\theta} + \mu \cdot \chi_{\varphi}) \quad (5.268d)$$

Bilantul necunoscutelor si ecuatiilor se prezinta astfel:

	numar necunoscute	numar ecuatii
- ecuatii de echilibru:	5	3
- ecuatii de deformatii:	7	5
- ecuatii fizice:	-	4
<b>Total:</b>	<b>12</b>	<b>12</b>

Prin urmare, problema este rezolvabila. Deoarece numarul de ecuatii si necunoscute este foarte mare, s-a dezvoltat teoria de incovoiere exacta si aproximativa, care reduc numarul de necunoscute si care vor fi prezentate in continuare.

### 5.5.3. Ecuatiile teoriei de incovoiere.

#### 5.5.3.1. Ecuatiile exacte.

Ecuatiile (5.266), (5.267) si (5.268) pot fi reduse la un sistem de doua ecuatii cu doua necunoscute, daca se iau drept

necunoscute de baza

$$\chi_{\varphi} = -\frac{1}{R} \cdot \left( v + \frac{dw}{d\varphi} \right) \quad ; \quad U = R \cdot Q_{\varphi} \quad (5.269)$$

Prin eliminarea necunoscutelor din ecuatiile de mai sus, se ajunge la sistemul de ecuatii [100]:

$$L(U) + \mu \cdot U = E \cdot t \cdot R \cdot \chi_{\varphi} + R^2 \cdot \xi(\varphi) \quad (5.270a)$$

$$L(\chi_{\varphi}) - \mu \cdot \chi_{\varphi} = -\frac{R}{K} \cdot U \quad (5.270b)$$

cunoscute sub denumirea de ecuatiile lui Meissner si in care  $L(\dots)$  este operatorul:

$$L(\dots) = \left[ \frac{d^2(\dots)}{d\varphi^2} + \operatorname{ctg}\varphi \cdot \frac{d(\dots)}{d\varphi} - \operatorname{ctg}^2\varphi (\dots) \right] \quad (5.271)$$

iar

$$\xi(\varphi) = \frac{d}{d\varphi} (N_{\theta}^{\circ} - \mu \cdot N_{\varphi}^{\circ}) - (1+\mu) \cdot \operatorname{ctg}\varphi \cdot (N_{\varphi}^{\circ} - N_{\theta}^{\circ}) \quad (5.272)$$

$N_{\varphi}^{\circ}$  si  $N_{\theta}^{\circ}$  fiind eforturile din teoria de membrana.

Prin rezolvarea sistemului de ecuatii (5.270) se obtin necunoscutele  $U$  si  $\chi_{\varphi}$ . Eforturile pot fi calculate din relatiile [5][6][7]:

$$N_{\varphi} = -\frac{U}{R} \cdot \operatorname{ctg}\varphi + N_{\varphi}^{\circ} \quad (5.273a)$$

$$N_{\theta} = -\frac{1}{R} \cdot \frac{dU}{d\varphi} + N_{\theta}^{\circ} \quad (5.273b)$$

$$Q_{\varphi} = \frac{U}{R} \quad (5.273c)$$

$$M_{\varphi} = -\frac{K}{R} \cdot \left( \frac{d\chi_{\varphi}}{d\varphi} + \mu \cdot \chi_{\varphi} \cdot \operatorname{ctg}\varphi \right) \quad (5.273d)$$

$$M_{\theta} = -\frac{K}{R} \cdot \left( \chi_{\varphi} \cdot \operatorname{ctg}\varphi + \mu \cdot \frac{d\chi_{\varphi}}{d\varphi} \right) \quad (5.273e)$$

Pentru rezolvarea sistemului de ecuatii (5.270) se folosesc seriile hipergeometrice [100]. Deoarece solutiile matematice sînt dificile pentru aplicarea practica, convergenta seriilor fiind slaba, s-au dezvoltat metode aproximative care vor fi discutate in cele ce urmeaza.

### 5.3.2. Ecuatiile aproximative.

a) Metoda Blumenthal.

Foloseste necunoscuta [100]:

$$Z = Q_{\varphi} \cdot \sqrt{\sin \varphi} \quad (5.274)$$

ajungindu-se la ecuatia:

$$\frac{d^4 Z}{d\varphi^4} + a_2 \cdot \frac{d^2 Z}{d\varphi^2} + a_1 \cdot \frac{dZ}{d\varphi} + (\beta^4 + a_0) \cdot Z = 0 \quad (5.275)$$

unde:

$$a_0 = - \frac{63}{16 \cdot \sin^4 \varphi} + \frac{9}{8 \cdot \sin^2 \varphi} + \frac{9}{16} \quad (5.276a)$$

$$a_1 = \frac{3 \cdot \cos \varphi}{\sin^3 \varphi} \quad (5.276b)$$

$$a_2 = - \frac{3}{2 \cdot \sin^2 \varphi} + \frac{5}{2} \quad (5.276c)$$

$$4 \cdot \beta^4 = (1 - \mu^2) \cdot \left(1 + R^2 \cdot \frac{D}{K}\right) \quad (5.276d)$$

Ecuația diferențială (5.275) este cu coeficienții variabile și este greu de integrat. Se observă însă că valorile coeficientului  $4 \cdot \beta^4$  și  $a_2$  sunt mult mai mari decât cele ale coeficienților  $a_0$ ,  $a_1$  și  $a_2$ , și ecuația (5.275) poate fi scrisă sub o formă aproximativă:

$$\frac{d^4 Z}{d\varphi^4} + 4 \cdot \beta^4 \cdot Z = 0 \quad (5.277)$$

care poate fi ușor integrată.

b) Metoda Geckeler [33].

Ecuațiile (5.270) pot fi scrise sub forma:

$$\frac{d^2 U}{d\varphi^2} + \frac{dU}{d\varphi} \cdot \operatorname{ctg} \varphi - U \cdot (\operatorname{ctg}^2 \varphi - \mu) = E \cdot t \cdot R \cdot \chi_{\varphi} + R^2 \cdot f(\varphi) \quad (5.278a)$$

$$\frac{d^2 \chi_{\varphi}}{d\varphi^2} + \frac{d\chi_{\varphi}}{d\varphi} \cdot \operatorname{ctg} \varphi - \chi_{\varphi} \cdot (\operatorname{ctg}^2 \varphi + \mu) = - \frac{R}{K} \cdot U \quad (5.278b)$$

Prin analogia cu soluția de la suprafețele cilindrice, Geckeler a exprimat funcțiile  $U$  și  $\chi_{\varphi}$  sub forma:

$$U = e^{-\beta \varphi} \quad ; \quad \chi_{\varphi} = e^{-\beta \varphi} \quad (5.279)$$

Prin derivări succesive:

$$\frac{dU}{d\varphi} = -\beta \cdot e^{-\beta \varphi} = -\beta \cdot U \gg |U| \quad (5.280a)$$

$$\frac{d^2 U}{d\varphi^2} = \beta^2 \cdot U \gg \frac{dU}{d\varphi} \quad (5.280b)$$

unde s-a ținut seama că  $\beta$  are valori mari. Similar se pot scrie expresii și pentru  $\chi_{\varphi}$ .

Din aceste relații se poate deduce că funcția și prima ei

derivata pot fi neglijate in comparatie cu derivata a doua. Astfel, ecuatiile (5.278) devin:

$$\frac{d^2 U}{d\varphi^2} \approx E \cdot t \cdot R \cdot \chi_{\varphi} + R^2 \cdot \bar{\varepsilon}(\varphi) \quad (5.281a)$$

$$\frac{d^2 \chi_{\varphi}}{d\varphi^2} \approx -\frac{R}{K} \cdot U \quad (5.281b)$$

Eliminind din ecuatiile (5.281) pe  $\chi_{\varphi}$ , se obtine:

$$\frac{d^4 U}{d\varphi^4} + 4 \cdot \beta^4 \cdot U = R^2 \cdot \frac{d^2 \bar{\varepsilon}(\varphi)}{d\varphi^2} \quad (5.282)$$

cu notatia:

$$4 \cdot \beta^4 = \frac{E \cdot t \cdot R^2}{K} \quad (5.283a)$$

$$\beta = \sqrt[4]{[3 \cdot (1-\mu^2)]} \cdot \left[ \frac{R}{t} \right]^{1/2} \quad (5.283b)$$

Deoarece solutia lui Geckeler este cea mai simpla, o vom folosi in continuare pentru rezolvarea problemei.

#### 5.5.4. Determinarea eforturilor si deformatiilor in teoria de incovoiere.

##### 5.5.4.1. Integrarea ecuatiei Geckeler.

Se observa ca ecuatia (5.282) are parte dreapta. De aceea, solutia consta dintr-o solutie particulara  $U^0$  si una generala  $\bar{U}$ , care corespunde ecuatiei omogene:

$$\frac{d^4 \bar{U}}{d\varphi^4} + 4 \cdot \beta^4 \cdot \bar{U} = 0 \quad (5.284)$$

Solutia particulara  $U^0$  are valori foarte apropiate de cele ale teoriei de membrana si, de aceea, se admite ca valorile particulare pentru eforturi sint chiar cele determinate din teoria de membrana.

Pentru solutia generala se admit expresii de forma:

$$\bar{U} = e^{r\varphi} \quad (5.285)$$

care introduse in (5.284) dau ecuatia caracteristica:

$$r^4 + 4 \cdot \beta^4 = 0 \quad (5.286)$$

care poate fi scrisa sub forma:

$$(r^2 - 2 \cdot \beta \cdot r + 2 \cdot \beta^2) \cdot (r^2 + 2 \cdot \beta \cdot r + 2 \cdot \beta^2) = 0 \quad (5.287)$$

Solutiile ecuatiei (5.287) sint:

$$r_{1,2} = \beta \cdot (1 \pm i) \quad r_{3,4} = -\beta \cdot (1 \pm i) \quad (i = \sqrt{-1}) \quad (5.288)$$

Introducind aceste relatii in (5.285) se obtine solutia:

$$\bar{U} = e^{\beta\varphi} \cdot \underbrace{(c_1 \cdot \cos\beta\varphi + c_2 \cdot \sin\beta\varphi)}_{(1)} + e^{-\beta\varphi} \cdot \underbrace{(c_3 \cdot \cos\beta\varphi + c_4 \cdot \sin\beta\varphi)}_{(2)} \quad (5.289)$$

Se constata ca, ecuatia diferentiala (5.284) fiind de ordinul patru, solutia generala va avea patru constante de integrare, ceea ce se observa din relatia (5.289). Constantele de integrare vor fi determinate din conditiile de margine.

Tinind seama ca o expresie de forma  $e^{-\beta\varphi} \cdot \begin{cases} \cos\beta\varphi \\ \sin\beta\varphi \end{cases}$  reprezinta o oscilatie amortizata, cei doi termeni din (5.289) reprezinta efectele rezemarii la doua margini ale placii. Se observa ca termenul (1) se amortizeaza cind  $\varphi$  scade, iar termenul (2) cind  $\varphi$  creste (v. fig. 5.39). La placi la care marginile sint suficient de indepartate, cei doi termeni nu se influenteaza si fiecare margine poate fi analizata separat.

$$\bar{U}_1 = e^{\beta\varphi} \cdot (c_1 \cdot \cos\beta\varphi + c_2 \cdot \sin\beta\varphi) \quad (5.290a)$$

$$U_2 = e^{-\beta\varphi} \cdot (c_3 \cdot \cos\beta\varphi + c_4 \cdot \sin\beta\varphi) \quad (5.290b)$$

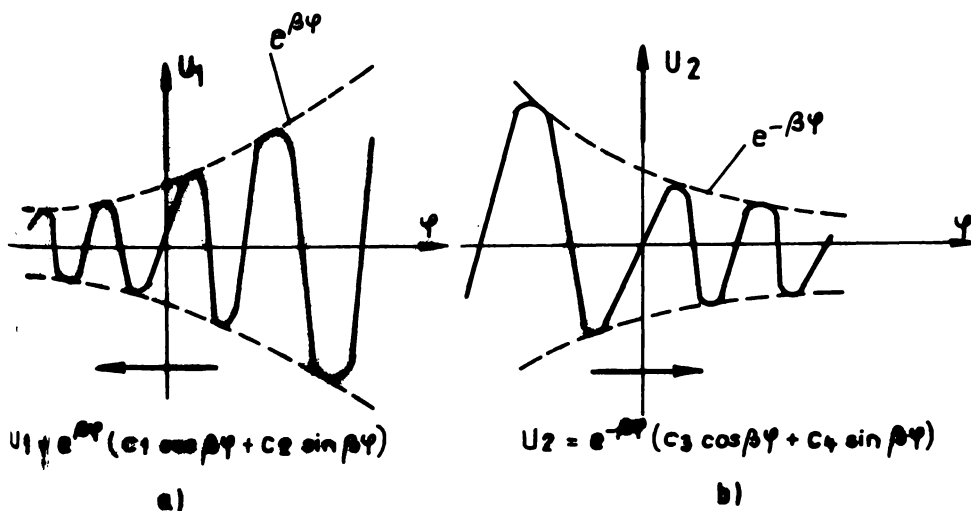


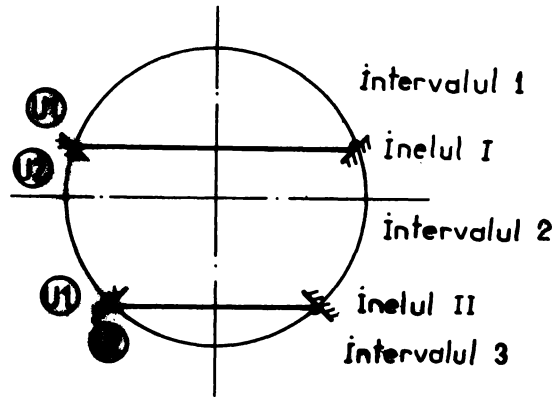
FIG. 5.39  
Caracterul amortizat al perturbărilor de margine

Astfel, pentru sfera analizata va trebui sa fie considerate urmatoarele solutii (v. fig. 5.40):

- intervalul 1 ( $0 < \varphi \leq 75^\circ$ ) - solutie de forma  $\bar{U}_1$
- intervalul 2 ( $75^\circ < \varphi \leq 135^\circ$ ) - solutie de forma  $\bar{U}_2$  la marginea superioara si solutie de forma  $U_1$  la marginea inferioara.
- intervalul 3 ( $135^\circ < \varphi \leq 180^\circ$ ) - solutie de forma  $U_2$ .

A doua necunoscuta -  $\chi_\varphi$  - rezulta din ecuatia (5.281b):

$$\chi_{\varphi} = - \frac{R}{K} \int U \cdot d\varphi \quad (5.291)$$



**FIG. 5.40**  
**Natura soluțiilor la marginile intervalelor**

Folosind rezultatele din anexa A2.1 rezulta:

$$\begin{aligned} \frac{d\chi_{\varphi}}{d\varphi} &= - \frac{R}{2 \cdot \beta \cdot K} \cdot [c_1 \cdot e^{\beta\varphi} \cdot (\sin\beta\varphi + \cos\beta\varphi) + c_2 \cdot e^{\beta\varphi} \cdot (\sin\beta\varphi - \cos\beta\varphi) + \\ &+ c_3 \cdot e^{-\beta\varphi} \cdot (\sin\beta\varphi - \cos\beta\varphi) - c_4 \cdot e^{-\beta\varphi} \cdot (\sin\beta\varphi + \cos\beta\varphi)] = \\ &= - \frac{R}{2 \cdot \beta \cdot K} \cdot [(c_1 - c_2) \cdot e^{\beta\varphi} \cdot \cos\beta\varphi + (c_1 + c_2) \cdot e^{\beta\varphi} \cdot \sin\beta\varphi - \\ &- (c_3 + c_4) \cdot e^{-\beta\varphi} \cdot \cos\beta\varphi + (c_3 - c_4) \cdot e^{-\beta\varphi} \cdot \sin\beta\varphi] \end{aligned} \quad (5.292)$$

Integrând încă o dată în raport cu  $\varphi$  rezulta:

$$\begin{aligned} \chi_{\varphi} &= - \frac{R}{2 \cdot \beta \cdot K} \int [(c_1 - c_2) \cdot e^{\beta\varphi} \cdot \cos\beta\varphi + (c_1 + c_2) \cdot e^{\beta\varphi} \cdot \sin\beta\varphi - \\ &- (c_3 + c_4) \cdot e^{-\beta\varphi} \cdot \cos\beta\varphi + (c_3 - c_4) \cdot e^{-\beta\varphi} \cdot \sin\beta\varphi] \cdot d\varphi \\ &= - \frac{R}{4 \cdot \beta^2 \cdot K} \cdot [(c_1 - c_2) \cdot e^{\beta\varphi} \cdot (\sin\beta\varphi + \cos\beta\varphi) + (c_1 + c_2) \cdot e^{\beta\varphi} \cdot (-\sin\beta\varphi + \cos\beta\varphi) + \\ &+ (c_3 + c_4) \cdot e^{-\beta\varphi} \cdot (\sin\beta\varphi - \cos\beta\varphi) - (c_3 - c_4) \cdot e^{-\beta\varphi} \cdot (\sin\beta\varphi + \cos\beta\varphi)] \end{aligned}$$

Rezulta:

$$X_f = - \frac{R}{2 \cdot B^2 \cdot K} \cdot (-c_2 e^{\beta f} \cdot \cos \beta f + c_1 e^{\beta f} \cdot \sin \beta f + c_4 e^{-\beta f} \cdot \cos \beta f - c_3 e^{-\beta f} \cdot \sin \beta f) \quad (5.293)$$

#### 5.5.4.2. Calculul eforturilor si deplasarilor.

Cunoscind necunoscutele U si  $X_f$ , eforturile pot fi calculate cu ajutorul relatiilor (5.273) si anexa A2.2.

$$N_f = - \frac{1}{R} \cdot \underbrace{ctg f \cdot [e^{\beta f} \cdot (c_1 \cdot \cos \beta f + c_2 \cdot \sin \beta f) + e^{-\beta f} \cdot (c_3 \cdot \cos \beta f + c_4 \cdot \sin \beta f)]}_{(1)} + N_f^0 \quad (5.294a)$$

$$N_\theta = - \frac{B}{R} \cdot \underbrace{[(c_1 + c_2) \cdot e^{\beta f} \cdot \cos \beta f - (c_1 - c_2) \cdot e^{\beta f} \cdot \sin \beta f - (c_3 - c_4) \cdot e^{-\beta f} \cdot \cos \beta f - (c_3 + c_4) \cdot e^{-\beta f} \cdot \sin \beta f]}_{(1)} + N_\theta^0 \quad (5.294b)$$

$$Q_f = + \frac{1}{R} \cdot \underbrace{[e^{\beta f} \cdot (c_1 \cdot \cos \beta f + c_2 \cdot \sin \beta f) + e^{-\beta f} \cdot (c_3 \cdot \cos \beta f + c_4 \cdot \sin \beta f)]}_{(1)} \quad (5.294c)$$

$$M_f = \frac{1}{2 \cdot B} \cdot \underbrace{[(c_1 - c_2) \cdot e^{\beta f} \cdot \cos \beta f + (c_1 + c_2) \cdot e^{\beta f} \cdot \sin \beta f - (c_3 + c_4) \cdot e^{-\beta f} \cdot \cos \beta f + (c_3 - c_4) \cdot e^{-\beta f} \cdot \sin \beta f]}_{(1)} \quad (5.294d)$$

$$M_\theta = \frac{1}{2 \cdot B} \cdot \underbrace{[\mu \cdot (c_1 - c_2) \cdot e^{\beta f} \cdot \cos \beta f + \mu \cdot (c_1 + c_2) \cdot e^{\beta f} \cdot \sin \beta f - \mu \cdot (c_3 + c_4) \cdot e^{-\beta f} \cdot \cos \beta f + \mu \cdot (c_3 - c_4) \cdot e^{-\beta f} \cdot \sin \beta f]}_{(1)} \quad (5.294e)$$

$$M_\theta = \mu \cdot M_f$$

Deplasarea orizontala rezulta din relatia (5.41a)

$$\begin{aligned} \chi_f &= \frac{R}{E \cdot t} \cdot \sin \varphi \cdot (N_\theta - \mu \cdot N_f) + \chi_f^0 = \\ &= - \frac{\beta}{E \cdot t} \cdot \sin \varphi \cdot \left[ \underbrace{(c_1 + c_2) \cdot e^{\beta f} \cdot \cos \beta f - (c_1 - c_2) \cdot e^{\beta f} \cdot \sin \beta f}_{(1)} - \right. \\ &\quad \left. - \underbrace{(c_3 - c_4) \cdot e^{-\beta f} \cdot \cos \beta f - (c_3 + c_4) \cdot e^{-\beta f} \cdot \sin \beta f}_{(2)} \right] + \chi_f^0 \end{aligned} \quad (5.295)$$

Rotirea  $\chi_f$  este data de relatia (5.293)

$$\begin{aligned} \chi_f &= - \frac{R}{2 \cdot \beta^2 \cdot K} \left( \underbrace{-c_2 e^{\beta f} \cdot \cos \beta f + c_1 e^{\beta f} \cdot \sin \beta f + c_4 e^{-\beta f} \cdot \cos \beta f - c_3 e^{-\beta f} \cdot \sin \beta f}_{(1)} \right) + \\ &\quad + \chi_f^0 \end{aligned} \quad (5.296)$$

Tinind seama ca

$$\frac{\mu}{\beta} \cdot \operatorname{ctg} \varphi \ll 1 \quad ; \quad \frac{\operatorname{ctg} \varphi}{\beta} < \mu$$

in relatiile de mai sus s-a neglijat acest termen in raport cu 1.

#### 5.5.4.3. Conditiiile de margine.

Conditiiile de margine vor rezulta pentru  $\varphi = \varphi_1$  si  $\varphi = \varphi_2$  (v. fig. 5.41).

In ambele cazuri, tinind seama de continuitatea tablei rezervorului si de prinderea ei de inele, exista o conlucrare intre placile intervalelor adiacente si inelul respectiv. Aceasta conlucrare consta din deplasari orizontale si rotiri egale pentru toate cele trei elemente. Un calcul exact trebuie sa tina seama de aceasta conlucrare.

Pentru calculul practic inasa, se observa ca rigiditatea la deplasare orizontala si la rotire a inelelor este foarte mare. Aria mare a sectiunii transversale a inelelor duce la deplasari radiale foarte mici, sectiunea inchisa a inelelor mareste foarte mult rigiditatea lor la rotire. Atit la impiedicarea deplasarilor radiale cit si la rotirile inelelor contribuie mult si prezenta diagonalilor si montantilor care leaga intre ele cele doua inele. Rezulta astfel ca placile curbe pot fi considerate ca fiind incastrate in inele. Justificarea ipotezei de incastrare perfecta la margine este aratata si in paragraful 6.3.1.

#### a) Intervalul 1 ( $0 < \varphi \leq \varphi_1$ )

Pentru intervalul (1), la marginea  $\varphi = \varphi_1$  este valabila solutia  $U_1$  (v. fig. 5.40).

$$U_1 = e^{\beta f} \cdot (c_1 \cdot \cos \beta f + c_2 \cdot \sin \beta f) \quad (5.297)$$

Conditiiile de margine sint:



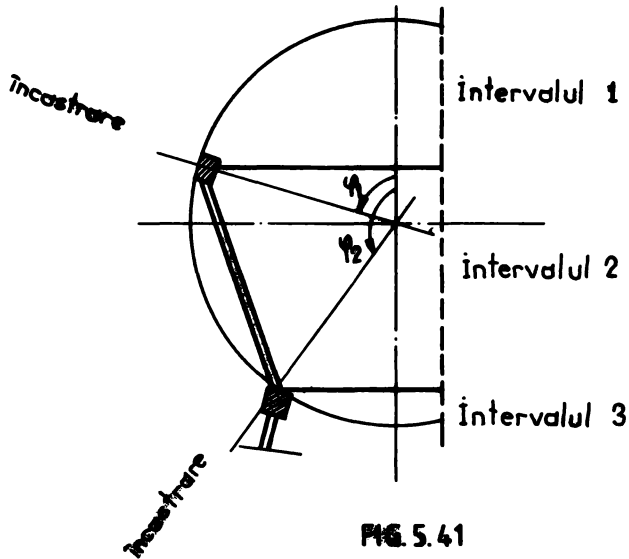


FIG. 5.41  
Condiții de margine

$$\xi(\varphi_1) = 0 \quad ; \quad \chi_{\varphi}(\varphi_1) = 0 \quad (5.298)$$

Se introduc relațiile:

$$\psi_1 = e^{\beta\varphi_1} \cdot \cos\beta\varphi_1 \quad ; \quad \psi_2 = e^{\beta\varphi_1} \cdot \sin\beta\varphi_1 \quad (5.299)$$

să rezulta ecuațiile:

$$(\psi_1 - \psi_2) \cdot c_1 + (\psi_1 + \psi_2) \cdot c_2 - \frac{E \cdot t}{\beta \cdot \sin\varphi_1} \cdot \xi'(\varphi_1) = 0 \quad (5.300a)$$

$$\psi_2 \cdot c_1 - \psi_1 \cdot c_2 - \frac{2 \cdot \beta^2 \cdot E}{R} \cdot \chi_{\varphi}'(\varphi_1) = 0 \quad (5.300b)$$

care reprezintă un sistem de două ecuații cu două necunoscute.

Rezolvând sistemul de ecuații (5.300) rezulta constantele de integrare:

$$c_1 = \frac{\psi_1 \cdot \frac{E \cdot t}{\beta \cdot \sin \varphi_1} \cdot \overset{\circ}{\chi}(\varphi_1) + (\psi_1 + \psi_2) \cdot \frac{2 \cdot \beta^2 \cdot K}{R} \cdot \chi_{\varphi}(\varphi_1)}{\psi_1^2 + \psi_2^2} \quad (5.301a)$$

$$c_2 = \frac{\psi_2 \cdot \frac{E \cdot t}{\beta \cdot \sin \varphi_1} \cdot \overset{\circ}{\chi}(\varphi_1) + (\psi_2 - \psi_1) \cdot \frac{2 \cdot \beta^2 \cdot K}{R} \cdot \chi_{\varphi}(\varphi_1)}{\psi_1^2 + \psi_2^2} \quad (5.301b)$$

Se observa ca

$$\psi_1^2 + \psi_2^2 = e^{2\beta \varphi_1} \cdot (\cos^2 \beta \varphi_1 + \sin^2 \beta \varphi_1) = e^{2\beta \varphi_1} \quad (5.302)$$

**b) Intervalul 2 ( $\varphi_1 \leq \varphi \leq \varphi_2$ )**

\* Marginea superioara - pentru care este valabila solutia U2 (v. fig. 5.40)

$$U_2 = e^{-\beta \varphi} \cdot (c_3 \cdot \cos \beta \varphi + c_4 \cdot \sin \beta \varphi) \quad (5.303)$$

Din conditiile de margine

$$\overset{\circ}{\chi}(\varphi_1) = 0 \quad \text{si} \quad \chi_{\varphi}(\varphi_1) = 0 \quad (5.304)$$

cu notatiile

$$\psi_3 = e^{-\beta \varphi_1} \cdot \cos \beta \varphi_1 \quad ; \quad \psi_4 = e^{-\beta \varphi_1} \cdot \sin \beta \varphi_1 \quad (5.305)$$

se obtin ecuatiile:

$$(\psi_3 + \psi_4) \cdot c_3 - (\psi_3 - \psi_4) \cdot c_4 + \frac{E \cdot t}{\beta \cdot \sin \varphi_1} \cdot \overset{\circ}{\chi}(\varphi_1) = 0 \quad (5.306a)$$

$$\psi_4 \cdot c_3 - \psi_3 \cdot c_4 + \frac{2 \cdot \beta^2 \cdot K}{R} \cdot \chi_{\varphi}(\varphi_1) = 0 \quad (5.306b)$$

Din rezolvarea sistemului rezulta constantele de integrare:

$$c_3 = \frac{-\psi_3 \cdot \frac{E \cdot t}{\beta \cdot \sin \varphi_1} \cdot \overset{\circ}{\chi}(\varphi_1) + (\psi_3 - \psi_4) \cdot \frac{2 \cdot \beta^2 \cdot K}{R} \cdot \chi_{\varphi}(\varphi_1)}{\psi_3^2 + \psi_4^2} \quad (5.307a)$$

$$c_4 = \frac{-\psi_4 \cdot \frac{E \cdot t}{\beta \cdot \sin \varphi_1} \cdot \overset{\circ}{\chi}(\varphi_1) + (\psi_3 + \psi_4) \cdot \frac{2 \cdot \beta^2 \cdot K}{R} \cdot \chi_{\varphi}(\varphi_1)}{\psi_3^2 + \psi_4^2} \quad (5.307b)$$

\* Marginea inferioara - pentru care se ia solutia de forma U1 (v.

fig. 5.40)

$$U_1 = e^{\beta \varphi} \cdot (c_5 \cdot \cos \beta \varphi + c_6 \cdot \sin \beta \varphi) \quad (5.308)$$

Din condițiile de margine

$$\varphi(\varphi_2) = 0 \quad \text{si} \quad \chi_{\varphi}(\varphi_2) = 0 \quad (5.309)$$

cu notațiile

$$\gamma_5 = e^{\beta \varphi_2} \cdot \cos \beta \varphi_2 \quad ; \quad \gamma_6 = e^{\beta \varphi_2} \cdot \sin \beta \varphi_2 \quad (5.310)$$

se obțin ecuațiile:

$$(\gamma_5 - \gamma_6) \cdot c_5 + (\gamma_5 + \gamma_6) \cdot c_6 - \frac{E \cdot t}{\beta \cdot \sin \varphi_2} \cdot \varphi''(\varphi_2) = 0 \quad (5.311a)$$

$$\gamma_6 \cdot c_5 - \gamma_5 \cdot c_6 - \frac{2 \cdot \beta^2 \cdot K}{R} \cdot \chi_{\varphi}(\varphi_2) = 0 \quad (5.311b)$$

Din rezolvarea sistemului rezulta constantele de integrare:

$$c_5 = \frac{\gamma_5 \cdot \frac{E \cdot t}{\beta \cdot \sin \varphi_2} \cdot \varphi''(\varphi_2) + (\gamma_5 + \gamma_6) \cdot \frac{2 \cdot \beta^2 \cdot K}{R} \cdot \chi_{\varphi}(\varphi_2)}{\gamma_5^2 + \gamma_6^2} \quad (5.312a)$$

$$c_6 = \frac{\gamma_6 \cdot \frac{E \cdot t}{\beta \cdot \sin \varphi_2} \cdot \varphi''(\varphi_2) + (\gamma_6 - \gamma_5) \cdot \frac{2 \cdot \beta^2 \cdot K}{R} \cdot \chi_{\varphi}(\varphi_2)}{\gamma_5^2 + \gamma_6^2} \quad (5.312b)$$

### §1 Intervalul 3 ( $\varphi_2 < \varphi \leq 180^\circ$ )

Soluția este de forma  $U_2$  (v. fig. 5.40)

$$U_2 = e^{-\beta \varphi} \cdot (c_7 \cdot \cos \beta \varphi + c_8 \cdot \sin \beta \varphi) \quad (5.313)$$

Din condițiile de margine

$$\varphi(\varphi_2) = 0 \quad \text{si} \quad \chi_{\varphi}(\varphi_2) = 0 \quad (5.314)$$

cu notațiile

$$\gamma_7 = e^{-\beta \varphi_2} \cdot \cos \beta \varphi_2 \quad ; \quad \gamma_8 = e^{-\beta \varphi_2} \cdot \sin \beta \varphi_2 \quad (5.315)$$

se obțin ecuațiile:

$$(\gamma_7 + \gamma_8) \cdot c_7 - (\gamma_7 - \gamma_8) \cdot c_8 + \frac{E \cdot t}{\beta \cdot \sin \varphi_2} \cdot \varphi''(\varphi_2) = 0 \quad (5.316a)$$

$$\psi_8 \cdot c_7 - \psi_7 \cdot c_8 + \frac{2 \cdot B^2 \cdot K}{R} \cdot \chi_{\varphi}^{\circ}(\varphi_2) = 0 \quad (5.316b)$$

Din rezolvarea sistemului rezulta constantele de integrare:

$$c_7 = \frac{-\psi_7 \cdot \frac{E \cdot t}{B \cdot \sin \varphi_2} \cdot \varphi^{\circ}(\varphi_2) + (\psi_7 - \psi_8) \cdot \frac{2 \cdot B^2 \cdot K}{R} \cdot \chi_{\varphi}^{\circ}(\varphi_2)}{\psi_7^2 + \psi_8^2} \quad (5.317a)$$

$$c_8 = \frac{-\psi_8 \cdot \frac{E \cdot t}{B \cdot \sin \varphi_2} \cdot \varphi^{\circ}(\varphi_2) + (\psi_7 + \psi_8) \cdot \frac{2 \cdot B^2 \cdot K}{R} \cdot \chi_{\varphi}^{\circ}(\varphi_2)}{\psi_7^2 + \psi_8^2} \quad (5.317b)$$

Dupa determinarea constantelor de integrare, eforturile si deplasarile pot fi calculate din relatiile (5.294) si (5.295).

#### 5.5.5. Eforturi din greutatea proprie.

Caracteristica placii curbe este data de relatia (5.283b)

$$B = [3 \cdot (1 - \mu^2)]^{\frac{1}{4}} \cdot \left[ \frac{R}{t} \right]^{\frac{1}{4}} = [3 \cdot (1 - 0,3^2)]^{\frac{1}{4}} \cdot \left[ \frac{800}{1} \right]^{\frac{1}{4}} = 36,357 \quad (5.318)$$

#### 5.5.5.1. Intervalul 1 ( $0 < \varphi \leq \varphi_1$ )

Tinind seama de tabelul 5.2 si de relatia (5.58) rezulta:

$$\varphi^{\circ}(\varphi_1) = 0,7475 \cdot \frac{g \cdot R^2}{E \cdot t} \quad (5.319a)$$

$$\chi_{\varphi}^{\circ}(\varphi_1) = -2,2216 \cdot \frac{g \cdot R}{E \cdot t} \quad (5.319b)$$

Constantele de integrare se obtin din (5.301)

$$\begin{aligned} c_1 &= \frac{1}{B} \cdot \left( \frac{\psi_1}{\psi_1^2 + \psi_2^2} \cdot \frac{0,7475}{\sin \varphi_1} - \frac{\psi_1 + \psi_2}{\psi_1^2 + \psi_2^2} \cdot \frac{2,2216}{2 \cdot B} \right) \cdot g \cdot R^2 = \\ &= \frac{1}{B \cdot e^{B \varphi_1}} \cdot \left[ 0,7475 \cdot \frac{\cos B \varphi_1}{\sin \varphi_1} - \frac{1,1108}{B} \cdot (\cos B \varphi_1 + \sin B \varphi_1) \right] \cdot g \cdot R^2 = \\ &= \frac{-1,7874 \cdot 10^{-2}}{e^{B \varphi_1}} \cdot g \cdot R^2 \quad (5.320a) \end{aligned}$$

$$c_2 = \frac{1}{\beta} \cdot \left( \frac{\psi_2}{\psi_1^2 + \psi_2^2} \cdot \frac{0,7475}{\sin \varphi_1} + \frac{\psi_1 - \psi_2}{\psi_1^2 + \psi_2^2} \cdot \frac{2,2216}{2 \cdot \beta} \right) \cdot g \cdot R^2 =$$

$$= \frac{1}{\beta \cdot e^{\beta \varphi_1}} \cdot \left[ 0,7475 \cdot \frac{\sin \beta \varphi_1}{\sin \varphi_1} + \frac{1,1108}{\beta} \cdot (\cos \beta \varphi_1 - \sin \beta \varphi_1) \right] \cdot g \cdot R^2 =$$

$$= - \frac{0,9960 \cdot 10^{-2}}{e^{\beta \varphi_1}} \cdot g \cdot R^2 \quad (5.320b)$$

unde:

$$\frac{\psi_1}{\psi_1^2 + \psi_2^2} = \frac{\cos \beta \varphi_1}{e^{\beta \varphi_1}} ; \quad \frac{\psi_2}{\psi_1^2 + \psi_2^2} = \frac{\sin \beta \varphi_1}{e^{\beta \varphi_1}} ; \quad \frac{\psi_1 \pm \psi_2}{\psi_1^2 + \psi_2^2} = \frac{\cos \beta \varphi_1 \pm \sin \beta \varphi_1}{e^{\beta \varphi_1}} \quad (5.321)$$

Introducind aceste constante in relatiile (5.294) in care s-a retinut numai solutia (1), se obtine:

$$N_{\varphi} = -ctg \varphi \cdot e^{\beta(\varphi - \varphi_1)} (-1,7874 \cdot \cos \beta \varphi - 0,9960 \cdot \sin \beta \varphi) \cdot 10^{-2} \cdot g \cdot R + N_{\varphi}^{\circ} \quad (5.322a)$$

$$N_{\theta} = -\beta \cdot e^{\beta(\varphi - \varphi_1)} (-2,7834 \cdot \cos \beta \varphi + 0,7914 \cdot \sin \beta \varphi) \cdot 10^{-2} \cdot g \cdot R + N_{\theta}^{\circ} \quad (5.322b)$$

$$M_{\varphi} = \frac{1}{2 \cdot \beta} \cdot e^{\beta(\varphi - \varphi_1)} (-0,7914 \cdot \cos \beta \varphi - 2,7834 \cdot \sin \beta \varphi) \cdot 10^{-2} \cdot g \cdot R^2 \quad (5.322c)$$

$$M_{\theta} = \mu \cdot M_{\varphi} \quad (5.322d)$$

$$Q_{\varphi} = e^{\beta(\varphi - \varphi_1)} (-1,7874 \cdot \cos \beta \varphi - 0,9960 \cdot \sin \beta \varphi) \cdot 10^{-2} \cdot g \cdot R \quad (5.322e)$$

Valorile finale ale eforturilor in teoria de incovoiere sint date in tabelul 5.38 si sint trasate in figurile 5.42 si 5.43. Se observa ca  $N_{\varphi}$  este putin modificat fata de teoria de membrana. In schimb,  $N_{\theta}$  la marginea  $\varphi = \varphi_1$  este mult modificat. Momentele de incovoiere si fortele taietoare se amortizeaza extrem de rapid.

### 5.5.5.2. Intervalul 2 ( $\varphi_1 \leq \varphi \leq \varphi_2$ )

a) Marginea superioara ( $\varphi = \varphi_1 = 75^\circ$ )

Tinind seama de tabelul 5.8 si de relatia (5.58) rezulta:

$$\xi_{\varphi}^{\circ}(\varphi_1) = -1,1864 \cdot \frac{g \cdot R^2}{E \cdot t} \quad (5.323a)$$

$$\chi_{\varphi}^{\circ}(\varphi_1) = -2,2216 \cdot \frac{g \cdot R}{E \cdot t} \quad (5.323b)$$

Constantele de integrare se obtin din (5.307)

$$c_3 = \frac{1}{\beta} \cdot \left( \frac{\psi_3}{\psi_3^2 + \psi_4^2} \cdot \frac{1,1864}{\sin \varphi_1} - \frac{\psi_3 - \psi_4}{\psi_3^2 + \psi_4^2} \cdot \frac{2,2216}{2 \cdot \beta} \right) \cdot g \cdot R^2 =$$

$$= \frac{1}{\beta \cdot e^{-\beta \varphi_1}} \cdot \left[ 1,1864 \cdot \frac{\cos \beta \varphi_1}{\sin \varphi_1} - \frac{1,1108}{\beta} \cdot (\cos \beta \varphi_1 - \sin \beta \varphi_1) \right] \cdot g \cdot R^2 =$$

$$= \frac{2,9789 \cdot 10^{-2}}{e^{-\beta \varphi_1}} \cdot g \cdot R^2$$

(5.324a)

$$c_4 = \frac{1}{\beta} \cdot \left( \frac{\psi_4}{\psi^2_3 + \psi^2_4} \cdot \frac{1,1864}{\sin \varphi_1} - \frac{\psi_3 + \psi_4}{\psi^2_3 + \psi^2_4} \cdot \frac{2,2216}{2 \cdot \beta} \right) \cdot g \cdot R^2 =$$

$$= \frac{1}{\beta \cdot e^{-\beta \varphi_1}} \cdot \left[ \frac{1,1864 \cdot \sin \beta \varphi_1}{\sin \varphi_1} - \frac{1,1108}{\beta} \cdot (\cos \beta \varphi_1 + \sin \beta \varphi_1) \right] \cdot g \cdot R^2 =$$

**Tabelul 5.38. EFORTURILE  $N_x$ ,  $N_y$ ,  $N_z$ ,  $M_x$ ,  $M_y$  SI  $Q_z$  DIN GREUTATEA PROPRIE CALCULATE IN STUDIUL DE ÎNCOVIERE.**

$F^2$	$N_x/g \cdot R$			$N_y/g \cdot R$			$M_x$	$M_y$	$Q_z$	
	$N_x^*$	$N_y^*$	$N_z^*$	$N_x^*$	$N_y^*$	$N_z^*$	$10^{-4} gR^3$	$10^{-4} gR^3$	$10^{-2} g \cdot R$	
z	0	-0,5000	0,0000	-0,5000	-0,5000	0,0000	-0,5000	0,0000	0,0000	0,0000
n	15	-0,5057	0,0000	-0,5057	-0,4572	0,0000	-0,4572	0,0000	0,0000	0,0000
t	30	-0,5357	0,0000	-0,5357	-0,3301	0,0000	-0,3301	0,0000	0,0000	0,0000
e	45	-0,5858	0,0000	-0,5858	-0,1213	0,0000	-0,1213	0,0000	0,0000	0,0000
v	60	-0,6657	0,0000	-0,6657	0,1667	0,0004	0,1671	0,0000	0,0000	0,0000
a	63	-0,6876	0,0000	-0,5878	0,2338	-0,0017	0,2321	-0,0044	-0,0013	0,0000
s	66	-0,7109	0,0000	-0,7109	0,3041	-0,0025	0,3016	0,0363	0,0109	0,0164
l	69	-0,7356	0,0000	-0,7359	0,3778	0,0467	0,4245	-0,0139	-0,0042	-0,0693
i	72	-0,7639	0,0000	-0,7634	0,4549	-0,0889	0,3660	-0,7703	-0,2311	-0,1578
f	75	-0,7944	0,0000	-0,7999	0,5356	-0,7738	-0,2382	2,4511	0,3028	2,0344
1	76	0,7457	-0,0000	0,7349	-1,0045	1,2282	0,2237	-4,4149	-1,3245	3,2642
1	78	0,6740	0,0000	0,6745	-0,8819	0,1482	-0,7337	1,2320	0,3655	-0,2441
t	81	0,5858	0,0000	0,5854	-0,7646	-0,0752	-0,8398	0,0268	0,0001	-0,1131
e	84	0,5474	0,0000	0,5474	-0,6519	0,0039	-0,6481	-0,0537	-0,0176	0,0245
r	87	0,4906	0,0000	0,4906	-0,5429	0,0028	-0,5401	0,0049	0,0021	0,0014
v	90	0,4369	0,0000	0,4369	-0,4369	-0,0006	-0,4375	0,0017	0,0005	-0,0014
a	105	0,1909	0,0000	0,1909	0,0679	0,0000	0,0679	0,0000	0,0000	0,0000
1	120	-0,0840	0,0000	-0,0840	0,5840	0,0006	0,5846	-0,0020	-0,0006	-0,0016
1	123	-0,1531	0,0000	-0,1531	0,6977	-0,0033	0,6944	-0,0079	-0,0024	0,0017
2	126	-0,1644	0,0002	-0,1644	0,7524	-0,0042	0,7482	0,0681	0,0204	0,0305
1	129	-0,3185	-0,0011	-0,3196	0,7480	0,0869	1,0349	-0,0342	-0,0103	-0,1320
1	132	-0,4205	-0,0025	-0,4230	1,0696	-0,1751	0,9145	-1,4203	-0,4251	-0,2755
1	135	-0,5402	0,0002	-0,5321	1,2474	-1,4094	-0,1620	5,1620	1,5466	3,8150
z	135	0,5858	0,0000	0,5866	0,1214	0,0545	0,1759	-0,0368	-0,0110	0,0883
n	138	0,5737	-0,0002	0,5735	0,1694	-0,0018	0,1676	0,0437	0,0131	-0,0194
t	141	0,5627	0,0000	0,5627	0,2144	-0,0022	0,2122	-0,0044	-0,0013	-0,0014
e	144	0,5528	0,0000	0,5528	0,2562	0,0004	0,2566	-0,0013	-0,0004	0,0010
v	147	0,5439	0,0000	0,5439	0,2948	0,0000	0,2948	0,0000	0,0000	0,0000
s	150	0,5359	0,0000	0,5359	0,3301	0,0000	0,3301	0,0000	0,0000	0,0000
l	165	0,5067	0,0000	0,5067	0,4572	0,0000	0,4572	0,0000	0,0000	0,0000
1	180	0,5000	0,0000	0,5000	0,5000	0,0000	0,5000	0,0000	0,0000	0,0000

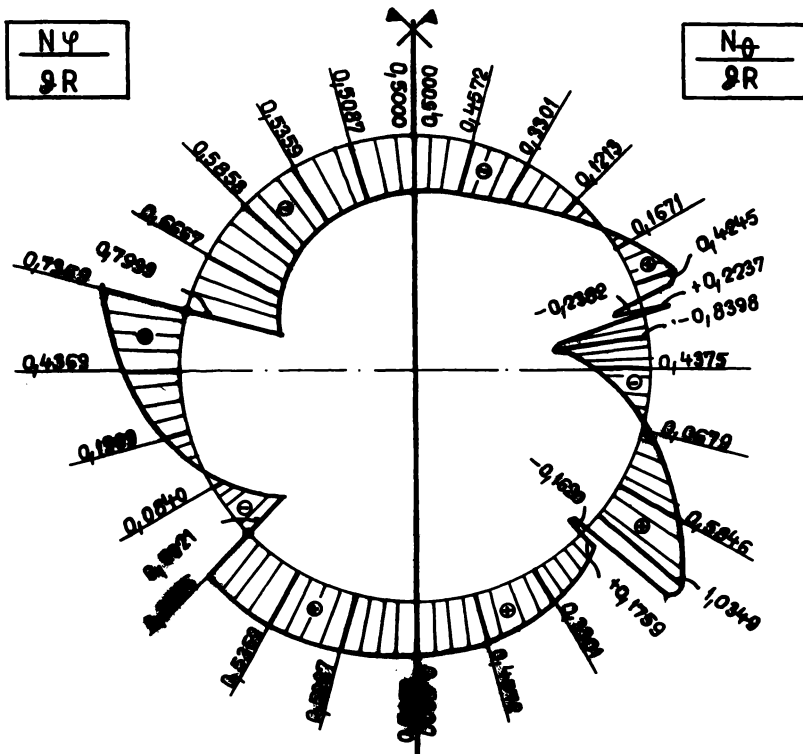


FIG. 5.42  
Eforturile axiale  $N_\phi$  și  $N_\theta$  din greutate proprie stadiul de încovoiere

$$= -\frac{1,4090 \cdot 10^{-2}}{e^{-B\varphi_1}} \cdot g \cdot R^2 \quad (5.324b)$$

unde:

$$\psi_3 = \frac{\cos B\varphi_1}{e^{-B\varphi_1}}; \quad \psi_4 = \frac{\sin B\varphi_1}{e^{-B\varphi_1}}; \quad \psi_3 + \psi_4 = \frac{\cos B\varphi_1 + \sin B\varphi_1}{e^{-B\varphi_1}} \quad (5.325)$$

Introducând aceste constante în relațiile (5.294) în care s-a retinut numai soluția (2), se obține:

$$N_\phi = -ctg\varphi \cdot e^{-B(\varphi - \varphi_1)} (-2,9789 \cdot \cos B\varphi - 1,4090 \cdot \sin B\varphi) \cdot 10^{-2} \cdot g \cdot R + N_\phi^0 \quad (5.326a)$$

$$N_\theta = -B \cdot e^{-B(\varphi - \varphi_1)} (1,5699 \cdot \cos B\varphi + 4,3879 \cdot \sin B\varphi) \cdot 10^{-2} \cdot g \cdot R + N_\theta^0 \quad (5.326b)$$

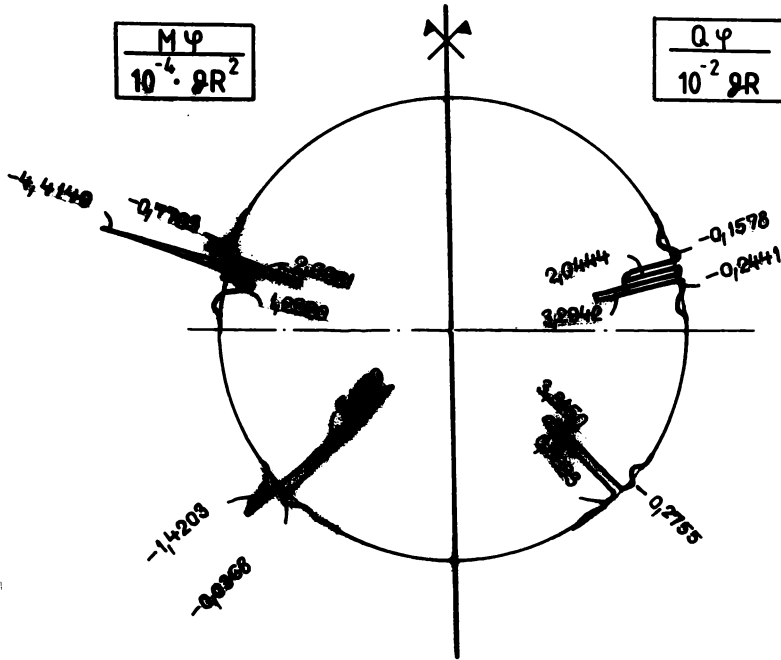


FIG. 5.43

Momente de încovoiere  $M_\varphi$  și forțe tăietoare  $Q_\varphi$  din greutate proprie

$$M_\varphi = \frac{1}{2 \cdot \beta} \cdot e^{-\beta(\varphi - \varphi_1)} (4,3879 \cdot \cos \beta \varphi - 1,5699 \cdot \sin \beta \varphi) \cdot 10^{-2} \cdot g \cdot R^2 \quad (5.326c)$$

$$M_\theta = \mu \cdot M_\varphi \quad (5.326d)$$

$$Q_\varphi = e^{-\beta(\varphi - \varphi_1)} (-2,9789 \cdot \cos \beta \varphi - 1,4090 \cdot \sin \beta \varphi) \cdot 10^{-2} \cdot g \cdot R \quad (5.326e)$$

b) Marginea inferioara ( $\varphi = \varphi_2 = 135^\circ$ )

Tinind seama de tabelul 5.8 si de relatia (5.58) rezulta:

$$\xi^\circ(\varphi_2) = 0,9966 \cdot \frac{g \cdot R^2}{E \cdot t} \quad (5.327a)$$

$$\chi_\varphi^\circ(\varphi_2) = -1,6263 \cdot \frac{g \cdot R}{E \cdot t} \quad (5.327b)$$

Constantele de integrare se obtin din (5.312)



$$\begin{aligned}
c_5 &= \frac{1}{\beta} \cdot \left( \frac{\psi_5}{\psi^2_5 + \psi^2_6} \cdot \frac{0,9966}{\sin \varphi_2} - \frac{\psi_5 + \psi_6}{\psi^2_5 + \psi^2_6} \cdot \frac{1,6263}{2 \cdot \beta} \right) \cdot g \cdot R^2 = \\
&= \frac{1}{\beta \cdot e^{\beta \varphi_2}} \cdot \left[ 0,9966 \cdot \frac{\cos \beta \varphi_2}{\sin \varphi_2} - \frac{0,8132}{\beta} \cdot (\cos \beta \varphi_2 + \sin \beta \varphi_2) \right] \cdot g \cdot R^2 = \\
&= - \frac{2,4972 \cdot 10^{-2}}{e^{\beta \varphi_2}} \cdot g \cdot R^2 \quad (5.328a)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
c_6 &= \frac{1}{\beta} \cdot \left( \frac{\psi_6}{\psi^2_5 + \psi^2_6} \cdot \frac{0,9966}{\sin \varphi_2} + \frac{\psi_5 - \psi_6}{\psi^2_5 + \psi^2_6} \cdot \frac{1,6263}{2 \cdot \beta} \right) \cdot g \cdot R^2 = \\
&= \frac{1}{\beta \cdot e^{\beta \varphi_2}} \cdot \left[ 0,9966 \cdot \frac{\sin \beta \varphi_2}{\sin \varphi_2} + \frac{0,8132}{\beta} \cdot (\cos \beta \varphi_2 - \sin \beta \varphi_2) \right] \cdot g \cdot R^2 = \\
&= - \frac{2,8848 \cdot 10^{-2}}{e^{\beta \varphi_2}} \cdot g \cdot R^2 \quad (5.328b)
\end{aligned}$$

unde:

$$\frac{\psi_5}{\psi^2_5 + \psi^2_6} = \frac{\cos \beta \varphi_2}{e^{\beta \varphi_2}} ; \quad \frac{\psi_6}{\psi^2_5 + \psi^2_6} = \frac{\sin \beta \varphi_2}{e^{\beta \varphi_2}} ; \quad \frac{\psi_5 + \psi_6}{\psi^2_5 + \psi^2_6} = \frac{\cos \beta \varphi_2 + \sin \beta \varphi_2}{e^{\beta \varphi_2}} \quad (5.329)$$

Introducind aceste constante in relatiile (5.294) in care s-a retinut numai solutia (1), se obtine:

$$N_f = -\text{ctg} \varphi \cdot e^{\beta(\bar{F} - f_2)} (-2,4972 \cdot \cos \beta \varphi - 2,8848 \cdot \sin \beta \varphi) \cdot 10^{-2} \cdot g \cdot R + N_f^0 \quad (5.330a)$$

$$N_\theta = -\beta \cdot e^{\beta(\bar{F} - f_2)} (-5,3820 \cdot \cos \beta \varphi - 0,3876 \cdot \sin \beta \varphi) \cdot 10^{-2} \cdot g \cdot R + N_\theta^0 \quad (5.330b)$$

$$M_f = \frac{1}{2 \cdot \beta} \cdot e^{\beta(\bar{F} - f_2)} (0,3876 \cdot \cos \beta \varphi - 5,3820 \cdot \sin \beta \varphi) \cdot 10^{-2} \cdot g \cdot R^2 \quad (5.330c)$$

$$M_\theta = \mu \cdot M_f \quad (5.330d)$$

$$Q_f = e^{\beta(\bar{F} - f_2)} (-2,4972 \cdot \cos \beta \varphi - 2,8848 \cdot \sin \beta \varphi) \cdot 10^{-2} \cdot g \cdot R \quad (5.330e)$$

Eforturile finale in teoria de incovoiere pentru intervalul (2) sint date in tabelul 5.38 si sint trasate in figurile 5.42 si 5.43.

### 5.5.5.3. Intervalul 3 ( $f_2 \leq \bar{F} \leq 180^\circ$ )

Tinind seama de tabelul 5.10 si de relatia (5.58) rezulta:

$$\chi^0(\varphi_2) = -0,0385 \cdot \frac{g \cdot R^2}{E \cdot t} \quad (5.331a)$$

$$\chi_f^\circ(f_2) = -1,6263 \cdot \frac{g \cdot R}{E \cdot t} \quad (5.331b)$$

Constantele de integrare se obtin din (5.317)

$$\begin{aligned} c_7 &= \frac{1}{\beta} \cdot \left( \frac{\psi_7}{\psi^2_7 + \psi^2_8} \cdot \frac{0,0385}{\sin \varphi_2} - \frac{\psi_7 - \psi_8}{\psi^2_7 + \psi^2_8} \cdot \frac{1,6263}{2 \cdot \beta} \right) \cdot g \cdot R^2 = \\ &= \frac{1}{\beta \cdot e^{-\beta \varphi_2}} \cdot \left[ 0,0385 \cdot \frac{\cos \beta \varphi_2}{\sin \varphi_2} - \frac{0,8132}{\beta} \cdot (\cos \beta \varphi_2 - \sin \beta \varphi_2) \right] \cdot g \cdot R^2 = \\ &= - \frac{0,1047 \cdot 10^{-2}}{e^{-\beta \varphi_2}} \cdot g \cdot R^2 \quad (5.332a) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c_8 &= \frac{1}{\beta} \cdot \left( \frac{\psi_8}{\psi^2_7 + \psi^2_8} \cdot \frac{0,0385}{\sin \varphi_2} - \frac{\psi_7 + \psi_8}{\psi^2_7 + \psi^2_8} \cdot \frac{1,6263}{2 \cdot \beta} \right) \cdot g \cdot R^2 = \\ &= \frac{1}{\beta \cdot e^{-\beta \varphi_2}} \cdot \left[ 0,0385 \cdot \frac{\sin \beta \varphi_2}{\sin \varphi_2} - \frac{0,8132}{\beta} \cdot (\cos \beta \varphi_2 + \sin \beta \varphi_2) \right] \cdot g \cdot R^2 = \\ &= - \frac{0,0248 \cdot 10^{-2}}{e^{-\beta \varphi_2}} \cdot g \cdot R^2 \quad (5.332b) \end{aligned}$$

unde:

$$\frac{\psi_7}{\psi^2_7 + \psi^2_8} = \frac{\cos \beta \varphi_2}{e^{-\beta \varphi_2}} ; \quad \frac{\psi_8}{\psi^2_7 + \psi^2_8} = \frac{\sin \beta \varphi_2}{e^{-\beta \varphi_2}} ; \quad \frac{\psi_7 \pm \psi_8}{\psi^2_7 + \psi^2_8} = \frac{\cos \beta \varphi_2 \pm \sin \beta \varphi_2}{e^{-\beta \varphi_2}} \quad (5.333)$$

Introducind aceste constante in relatiile (5.294) in care s-a retinut numai solutia (2), se obtine:

$$N_f = -ctg \varphi \cdot e^{-\beta(f-f_2)} (-0,1047 \cdot \cos \beta f - 0,0248 \cdot \sin \beta f) \cdot 10^{-2} \cdot g \cdot R + N_f^\circ \quad (5.334a)$$

$$N_\theta = -\beta \cdot e^{-\beta(f-f_2)} (0,0799 \cdot \cos \beta f + 0,1295 \cdot \sin \beta f) \cdot 10^{-2} \cdot g \cdot R + N_\theta^\circ \quad (5.334b)$$

$$M_f = \frac{1}{2 \cdot \beta} \cdot e^{-\beta(f-f_2)} (0,1295 \cdot \cos \beta f - 0,0799 \cdot \sin \beta f) \cdot 10^{-2} \cdot g \cdot R^2 \quad (5.334c)$$

$$M_\theta = \mu \cdot M_f \quad (5.334d)$$

$$Q_f = e^{-\beta(f-f_2)} (-0,1047 \cdot \cos \beta f - 0,0248 \cdot \sin \beta f) \cdot 10^{-2} \cdot g \cdot R \quad (5.334e)$$

Eforturile finale sint date in tabelul 5.38 si sint trasate in figurile 5.42 si 5.43.

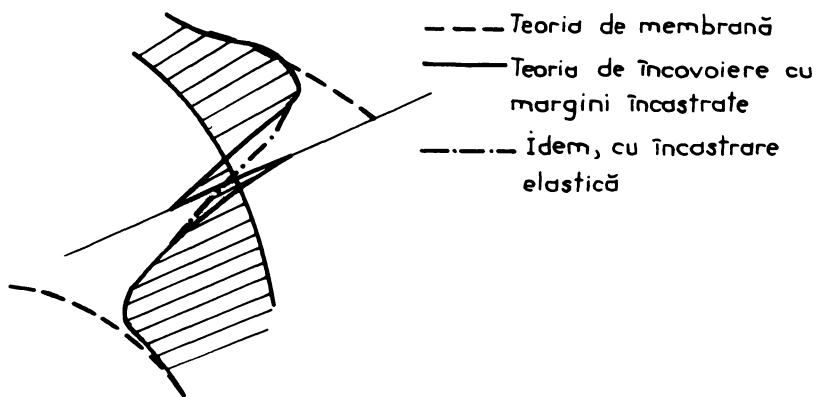


FIG. 5.44 - Comparația eforturilor  $N_x$  rezultate din diferitele teorii de calcul

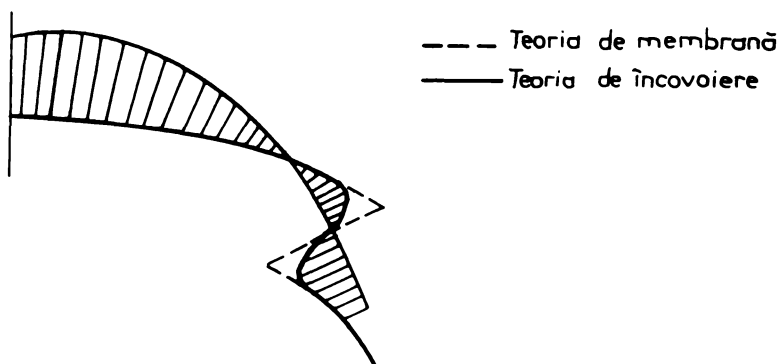


FIG. 5.45 - Comparația deplasărilor  $W$  rezultate din teoria de membrană și încovoiere

## 5.5.6. Eforturi din presiunea lichidului. Rezervor plin.

### 5.5.6.1. Intervalul 1 ( $0 < \varphi \leq \varphi_1$ )

Tinind seama de tabelul 5.12 si de relatia (5.126) rezulta:

$$\varphi^{\circ}(\varphi_1) = 0,6150 \cdot \frac{\gamma \cdot R^3}{E \cdot t} \quad (5.335a)$$

$$\chi_{\varphi^{\circ}}(\varphi_1) = -0,9659 \cdot \frac{\gamma \cdot R^2}{E \cdot t} \quad (5.335b)$$

Constantele de integrare se obtin din (5.301)

$$\begin{aligned} c_1 &= \frac{1}{\beta} \cdot \left( \frac{\psi_1}{\psi^2_1 + \psi^2_2} \cdot \frac{0,6150}{\sin \varphi_1} - \frac{\psi_1 + \psi_2}{\psi^2_1 + \psi^2_2} \cdot \frac{0,9659}{2 \cdot \beta} \right) \cdot \gamma \cdot R^3 = \\ &= \frac{1}{\beta \cdot e^{\beta \varphi_1}} \cdot \left[ 0,6150 \cdot \frac{\cos \beta \varphi_1}{\sin \varphi_1} - \frac{0,4830}{\beta} \cdot (\cos \beta \varphi_1 + \sin \beta \varphi_1) \right] \cdot \gamma \cdot R^3 = \\ &= - \frac{1,5144 \cdot 10^{-2}}{e^{\beta \varphi_1}} \cdot \gamma \cdot R^3 \quad (5.336a) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c_2 &= \frac{1}{\beta} \cdot \left( \frac{\psi_2}{\psi^2_1 + \psi^2_2} \cdot \frac{0,6150}{\sin \varphi_1} + \frac{\psi_1 - \psi_2}{\psi^2_1 + \psi^2_2} \cdot \frac{0,9659}{2 \cdot \beta} \right) \cdot \gamma \cdot R^3 = \\ &= \frac{1}{\beta \cdot e^{\beta \varphi_1}} \cdot \left[ 0,6150 \cdot \frac{\sin \beta \varphi_1}{\sin \varphi_1} + \frac{0,4830}{\beta} \cdot (\cos \beta \varphi_1 - \sin \beta \varphi_1) \right] \cdot \gamma \cdot R^3 = \\ &= - \frac{0,8051 \cdot 10^{-2}}{e^{\beta \varphi_1}} \cdot \gamma \cdot R^3 \quad (5.336b) \end{aligned}$$

unde s-a tinut seama de relatiile (5.318) si (5.321).

Introducind aceste constante in relatiile (5.294) in care s-a retinut numai solutia (1), se obtine:

$$M_{\varphi} = -\text{ctg} \varphi \cdot e^{\beta(F - \varphi_1)} (-1,5144 \cdot \cos \beta \varphi - 0,8051 \cdot \sin \beta \varphi) \cdot 10^{-2} \cdot \gamma \cdot R^2 + N_{\varphi}^{\circ} \quad (5.337a)$$

$$N_{\varphi} = -\beta \cdot e^{\beta(F - \varphi_1)} (-2,3195 \cdot \cos \beta \varphi + 0,7093 \cdot \sin \beta \varphi) \cdot 10^{-2} \cdot \gamma \cdot R^2 + N_{\varphi}^{\circ} \quad (5.337b)$$

$$M_{\varphi} = \frac{1}{2 \cdot \beta} \cdot e^{\beta(F - \varphi_1)} (-0,7093 \cdot \cos \beta \varphi - 2,3195 \cdot \sin \beta \varphi) \cdot 10^{-2} \cdot \gamma \cdot R^3 \quad (5.337c)$$

$$M_{\theta} = \mu \cdot M_{\varphi} \quad (5.337d)$$

$$Q_{\varphi} = e^{\beta(F - \varphi_1)} (-1,5144 \cdot \cos \beta \varphi - 0,8051 \cdot \sin \beta \varphi) \cdot 10^{-2} \cdot \gamma \cdot R^2 \quad (5.337e)$$

Valorile finale ale eforturilor in teoria de incovoiere sint date in tabelul 5.39 si sint trasate in figurile 5.46 si 5.47.

### 5.5.6.2. Intervalul 2 ( $\varphi_1 < \varphi \leq \varphi_2$ )

a) Marginea superioara ( $\varphi = \varphi_1 = 75^\circ$ )

Tinind seama de tabelul 5.16 si de relatia (5.126) rezulta:

$$\varphi^\circ(\varphi_1) = -0,1158 \cdot \frac{\gamma \cdot R^3}{E \cdot t} \quad (5.338a)$$

$$\chi_\varphi^\circ(\varphi_1) = -0,9659 \cdot \frac{\gamma \cdot R^2}{E \cdot t} \quad (5.338b)$$

Constantele de integrare se obtin din (5.307)

$$\begin{aligned} c_3 &= \frac{1}{\beta} \cdot \left( \frac{\psi_3}{\psi^2_3 + \psi^2_4} \cdot \frac{0,1158}{\sin \varphi_1} - \frac{\psi_3 - \psi_4}{\psi^2_3 + \psi^2_4} \cdot \frac{0,9659}{2 \cdot \beta} \right) \cdot \gamma \cdot R^3 = \\ &= \frac{1}{\beta \cdot e^{-\beta \varphi_1}} \cdot \left[ 0,1158 \cdot \frac{\cos \beta \varphi_1}{\sin \varphi_1} - \frac{0,4830}{\beta} \cdot (\cos \beta \varphi_1 - \sin \beta \varphi_1) \right] \cdot \gamma \cdot R^3 = \\ &= - \frac{0,2782 \cdot 10^{-2}}{e^{-\beta \varphi_1}} \cdot \gamma \cdot R^3 \quad (5.339a) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c_4 &= \frac{1}{\beta} \cdot \left( \frac{\psi_4}{\psi^2_3 + \psi^2_4} \cdot \frac{0,1158}{\sin \varphi_1} - \frac{\psi_3 + \psi_4}{\psi^2_3 + \psi^2_4} \cdot \frac{0,9659}{2 \cdot \beta} \right) \cdot \gamma \cdot R^3 = \\ &= \frac{1}{\beta \cdot e^{-\beta \varphi_1}} \cdot \left[ 0,1158 \cdot \frac{\sin \beta \varphi_1}{\sin \varphi_1} - \frac{0,4830}{\beta} \cdot (\cos \beta \varphi_1 + \sin \beta \varphi_1) \right] \cdot \gamma \cdot R^3 = \\ &= - \frac{0,0995 \cdot 10^{-2}}{e^{-\beta \varphi_1}} \cdot \gamma \cdot R^3 \quad (5.339b) \end{aligned}$$

unde s-a tinut seama de relatiile (5.318) si (5.325).

Introducind aceste constante in relatiile (5.294) in care s-a retinut numai solutia (2), se obtine:

$$M_\varphi = -c t \beta \gamma \cdot e^{-\beta(\varphi - \varphi_1)} \cdot (-0,2782 \cdot \cos \beta \varphi - 0,0995 \cdot \sin \beta \varphi) \cdot 10^{-2} \cdot \gamma \cdot R^2 + N_\varphi^\circ \quad (5.340a)$$

$$M_\theta = -\beta \cdot e^{-\beta(\varphi - \varphi_1)} \cdot (0,1787 \cdot \cos \beta \varphi + 0,3777 \cdot \sin \beta \varphi) \cdot 10^{-2} \cdot \gamma \cdot R^2 + N_\theta^\circ \quad (5.340b)$$

$$M_\varphi = \frac{1}{2 \cdot \beta} \cdot e^{-\beta(\varphi - \varphi_1)} \cdot (0,3777 \cdot \cos \beta \varphi - 0,1787 \cdot \sin \beta \varphi) \cdot 10^{-2} \cdot \gamma \cdot R^3 \quad (5.340c)$$

$$M_\theta = \mu \cdot M_\varphi \quad (5.340d)$$

$$Q_\varphi = e^{-\beta(\varphi - \varphi_1)} \cdot (-0,2782 \cdot \cos \beta \varphi - 0,0995 \cdot \sin \beta \varphi) \cdot 10^{-2} \cdot \gamma \cdot R^2 \quad (5.340e)$$

b) Marginea inferioara ( $\varphi = \varphi_2 = 135^\circ$ )

Tinind seama de tabelul 5.16 si de relatia (5.126) rezulta:

Tabela 5.39. EFORTURILE  $N_F$ ,  $N_0$ ,  $M_F$ ,  $M_0$  SI  $\xi_F$  DIN PRESIUNEA LICHIDULUI, REZERVOR PLIN, CALCULATE IN STADIUL DE ÎNCOVIERE.

F°	$N_F/Y \cdot R^2$			$N_0/Y \cdot R^2$			$M_F$	$M_0$	$\xi_F$
	$N_F^c$	$N_F^i$	$N_F$	$N_0^c$	$N_0^i$	$N_0$	$10^{-4} \cdot YR^3$	$10^{-4} \cdot YR^3$	$10^{-2} \cdot YR^2$
1	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	15	0,0085	0,0000	0,0085	0,0256	0,0000	0,0256	0,0000	0,0000
	30	0,0327	0,0000	0,0327	0,1013	0,0000	0,1013	0,0000	0,0000
	45	0,0690	0,0000	0,0690	0,2239	0,0000	0,2239	0,0000	0,0000
	60	0,1111	0,0000	0,1111	0,3889	0,0000	0,3889	0,0000	0,0000
	75	0,1594	0,0000	0,1594	0,4256	-0,0014	0,4256	-0,0034	-0,0011
2	15	0,1275	0,0000	0,1275	0,4658	-0,0019	0,4675	0,0000	0,0000
	30	0,1352	0,0000	0,1352	0,5065	0,0371	0,5456	-0,0146	-0,0044
	45	0,1424	0,0000	0,1424	0,5466	-0,0778	0,4708	-0,1400	-0,1920
	60	0,1469	-0,0046	0,1443	0,5923	-0,6367	-0,0444	2,3079	0,6924
	75	0,1469	-0,0046	0,1443	0,5923	-0,6367	-0,0444	2,3079	0,6924
	90	0,1469	-0,0046	0,1443	0,5923	-0,6367	-0,0444	2,3079	0,6924
3	15	0,1522	0,0000	0,1522	0,0799	0,1199	0,1808	-0,3536	-0,1059
	30	0,1554	0,0000	0,1554	0,1367	0,0104	0,1471	0,1149	0,0347
	45	0,1586	0,0000	0,1586	0,1930	-0,0067	0,1843	-0,0001	0,0000
	60	0,1475	0,0000	0,1475	0,2479	0,0000	0,2479	0,0000	0,0000
	75	0,1446	0,0000	0,1446	0,3016	0,0000	0,3016	0,0000	0,0000
	90	0,1456	0,0000	0,1456	0,3544	0,0000	0,3544	0,0000	0,0000
4	105	0,1499	0,0000	0,1499	0,6089	0,0000	0,6089	0,0000	0,0000
	120	0,1386	0,0000	0,1386	0,8614	0,0000	0,8614	0,0000	0,0000
	135	0,1305	0,0000	0,1305	0,9142	-0,0023	0,9119	-0,0055	-0,0016
	150	0,1191	0,0000	0,1191	0,9687	-0,0029	0,9658	0,0475	0,0143
	165	0,1035	-0,0008	0,1027	1,0258	0,0611	1,0669	-0,0255	-0,0076
	180	0,1024	-0,0017	0,1012	1,0863	-0,1246	0,9615	-0,0957	-0,2987
5	135	0,1054	0,0246	0,1024	1,1515	-0,9850	0,1665	3,6523	1,0957
	150	0,1054	0,0246	0,1024	1,1515	-0,9850	0,1665	3,6523	1,0957
	165	0,1054	0,0246	0,1024	1,1515	-0,9850	0,1665	3,6523	1,0957
	180	0,1054	0,0246	0,1024	1,1515	-0,9850	0,1665	3,6523	1,0957
	195	0,1054	0,0246	0,1024	1,1515	-0,9850	0,1665	3,6523	1,0957
	210	0,1054	0,0246	0,1024	1,1515	-0,9850	0,1665	3,6523	1,0957

$$\chi_{\delta}^{\circ}(\varphi_2) = 0,6965 \cdot \frac{\delta \cdot R^3}{E \cdot t} \quad (5.341a)$$

$$\chi_{\varphi}^{\circ}(\varphi_2) = -0,7071 \cdot \frac{\gamma \cdot R^2}{E \cdot t} \quad (5.341b)$$

Constantele de integrare se obtin din (5.312)

$$c_5 = \frac{1}{B} \cdot \left( \frac{\gamma_5}{\gamma_5^2 + \gamma_6^2} \cdot \frac{0,6965}{\sin \varphi_2} - \frac{\gamma_5 + \gamma_6}{\gamma_5^2 + \gamma_6^2} \cdot \frac{0,7071}{2 \cdot B} \right) \cdot \delta \cdot R^3 =$$

$$= \frac{1}{\beta \cdot e^{\beta \varphi_2}} \cdot [0,6965 \cdot \frac{\cos \beta \varphi_2}{\sin \beta \varphi_2} - \frac{0,3536}{\beta} \cdot (\cos \beta \varphi_2 + \sin \beta \varphi_2)] \cdot \delta \cdot R^2$$

$$= - \frac{1,7632 \cdot 10^{-2}}{e^{\beta \varphi_2}} \cdot \delta \cdot R^3 \quad (5.342a)$$

$$c_6 = \frac{1}{\beta} \cdot \left( \frac{\varphi_6}{\varphi_5^2 + \varphi_6^2} \cdot \frac{0,6965}{\sin \beta \varphi_2} + \frac{\varphi_5 + \varphi_6}{\varphi_5^2 + \varphi_6^2} \cdot \frac{0,7071}{2 \cdot \beta} \right) \cdot \delta \cdot R^3 =$$

$$= \frac{1}{\beta \cdot e^{\beta \varphi_2}} \cdot [0,6965 \cdot \frac{\sin \beta \varphi_2}{\sin \beta \varphi_2} + \frac{0,3536}{\beta} \cdot (\cos \beta \varphi_2 - \sin \beta \varphi_2)] \cdot \delta \cdot R^3 =$$

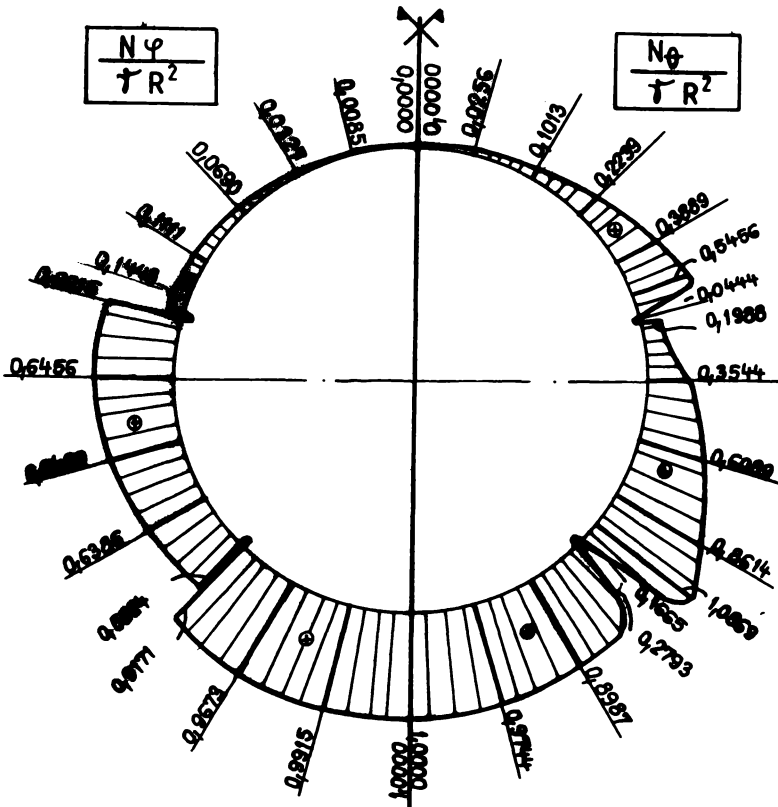


FIG. 5.46 Eforturile axiale  $N_\varphi$  și  $N_\phi$  din presiunea lichidului, rezervor plin în stadiul de încovoiere

$$= - \frac{2,0174 \cdot 10^{-2}}{e^{\beta/2}} \cdot R^3 \quad (5.342b)$$

unde s-a tinut seama de relatiile (5.318) si (5.329).  
Introducind aceste constante in relatiile (5.294) in care s-a retinut numai solutia (1), se obtine:

$$N_f = -\text{ctg} \varphi \cdot e^{\beta(\varphi - \varphi_2)} (-1,7682 \cdot \cos \beta \varphi - 2,0174 \cdot \sin \beta \varphi) \cdot 10^{-2} \cdot \gamma \cdot R^2 + N_f^0 \quad (5.343a)$$

$$N_\theta = -\beta \cdot e^{\beta(\varphi - \varphi_2)} (-3,7856 \cdot \cos \beta \varphi - 0,2492 \cdot \sin \beta \varphi) \cdot 10^{-2} \cdot \gamma \cdot R^2 + N_\theta^0 \quad (5.343b)$$

$$M_f = \frac{1}{2 \cdot \beta} \cdot e^{\beta(\varphi - \varphi_2)} (0,2492 \cdot \cos \beta \varphi - 3,7856 \cdot \sin \beta \varphi) \cdot 10^{-2} \cdot \gamma \cdot R^3 \quad (5.343c)$$

$$M_\theta = \mu \cdot M_f \quad (5.343d)$$

$$Q_f = e^{\beta(\varphi - \varphi_2)} (-1,7682 \cdot \cos \beta \varphi - 2,0174 \cdot \sin \beta \varphi) \cdot 10^{-2} \cdot \gamma \cdot R^2 \quad (5.343e)$$

Eforturile finale in teoria de incovoiere pentru intervalul (2) sint date in tabelul 5.39 si sint trasate in figurile 5.46 si 5.47.

### 5.5.6.3. Intervalul 3 ( $\varphi_2 < \varphi \leq 180^\circ$ )

Tinind seama de tabelul 5.18 si de relatia (5.126) rezulta:

$$\gamma_f^0(\varphi_2) = 0,3513 \cdot \frac{\gamma \cdot R^3}{E \cdot t} \quad (5.344a)$$

$$\chi_f^0(\varphi_2) = -0,7071 \cdot \frac{\gamma \cdot R^2}{E \cdot t} \quad (5.344b)$$

Constantele de integrare se obtin din (5.317)

$$\begin{aligned} c_7 &= \frac{1}{\beta} \cdot \left( \frac{-\gamma_7}{\psi^2_7 + \psi^2_8} \cdot \frac{0,3513}{\sin \varphi_2} - \frac{\gamma_7 - \gamma_8}{\psi^2_7 + \psi^2_8} \cdot \frac{0,7071}{2 \cdot \beta} \right) \cdot \gamma \cdot R^3 = \\ &= \frac{1}{\beta \cdot e^{-\beta \varphi_2}} \cdot \left[ -0,3513 \cdot \frac{\cos \beta \varphi_2}{\sin \varphi_2} - \frac{0,3536}{\beta} \cdot (\cos \beta \varphi_2 - \sin \beta \varphi_2) \right] \cdot \gamma \cdot R^3 = \\ &= \frac{0,9088 \cdot 10^{-2}}{e^{-\beta \varphi_2}} \cdot \gamma \cdot R^3 \quad (5.345a) \end{aligned}$$

$$c_8 = \frac{1}{\beta} \cdot \left( \frac{-\gamma_8}{\psi^2_7 + \psi^2_8} \cdot \frac{0,3513}{\sin \varphi_2} - \frac{\gamma_7 + \gamma_8}{\psi^2_7 + \psi^2_8} \cdot \frac{0,7071}{2 \cdot \beta} \right) \cdot \gamma \cdot R^3 =$$



$$= \frac{1}{B \cdot e^{-\beta \varphi 2}} \cdot [-0,3513 \cdot \frac{\sin \beta \varphi 2}{\sin \varphi 2} - \frac{0,3536}{\beta} \cdot (\cos \beta \varphi 2 + \sin \beta \varphi 2)] \cdot \gamma \cdot R^3$$

$$= \frac{1,0564 \cdot 10^{-2}}{e^{-\beta \varphi 2}} \cdot \gamma \cdot R^3 \quad (5.345b)$$

unde s-a tinut seama de relatiile (5.318) si (5.333).

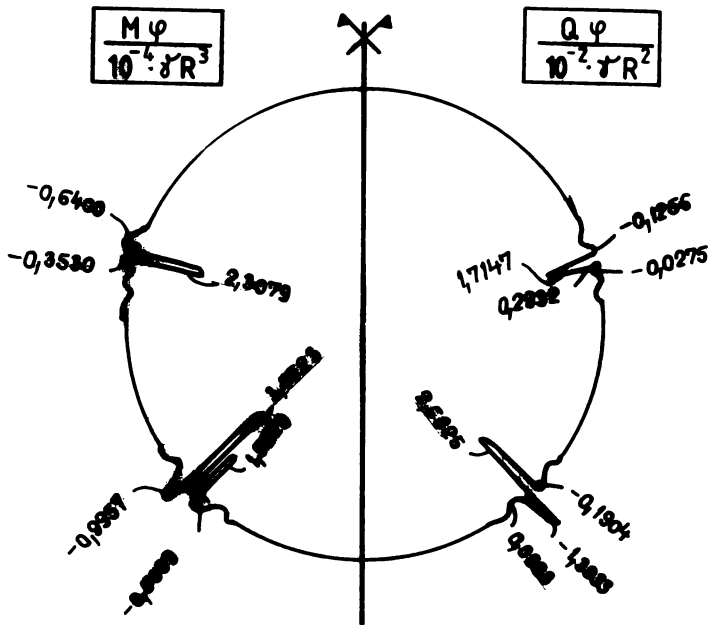


FIG.5.47

Momente de încovoiere  $M_\varphi$  și forțe tăietoare  $Q_\varphi$  din presiunea lichidului, rezervor plin.

Introducând aceste constante în relațiile (5.294) în care s-a reținut numai soluția (2), se obține:

$$N_\varphi = -\cot \beta \cdot e^{-\beta(\varphi - \varphi_2)} (0,9088 \cdot \cos \beta \varphi + 1,0564 \cdot \sin \beta \varphi) \cdot 10^{-2} \cdot \gamma \cdot R^2 + N_\varphi^0 \quad (5.346a)$$

$$N_\varphi^0 = -\beta \cdot e^{-\beta(\varphi - \varphi_2)} (0,1476 \cdot \cos \beta \varphi - 1,9652 \cdot \sin \beta \varphi) \cdot 10^{-2} \cdot \gamma \cdot R^2 + N_\varphi^0 \quad (5.346b)$$

$$M_\varphi = \frac{1}{2 \cdot \beta} \cdot e^{-\beta(\varphi - \varphi_2)} (-1,9652 \cdot \cos \beta \varphi - 0,1476 \cdot \sin \beta \varphi) \cdot 10^{-2} \cdot \gamma \cdot R^3 \quad (5.346c)$$

$$M_{\theta} = \mu \cdot M_{\varphi} \quad (5.346d)$$

$$Q_{\varphi} = e^{-\beta(\varphi - \varphi_2)} (+0,9088 \cdot \cos \beta \varphi + 1,0564 \cdot \sin \beta \varphi) \cdot 10^{-2} \cdot \gamma \cdot R^2 \quad (5.346e)$$

Eforturile finale pentru intervalul (3) sînt date în tabelul 5.39 și sînt trasate în figurile 5.46 și 5.47.

### 5.5.7. Eforturi din compresiune.

#### 5.5.7.1. Intervalul 1 ( $0 < \varphi \leq \varphi_1$ )

Tinînd seama de tabelul 5.24 și de relația (5.198e) rezulta:

$$\chi_{\varphi}^{\circ}(\varphi_1) = -0,3381 \cdot \frac{P \cdot R^2}{E \cdot t} \quad (5.347a)$$

$$\chi_{\varphi}^{\circ}(\varphi_1) = 0 \quad (5.347b)$$

Constantele de integrare se obțin din (5.301)

$$c_1 = \frac{1}{\beta} \cdot \left( \frac{-\psi_1}{\psi_1^2 + \psi_2^2} \cdot \frac{0,3381}{\sin \varphi_1} \right) \cdot P \cdot R^2 = \frac{1}{\beta \cdot e^{\beta \varphi_1}} \cdot \left[ -0,3381 \cdot \frac{\cos \beta \varphi_1}{\sin \varphi_1} \right] \cdot P \cdot R^2 =$$

$$= \frac{0,8595 \cdot 10^{-2}}{e^{\beta \varphi_1}} \cdot P \cdot R^2 \quad (5.348a)$$

$$c_2 = \frac{1}{\beta} \cdot \left( \frac{-\psi_2}{\psi_1^2 + \psi_2^2} \cdot \frac{0,3381}{\sin \varphi_1} \right) \cdot P \cdot R^2 = \frac{1}{\beta \cdot e^{\beta \varphi_1}} \cdot \left[ -0,3381 \cdot \frac{\sin \beta \varphi_1}{\sin \varphi_1} \right] \cdot P \cdot R^2 =$$

$$= \frac{0,4337 \cdot 10^{-2}}{e^{\beta \varphi_1}} \cdot P \cdot R^2 \quad (5.348b)$$

unde s-a ținut seama de relațiile (5.318) și (5.321).

Introducînd aceste constante în relațiile (5.294) în care s-a reținut numai soluția (1), se obține:

$$N_{\varphi} = -\text{ctg} \varphi \cdot e^{\beta(\varphi - \varphi_1)} (0,8595 \cdot \cos \beta \varphi + 0,4337 \cdot \sin \beta \varphi) \cdot 10^{-2} \cdot P \cdot R + N_{\varphi}^{\circ} \quad (5.349a)$$

$$N_{\theta} = -\beta \cdot e^{\beta(\varphi - \varphi_1)} (+1,2932 \cdot \cos \beta \varphi - 0,4258 \cdot \sin \beta \varphi) \cdot 10^{-2} \cdot P \cdot R + N_{\theta}^{\circ} \quad (5.349b)$$

$$M_{\varphi} = \frac{1}{2 \cdot \beta} \cdot e^{\beta(\varphi - \varphi_1)} (+0,4258 \cdot \cos \beta \varphi + 1,2932 \cdot \sin \beta \varphi) \cdot 10^{-2} \cdot P \cdot R^2 \quad (5.349c)$$

$$M_{\theta} = \mu \cdot M_{\varphi} \quad (5.349d)$$

$$Q_{\varphi} = e^{\beta(\varphi - \varphi_1)} (+0,8595 \cdot \cos \beta \varphi + 0,4337 \cdot \sin \beta \varphi) \cdot 10^{-2} \cdot P \cdot R \quad (5.349e)$$

Valorile finale ale eforturilor pentru intervalul (1) în teoria de încovoieră sînt date în tabelul 5.40 și sînt trasate în figurile 5.48 și 5.49.

### 5.5.7.2. Intervalul 2 ( $\varphi_1 \leq \varphi \leq \varphi_2$ )

a) Marginea superioara ( $\varphi = \varphi_1 = 75^\circ$ )

Tinind seama de tabelul 5.28 si de relatia (5.198e) rezulta:

$$\varphi^\circ(\varphi_1) = -0,3381 \cdot \frac{P \cdot R^2}{E \cdot t} \quad (5.350a)$$

$$\chi_{\varphi^\circ}(\varphi_1) = 0 \quad (5.350b)$$

Constantele de integrare se obtin din (5.307)

$$c_3 = \frac{1}{\beta} \cdot \left( \frac{\gamma_3}{\psi^2_3 + \psi^2_4} \cdot \frac{0,3381}{\sin \varphi_1} \right) \cdot P \cdot R^2 = \frac{1}{\beta \cdot e^{-\beta \varphi_1}} \cdot \left[ 0,3381 \cdot \frac{\cos \beta \varphi_1}{\sin \varphi_1} \right] \cdot P \cdot R^2 =$$

$$= - \frac{0,8595 \cdot 10^{-2}}{e^{-\beta \varphi_1}} \cdot P \cdot R^2 \quad (5.351a)$$

$$c_4 = \frac{1}{\beta} \cdot \left( \frac{\gamma_4}{\psi^2_3 + \psi^2_4} \cdot \frac{0,3381}{\sin \varphi_1} \right) \cdot P \cdot R^2 = \frac{1}{\beta \cdot e^{-\beta \varphi_1}} \cdot \left[ 0,3381 \cdot \frac{\sin \beta \varphi_1}{\sin \varphi_1} \right] \cdot P \cdot R^2 =$$

$$= - \frac{0,4337 \cdot 10^{-2}}{e^{-\beta \varphi_1}} \cdot P \cdot R^2 \quad (5.351b)$$

unde s-a tinut seama de relatiile (5.318) si (5.325).

Introducind aceste constante in relatiile (5.294) in care s-a retinut numai solutia (2), se obtine:

$$N_\varphi = -\text{ctg} \varphi \cdot e^{-\beta(\varphi - \varphi_1)} \cdot (-0,8595 \cdot \cos \beta \varphi - 0,4337 \cdot \sin \beta \varphi) \cdot 10^{-2} \cdot P \cdot R + N_{\varphi^\circ} \quad (5.352a)$$

$$N_\theta = -\beta \cdot e^{-\beta(\varphi - \varphi_1)} \cdot (0,4258 \cdot \cos \beta \varphi + 1,2932 \cdot \sin \beta \varphi) \cdot 10^{-2} \cdot P \cdot R + N_{\theta^\circ} \quad (5.353b)$$

$$M = \frac{1}{2 \cdot \beta} \cdot e^{-\beta(\varphi - \varphi_1)} \cdot (1,2932 \cdot \cos \beta \varphi - 0,4258 \cdot \sin \beta \varphi) \cdot 10^{-2} \cdot P \cdot R^2 \quad (5.352c)$$

$$M_\theta = \mu \cdot M_{\theta^\circ} \cdot e^{-\beta(\varphi - \varphi_1)} \cdot (-0,8595 \cdot \cos \beta \varphi - 0,4337 \cdot \sin \beta \varphi) \cdot 10^{-2} \cdot P \cdot R \quad (5.352d)$$

$$Q = e^{-\beta(\varphi - \varphi_1)} \cdot (-0,8595 \cdot \cos \beta \varphi - 0,4337 \cdot \sin \beta \varphi) \cdot 10^{-2} \cdot P \cdot R \quad (5.352e)$$

b) Marginea inferioara ( $\varphi = \varphi_2 = 135^\circ$ )

Tinind seama de tabelul 5.28 si de relatia (5.198e) rezulta:

$$\varphi^\circ(\varphi_2) = -0,2475 \cdot \frac{P \cdot R^2}{E \cdot t} \quad (5.352a)$$

$$\chi_{\varphi^\circ}(\varphi_2) = 0 \quad (5.352b)$$

Constantele de integrare se obtin din (5.312)

$$c_5 = \frac{1}{\beta} \cdot \left( \frac{-\gamma_5}{\psi^2_5 + \psi^2_6} \cdot \frac{0,2475}{\sin \varphi_2} \right) \cdot P \cdot R^2 = \frac{1}{\beta \cdot e^{\beta \varphi_2}} \cdot \left[ -0,2475 \cdot \frac{\cos \beta \varphi_2}{\sin \varphi_2} \right] \cdot P \cdot R^2 =$$

$$= \frac{0,6417 \cdot 10^{-2}}{e^{\beta \varphi_2}} \cdot P \cdot R^2 \quad (5.354a)$$

Tabelul 5.40. EFORTURILE  $N_F$ ,  $N_G$ ,  $M_F$ ,  $M_G$  SI  $Q_F$  DIN DEPRESIUNE  
CALCULATE IN STUDIUL DE ÎNCOVIERE.

	$F$	$N_F/P \cdot R$			$N_G/P \cdot R$			$M_F$	$M_G$	$Q_F$
		$N_F'$	$N_F$	$N_F$	$N_G'$	$N_G$	$N_G$	$10^{-3} \text{ PR}$	$10^{-3} \text{ PR}$	$10^{-3} P \cdot R$
I	0	-0,5000	0,0000	-0,5000	-0,5000	0,0000	-0,5000	0,0000	0,0000	0,0000
n	15	-0,5000	0,0000	-0,5000	-0,5000	0,0000	-0,5000	0,0000	0,0000	0,0000
t	30	-0,5000	0,0000	-0,5000	-0,5000	0,0000	-0,5000	0,0000	0,0000	0,0000
e	45	-0,5000	0,0000	-0,5000	-0,5000	0,0000	-0,5000	0,0000	0,0000	0,0000
a	60	-0,5000	0,0000	-0,5000	-0,5000	0,0000	-0,5000	0,0000	0,0000	0,0000
v	75	-0,5000	0,0000	-0,5000	-0,5000	0,0000	-0,5000	0,0019	0,0005	0,0004
a	90	-0,5000	0,0000	-0,5000	-0,5000	0,0000	-0,4991	-0,0172	-0,0075	-0,0075
r	105	-0,5000	-0,0001	-0,5001	-0,5000	-0,0219	-0,5219	0,0099	0,0029	0,0337
a	120	-0,5000	-0,0002	-0,5002	-0,5000	-0,0457	-0,4543	0,3556	0,1047	0,0644
i	135	-0,5000	0,0026	-0,4974	-0,5000	0,3500	-0,1500	-1,3240	-0,3972	-0,9627
I	150	-0,5000	-0,0021	-0,5021	-0,5000	0,3500	-0,1500	-1,3240	-0,3972	-0,9627
n	165	-0,5000	0,0002	-0,4998	-0,5000	0,0457	-0,4543	0,3556	0,1047	-0,0644
t	180	-0,5000	0,0001	-0,4999	-0,5000	-0,0219	-0,5219	0,0099	0,0029	-0,0337
e	84	-0,5000	0,0000	-0,5000	-0,5000	0,0000	-0,4991	-0,0172	-0,0075	-0,0075
r	87	-0,5000	0,0000	-0,5000	-0,5000	0,0000	-0,4992	0,0019	0,0005	0,0004
a	90	-0,5000	0,0000	-0,5000	-0,5000	0,0000	-0,5000	0,0000	0,0000	0,0000
a	105	-0,5000	0,0000	-0,5000	-0,5000	0,0000	-0,5000	0,0000	0,0000	0,0000
i	120	-0,5000	0,0000	-0,5000	-0,5000	0,0000	-0,5000	0,0000	0,0000	0,0000
a	121	-0,5000	0,0000	-0,5000	-0,5000	0,0000	-0,4992	0,0019	0,0005	0,0004
a	126	-0,5000	0,0000	-0,5000	-0,5000	0,0000	-0,4991	-0,0172	-0,0075	-0,0075
a	129	-0,5000	0,0002	-0,4998	-0,5000	-0,0219	-0,5219	0,0099	0,0029	0,0337
a	132	-0,5000	0,0006	-0,4994	-0,5000	0,0457	-0,4543	0,3556	0,1047	0,0644
a	135	-0,5000	-0,0026	-0,5096	-0,5000	0,3500	-0,1500	-1,3239	-0,3972	-0,9627
I	135	-0,5000	0,0026	-0,4994	-0,5000	0,3500	-0,1500	-1,3239	-0,3972	-0,9627
n	139	-0,5000	-0,0007	-0,5007	-0,5000	0,0457	-0,4543	0,3556	0,1047	-0,0644
t	141	-0,5000	-0,0004	-0,5004	-0,5000	-0,0219	-0,5219	0,0099	0,0029	-0,0337
a	144	-0,5000	0,0001	-0,5001	-0,5000	0,0000	-0,4991	-0,0172	-0,0075	-0,0075
a	147	-0,5000	0,0000	-0,5000	-0,5000	0,0000	-0,4992	0,0019	0,0005	0,0004
I	150	-0,5000	0,0000	-0,5000	-0,5000	0,0000	-0,5000	0,0000	0,0000	0,0000
a	165	-0,5000	0,0000	-0,5000	-0,5000	0,0000	-0,5000	0,0000	0,0000	0,0000
a	180	-0,5000	0,0000	-0,5000	-0,5000	0,0000	-0,5000	0,0000	0,0000	0,0000

$$c_6 = \frac{1}{\beta} \cdot \left( \frac{-\gamma_6}{\psi^2_5 + \psi^2_6} \cdot \frac{0,2475}{\sin \varphi_2} \right) \cdot P \cdot R^2 = \frac{1}{\beta \cdot e^{\beta \varphi_2}} \cdot \left[ -0,2475 \cdot \frac{\sin \beta \varphi_2}{\sin \varphi_2} \right] \cdot P \cdot R^2 =$$

$$= \frac{0,7176 \cdot 10^{-2}}{e^{\beta \varphi_2}} \cdot P \cdot R^2 \quad (5.354b)$$

unde s-a tinut seama de relatiile (5.318) si (5.329).  
Introducind aceste constante in relatiile (5.294) in care s-a retinut numai solutia (1), se obtine:

$$N_F = -ctg \varphi \cdot e^{\beta(F - \varphi_2)} (+0,6417 \cdot \cos \beta \varphi + 0,7176 \cdot \sin \beta \varphi) \cdot 10^{-2} \cdot P \cdot R + N_F^0 \quad (5.355a)$$

$$N_{\theta} = -\beta \cdot e^{\beta(\varphi - \varphi_2)} (+1,3593 \cdot \cos \beta \varphi + 0,0759 \cdot \sin \beta \varphi) \cdot 10^{-2} \cdot P \cdot R + N_{\theta}^{\circ} \quad (5.355b)$$

$$M_{\varphi} = \frac{1}{2 \cdot \beta} \cdot e^{\beta(\varphi - \varphi_2)} (-0,0759 \cdot \cos \beta \varphi + 1,3593 \cdot \sin \beta \varphi) \cdot 10^{-2} \cdot P \cdot R^2 \quad (5.355c)$$

$$M_{\theta} = \mu \cdot M_{\varphi} \quad (5.355d)$$

$$Q_{\varphi} = e^{\beta(\varphi - \varphi_2)} (+0,6417 \cdot \cos \beta \varphi + 0,7176 \cdot \sin \beta \varphi) \cdot 10^{-2} \cdot P \cdot R \quad (5.355e)$$

Eforturile finale în teoria de încovoiere pentru intervalul (2) sînt date în tabelul 5.40 și sînt trasate în figurile 5.48 și 5.49.

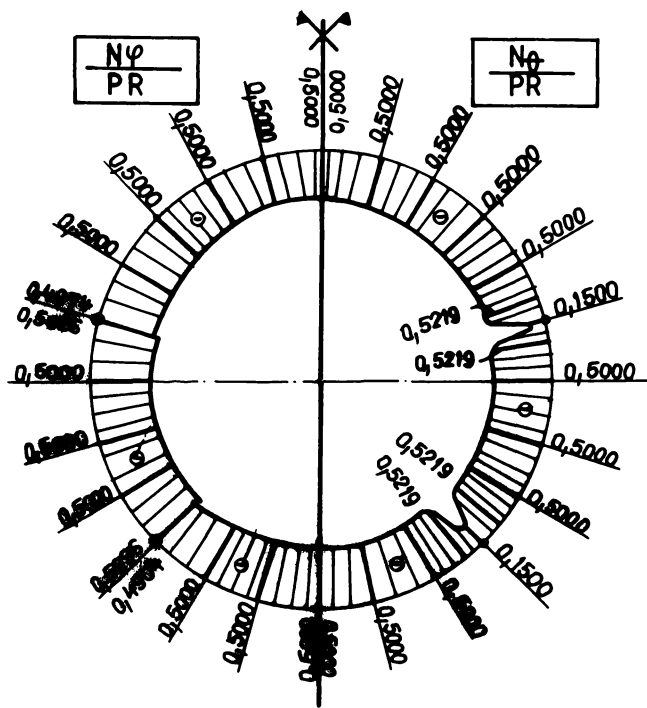


FIG. 5.48 – Eforturile axiale  $N_{\varphi}$  și  $N_{\theta}$  din depresiune în stadiul de încovoiere

### 5.5.7.3. Intervalul 3 ( $\varphi_2 \leq \varphi \leq 180^\circ$ )

Tinînd seama de tabelul 5.30 și de relația (5.198e) rezultă:

$$\chi''(\varphi_2) = -0,2475 \cdot \frac{P \cdot R^2}{E \cdot t} \quad (5.356a)$$

$$\chi\varphi''(\varphi_2) = 0 \quad (5.356b)$$

Constantele de integrare se obțin din (5.317):

$$C_7 = \frac{1}{\beta} \left( \frac{\psi_7}{\psi^2 + \psi^2 \beta} \cdot 0,2475 \right) \cdot P \cdot R^2 = \frac{1}{\beta \cdot e^{-\beta \varphi_2}} \left[ +0,2475 \cdot \frac{\cos \beta \varphi_2}{\sin \beta \varphi_2} \right] \cdot P \cdot R^2 =$$

$$= - \frac{0,6417 \cdot 10^{-2}}{e^{-\beta \varphi_2}} \cdot P \cdot R^2 \quad (5.357a)$$

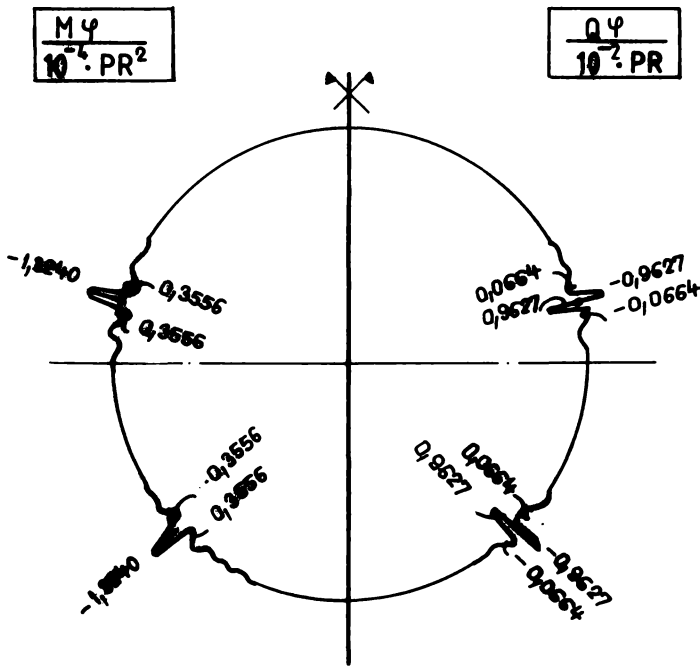


FIG. 5.49  
Momente de încovoiere  $M\varphi$  și forțe tăietoare  $Q\varphi$  din  
depresiune

$$c_g = \frac{1}{\beta} \left( \frac{\psi_8}{\psi^2_7 + \psi^2_8} \cdot \frac{0,2475}{\sin \varphi_2} \right) \cdot P \cdot R^2 = \frac{1}{\beta \cdot e^{-\beta \varphi_2}} \cdot \left( +0,2475 \cdot \frac{\sin \beta \varphi_2}{\sin \varphi_2} \right) \cdot P \cdot R^2 =$$

$$= - \frac{0,7176 \cdot 10^{-2}}{e^{-\beta \varphi_2}} \cdot P \cdot R^2 \quad (5.357b)$$

unde s-a tinut seama de relatiile (5.318) si (5.333).  
Introducind aceste constante in relatiile (5.294) in care s-a retinut numai solutia (2), se obtine:

$$N_f = -ctg \varphi_f \cdot e^{-\beta(\varphi - \varphi_2)} (-0,6417 \cdot \cos \beta \varphi - 0,7176 \cdot \sin \beta \varphi) \cdot 10^{-2} \cdot P \cdot R + N_f^0 \quad (5.358a)$$

$$N_\theta = -\beta \cdot e^{-\beta(\varphi - \varphi_2)} (-0,0759 \cdot \cos \beta \varphi + 1,3593 \cdot \sin \beta \varphi) \cdot 10^{-2} \cdot P \cdot R + N_\theta^0 \quad (5.358b)$$

$$M_f = \frac{1}{2 \cdot \beta} \cdot e^{-\beta(\varphi - \varphi_2)} (+1,3593 \cdot \cos \beta \varphi + 0,0759 \cdot \sin \beta \varphi) \cdot 10^{-2} \cdot P \cdot R^2 \quad (5.358c)$$

$$M_\theta = \mu \cdot M_f \quad (5.358d)$$

$$Q_f = e^{-\beta(\varphi - \varphi_2)} (-0,6417 \cdot \cos \beta \varphi - 0,7176 \cdot \sin \beta \varphi) \cdot 10^{-2} \cdot P \cdot R \quad (5.358e)$$

Eforturile finale sint date in tabelul 5.40 si sint trasate in figurile 5.48 si 5.49.

### 5.5.8 Eforturi din vint.

Aplicarea teoriei de incovoiere la incarcarile din vint este o problema deosebit de dificila, din cauza simetriei dupa axa verticala a rezervorului si a simetriei vintului dupa axa orizontala. Astfel, cele doua axe de simetrie nu coincid. In acest caz se va adopta o metoda simplificata, care va corecta eforturile de membrana dupa cercul meridian, care are eforturile maxime. Din figurile 5.35 ÷ 5.37 rezulta ca aceste valori maxime se produc pentru  $\alpha = 90^\circ$  (fig. 5.37).

Pentru aceasta sectiune variatia eforturilor axiale este constanta si, de aceea, rezultatele obtinute la calculul de presiune a sferei vor putea fi adoptate corespunzator.

Se face ipoteza ca intreaga sfera este solicitata uniform de o presiune de vint din care trebuie sa rezulte un efort, conform tabelului 5.34,

$$N_\beta = 1,1083 \cdot p_v \cdot R$$

Tinind seama de relatia (5.194b), rezulta o presiune echivalenta

$$- \frac{P_{ech} \cdot R}{2} = 1,1083 \cdot p_v \cdot R$$

de unde rezulta:

$$P_{ech} = -2 \cdot 1,1083 \cdot p_v = -2,2166 \cdot p_v$$

ceea ce inseamna ca se ia in considerare o actiune echivalenta.

### 5.5.8.1. Intervalul 1 ( $0 < \varphi \leq \varphi_1$ )

Tinind seama de (5.347) si de tabelul (5.34), rezulta:

$$\begin{aligned} \dot{\varphi}(\varphi_1) &= -0,3381 \cdot \frac{P_{ech}}{E \cdot t} \cdot R^2 = -0,3381 \cdot (-2,2166) \cdot \frac{P_V \cdot R^2}{E \cdot t} = \\ &= 0,7494 \cdot \frac{P_V \cdot R^2}{E \cdot t} \end{aligned} \quad (5.359a)$$

$$\chi_{\varphi}(\varphi_1) = 0 \quad (5.359b)$$

Constantele de integrare se obtin din (5.301).

$$\begin{aligned} C_1 &= \frac{1}{\beta} \cdot \left( \frac{\psi_1}{\psi^2_1 + \psi^2_2} \cdot \frac{0,7494}{\sin \varphi_1} \right) \cdot P_V \cdot R^2 = \frac{1}{\beta \cdot e^{\beta \varphi_1}} \cdot \left( 0,7494 \cdot \frac{\cos \beta \varphi_1}{\sin \varphi_1} \right) \cdot P_V \cdot R^2 = \\ &= - \frac{1,9052 \cdot 10^{-2}}{e^{\beta \varphi_1}} \cdot P_V \cdot R^2 \end{aligned} \quad (5.360a)$$

$$\begin{aligned} C_2 &= \frac{1}{\beta} \cdot \left( \frac{\psi_2}{\psi^2_1 + \psi^2_2} \cdot \frac{0,7494}{\sin \varphi_1} \right) \cdot P_V \cdot R^2 = \frac{1}{\beta \cdot e^{\beta \varphi_1}} \cdot \left( 0,7494 \cdot \frac{\sin \beta \varphi_1}{\sin \varphi_1} \right) \cdot P_V \cdot R^2 = \\ &= - \frac{0,9613 \cdot 10^{-2}}{e^{\beta \varphi_1}} \cdot P_V \cdot R^2 \end{aligned} \quad (5.360b)$$

Introducind aceste constante in relatiile (5.294) in care s-a retinut numai solutiile (1), se obtine:

$$N_{\varphi} = -ctg \varphi \cdot e^{\beta(\varphi - \varphi_1)} \cdot (-1,9052 \cdot \cos \beta \varphi - 0,9613 \cdot \sin \beta \varphi) \cdot 10^{-2} \cdot P_V \cdot R + N_{\varphi}^0$$

$$N_{\theta} = -\beta \cdot e^{\beta(\varphi - \varphi_1)} \cdot (-2,8665 \cdot \cos \beta \varphi + 0,9439 \cdot \sin \beta \varphi) \cdot 10^{-2} \cdot P_V \cdot R + N_{\theta}^0$$

$$M_{\varphi} = \frac{1}{2 \cdot \beta} \cdot e^{\beta(\varphi - \varphi_1)} \cdot (-0,9439 \cdot \cos \beta \varphi - 2,8665 \cdot \sin \beta \varphi) \cdot 10^{-2} \cdot P_V \cdot R^2$$

$$M_{\theta} = \mu \cdot M_{\varphi}$$

$$Q_{\varphi} = e^{\beta(\varphi - \varphi_1)} \cdot (-1,9052 \cdot \cos \beta \varphi - 0,9613 \cdot \sin \beta \varphi) \cdot 10^{-2} \cdot P_V \cdot R \quad (5.361)$$

Valorile eforturilor pentru intervalul 1 sint prezentate in tabelul 5.41 si sint trasate in figurile (5.50) si (5.51).

### 5.5.8.2. Intervalul 2 ( $\varphi_1 < \varphi \leq \varphi_2$ )

a) Marginea superioara ( $\varphi = \varphi_1 = 75^\circ$ )

Tinind seama de (5.350) si de tabelul (5.34), rezulta:

$$\dot{\varphi}(\varphi_1) = -0,3381 \cdot \frac{P_{ech}}{E \cdot t} \cdot R^2 = -0,3381 \cdot (-2,2166) \cdot \frac{P_V \cdot R^2}{E \cdot t} =$$



$$= 0,7494 \cdot \frac{P_V \cdot R^2}{E \cdot t} \quad (5.362a)$$

$$\chi_f^2(f_1) = 0 \quad (5.362b)$$

Constantele de integrare se obtin din (5.307).

$$C_3 = \frac{1}{\beta} \cdot \left( \frac{-\psi_3}{\psi_3^2 + \psi_4^2} \cdot \frac{0,7494}{\sin \varphi_1} \right) \cdot P_V \cdot R^2 = \frac{1}{\beta \cdot e^{-\beta \varphi_1}} \cdot (-0,7494 \cdot \frac{\cos \beta \varphi_1}{\sin \varphi_1}) \cdot P_V \cdot R^2 =$$

$$= \frac{1,9052 \cdot 10^{-2}}{e^{-\beta \varphi_1}} \cdot P_V \cdot R^2 \quad (5.363a)$$

$$C_4 = \frac{1}{\beta} \cdot \left( \frac{-\psi_4}{\psi_3^2 + \psi_4^2} \cdot \frac{0,7494}{\sin \varphi_1} \right) \cdot P_V \cdot R^2 = \frac{1}{\beta \cdot e^{-\beta \varphi_1}} \cdot (-0,7494 \cdot \frac{\sin \beta \varphi_1}{\sin \varphi_1}) \cdot P_V \cdot R^2 =$$

$$= \frac{0,9613 \cdot 10^{-2}}{e^{-\beta \varphi_1}} \cdot P_V \cdot R^2 \quad (5.363b)$$

Introducind aceste constante in relatiile (5.294) in care s-a retinut numai solutiile (2), se obtine:

$$N_f = -ctg \varphi_f \cdot e^{-\beta(f-f_1)} \cdot (1,9052 \cdot \cos \beta f + 0,9613 \cdot \sin \beta f) \cdot 10^{-2} \cdot P_V \cdot R + N_f^0$$

$$N_\theta = -\beta \cdot e^{-\beta(f-f_1)} \cdot (-0,9439 \cdot \cos \beta f - 2,8665 \cdot \sin \beta f) \cdot 10^{-2} \cdot P_V \cdot R + N_\theta^0$$

$$M_f = \frac{1}{2 \cdot \beta} \cdot e^{-\beta(f-f_1)} \cdot (-2,8665 \cdot \cos \beta f + 0,9439 \cdot \sin \beta f) \cdot 10^{-2} \cdot P_V \cdot R^2$$

$$M_\theta = \mu \cdot M_f$$

$$Q_f = e^{-\beta(f-f_1)} \cdot (1,9052 \cdot \cos \beta f + 0,9613 \cdot \sin \beta f) \cdot 10^{-2} \cdot P_V \cdot R \quad (5.364)$$

b) Marginea inferioara ( $f=f_2=135^\circ$ )

Tinind seama de (5.353) si de tabelul (5.34), rezulta:

$$\chi_f^2(f_2) = -0,2475 \cdot \frac{P_{ech}}{E \cdot t} \cdot R^2 = -0,2475 \cdot (-2,2166) \cdot \frac{P_V \cdot R^2}{E \cdot t} =$$

$$= 0,5486 \cdot \frac{P_V \cdot R^2}{E \cdot t} \quad (5.365a)$$

$$\chi_f^1(f_2) = 0 \quad (5.365b)$$

Constantele de integrare se obtin din (5.312).

$$C_5 = \frac{1}{\beta} \cdot \left( \frac{\psi_5}{\psi_5^2 + \psi_6^2} \cdot \frac{0,5486}{\sin \varphi_2} \right) \cdot P_V \cdot R^2 = \frac{1}{\beta \cdot e^{\beta \varphi_2}} \cdot (0,5486 \cdot \frac{\cos \beta \varphi_2}{\sin \varphi_2}) \cdot P_V \cdot R^2 =$$

$$= - \frac{1,4224 \cdot 10^{-2}}{e^{\beta \varphi_2}} \cdot P_V \cdot R^2 \quad (5.366a)$$

Tabelul 5.41. EFORTURILE  $N_F, N_G, M_F, M_G, Q_F$  DIN VINT, CALCULATE IN STADIUL DE ÎNCOVIERE PENTRU SECȚIUNEA  $\alpha=90^\circ$ .

	$\varphi^\circ$	$N_F/p_v \cdot R$			$N_G/p_v \cdot R$			$M_F$	$M_G$	$Q_F$	
		$N_F^*$	$N_F'$	$N_F''$	$N_G^*$	$N_G'$	$N_G''$	$10^{-4} p_v R^2$	$10^{-4} p_v R^2$	$10^{-2} p_v R$	
1	0	0,0917	0,0000	0,0917	1,1083	0,0000	1,1083	0,0000	0,0000	0,0000	
	15	0,0917	0,0000	0,0917	1,1083	0,0000	1,1083	0,0000	0,0000	0,0000	
	30	0,0917	0,0000	0,0917	1,1083	0,0000	1,1083	0,0000	0,0000	0,0000	
	45	0,0917	0,0000	0,0917	1,1083	0,0000	1,1083	0,0000	0,0000	0,0000	
	60	0,0917	0,0000	0,0917	1,1083	0,0000	1,1083	0,0000	0,0000	0,0000	
	63	0,0917	0,0000	0,0917	1,1083	-0,0018	1,1065	-0,0042	-0,0011	0,0009	
	66	0,0917	0,0000	0,0917	1,1083	-0,0020	1,1063	-0,0361	0,0115	0,0168	
2	69	0,0917	0,0002	0,0918	1,1083	0,0485	1,1568	-0,0219	-0,0064	-0,0747	
	72	0,0917	0,0004	0,0921	1,1083	-0,1013	1,0070	-0,7882	-0,2365	-0,1472	
	75	0,0917	-0,0057	0,0860	1,1083	-0,7758	0,3325	2,9348	0,8804	2,1340	
	3	75	0,0917	0,0057	0,0974	1,1083	-0,7758	0,3325	2,9348	0,8804	-2,1340
		78	0,0917	-0,0004	0,0913	1,1083	-0,1013	1,0070	-0,7882	-0,2365	0,1472
		81	0,0917	-0,0002	0,0915	1,1083	0,0485	1,1568	-0,0219	-0,0064	0,0747
		84	0,0917	0,0000	0,0917	1,1083	-0,0020	1,1063	0,0361	0,0115	-0,0168
87		0,0917	0,0000	0,0917	1,1083	-0,0018	1,1065	-0,0042	-0,0011	-0,0009	
90		0,0917	0,0000	0,0917	1,1083	0,0000	1,1083	0,0000	0,0000	0,0000	
93		0,0917	0,0000	0,0917	1,1083	0,0000	1,1083	0,0000	0,0000	0,0000	
4	105	0,0917	0,0000	0,0917	1,1083	0,0000	1,1083	0,0000	0,0000	0,0000	
	120	0,0917	0,0000	0,0917	1,1083	0,0000	1,1083	0,0000	0,0000	0,0000	
	123	0,0917	0,0000	0,0917	1,1083	-0,0018	1,1065	-0,0042	-0,0011	0,0009	
	126	0,0917	0,0000	0,0917	1,1083	-0,0020	1,1063	-0,0361	0,0115	0,0168	
	129	0,0917	-0,0004	0,0913	1,1083	0,0485	1,1568	-0,0219	-0,0064	-0,0747	
	132	0,0917	-0,0013	0,0904	1,1083	-0,1013	1,0070	-0,7882	-0,2365	-0,1472	
	135	0,0917	0,0213	0,1130	1,1083	-0,7758	0,3325	2,9345	0,8804	2,1340	
5	135	0,0917	-0,0213	0,0704	1,1083	-0,7758	0,3325	2,9345	0,8804	-2,1340	
	138	0,0917	0,0016	0,0933	1,1083	-0,1013	1,0070	-0,7882	-0,2365	0,1472	
	141	0,0917	0,0009	0,0926	1,1083	0,0485	1,1568	-0,0219	-0,0064	0,0747	
	144	0,0917	-0,0002	0,0915	1,1083	-0,0020	1,1063	0,0361	0,0115	-0,0168	
	147	0,0917	0,0000	0,0917	1,1083	-0,0018	1,1065	-0,0042	-0,0011	-0,0009	
	150	0,0917	0,0000	0,0917	1,1083	0,0000	1,1083	0,0000	0,0000	0,0000	
	153	0,0917	0,0000	0,0917	1,1083	0,0000	1,1083	0,0000	0,0000	0,0000	
180	0,0917	0,0000	0,0917	1,1083	0,0000	1,1083	0,0000	0,0000	0,0000		

$$C_{\beta} = \frac{1}{B} \cdot \left( \frac{\psi_6}{\psi_5 + \psi_6} \cdot \frac{0,5486}{\sin \varphi_2} \right) \cdot p_v \cdot R^2 = \frac{1}{B \cdot e^{\beta \varphi_2}} \cdot (0,5486 \cdot \frac{\cos \beta \varphi_2}{\sin \varphi_2}) \cdot p_v \cdot R^2 =$$

$$= - \frac{1,5906 \cdot 10^{-2}}{e^{\beta \varphi_2}} \cdot p_v \cdot R^2 \quad (5.366b)$$

Introducind aceste constante in relatiile (5.294) in care s-a retinut numai solutiile (1), se obtine:

$$N_F = -ct_{\beta} \cdot e^{\beta(\varphi - \varphi_2)} \cdot (-1,4224 \cdot \cos \beta \varphi - 1,5906 \cdot \sin \beta \varphi) \cdot 10^{-2} \cdot p_v \cdot R + N_F^*$$



5.5.8.3. Intervalul 3 ( $\varphi_2 < \varphi < 180^\circ$ ).

Tinind seama de relatiile (5.356) si de tabelul (5.34), rezulta:

$$\varphi'(\varphi_2) = -0,2475 \cdot \frac{P_{ech}}{E \cdot t} \cdot R^2 = 0,5486 \cdot \frac{P_V \cdot R^2}{E \cdot t} \quad (5.368a)$$

$$\chi_{\varphi}^0(\varphi_2) = 0 \quad (5.368b)$$

Constantele de integrare se obtin din (5.317).

$$C_7 = \frac{1}{\beta} \cdot \left( \frac{-\gamma_7}{\gamma_7^2 + \gamma_8^2} \cdot \frac{0,5486}{\sin \varphi_2} \right) \cdot P_V \cdot R^2 = \frac{1}{\beta \cdot e^{-\beta \varphi_2}} \cdot \left( -0,5486 \cdot \frac{\cos \beta \varphi_2}{\sin \varphi_2} \right) \cdot P_V \cdot R^2 =$$

$$= \frac{1,4224 \cdot 10^{-2}}{e^{-\beta \varphi_2}} \cdot P_V \cdot R^2 \quad (5.369a)$$

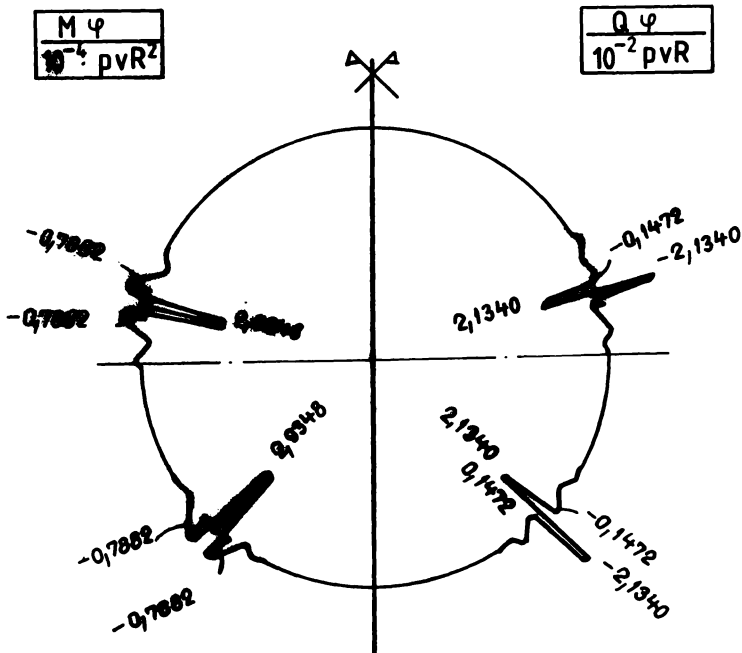


FIG. 5.51— Momente de încovoiere  $M_\varphi$  și forțe tăietoare  $Q_\varphi$  din vînt pentru secțiunea  $\alpha C = 90^\circ$

$$C_8 = \frac{1}{\beta} \cdot \left( \frac{-\psi_8}{\psi_7^2 + \psi_8^2} \cdot \frac{0,5486}{\sin \varphi_2} \right) \cdot P_V \cdot R^2 = \frac{1}{\beta \cdot e^{-\beta \varphi_2}} \cdot (-0,5486 \cdot \frac{\cos \beta \varphi_2}{\sin \varphi_2}) \cdot P_V \cdot R^2 =$$

$$= \frac{1,5906 \cdot 10^{-2}}{e^{-\beta \varphi_2}} \cdot P_V \cdot R^2 \quad (5.369b)$$

Introducind aceste constante in relatiile (5.294) in care s-a retinut numai solutiile (2), se obtine:

$$N_f = -ctg \varphi \cdot e^{-\beta(\varphi - \varphi_2)} \cdot (1,4224 \cdot \cos \beta \varphi + 1,5906 \cdot \sin \beta \varphi) \cdot 10^{-2} \cdot P_V \cdot R + N_f \cdot$$

$$N_\theta = -\beta \cdot e^{-\beta(\varphi - \varphi_2)} \cdot (0,1682 \cdot \cos \beta \varphi - 3,0130 \cdot \sin \beta \varphi) \cdot 10^{-2} \cdot P_V \cdot R + N_\theta \cdot$$

$$M_f = \frac{1}{2 \cdot \beta} \cdot e^{-\beta(\varphi - \varphi_2)} \cdot (-3,0130 \cdot \cos \beta \varphi - 0,1682 \cdot \sin \beta \varphi) \cdot 10^{-2} \cdot P_V \cdot R^2$$

$$M_\theta = \mu \cdot M_f$$

$$Q_f = e^{-\beta(\varphi - \varphi_2)} \cdot (1,4224 \cdot \cos \beta \varphi + 1,5906 \cdot \sin \beta \varphi) \cdot 10^{-2} \cdot P_V \cdot R \quad (5.370)$$

Valorile eforturilor pentru intervalul (3) sint prezentate in tabelul 5.41 si sint trasate in figurile (5.50) si (5.51).

### 5.5.9 Eforturi si deplasari pe sfera completa.

#### 5.5.9.1 Eforturile pe sfera completa.

Eforturile din greutatea proprie, presiunea lichidului, depresiune si din vint sint prezentate in tabelele (5.38), (5.39), (5.40) si, respectiv, (5.41) si figurile (5.42), (5.43), (5.46), (5.47), (5.48), (5.49), (5.50) si (5.51). Se constata urmatoarele:

a) eforturile de membrana sint alterate numai in zonele de contact cu inelele I si II, in restul suprafetei valorile lor raminind practic nemodificate;

b) modificari neesentiale au eforturile  $N_f$ , ceea ce justifica folosirea valorilor din teoria de membrana la calculul structurii de sustinere. Salturile de eforturi sint justificate de faptul ca sistemul de sustinere leaga inelele I si II prin diagonale si montanti care preiau diferentele de eforturi intre cele doua intervale alaturate;

c) modificari importante, in sensul reducerii virfurilor de eforturi, le au eforturile  $N_\theta$ . Salturile de valori pentru aceste eforturi se datoresc faptului ca ipotezele de rezemare au avut in vedere o incastrare perfecta pentru fiecare interval. In realitate, exista o interactiune intre doua intervale si inel de care, daca s-ar fi tinut seama, discontinuitatea ar fi disparut din cauza egalitatii deformatiilor impusa la calculul interactiunii. Diagrama de variatie a eforturilor  $N_\theta$ , in cazul ca s-ar fi tinut seama de aceasta interactiune, ar fi aratat ca in figura 5.44. Valorile maxime ale eforturilor  $N_\theta$  nu sint practic modificate de luarea in considerare a interactiunii, dar calculul ar fi fost mult mai complicat (rezolvarea unui sistem de ecuatii cu 4 necunoscute);

d) amortizarea eforturilor de incovoiere si fortei taietoare este foarte rapida → vezi figurile (5.43), (5.47), (5.49) si (5.51) → datorita comportarii rezervorului ca o placa curba subtire. Eforturile de incovoiere au valori mici.

### 5.5.9.2. Deplasarile pe sfera completa.

Dintre deplasari, cu relatiile stabilite in paragraful precedent, nu pot fi calculate analitic decit deplasarile orizontale  $\varphi$ . La calculul deplasarilor  $v$  si  $w$  intervin integrale de forma

$$\int \frac{e^{-ax}}{\sin(bx)} \cdot dx$$

care nu au solutii analitice. Problema poate fi solutionata printr-o metoda numerica, dar aceasta depaseste cadrul tezei de fata. In orice caz, valorile maxime ale deplasarilor sint cele rezultate din teoria de membrana, teoria de incovoiere influentind numai zonele de rezemare pe inele, eliminind discontinuitatile in deplasari semnalate in figurile (5.14), (5.15), (5.18) si (5.19). In figura (5.45) se prezinta diagrama reala a deplasarilor  $w$ , la care nu apare discontinuitatea in dreptul rezemarii pe inele.

## 5.6 VERIFICAREA DE REZISTENTA A REZERVORULUI

### 5.6.1 Stabilirea incarcarilor care actioneaza asupra rezervorului.

#### 5.6.1.1. Incarcari permanente. Greutatea proprie a peretilor.

Pentru o grosime  $t=10$  mm rezulta

$$g^n = \gamma_{otel} \cdot t = 7850 \cdot 0,01 = 78,5 \approx 80 \text{ daN/m}^2$$

cu un coeficient de supraincarcare de  $n=1,1$ , se obtine

$$g^c = 80 \cdot 1,1 \approx 88 \text{ daN/m}^2$$

#### 5.6.1.2. Incarcari cvasipermanente. Presiunea lichidului.

Rezervorul este umplut cu apa, pentru care

$$\gamma^n = 1000 \text{ daN/mc}$$

Cu un coeficient de supraincarcare de  $n=1,2$ , rezulta

$$\gamma^c = 1000 \cdot 1,2 = 1200 \text{ daN/mc}$$

#### 5.6.1.3. Incarcari variabile.

a) Depresiunea interioara

Conform [14], depresiunea interioara poate varia intre 25...300 daN/m<sup>2</sup>.

Se alege o depresiune medie

$$p^n = 150 \text{ daN/m}^2$$

Cu un coeficient de supraincarcare  $n=1,3$ , rezulta

$$p^c = 150 \cdot 1,3 = 195 \approx 200 \text{ daN/m}^2$$

b) Incarcari din actiunea vintului

Incarcarile produse din actiunea vintului se determina conform STAS 10101/20-90 [94].

1. Componenta normala la suprafata expusa - se calculeaza

pe baza formulei (1) din STAS 10101/20-90 [94]

$$P_n^n = \beta \cdot c_{ni} \cdot c_h(z) \cdot g_v = c_n \cdot P_v \quad (5.371)$$

$\beta$  - este coeficient de rafala care se calculeaza conform punctului 2.14 din STAS.

Constructia rezervorului si a structurii de sustinere se incadreaza in categoria C<sub>2</sub> de constructii. Astfel,  $\beta$  se determina cu relatia (11) din STAS pentru categoria C<sub>2</sub>:

$$\beta = 1 + \mu(z_0) \cdot \beta_0(\epsilon_I) \quad (5.372)$$

unde  $\mu(z_0)$  este factor de turbulenta ce se determina din tabelul (5) din STAS in functie de inaltimea deasupra terenului ( $z$ ) si de amplasamentul castelului de apa, pe care il consideram in oras (deci de tip II) si de inaltimea  $z=h=38,0$  m:

$$\mu(z_0) = 0,66$$

$\beta_0$  - este coeficientul de amplificare a efectului fluctuatiilor, reprezentat grafic in figura 4 din STAS in functie de  $\epsilon=\epsilon_I$  si care se determina cu relatia:

$$\epsilon_I = \frac{T_I \cdot v_0^{(2 \text{ min})}}{1200} \quad (5.373)$$

$T_I$  - fiind perioada proprie fundamentala de oscilatie a structurii:

$$T_I = 0,075 \cdot \frac{H}{\sqrt{\beta}} = 0,075 \cdot \frac{46}{\sqrt{16}} = 0,9 \text{ sec} \quad (5.374)$$

$$v_0^{(2 \text{ min})} = \sqrt{\gamma_f} \cdot v_{2m} \quad (\text{m/s}) \quad (5.375)$$

$\gamma_f$  - coeficientul partial de siguranta pentru actiune vintului

$$\gamma_f = \gamma_a \text{ din tabelul (6) din STAS} \quad (5.376)$$

$\gamma_a$  - se ia din tabelul (7) din STAS pentru constructii sensibile la actiunea vintului, considerind rezervorul in clasa I de importanta STAS 10100/0-75.

$$\gamma_a = 2,0$$

$$\gamma_f = \gamma_a = 2,0$$

$v_{2m}$  - viteza mediata pe 2 minute, cu perioada de revenire de 10 ani, in m/s; se scoate din tabelul 1 din STAS pentru zona A (Timisoara) cu altitudinea <800 m:

$$v_{2m} = 22 \text{ m/s}$$

$$v_0^{(2 \text{ min})} = \sqrt{2} \cdot 22 = 31 \text{ (m/s)}$$

Se calculeaza  $\epsilon_I$ :

$$\epsilon_I = \frac{0,9 \cdot 31}{1200} = 0,023$$

Din figura 4 din STAS se scoate, in functie de  $\epsilon=0,023$  si de  $n_0=0,010$ , valoarea lui

$$\beta_0 = 2,4$$

$n_0$  - fractiunea din amortizarea critica  
 $n_0 = 0,010$

Cu aceasta, se poate calcula valoarea lui  $\beta$ :

$$\beta = 1 + 0,66 \cdot 2,4 = 2,58$$

$c_{ni}$  - coeficient aerodinamic pe suprafata i, care se calculeaza conform punctului 2.7 si se scoate din tabelul (3) din STAS.

$c_h(z)$  - coeficient de variatie a presiunii dinamice de baza in raport cu inaltimea z deasupra terenului, conform cu punctul 2.5 din STAS. ( $c_h(z)$ ) se determina cu relatia (7) din STAS, pentru amplasament de tip II.

$$c_h(z) = 0,65 \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{0,44} = 0,65 \cdot \left(\frac{46}{10}\right)^{0,44} = 1,27 > 0,65 \quad (5.377)$$

$$c_h(z) = 1,27 \text{ pentru rezervorul sferic.}$$

$g_v$  - presiunea dinamica de baza stabilita la  $h=10$  m deasupra terenului si se calculeaza cu relatia (5) din STAS.

$$g_v = \frac{(V_{2m})^2}{1630} \text{ kN/m}^2 \quad (5.378)$$

$$g_v = \frac{22^2}{1630} = 0,3 \text{ [kN/m}^2\text{]} = 30 \text{ daN/m}^2$$

Cu aceasta, rezulta in final presiunea

$$P_n^n = \beta \cdot c_{ni} \cdot c_h(z) \cdot g_v = P_v^n \cdot c_{ni}$$

deci, incarcarea din vint este

$$P_v^n = \beta \cdot c_h(z) \cdot g_v = 2,58 \cdot 1,27 \cdot 30 = 99 \approx 100 \text{ daN/m}^2 \quad (5.379)$$

cu coeficient de supraincercare  $n=1,2$  rezultind

$$P_v^C = 100 \cdot 1,2 = 120 \text{ daN/m}^2$$

### 5.6.2 Verificarea de rezistenta a rezervorului.

Eforturile axiale N si momentele de incovoiere M din rezervor au fost determinate in functie de multiplicatorii:

- greutatea proprie - N:  $g \cdot R = 88 \cdot 8 = 704 \text{ daN/m}$

$$M: g \cdot R^2 \cdot 10^{-4} = 0,5632 \text{ daN} \cdot \text{m/m}$$

- presiunea lichidului - N:  $\gamma \cdot R^2 = 1200 \cdot 8^2 = 76800 \text{ daN/m}$

$$M: \gamma \cdot R^3 \cdot 10^{-4} = 1200 \cdot 8^3 \cdot 10^{-4} = 61,44 \text{ daN} \cdot \text{m/m}$$

- depresiunea - N:  $p \cdot R = 200 \cdot 8 = 1600 \text{ daN/m}$

$$M: p \cdot R^2 \cdot 10^{-4} = 200 \cdot 8^2 \cdot 10^{-4} = 1,28 \text{ daN} \cdot \text{m/m}$$

- vint -

$$N: P_v \cdot R = 120 \cdot 8 = 960 \text{ daN/m}$$



$$M: p_v \cdot R^2 \cdot 10^{-4} = 120 \cdot 8^2 \cdot 10^{-4} = 0,768 \text{ daN} \cdot \text{m/m}$$

Verificarea la rezistenta s-a facut cu relatia

$$\sigma = \pm \frac{N}{A} \pm \frac{M}{W} \leq R^C \quad (5.380)$$

in care caracteristicile geometrice A si W s-au calculat pentru unitatea de lungime in care sint exprimate si eforturile.

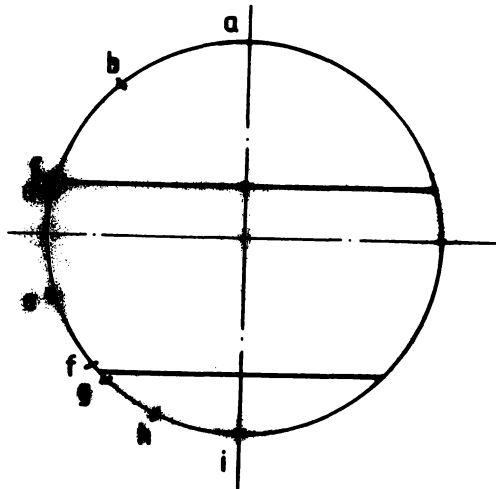


FIG. 5.52

$$A = 1 \cdot 1 = 1 \text{ cm}^2$$

$$W = \frac{1 \cdot 1^2}{6} = 0,167 \text{ cm}^3$$

Verificarile de rezistenta s-au facut in sectiunile indicate in figura (5.52). Sectiunile a si i sint cele din virful si fundul rezervorului, sectiunile c,d si f,g fiind deasupra si sub nivelul inelelor. Sectiunile b,e si h sint trecute pentru capul cind pe intervalele I, II sau III apar si solicitari mai mari decit la capetele intervalelor.

Calculul eforturilor maxime si minime din incarcările

Tabelul 5.42. VERIFICAREA TENSIUNILOR DIN  $N_F$  SI  $M_F$ .

I n t e r v a l	S e c t i u n e	Greutate proprie		Presiune lichid		Depresiune		Vint		Eforturi maxime		Tensiuni maxime	
		$N_F$	$M_F$	$N_F$	$M_F$	$N_F$	$M_F$	$N_F$	$M_F$	$N_{max}$	$N_{min}$	$\sigma_{max}$	$\sigma_{min}$
		daN/cm	daN/cm	daN/cm	daN/cm	daN/cm	daN/cm	daN/cm	daN/cm	Maf	Maf	daN/cm <sup>2</sup>	daN/cm <sup>2</sup>
I	a	-3,52	0	0	0	-8,0	0	0,88	0	-2,64	-11,52	-2,64	-11,52
	c	-5,63	1,5	110,82	141,8	-7,95	-1,7	0,83	2,3	106,02	-13,59	977,9	-14,8
II	d	5,19	-2,5	568,03	-21,7	-8,04	-1,7	0,94	2,3	514,16	-2,85	445,0	-28,0
	f	-3,53	2,9	447,28	224,4	-8,15	-1,7	1,08	2,3	444,83	-11,68	1819,7	-18,9
III	g	4,13	0	704,33	120,0	-7,85	-1,7	0,68	2,3	709,14	-3,72	1441,5	-13,9
	i	3,52	0	768,00	0	-8,00	0	0,98	0	772,4	-4,88	772,4	-4,5

asupra rezervorului este trecut in tabelul 5.42 pentru  $N_F$  si  $M_F$  si in tabelul 5.43 pentru  $N_\theta$  si  $M_\theta$ .

Din tabelele 5.42 si 5.43 rezulta ca tensiunile maxime se produc in sectiunea f, pe intervalul II si sint de intindere.

Rezulta

$$\sigma_{max} = 1820 \text{ daN/cm}^2 < R^C = 2100 \text{ daN/cm}^2$$

ceea ce arata o buna alegere a grosimii tablei rezervorului. O reducere a grosimii sub 10 mm, astfel ca  $\sigma_{max}$  sa fie si mai apropiat de  $R$ , nu este posibila.

Tablul 5.43. VERIFICAREA TENSIUNILOR DIN  $N_0$  SI  $M_0$ .

I n t e r v a l	S e c t i u n a	Greutate proprie		Presiune lichid		Depresiune		Vint		Eforturi maxime		Tensiuni maxime	
		$N_0$	$M_0$	$N_0$	$M_0$	$N_0$	$M_0$	$N_0$	$M_0$	$N_{max}$	$N_{min}$	$\sigma_{max}$	$\sigma_{min}$
		daN — cm <sup>2</sup>	daN· cm/ cm <sup>3</sup>	daN — cm <sup>2</sup>	daN· cm/ cm <sup>3</sup>	daN — cm <sup>2</sup>	daN· cm/ cm <sup>3</sup>	daN — cm <sup>2</sup>	daN· cm/ cm <sup>3</sup>	— Maf	— Maf	daN — cm <sup>2</sup>	daN — cm <sup>2</sup>
I	a	-3,52	0	0	0	-8,0	0	10,64	0	7,12	-11,52	7,1	-11,5
	b	2,75	0	419,02	-0,31	-8,35	0	11,11	0	433,12	-5,36	434,9	-5,4
	c	-1,66	0,5	-34,10	42,7	-2,40	-0,5	3,19	0,7	1,51	-35,78	8,7	-293,3
II	d	-1,57	-0,7	152,68	-6,5	-2,40	-0,5	3,19	0,7	157,44	-0,83	196,4	-8,0
	e	7,29	0	834,74	-0,5	-8,35	0	11,11	0	853,14	-1,06	856,1	-1,1
	f	-1,1	0,9	127,87	67,3	-2,40	-0,5	3,19	0,7	129,92	-3,54	542,5	-5,9
III	g	1,24	0	214,50	34,0	-2,40	-0,5	3,19	0,7	218,93	-1,16	438,7	-4,2
	h	////	////	////	////	////	////	////	////	////	////	////	////
	i	3,52	0	768,09	0	-8,00	0	10,64	0	782,16	-4,48	782,2	-4,5

## CAPITOLUL 6

### CONTRIBUTII LA CALCULUL DE STABILITATE AL REZERVOARELOR SFERICE DE ADA

#### 6.1. ELEMENTE GENERALE

##### 6.1.1. Descrierea fenomenului.

Din cauza pereților subțiri ai rezervoarelor, pierderea stabilității lor are o importanță deosebită, putând fi, în unele cazuri, factorul decisiv de dimensionare a pereților (prin alegerea grosimii) și de aliniere (prin rigidizarea cu nădăd). Pierderea stabilității structurilor în plăci curbe este diferită de cea a altor structuri și, în continuare, se va prezenta în mod diferent.

Se știe că, la o bare ideală (fără imperfecțiuni) solicitată, deprimată central, pierderea stabilității se produce prin bifurcare stabilă (fig. 6.1.a,b) la încărcare critică  $P_0$ , la o valoare dată lui Euler:

$$P_0 = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L^2}$$

Pierderea capacității portante se poate produce și prin deflexii plastice; încălcarea de plasticitate totală a secțiunii de bare:

$$P_0 = \sigma_0 \cdot A.$$

Curbele corespunzătoare comportării plastice sînt trecute, în ascendență, în figurile 6.1.a,b, prima reprezentînd încălcarea prin fibra, iar a doua formarea unei articulații plastice la mijlocul barei. Se constată că se disting două cazuri:

- a) bare cu rezistență redusă (fig. 6.1a),  $P_{01} < P_0$
- b) bare cu rezistență mare (fig. 6.1b),  $P_{02} > P_0$

Pentru barele reale (cu imperfecțiuni geometrice), momentul încărcării se atinge la o valoare  $P_1$ , produsă după întinderea curbei de comportare la curba primei încărcări și apoi, deplasînd corespunzătoare întinderii cu curba fibrei articulației plastice. La barele scurte, deformările laterale sînt mici în momentul atingerii articulației portante, pe cînd la barele lungi aceste deformări sînt mari, ridicînd pierderea stabilității în domeniul elastic.

În figura 6.1c sînt prezentate curbele corespunzătoare bare ideale, impunîndu-se rezultatele experimentale, care indică valori mai reduse față de cele teoretice, din cauza imperfecțiunilor și deformărilor plastice. Se constată, de altfel, că există diferențe destul de mari, ele nu pun în discuție principiul de verificare, curba de flambaj al barei reale, atît timp cît seama de aceste diferențe printr-o analiză statistică poate să cuprindă aceste diferențe.

La plăcile curbe ideale se disting aceleași caracteristice ca la bare, dar marea deosebire față de bare este faptul că, după atingerea încărcării critice de bifurcare  $P_0$ , curba postcritică este instabilă (fig. 6.2.a), cu o ramură descendentă foarte pronunțată. Curbele corespunzătoare  $P_0$

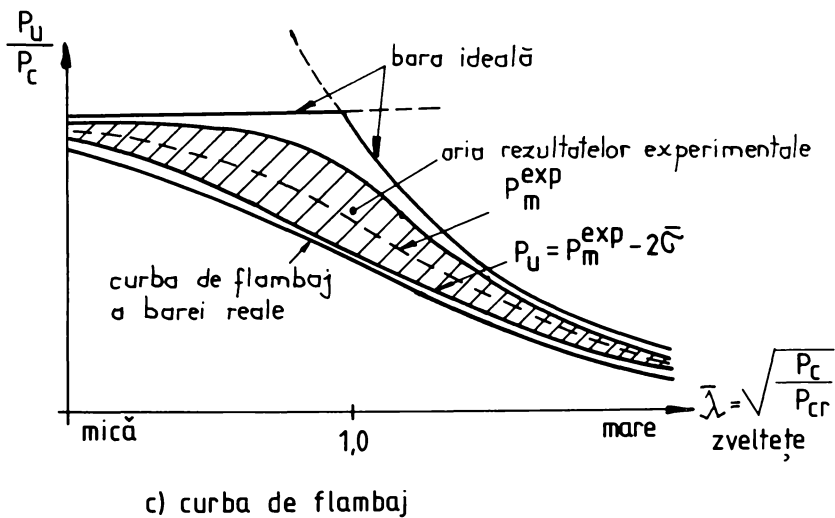
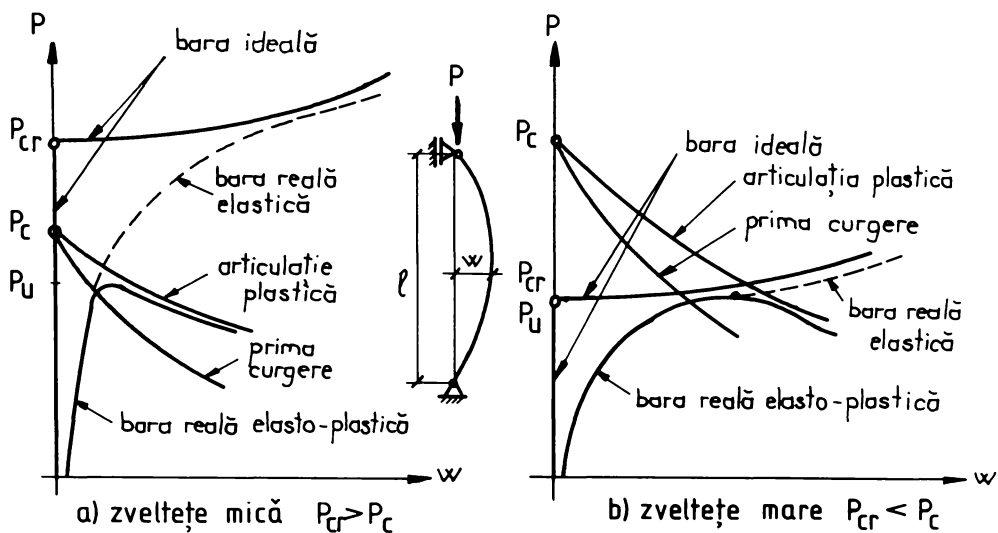


FIG. 6.1 Comportarea la stabilitate a barelor

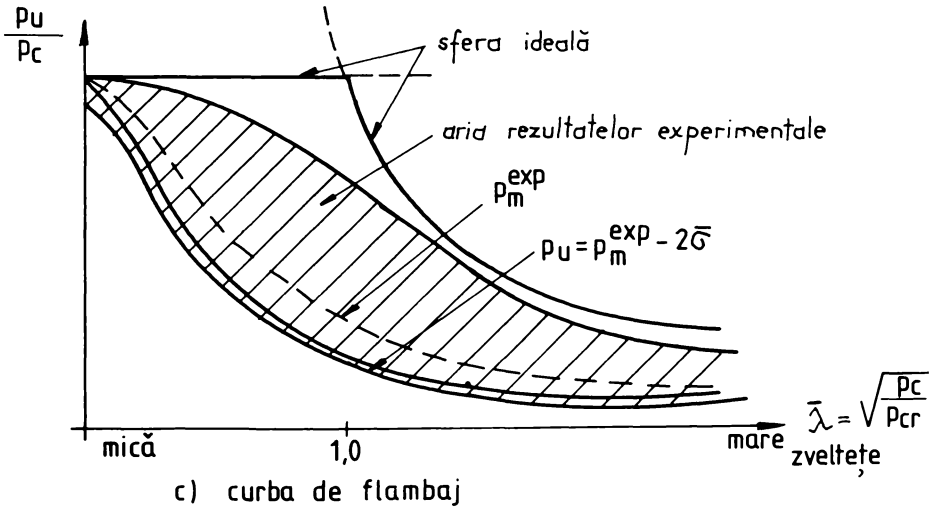
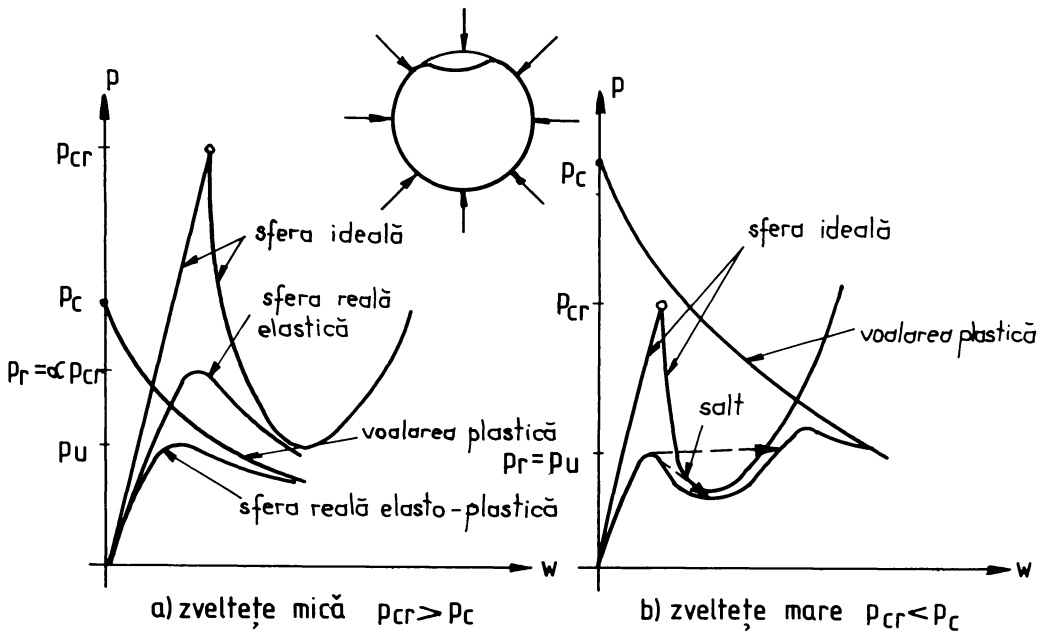


FIG. 6.2 Comportarea la stabilitate a sferelor

cargeri și a forșării limitelor de plasticitate (în cazul articulației plastice) sînt practic suprapuse, din cauza grosimii mici plăcii și a momentelor de încovoiere mici.

Pentru plăciile curbe reale (cu imperfecțiuni în special geometrice), reducerea încărcării critice de bifurcație este foarte importantă din cauza comportării post-critice instabile, obținându-se încărcarea redusă  $P_1 = \alpha \cdot P_{el}$  ( $\alpha$  fiind un coeficient de reducere determinat experimental). Similar ca la bare, disting două cazuri, funcție de zveltetea plăcii curbe:

a) plăci curbe cu zveltete redusă, la care curba comportării plastice intersecționează curba comportării elastice (alături de încărcarea  $\alpha \cdot P_{el}$  (fig. 6.2a)), obținându-se reducerea față de încărcarea elastică  $P_{el} \cdot P_{cr}$ .

b) plăci curbe cu zveltete mare, la care curba comportării plastice intersecționează curba comportării elastice dečit în domeniul comportării post-critice (fig. 6.2b). Pentru aceste plăci, încărcarea ultimă  $P_{ul} \cdot P_{cr}$ . O caracteristică importantă a plăcii curbe este data de comportarea după atingerea încărcării critice. Astfel, se produce un scut (fig. 6.2b) care duce la o zveltute  $\lambda$  o pozitie oglindită față de poziția inițială. Scutul este foarte periculos dacă încărcările rămîn constante și este mai limitat, ca efecte, dacă încărcările scad după atingerea valorii maxime. Utilul sau este mai rar, încărcările fiind în mod obișnuit în primul caz.

În figura 6.2 sînt prezentate unele caracteristici ale plăcii de bare stabilității plăcii curbe. Se constată că, prin zveltute de bare, aria rezultatelor experimentale este mult în afara de curba teoretică a zvelturii euleriene (pierdere de stabilitate prin bifurcație). Curba  $P_{cr} \cdot \lambda$  se determină dintr-o analiză statistică a rezultatelor experimentale. Pentru plăci cu zveltute mari, în formațiile plastice nu reduce aceste încărcări, în alți cazuri zveltutele mici, influențele pot fi importante.

#### 6.1.2. Principiile de verificare a stabilității plăcii curbe după CECM și DACI Richtlinie 18.

În prezent vom întocmi unele probleme de verificare a stabilității plăcii curbe în funcție de bare de caracteristicile de comportare și în funcție de parametrii caracteristici ai barei:

- a) Recomandarile CECM pentru plăci de bare: pl. 18 și curba EC18.
- b) Verificarea în funcție de Richtlinie 18 (vezi curba DACI Richtlinie 18 fig. 6.3.200).

Arbele se lucrează pe axele și principiile prezentate în figura 6.3 și care cuprind următoarele etape:

- a) se determină încărcările critice de bifurcație  $P_{cr}$  și de zveltute plastică  $P_{pl}$ ;
- b) între curba  $P_{cr} \cdot \lambda$  ( $\lambda = \sqrt{P_{cr}/P_{el}}$ ) se măsoară zveltutele experimentale cunoscute în literatură;
- c) se stabilește limita dintre zveltutele el. și pl. și se determină și plastic,  $\lambda_{pl}$  și respectiv  $\lambda_{el}$ ;
- d) pentru domeniul elastic se măsoară zveltutele experimentale statistice, se calculează valorile experimentale

Fig. 6.2 a) P<sub>1</sub>

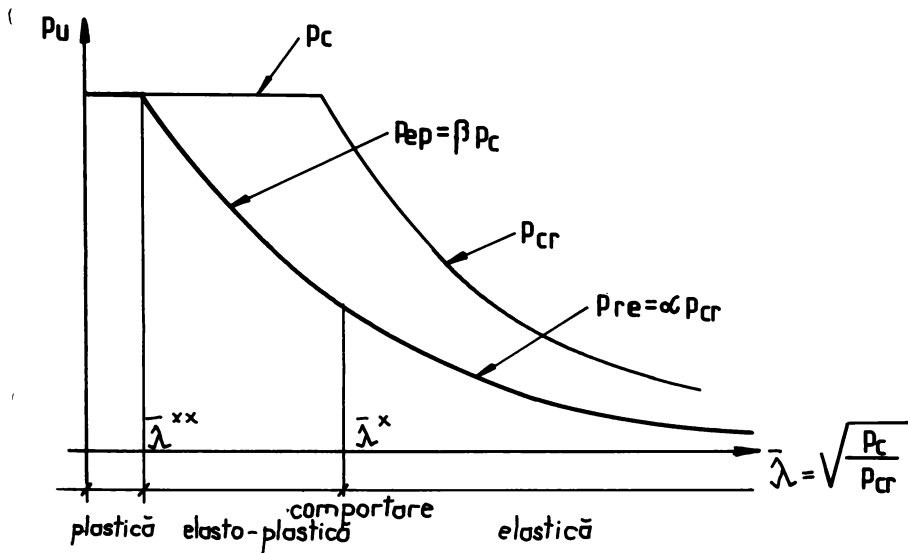


FIG. 6.3. Curbele de voalare pentru plăcile curbate

- unde  $\alpha$  este un factor de reducere;
- a) pentru dimensiuni elasto-plastice se determină:
- $$P_{rep} = \beta \cdot P_c$$
- unde  $\beta$  este un factor de reducere;
- b) determinăm în continuare ultima:
- $$P_u = \begin{cases} P_{pre} & \lambda > \bar{\lambda}^x \\ P_{rep} & \lambda < \bar{\lambda}^x \end{cases}$$
- g) se face verificarea:
- $$P_{max} \leq \eta \cdot P_u$$

în care  $P_{max}$  este încărcarea de calcul, determinată adăugând coeficienții de supraîncărcare, iar  $\eta$  este un coeficient al condițiilor de lucru.

În cele de dimensiuni elasto-plastice și în cele elasto-plastice se verifică și pentru rezerva arde de apă (tabel 12).

**6.1.3. Verificarea sferelor compozite și a plăcilor sferice la presiuni radiale, după CECY și EAST-British 12.**

În codurile menționate verificarea se face în funcție de:

1) raza sferică  $r$  și se aplică presiune radială uniformă



Condițiile în care sunt determinate limitele de siguranță ale sferelor din oțel sunt prezentate în tabelul următor:

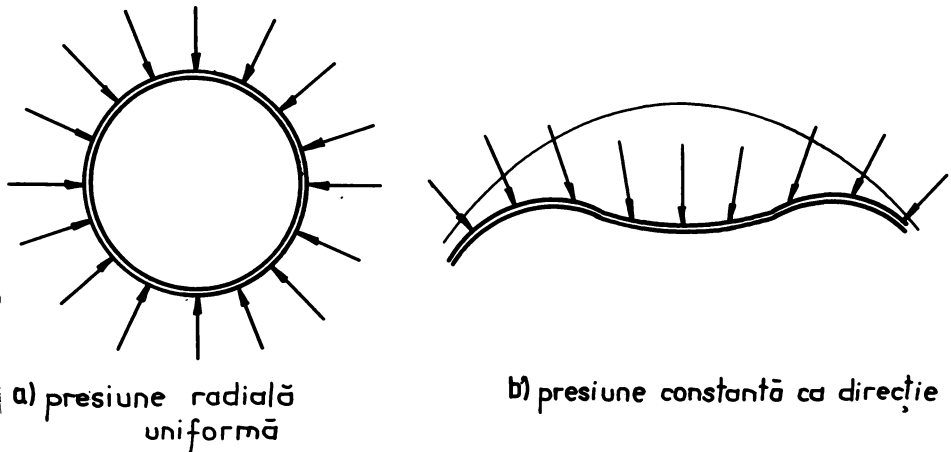


FIG. 6.4. Presiunea radială uniformă și constantă ca direcție

a) încărcarea critică de bifurcație pentru o sferă completă, supusă la o presiune radială constantă, valoarea și direcția în timpul pierderii stabilității (Fig. 6.4). Ambele norme dau aceeași valoare, așa cum a fost determinat de Ziegler în 1915:

$$p_{cr} = \frac{E \cdot t}{\sqrt{13(1-\nu^2)} \cdot R} = 0,605 \cdot E \cdot \frac{t}{R} \quad ; \quad \nu = 0,21 \quad (6.4)$$

$$p_{cr} = 2 \cdot \frac{t}{R} \cdot \frac{E}{\sqrt{13(1-\nu^2)} \cdot R} = 1,01 \cdot E \cdot \frac{t}{R^2} \quad (6.5)$$

b) încărcarea de cedare plastică care corespunde unei presiuni uniforme a sferei supuse la o presiune radială uniformă, alia la valoarea  $\sigma = \sigma_{pl}$ . Rezultă astfel, în ambele cazuri:

$$p = \frac{2}{3} \cdot \sigma_{pl} \quad (6.6)$$

c) coeficientul de reducere

$$\eta = \frac{p}{p_{cr}} \quad (6.7)$$

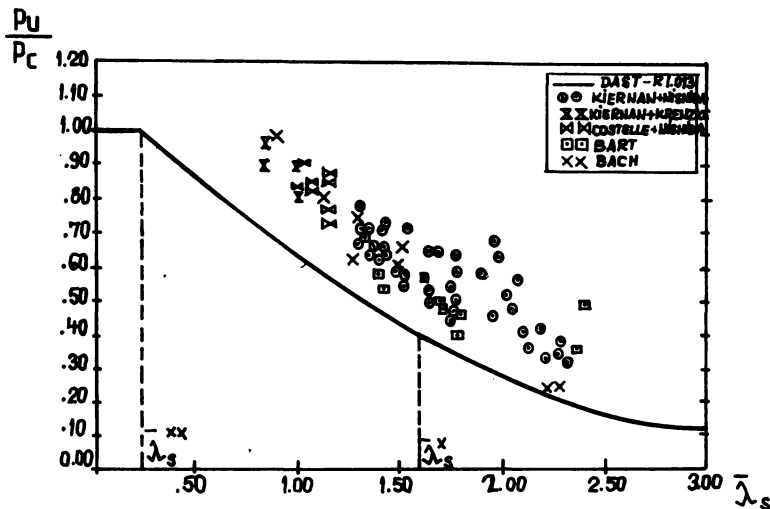


FIG.6.5 Determinarea încărcării critice reduse

Este determinat pe baza analizei tabelare a datelor experimentale existente în literatură (Fig.6.5), valoarea  $\lambda_{s,c}$  este astfel determinată pe un număr mare de încercări efectuate pe compuneri diferite de aliaj, și defectiuni nu depășesc limitele:

a) raza de curbură reală,  $R_{real} \leq 0,1 \cdot l$  sau  $0,1 \cdot l_{eff}$

b) raza de curbură la bază,  $R_{baz} \leq 0,1 \cdot l$  sau  $0,1 \cdot l_{eff}$  unde  $l_{eff} = 0,4 \cdot \sqrt{E \cdot I}$  și  $l_{eff}$  este lungimea efectivă la baza în discuție.

Pe baza datelor experimentale se pot determina valorile coeficientului  $\alpha$ . Se observă că pe lângă limitele de sarcină corespunzătoare comportării elastice, există și limitele de comportare plastică.

Pentru comportarea elastică, valorile  $\alpha$ -coeficientului sunt trecute în tabelul 6.1. Astfel, recomandările CECM 2002 sunt de următoarele valori:

$$\alpha = 0,18 ; \quad P_p = 0,18 \cdot P_{pl} = 0,218 \cdot E \cdot I \quad (6.7)$$

În DAST-Richtmyer [16] [20] sunt prezentate valori diferite de  $\alpha$  după modul de zăcănire (tabelul 6.1):

$$\alpha = 0,15 ; \quad P_p = 0,182 \cdot E \cdot I \quad (6.8)$$

\* margini articulata:  $\alpha=0,13$ ;  $F_r=0,157 \cdot E \cdot$  (16.11)

(

\* margini libere:  $\alpha=0,06$ ;  $F_r=0,073 \cdot E \cdot$  (16.12)

E

Introducind zveltetea:

$$\bar{\lambda} = \left[ \frac{P_c}{F_{cr}} \right]^{1/2} \quad (16.13)$$

rezulta pentru zona elastica curbalea:

- Recomandarile CECM [21]:

$$F_r = 0,18 \cdot \frac{E \cdot I}{L^2} \quad (16.14)$$

$$F_c = \frac{E \cdot I}{\bar{\lambda}^2}$$

- DAST-Richtlinie 13 [16][20]:

\* margini incastrate:  $F_r = 0,15 \cdot \frac{E \cdot I}{L^2}$  (16.11)

\* margini libere:  $F_r = 0,10 \cdot \frac{E \cdot I}{L^2}$  (16.12)

\* margini libere:  $F_r = 0,06 \cdot \frac{E \cdot I}{L^2}$  (16.13)

Delimitarea dintre zona comportarii elastice si zona comportarii plastice este diferita in cele doua cazuri. Astfel, pentru cele doua zone se face la valorile:

- Pe recomandarile CECM [21]:

$$F_{cr} = \frac{1}{2} \cdot E \cdot I \quad (16.14)$$

$$\bar{\lambda}^1 = \sqrt{2} = 1,414 \quad (16.15)$$

† DAST-Richtlinie 13 [16][20]:

$$F_{cr} = \frac{0,4}{\alpha} \cdot E \cdot I \quad (16.16)$$




$$\bar{\lambda}^1 = \left[ \frac{E \cdot I}{0,4 \cdot E \cdot I} \right]^{1/2} \quad (16.17)$$

Variatia in amplitudina critică pentru zona elastica este, de asemenea, diferita in cele doua cazuri:

† in Recomandarile CECM, [21] valurile  $\bar{\lambda}^1$  sunt date in tabelul 3.2. In acest tabel au fost aduse si valorile  $\bar{\lambda}^1$  din tabelul 3.2. In acest tabel au fost aduse si valorile  $\bar{\lambda}^1$  din tabelul 3.2.

Coeficientul  $\alpha$

Tabelul 6.1

Codul	Conditii de rezemare	$\alpha$
Recomandările C.E.C.M.	—	0,18
DASt Richtlinie 13	 a) încastrare	0,15
	 b) articulație	0,13
	 c) simplă rezemare	0,06

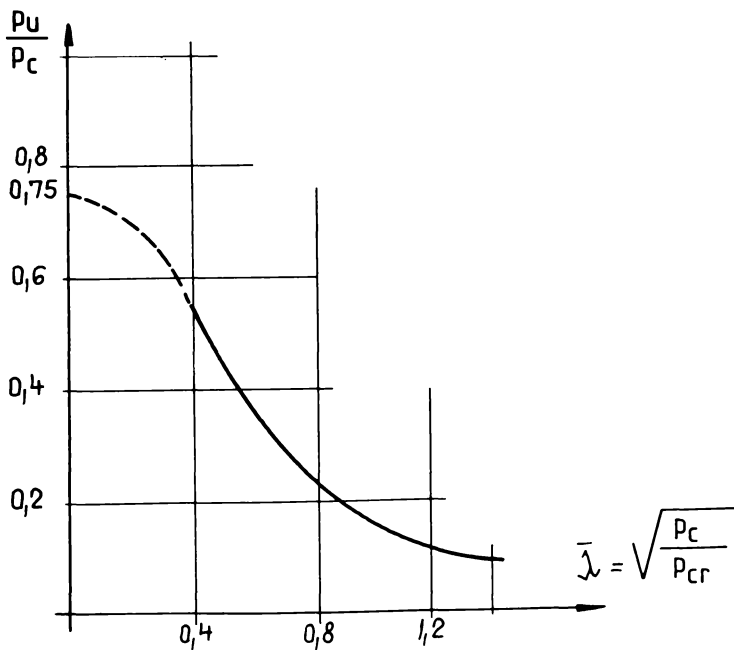


FIG. 6.6 Încărcările ultime în zona elasto-plastică după Recomandările C E C M

Tabloul 6.6. VALORIILE  $\alpha$  SI  $\lambda$  CONFORM

$\lambda$	$\frac{F_0}{F_{0.95}}$ Pir	$\alpha$	
		$\alpha_1$	$\alpha_2$
0,320	0,1532	0,573	0,0000
0,400	0,1607	0,540	0,0000
0,420	0,1618	0,530	0,0000
0,447	0,2000	0,499	0,1000
0,471	0,2223	0,476	0,1000
0,500	0,2500	0,450	0,1113
0,525	0,2657	0,437	0,1119
0,577	0,3333	0,399	0,1200
0,600	0,4000	0,340	0,1300
0,707	0,5000	0,294	0,147
0,816	0,6667	0,234	0,170
1,000	1,0000	0,100	0,100
1,414	2,0000	0,000	0,100

6.6.1. DAST-Richtlinie 13 (1972) 11

$$\bar{\lambda} = \frac{F_0}{\sqrt{\frac{F_0}{F_{0.95}}}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \bar{\lambda}$$

Terminul scurs de  $\sqrt{2}$ , rezultă  $\bar{\lambda}_g = \bar{\lambda}$ .  
Incarcarea redusa  $p_{red}$  obtine din relatie:

$$\frac{F_0}{F_{0.95}} = 1 - 0,424 \cdot (0,20 - \bar{\lambda}_g)^2 \quad (6.15)$$

care este dreapta in functie de  $\bar{\lambda}_g$ , valabila in intervalul:

$$0,20 < \bar{\lambda}_g < 1,591 \quad (6.16)$$

Coefficientul  $\alpha$  pentru aceasta zona este dat de relatie:

$$\alpha = 1 - 0,424 \cdot (0,20 - \bar{\lambda}_g)^2 \quad (6.17)$$

Zona compararii plastice este, la prima vedere, HIG-  
dale zona cedarii. Astfel, rezultatul de Hallen  
plastice de cea mai buna sinta:

Recomandarile CECM (1972):  $\bar{\lambda}^{HIG} = 0,4$

DAST-Richtlinie 13 (1972):  $\bar{\lambda}^{DAST} = 0,2$

$$\bar{\lambda}^{HIG} = 0,2 \cdot \sqrt{2}$$

In figura 6.7 se face comparatia rezultatilor in aceste  
valori obtinute dupa cele doua cedarii. Se constata ca  
principiul de verificare este același in cele doua metode, valori  
diferente de ordin numeric si anume:

recomandarile CECM, spre deosebire de DAST, nu tin seama de  
conditiile de reanecare. Normele germane fac deosebire intre  
recomandarile incalzite ( $\alpha=0,15$ ), articulate ( $\alpha=0,10$ ) si  
reanecate ( $\alpha=0,05$ ).

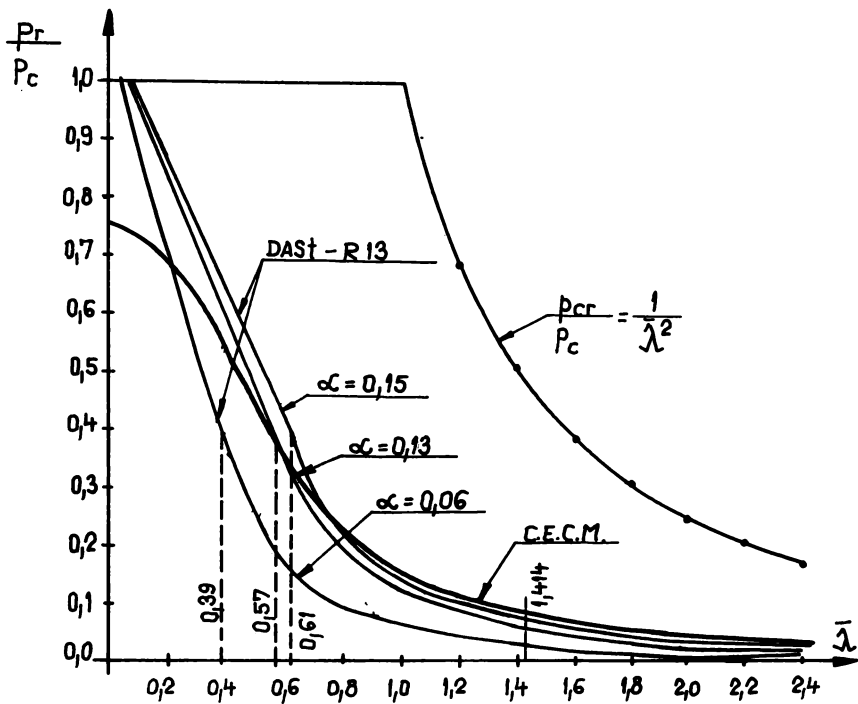


FIG.6.7 Comparație între codurile Rec-CECM și DAST - Richtlinie 13

În zona zveltărilor mici există diferențe foarte mici. Pe lângă recomandările CECM justifică valoarea  $p_{cr}/P_c = 0,75$  ca limită inferioară a numărului foarte mic de rezultate experimentale pentru această zonă; cum însă cazurile practice nu sînt cuprinse în acest interval, aceste diferențe nu au efecte importante.

Delimitările dintre zonele elastice și elastico-plastice sînt foarte mari. Astfel, dacă CECM da valoarea  $\lambda = 1,414$ , în DAST valorile sînt  $\lambda = 0,39$  ( $\alpha = 0,30$ ),  $0,57$  ( $\alpha = 0,13$ ),  $0,61$  ( $\alpha = 0,06$ ). În zona comportării elastice, valorile date de DAST sînt în acord cu recomandările CECM (cu excepția unui singur interval  $\alpha = 0,15$ ).

Atît recomandările CECM cît și cele ale DAST sînt în acord în zona

alut coeficientul de siguranță  $\gamma = 1,5$  pentru încărările de calcul.

**6.1.4. Caracteristicile comportării la stabilitate a rezervoarelor sferice montate la înălțime.**

Faza de calculul sferelor sau calotelor sferice la presiuni radiale constante, după norma Recomandările CECM și norma PSC1, Richtlinie 13, există diferențe importante care vor fi înscrise în cele ce urmează.

Acțiunile asupra rezervoarelor sferice sau calotelor sunt în

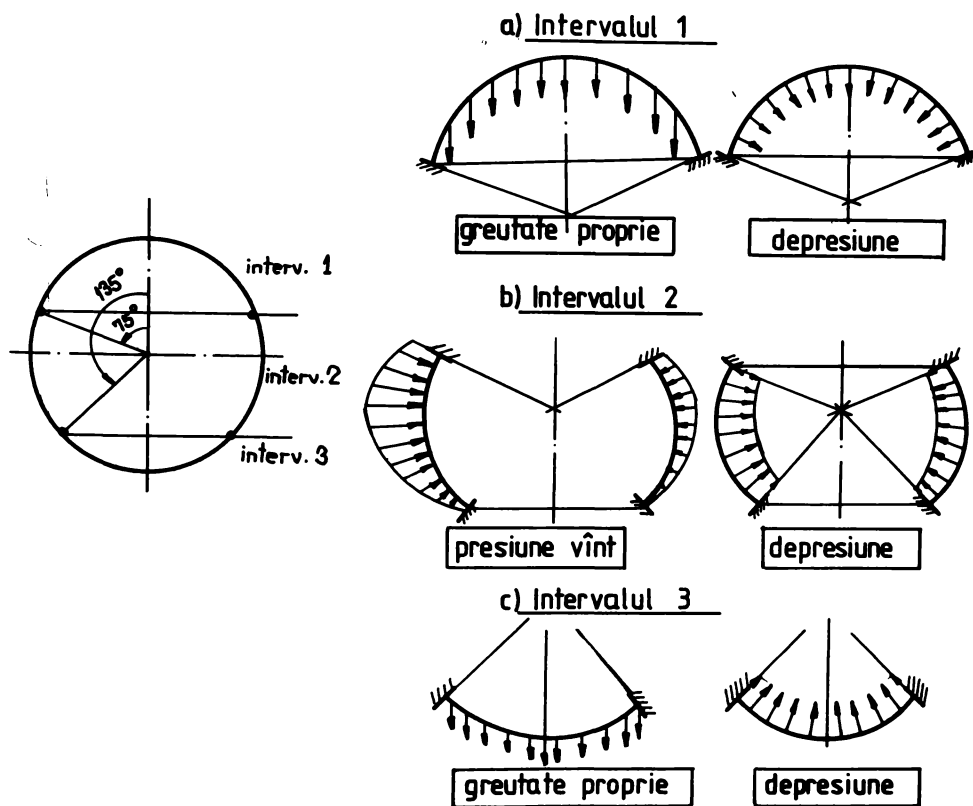


FIG. 6.8 - Acțiuni ce pot produce pierderea stabilității

considerare în calculul  $\delta$  se fost: greutate proprie, pe lichidului, depresiunea și presiunea în apă. Pentru starea de eforturi, încărcarea se va lua semnificativă și trebuie din punct de vedere al lichidului. Dar, așa cum rezulta din figura 5.17 și este subliniat în paragraful 5.4.6.4, eforturile rezultate din această încărcare sînt de întindere și nu produc pierderea stabilității. Rămîn să fie examinate celelalte acțiuni.

Rezervorul sferic este divizat de cel două inele în trei porțiuni, la care problemele verificării la stabilitate sînt diferite. Astfel, se disting următoarele cazuri:

a) Intervalul 1 ( $0 \leq \varphi \leq 30^\circ$ ) acțiunile care produc efect sunt greutatea proprie și depresiunea (fig. 6.2a); în acest interval produce compresiuni pe zona scurte și, în afară de vedere al stabilității, încărcarea nu este semnificativă.

b) Intervalul 2 ( $30^\circ \leq \varphi \leq 60^\circ$ ) acțiunile semnificative sînt greutatea proprie și însoțirea ei cu presiunea și presiunea radială (fig. 6.2b).

c) Intervalul 3 ( $60^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ$ ) acțiunile semnificative sînt însoțirea ei cu depresiunea (fig. 6.2c).

Deoarece în intervalul 1 ( $0 \leq \varphi \leq 30^\circ$ ) greutatea proprie determină în general compresiuni în zona scurte,

în aceste condiții pierderea stabilității nu are loc și, prin urmare, vor analiza diferențele de eforturi față de starea reală.

Așa cum s-a arătat mai înainte, încărcările care pot produce instabilitatea sînt greutatea proprie, depresiunea și însoțirea ei cu presiunea radială.

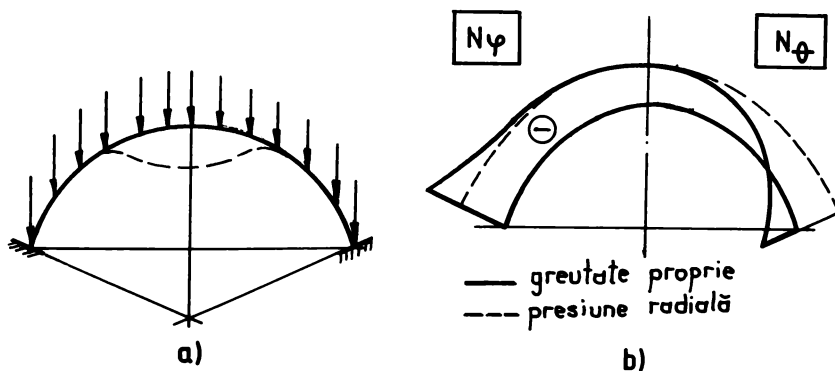


FIG. 6.9 Pierderea stabilității din greutate proprie

În cazul greutății proprii, care poate avea și efecte semnificative numai pe intervalul 1, diferențele față de starea reală de încărcare este verticală și nu radială (fig. 6.2a), ceea ce duce la o altă distribuție a forțelor în rezervor decât în



incalzirea radiale. Astfel, eforturile  $N_0$  sînt mai mari la margine, dar in schimb in aceasta zona  $N_0$  este de incalzirea. Se stie ca eforturile de intindere stabilizeaza fenomenul de instabilitate, astfel ca incalzirea va fi pentru variarea la margini vor fi mai mari decit cele pentru zona de vîrf, unde vor avea numai eforturi de compresiune. Rezultatul este instabilitatea din greutatea proprie se produce in zona de vîrf respectiv alui (fig.6.9a), unde diferentele intre presiunea radiala si lungimea din greutatea proprie nu sînt mari si conditiile de rezeman influenteaza instabilitatea. Astfel, la verificarea stabilitatii intervalului I la greutatea proprie pot fi folosite relatia (6.4) stabilita pentru presiunea radiala.

Depresiunea este semnificativa pentru cele doua intervale. Daca sînt problemele specificate acestui tip incalzire.

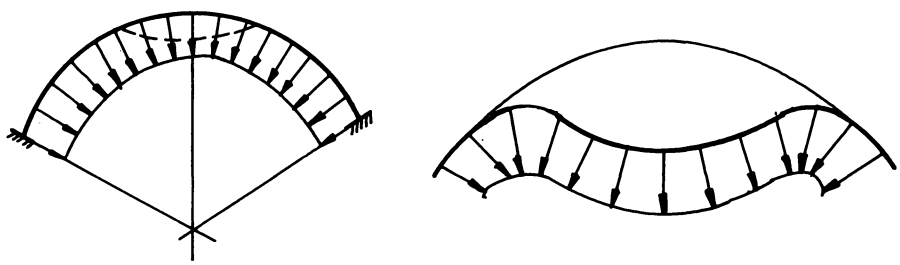


FIG. 6.10 Pierderea stabilității din depresiune

In primul rînd, spre descriere la problema de stabilitate constante de directie care sa fie luata in considerare. Determinarea incalzirii radiale (6.4), in acest caz, in depresiune ramina permanent normala la suprafata placii, fiind influentata presiunile hidrostatice, schimbarea si directia de aplicare pierderii stabilitatii (fig.6.10). Se poate observa (6.10), Ivan [29][30][31] ca la inele exista diferenta intre presiunile critice pentru presiunea radiala

$$p_{cr} = 4,5 \cdot E \cdot I / R$$

si cea pentru presiune hidrostatica

$$p_{cr} = 2,0 \cdot E \cdot I / R$$

diferenta fiind de 225%, urmand ca se verifica si aceasta diferenta similara exista si la placile curbate.

In al doilea rînd intervin conditiile de margine, unde prezenta celor doua inele. Diametrul exterior de calculare este dat in Ghidul, Ivan [29][30][31] de forma

$$d = 7,85 \cdot \sqrt{R \cdot l} = 7,85 \cdot \sqrt{2000 \cdot 10000}$$

Tinând seama de cel diametru și de lungimea meridianului, se pot delimita în 3 intervale, voalarea se poate produce pentru fiecare interval. În cea mai mică încălzire critică dintre cele două poziții pe care sunt în figura 6.11:

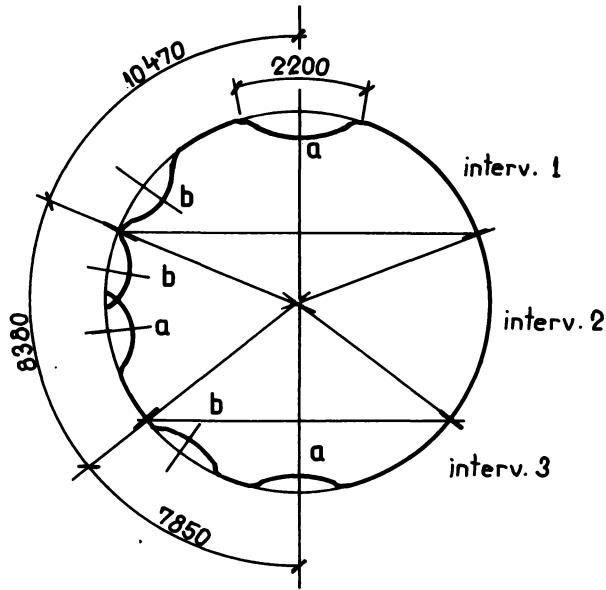


FIG. 6.11 Localizarea suprafeței de voalare

a) la o distanță suficient de mare de margini, astfel încât să nu fie influențată de rezonanță;

b) la margini, cu influențarea datorată rezonanței.

Deoarece inelele de rigidizare I și II măresc rigiditatea sferei în zonele de margine, dintre cele două poziții ale celei arătate mai sus, cea care are încălzirea critică și pierderea stabilității este cea departe de margini. În cazul în care se pierde stabilitatea în vârfurile intervalelor I și II, pierderea stabilității pentru intervalul C este cea mai probabilă. În cazul în care se pierde stabilitatea rezonanței, se face că la sfârșitul intervalelor I și II.

În privința acestor condiții de margini, trebuie să se acorde atenția asupra faptului că în codurile CEGB și FACT sunt condiții de reducere a înălțimii (6.1) cu factori determinanți în funcție de considerarea anumitor condiții de încălzire și de rezonanță. În cazul cilindrilor, la rate sculele de reparare, trebuie să se acorde atenție

mult mai mari decât în cazul cînd se lucrează în apă. Astfel, pentru sferă, valoarea coeficientului de rezistență este de două ori mai mare decât în cazul cînd se lucrează în apă. Astfel, pentru sferă, valoarea coeficientului de rezistență este de două ori mai mare decât în cazul cînd se lucrează în apă.

( Presiunea vîntului este semnalată în figura 6.12a. Filul este prevăzut hidrostatic, dar este înclinat și este semnalat din față, la intrarea din vînt, diferentă dintre presiune radială constantă ca în cazul unei hidrostatice, care ramine perpendiculară pe suprafața înclinată. Problema cea mai importantă în analiza din figură este, de altfel, distribuția neuniformă, complet diferită de cea la determinarea presiunii critice (6.11). Valoarea critică locală, care poartă în sine caracterul de instabilitate, este vîntul și similitudinea cu cea din figura 6.12a (fig. 6.12a), dar interia sa fiind, care este caracterizată de destabilizare și fenomenul cuplat, prin tendința de a se

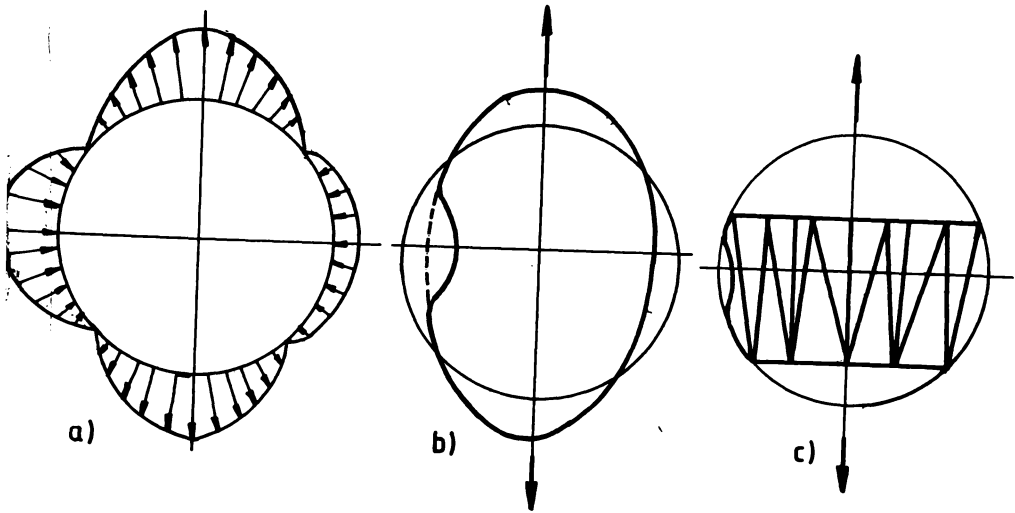


FIG. 6.12 Pierderea stabilității din presiunea vîntului

aproximativ fenomenul de Brazier (fig. 6.12b). Același lucru se poate observa și în cazul de presiune din două direcții legate între ele. Astfel, considerăm ca schematizare a fenomenului de filul fiind înclinat față de direcția de vînt, care este mai aproape de realitate.

Din această analiză comparativă a comportării în condițiile în care se face verificarea în Recomandările CECM DASt-Richtlinie 13 rezultă următoarele aspecte care trebuie analizate:

- a) diferitele la încălzirea de bifurcație datorită presiunii externe constante și presiunii hidrostatice;
- b) determinarea coeficientului de încălzire pentru condiții de încălzire complete, pe baza rezultatelor experimentale prezentate în literatură;
- c) efectul variației presiunii din vînt asupra încălzirii critice.

## 6.2. ÎNCARCAREA CRITICĂ DE BIFURCARE

### 6.2.1. Ipotezele de bază.

La determinarea încălzirii critice de bifurcație se aplică următoarele ipoteze de bază prezentate în paragraful 5.2.1, excepție punctului referitor la mărirea deforimatilor, care se modifică după cum urmează:

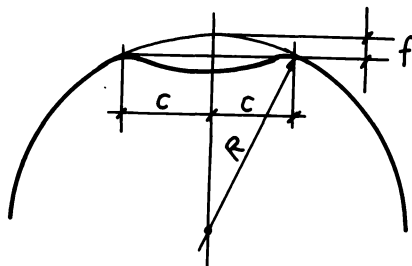


FIG. 6.13 Caracterul de suprafață pleoștită a zonei voalate

- a) deplasările din planul plăcii sînt de ordinul  $\epsilon^2$  și sînt neglijabile;
- b) deplasările normale la suprafața mediană sînt mari și nu pot fi neglijate, fiind de ordinul de mărime al deplasărilor tangențiale. Se admit neliniarități de ordinul 2, adică legătura dintre deforimatii specifice și deplasările este de gradul 2;
- c) ecuațiile de echilibru se scriu în poziția deforimatilor normale.

Avînd în vedere faptul că voalarea plăcii are loc în regiunea restrînsă cu raze de

$$c = 3,8 \cdot R \cdot \left[ \frac{t}{p} \right]^{1/2} \quad (6.10) \quad (0,25 \leq R \leq 10)$$

pentru care rezultă (fig. 6.13)

$$\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} = -\frac{1}{D} q$$

și astfel poate fi folosită teoria plăii încălcând condiția de ortogonalitate. De asemenea, pentru ca scrierea acestei ecuații în coordonate carteziene este mai simplă, se preferă scrierea ecuațiilor în aceste coordonate.

### 6.2.2. Ecuațiile de echilibru.

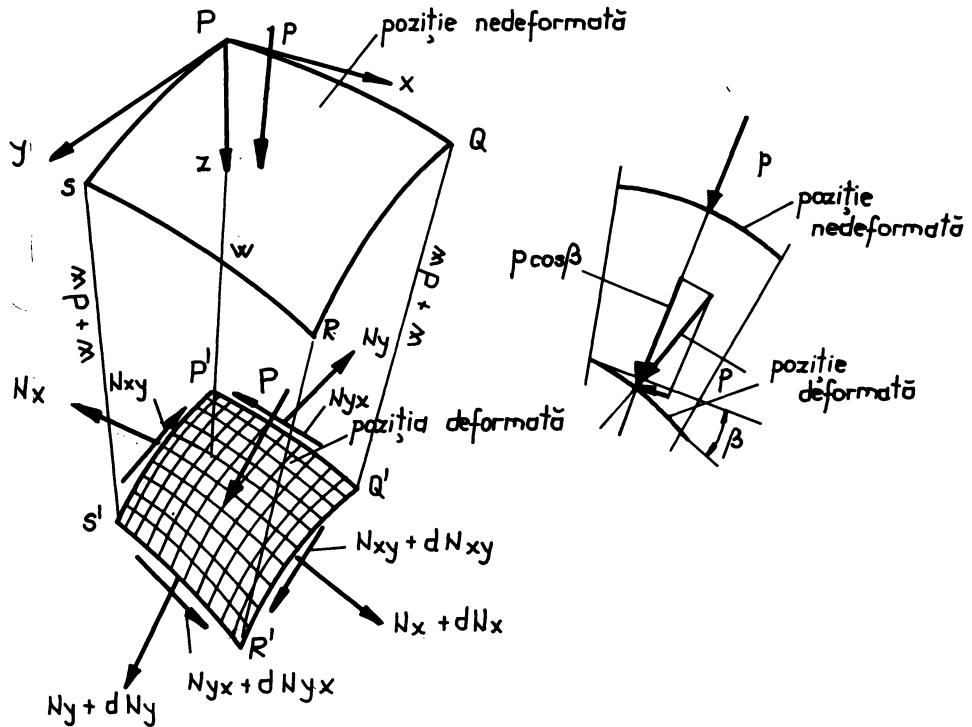


FIG. 6.14 Poziția nedeformată și deformată

În figura 6.14 este prezentat un element diferențial  $PP'QQ'$  în poziție nedeformată și același element  $P'Q'R'S'$  în poziție deformată. Ecuațiile de echilibru sunt (Gianou și Ivan) (2001, cap. 11):

$$\begin{aligned}
 & \frac{\partial N_x}{\partial x} + \frac{\partial N_{yx}}{\partial y} - Q_x = 0 \quad (6.121) \\
 & \frac{\partial N_y}{\partial y} + \frac{\partial N_{xy}}{\partial x} - Q_y = 0 \quad (6.122) \\
 & \frac{N_x + N_y}{R} + N_x \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + N_{xy} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} + N_y \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial Q_x}{\partial x} + \frac{\partial Q_y}{\partial y} + \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} = 0 \quad (6.123) \\
 & \frac{\partial M_x}{\partial x} + \frac{\partial M_{yx}}{\partial y} - Q_x = 0 \quad (6.124) \\
 & \frac{\partial M_y}{\partial y} + \frac{\partial M_{xy}}{\partial x} - Q_y = 0 \quad (6.125)
 \end{aligned}$$

În care nululul termen din partea dreaptă a ecuației (6.123) este calificat ca fiind încă în această etapă.

Acum să scriem, ca în cazul I, la ecuațiile (6.121) și (6.122), forțele de inerție și de greutate în funcție de deplasările și rotațiile în direcțiile x și y și să scriem, în mod similar, ecuațiile de echilibru în direcțiile x și y.

### 6.2.3. Ecuațiile de deformații.

Dupe Giannu și Ivan [1981:337-341], definiția deformațiilor și deplasării este:

$$\begin{aligned}
 \epsilon_x &= \frac{\partial u}{\partial x} = \frac{1}{R} \left[ \frac{\partial w}{\partial x} \right] \quad (6.126) \\
 \epsilon_y &= \frac{\partial v}{\partial y} = \frac{1}{R} \left[ \frac{\partial w}{\partial y} \right] \quad (6.127) \\
 \gamma_{xy} &= \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} = \frac{1}{R} \left[ \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial y} \right] \quad (6.128) \\
 \kappa_x &= \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \quad (6.129) \\
 \kappa_y &= \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \quad (6.130) \\
 \kappa_{xy} &= \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \quad (6.131)
 \end{aligned}$$

Semnificațiile acestor deformații și deplasări sunt prezentate în paragraful 5.3.5. Se constată că legătura dintre deformațiile și deplasările este liniară și simetrică în deformațiile axiale și de rotație.

Prin eliminarea deplasărilor u și v din ecuațiile (6.126) și (6.127) se obține ecuația de compatibilitate:

$$\frac{\partial^2 \epsilon_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \epsilon_y}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 \gamma_{xy}}{\partial x \partial y} = \frac{1}{R} \left[ \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right] = 0 \quad (6.132)$$

6.2.4. Ecuațiile fizice.

Ecuațiile fizice sunt similare cu ecuațiile (5.19):

$$N_x = D \cdot (\epsilon_x + \nu_p \cdot \epsilon_y) \quad (6.211)$$

$$N_y = D \cdot (\epsilon_y + \nu_p \cdot \epsilon_x) \quad (6.212)$$

$$N_{xy} = D \cdot \frac{1-\nu_p}{2} \cdot \gamma_{xy} \quad (6.213)$$

$$M_x = E \cdot \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \nu_p \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \quad (6.214)$$

$$M_y = E \cdot \left( \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \nu_p \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right) \quad (6.215)$$

$$M_{xy} = E \cdot (1-\nu_p) \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \quad (6.216)$$

6.2.5. Ecuațiile neliniare.

Se introduce funcția Airy, definită de relațiile:

$$N_x = \frac{\partial^2 F}{\partial y^2} \quad (6.220)$$

$$N_y = \frac{\partial^2 F}{\partial x^2} \quad (6.221)$$

$$N_{xy} = \frac{\partial^2 F}{\partial x \partial y} \quad (6.222)$$

care a fost astfel aleasă încât ecuațiile (6.19), (6.21) să fie identic satisfăcute. Folosind ecuațiile (6.19) și (6.220) după ce se menține drept necunoscută funcția F și se elimină celelalte, se obține ecuația bielapson (Cherniș, 1964, p. 211):

$$\frac{1}{R} \nabla^2 \Delta F - \frac{1}{R} \nabla^2 \Delta w + L(F, w) + \nu_p \cdot [1 - \nu_p] \Delta w = 0 \quad (6.223)$$

$$\frac{1}{R} \nabla^2 \Delta w + \frac{1}{R} \nabla^2 \nabla^2 F + \nu_p \cdot L(F, w) = 0 \quad (6.224)$$

$$\frac{1}{R} \nabla^2 \Delta w + \frac{1}{R} \nabla^2 \nabla^2 F = 0 \quad (6.225)$$

în care s-au introdus operatorii:

$$\nabla^2(\dots) = \frac{\partial^2(\dots)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2(\dots)}{\partial y^2} \quad (6.226)$$

$$L(A, B) = \frac{\partial^2 A}{\partial x^2} \frac{\partial^2 B}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 A}{\partial y^2} \frac{\partial^2 B}{\partial x^2} - 2 \cdot \frac{\partial^2 A}{\partial x \partial y} \frac{\partial^2 B}{\partial x \partial y} \quad (6.227)$$

$$P^2(\dots) = \begin{vmatrix} 1 & \frac{\partial^2(\dots)}{\partial x^2} & \frac{\partial^2(\dots)}{\partial y^2} \\ \frac{\partial^2(\dots)}{\partial x^2} & 1 & \frac{\partial^2(\dots)}{\partial x \partial y} \\ \frac{\partial^2(\dots)}{\partial y^2} & \frac{\partial^2(\dots)}{\partial x \partial y} & 1 \end{vmatrix} \quad (6.228)$$

în care ultimul operator ține seama de variațiile II și III.

Față de ecuațiile neliniare (6.22) și (6.23) literatură de specialitate, ecuațiile (6.22) și (6.23) corespunzător lui (6.21) și (6.20) sunt liniare în timpul de calcul. Astfel, dacă în (6.22a) se neglijează, față de 1, termenii de ordinul doi și superior în dezvoltarea în serie a rădăcinilor normalelor la suprafața neliniară, atunci în (6.22a) ultimul termen în P, se obțin ecuațiile (6.22b).

Dacă se determină independent atât deplasarea cât și eforturile nu se modifică față de cele determinate în (6.22) înțeles, se neglijează termenul neliniar din ecuația (6.22a).

Se obține astfel sistemul de ecuații:

$$\frac{1}{R} \nabla^2 \bar{F} - K \nabla^2 \nabla^2 \bar{w} + L(F, \bar{w}) + p P^2(\bar{w}) = 0 \quad (6.22b)$$

$$\frac{1}{R} \nabla^2 \bar{w} + \frac{1}{E \cdot t} \nabla^2 \nabla^2 \bar{F} = 0 \quad (6.22c)$$

care constituie ecuațiile baselor linearizate sau de ordinul doi.

În acest caz se înțelege că pentru aceeași încălzire, există mai multe forme de echilibru, de bifurcație, există mai multe forme de echilibru, de deformare mici, caracterizate de funcția  $F_0$  și deplasarea  $w_0$  celelalte cu deformări mari, date de

$$\bar{F} = F_0 + \bar{F} \quad (6.23a)$$

$$\bar{w} = w_0 + \bar{w} \quad (6.23b)$$

unde  $\bar{F}$  și  $\bar{w}$  reprezintă modificările necunoscutele  $F_0$  și  $w_0$  urme acestor deformări. Cum starea de eforturi nu este esențială în timpul instabilității și, prin urmare,  $\bar{F} \ll F_0$ , schimb deformărilor este foarte mult mai mic decât cel al

Dacă (6.26) se introduce în (6.25), rezultă:

$$\frac{1}{R} \nabla^2 (F_0 + \bar{F}) - K \nabla^2 \nabla^2 (w_0 + \bar{w}) + L(F_0 + \bar{F}, w_0 + \bar{w}) + p P^2(w_0 + \bar{w}) = 0 \quad (6.27a)$$

$$\frac{1}{R} \nabla^2 (w_0 + \bar{w}) + \frac{1}{E \cdot t} \nabla^2 \nabla^2 (F_0 + \bar{F}) = 0 \quad (6.27b)$$

Cum necunoscutele  $F_0$  și  $w_0$  satisfac ecuațiile

$$\frac{1}{R} \nabla^2 F_0 - K \nabla^2 \nabla^2 w_0 + L(F_0, w_0) + p P^2(w_0) = 0 \quad (6.28a)$$

$$\frac{1}{R} \nabla^2 w_0 + \frac{1}{E \cdot t} \nabla^2 \nabla^2 F_0 = 0 \quad (6.28b)$$

scăzând ecuațiile (6.27) din (6.27) rezultă:

$$\frac{1}{R} \nabla^2 \bar{F} - K \nabla^2 \nabla^2 \bar{w} + L(F_0, \bar{w}) + p P^2(\bar{w}) = 0 \quad (6.29a)$$

$$\frac{1}{R} \nabla^2 \bar{w} + \frac{1}{E \cdot t} \nabla^2 \nabla^2 \bar{F} = 0 \quad (6.29b)$$

În ecuația (6.29a), în operatorii L și P se neglijează



menii în  $\bar{F}$  și  $w_0$  față de  $E_0$  și  $\bar{W}$ , pe baza relațiilor de mai sus.  
 Ținând seama de (6.22), ecuațiile (6.20) devin:

$$\frac{1}{R} \nabla^2 \bar{F} - k \nabla^2 \nabla^2 \bar{W} - N_{x0} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + N_{y0} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} - \frac{1}{2} f \left[ \frac{\partial w}{\partial x} \right]^2 + \frac{\partial w}{\partial y} \left[ \frac{\partial w}{\partial x} \right]^2 = 0 \quad (6.23)$$

$$\frac{1}{R} \nabla^2 \bar{W} + \frac{1}{E \cdot t} \nabla^2 \nabla^2 \bar{F} = 0 \quad (6.23a)$$

unde  $N_{x0}$  și  $N_{y0}$  sunt constantele din teoria de placa întinsă.  
 Rezultă că prin aproximația introdusă, și deci în considerare nemodificate eforturile în momentul instabilității, ecuațiile generale au devenit liniare, cu excepția termenilor în pătrat.

6.2.6. Instabilitatea critică de bifurcație pentru deplasarea

Pentru rezolvarea sistemului de ecuații (6.20) se caută soluții de forma (6.15a):

$$\bar{W} = \frac{W}{R} \cos(k_x \cdot x) \cdot \cos(k_y \cdot y) \quad (6.31)$$

$$\bar{F} = \frac{F}{R} \cos(k_x \cdot x) \cdot \cos(k_y \cdot y) \quad (6.31a)$$

care, introduse în relația (6.20a), dau relația:

$$1 - \frac{p \cdot W}{k_x^2 + k_y^2} = 0 \quad (6.32)$$

În cazul presiunii uniforme radiale (cap. 5.4.2):

$$N_{x0} = N_{y0} = \frac{p \cdot R}{2} \quad (6.32a)$$

Introducând (6.31) și (6.32) în (6.20a), rezultă:

$$\frac{1}{R} \cdot f \cdot \frac{k_x^2 + k_y^2}{R^2} - k \cdot W \cdot \frac{(k_x^2 + k_y^2)^2}{R^4} + \frac{pR}{2} \cdot \frac{k_x^2 + k_y^2}{R^2} - \frac{k_x \cdot x}{R} \cdot \frac{k_y \cdot y}{R} = 0 \quad (6.33)$$

$$\frac{p \cdot W^2}{2 R^2} \cdot (k_x^2 \cdot \sin^2 \frac{k_x \cdot x}{R} \cdot \cos^2 \frac{k_y \cdot y}{R} + k_y^2 \cdot \cos^2 \frac{k_x \cdot x}{R} \cdot \sin^2 \frac{k_y \cdot y}{R}) = 0 \quad (6.34)$$

Pentru rezolvarea ecuației (6.34) se aplică metoda Galerkin, care transformă o ecuație trigonometrică într-una algebrică. Se obține, introducând și (6.32):

$$\begin{aligned} & \left[ \left( 1 - \frac{E \cdot t}{R^2} \cdot k \cdot \frac{(k_x^2 + k_y^2)^2}{R^4} + \frac{pR}{2} \cdot \frac{k_x^2 + k_y^2}{R^2} \right) \cdot W \cdot \cos \frac{k_x \cdot x}{R} \cdot \cos \frac{k_y \cdot y}{R} \right. \\ & \left. - \frac{p \cdot W^2}{2 R^2} \cdot \left( k_x^2 \cdot \sin^2 \frac{k_x \cdot x}{R} \cdot \cos^2 \frac{k_y \cdot y}{R} + k_y^2 \cdot \cos^2 \frac{k_x \cdot x}{R} \cdot \sin^2 \frac{k_y \cdot y}{R} \right) \right] \cdot \\ & \cdot \cos \frac{k_x \cdot x}{R} \cdot \cos \frac{k_y \cdot y}{R} \cdot dx dy = 0 \quad (6.35) \end{aligned}$$

Intervalul în care se efectuează integrala este  $(-R, R)$ , ceea ce corespunde lui:

$$\begin{aligned} x &= t \frac{u \cdot R}{2k_x}; & y &= t \frac{v \cdot R}{2k_y} \end{aligned} \quad (6.36)$$

În ecuația (6.35) intervin integralele calculate în anexa A2

$$I_1 = \iint_{\Omega} \frac{k_x \cdot x}{R} \cdot \frac{k_y \cdot y}{R} \cdot \frac{2R^2}{R} \cdot dx dy = \frac{4k_x k_y}{R^2} \quad (6.37a)$$

$$I_2 = \iint_{\Omega} \frac{k_x \cdot x}{R} \cdot \frac{k_x \cdot x}{R} \cdot \frac{k_y \cdot y}{R} \cdot \frac{2R^2}{R} \cdot dx dy = \frac{8 \cdot R^2}{3 \cdot R^2} \quad (6.37b)$$

$$I_3 = \iint_{\Omega} \frac{k_x \cdot x}{R} \cdot \frac{k_y \cdot y}{R} \cdot \frac{k_y \cdot y}{R} \cdot \frac{2R^2}{R} \cdot dx dy = \frac{8 \cdot R^2}{3 \cdot R^2} \quad (6.37c)$$

Aceste integrale, introduse în (6.35) dau relația algebrică:

$$E \cdot t \cdot K \frac{(k_x^2 + k_y^2)^2}{R^2} + \frac{pR}{2} (k_x^2 + k_y^2) + \frac{2R^2}{4R} \frac{4k_x k_y}{R^2} = \frac{4p}{9R^2} (k_x^2 + k_y^2) \quad (6.38)$$

Simplificând ecuația (6.38) rezultă:

$$E \cdot t \cdot K \frac{(k_x^2 + k_y^2)^2}{R^2} + \frac{pR}{2} (k_x^2 + k_y^2) + \frac{2R^2}{9R^2} = \frac{4p}{9R^2} (k_x^2 + k_y^2) \quad (6.39)$$

Ecuația (6.39) este neliniară, pentru a obține o formă mai simplă, fiind înlocuit  $p \cdot W$ . Rezultă:

$$p \cdot \left(1 - \frac{W}{R}\right) \cdot \frac{E \cdot t \cdot K}{R} (k_x^2 + k_y^2)^2 + K \frac{2R^2}{9R^2} = \frac{4p \cdot W}{9R^2} (k_x^2 + k_y^2) \quad (6.40)$$

Minimul expresiei din partea dreaptă se obține când termenii sunt egali:

$$E \cdot t \cdot K \frac{1}{R} (k_x^2 + k_y^2)^2 = K \frac{4p \cdot W}{9R^2} (k_x^2 + k_y^2) \quad (6.41)$$

de unde rezultă:

$$k_x^2 + k_y^2 = \left[ \frac{E \cdot t \cdot R^2}{4p \cdot W} \right]^{1/2} \quad (6.42)$$

care, introdusă în (6.40) generează:

$$p \cdot R \cdot \eta \cdot \sqrt{E \cdot t \cdot K} = \eta \cdot \sqrt{4p \cdot W} \cdot R \quad (6.43)$$

în care s-a ținut seama de relațiile (6.18b) și (6.42) și s-a dus notația:

$$\eta = \frac{1}{1 - \frac{W}{R}} \quad (6.44)$$

care este termenul de corecție datorită faptului că în ecuația (6.40) termenii sunt egali.

valoarea pentru  $\lambda = 1,39$  este  $\lambda = 1,39$  (vezi fig. 6.14).  
 seara de adiacentă față de valoarea  $\lambda = 1,39$  (vezi fig. 6.14).  
 (Graficul din fig. 6.14 este pentru  $\lambda = 1,39$ ).

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{1}{\lambda^2}} = \frac{1}{1 + \frac{1}{1,39^2}} = \frac{1}{1 + 0,512} = \frac{1}{1,512} = 0,661$$

$$1 - \eta = 1 - 0,661 = 0,339$$

$$R \cdot \eta = 1000 \cdot 0,661 = 661$$

În limitele în care  $\lambda \gg 1$  (vezi fig. 6.14) și  $\eta \approx 1$ ,  
 subțiri  $\lambda = 1$  și  $\eta = 1$ .  
 $R = 1000$

acest coeficient este extrem de mic.  
 Astfel, spre deosebire de cazul înclăzării, în cazul înclăzării  
 dintre presiunea radială cu direcția constantă și presiunea  
 tangențială, la placii  $\lambda \gg 1$  diferența este foarte mică.  
 Explicatia constă în faptul că la înclăzările din flăcări  
 mari, în procesul de instalare a filmului, sunt necesare  
 lungimi înclăzării  $\lambda \gg 1$  și, prin urmare, coeficientul  
 rezultat este foarte mic.  
 Rezultatele obținute la determinarea temperaturii  
 bifurcației din literatura pot fi utilizate în relațiile (6.47).

6.2.7. Încălzirea critică de bifurcație pentru presiune înclăzării

Așa cum se vede în fig. 6.14 și 6.15, în cazul înclăzării  
 asupra câmpului de viteză din vînt este necesar să se  
 considere în cazul sferei complete, fără înclăzări, toate valorile  
 Astfel, la examinarea atît în funcție de  $\lambda$  și de  $\eta$   
 sferei, se constată că, cu  $\lambda = 1$  și  $\eta = 1$ , se obține  
 o condiție limită de bifurcație dintr-un punct de vedere  
 de 200° (fig. 6.15), înclăzirea articulată (fig. 6.15).  
 La această sferă, înălțimea este:

$$f = R \cdot (1 - \frac{1}{\lambda^2}) = 1000 \cdot (1 - \frac{1}{1^2}) = 0$$

Parametrii care definesc viteza și temperatura  
 $\lambda = 2 \cdot 1,39 \cdot (1 - 0,339) = 2,07 \cdot \frac{f}{R} = 1,39 \cdot \frac{R}{f}$

Capole de bifurcație sunt cunoscute în fig. 6.14 și  
 înclăzirea pentru cazul  $\lambda = 1$ .  
 Ținînd seama de înclăzirea receivă din studiul lui  $\lambda = 1,39$ ,  
 rezultă din (6.47):

$$\lambda = 1,39 \cdot \sqrt{200} = 33,3$$

valoare mult mai mare decît dimensiunile studiului lui  $\lambda = 1,39$ . În Cl.  
 Iyent31] se arată că, pentru  $\lambda > 3,3$  pierderea stabilității  
produce prin vînturi locale. Astfel, înclăzirea este  
 stabilității în vînt, și astfel fenomenul de bifurcație  
 determinarea înclăzării critice de bifurcație este  
 valoarea obținută pentru presiunea înclăzării, înclăzirea  
 (6.47).

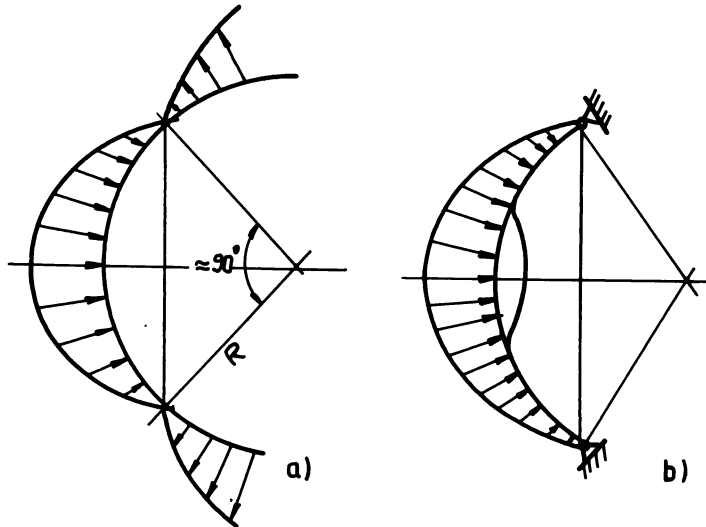


FIG. 6.15 Localizarea voalării la presiunea din vînt

### 6.3. COMPORTAREA POST-CRITICĂ

#### 6.3.1. Incarcarea inferioara.

Constatările experimentale referitoare la supra-criticitate au fost făcute de inginerii japonezi și a cupolelor sferice de aerodinamică. În anul 1911, inginerii japonezi au determinat valorile lui  $C_x$  în funcție de unghiul de atac  $\alpha$  și de numărul Reynolds  $Re$ . În anul 1911, inginerii japonezi au realizat o serie de experimente, în urma cărora au constat că, la un anumit unghi de atac, valoarea lui  $C_x$  scade brusc și devine negativă. Acest fenomen este cunoscut sub numele de "incarcare inferioară" și este cauzat de apariția turbulențelor în zona de umbră a corpului.

Prima explicație a acestui fenomen a fost dată de P. Prandtl în anul 1909, dar teoria completă a fost dată de K. Thwaites în anul 1949. Astfel, se poate arăta că la o sferă perfectă, în momentul atingerii incarcării inferioare de bifurcație, valoarea lui  $C_x$  este egală cu valoarea lui  $C_x$  la incarcarea inferioară de bifurcație. Dacă se consideră o sferă cu imperfecțiuni geometrice, atunci valoarea lui  $C_x$  la incarcarea inferioară de bifurcație este mai mică decât valoarea lui  $C_x$  la incarcarea inferioară de bifurcație. În cazul unei sferi cu imperfecțiuni geometrice, valoarea lui  $C_x$  la incarcarea inferioară de bifurcație este mai mică decât valoarea lui  $C_x$  la incarcarea inferioară de bifurcație.

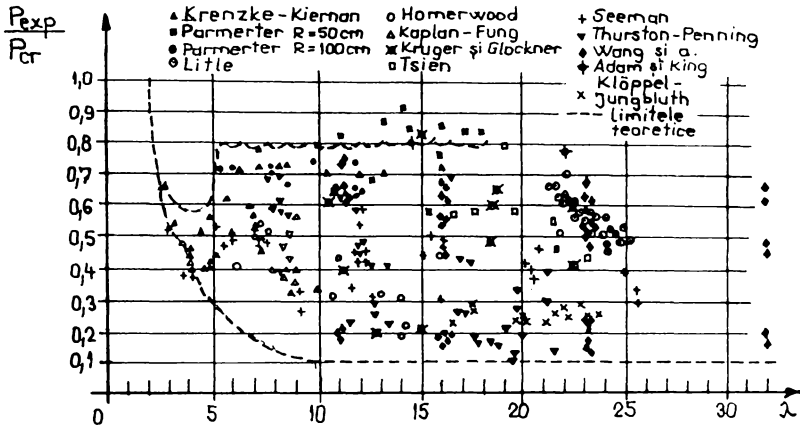


FIG. 6.16 Împrăștierea rezultatelor experimentale

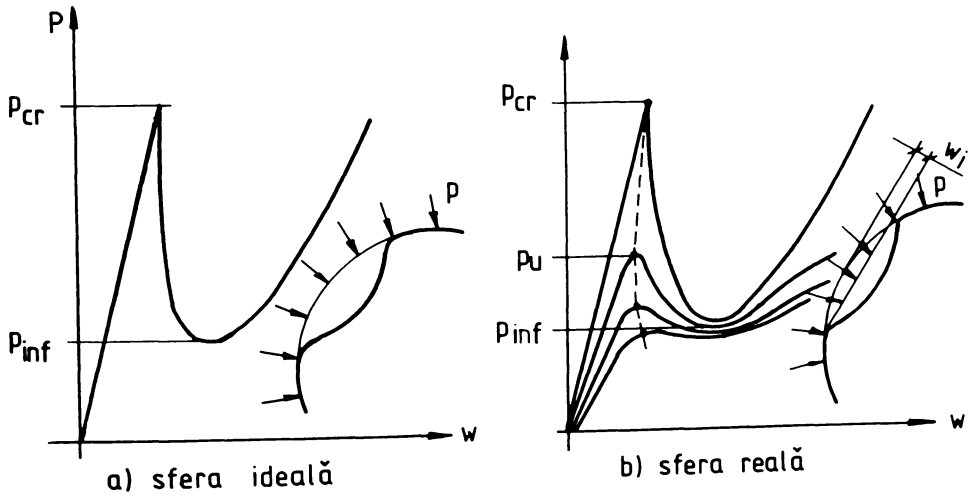


FIG. 6.17 Comportarea sferei ideale și reale

suprafața între pag. 11 și 12 (fig. 6.17b).

Pentru determinarea încălzirii inferioare s-au efectuat numeroase studii teoretice, folosind diferite forme pentru suprafețe voalate și condiții de margini (fig. 6.18). Primele studii au fost efectuate și rezultatele lor sunt prezentate în tabelul 6.3, după Glanța și Ivan 1977.

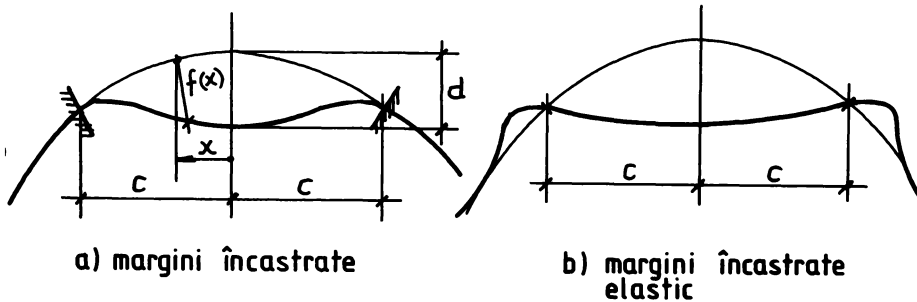


FIG. 6.18 Tipuri de suprafețe de voalare

Tabelul 6.3. VALORILE  $\lambda_{inc}$

	Aut	anul	Condițiile de margini (fig. 6.18)	$\lambda_{inc}$
1	Hagen-Tsien	1929	a	0,200
2	Tsien	1942	a	0,210
3	Margini curbe	1950	a	0,210
4	Polson	1940	b	0,210
5	Yeh	1960	b	0,210
6	Hess-Koten	1965	b	0,190-0,220
7	Thompson	1960	b	0,280
8	Rees	1971	a	0,280
9	Rees	1971	a	0,285
10	Truitt	1970	a	0,214

Se constată că valorile încălzirii inferioare variază limite destul de mari, în funcție de forma suprafeței și de condițiile de margini.

De exemplu, Pea, [73], soluții pentru probleme de de margine (incastriate), dar sunt diferite de cele pentru valori diferite. Astfel, pentru

$$f(x) = \begin{cases} 1 - \frac{x^2}{12} \\ 1 - \frac{x^2}{12} \end{cases} \quad (6.18)$$

rezulta valoarea din coloana 8 a tabelului 6.3, iar pentru suprafața de forma:

$$f(x) = \begin{cases} 1 - \frac{x^2}{3} \\ 1 - \frac{x^2}{12} \end{cases} \quad (6.19)$$

se obține valoarea din coloana 9, iar din coloana 10.

6.3.2. Influența condițiilor de rezemare.

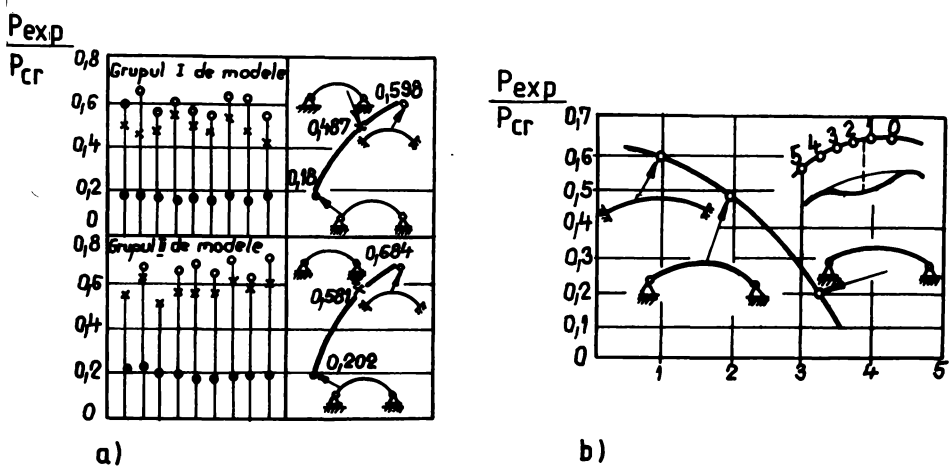


FIG. 6.19 Influența condițiilor de rezemare

Caracteristicile experimentale efectuate la V. 405000, în figurile 6.19, au arătat că este suficient să se reducă dimensiunile marginilor, dar trebuie să se reducă și dimensiunile marginilor articulare. Astfel, pe baza grupelor de modele, s-a determinat că:

- margini în a-lăbe (60% - 60%)
- margini articulare (40% - 50%)
- margini simple rezemate (10% - 20%)

Reducerea dimensiunilor marginilor, în condițiile de rezemare, este un rezultat din fig. 6.19, care arată că, în incastriate, dimensiunile suprafeței de rezemare sunt diferite.

vi sîi cupolei, pe care la marginea ...

Influenta conditiilor de margini ...

In care c tine seama de conditiile la margini ...

Kloppel si Pe ...

0,67 \* 11 ...

in care:

$$\chi = \left[ \frac{R}{t_p} \right] \cdot \left[ \frac{t_p}{R} \right]$$

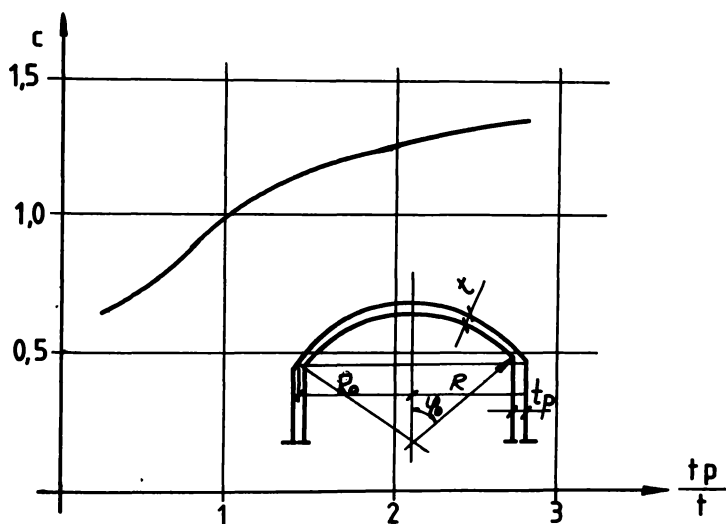


FIG. 6.20 Influenta încadrării elastice într-un perete cilindric

In figura 6.20 se prezinta variatia ...



6.21.

Heas și Van Kester 1947 au obținut influența încastrării elastice, obținând curbele din figura 6.21a. Valoarea  $\alpha$  este dată de relația (6.50) care s-a determinat de Zi și Van Kester 1947 în funcție de curbe, cu relația aproximativă:

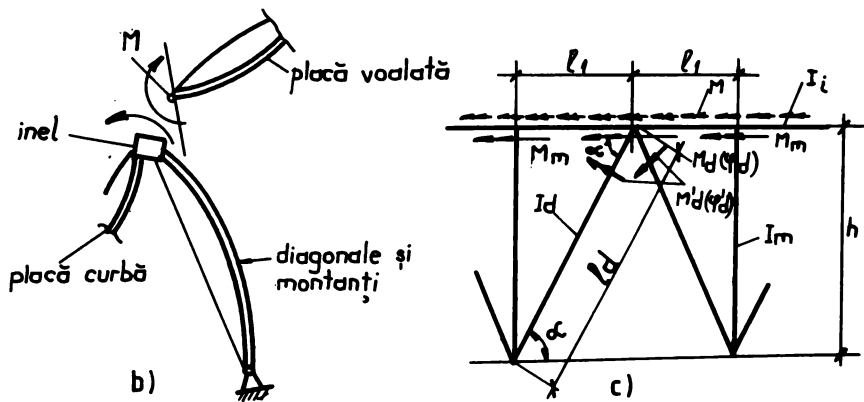
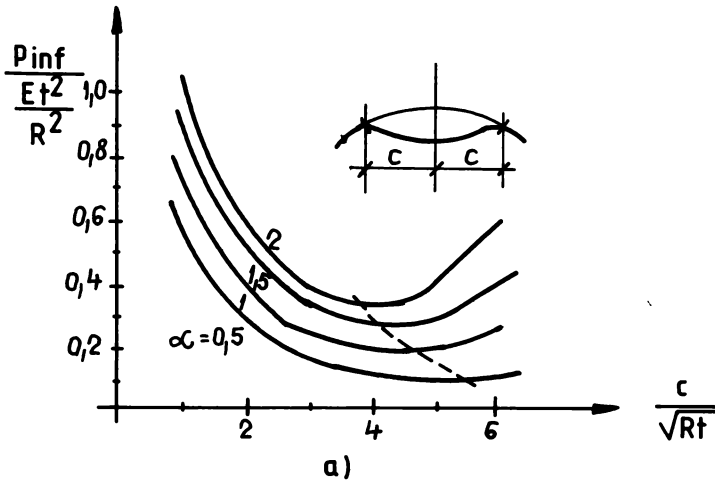


FIG. 6.21 Încăstrarea elastică pe contur a suprafeței voalate

unde:

$$\gamma = 0,44 \cdot \sqrt{\frac{E}{G}} + 0,12 \quad (6.53)$$

$$\gamma = \frac{2}{1 + \frac{I_F}{I_M}} \quad (6.54)$$

Cazul  $\gamma=2$  și  $\beta=1$  corespunde încăstrării perfecte. În (6.54),  $I_F$  este rigiditatea plăcii curbe la un moment uniform distribuit în lungul marginii (fig.6.21b):

$$I_F = \frac{E \cdot t^3}{4 \cdot \sqrt{R \cdot t}} \quad (6.55)$$

iar  $I_M$  este rigiditatea elementului marginal, din același material. Pentru cazul îmbinării studiat, marginile înclinabile din restul plăcii curbe, inelului de rigidizare, diagonalele și montanții de legătură dintre cele două inele (fig.6.21c). Astfel, rigiditatea marginală este:

$$I_M = I_1 + 2I_2 + I_3 \quad (6.56)$$

unde:

- $I_1$  este rigiditatea restului plăcii, lăsa de a se deforma (6.57);
- $I_2$  este rigiditatea inelului de rigidizare (6.58);
- $I_3$  este rigiditatea montanților (6.59).

$$I_1 = \frac{E \cdot I_0}{R \cdot \beta} \quad (6.57)$$

unde  $I_0$  este momentul de inerție al inelului, calculat față de axa cuprinsă în planul inelului,  $R$  este rigiditatea sistemului de susținere a inelului de rigidizare, compus din diagonalele și montanții.

Rezultă astfel (fig.6.21c)

$$M_1' = \frac{M_0}{2 \cdot \sin \alpha} = \frac{M \cdot l_1}{2 \cdot \sin \alpha} \quad (6.58)$$

$$F_1' = \frac{M_0 \cdot l_1}{2 \cdot E \cdot I_0} = \frac{M \cdot l_1 \cdot l_1}{2 \cdot \sin \alpha \cdot E \cdot I_0} \quad (6.59)$$

Rezultă că în diagonala este:

$$F_2 = F_1' \cdot \sin \alpha = \frac{M \cdot l_1 \cdot \sin^2 \alpha}{2 \cdot \sin \alpha \cdot E \cdot I_0} \quad (6.60)$$

Rezultă unui montanț este:

$$F_3 = \frac{M_M \cdot h}{2 \cdot R \cdot I_M} = \frac{M \cdot l_1 \cdot h}{2 \cdot R \cdot I_M} \quad (6.61)$$

Rezultă astfel rigiditățile diagonalelor și montanților:

$$I_2 = \frac{M \cdot l_1 \cdot \sin^2 \alpha}{2 \cdot \sin \alpha \cdot E \cdot I_0} \quad (6.62)$$

$$I_3 = \frac{M \cdot l_1 \cdot h}{2 \cdot R \cdot I_M} \quad (6.63)$$

Pentru determinarea gradului de încălzire și rigiditate medie în intervalul de calculare:

$$R_0 = \frac{E \cdot I_1 + I_2 \cdot l_1}{2 \cdot l_1} = \frac{3 \cdot E}{2} \cdot \frac{I_1 + I_2 \cdot l_1}{2 \cdot l_1 \cdot h} \quad (6.54)$$

Rezulta astfel, raportul  $r_p/r_0$  din relația (6.54):

$$\frac{r_p}{r_0} = \frac{1}{1 + 4E \cdot \frac{I_1 + I_2 \cdot l_1}{R_0^2 \cdot 2 \cdot l_1 \cdot h}} = \frac{1}{1 + 4E \cdot \frac{I_1 + I_2 \cdot l_1}{(2 \cdot \sin \alpha \cdot I_d \cdot I_m)^2 \cdot 2 \cdot l_1 \cdot h}} = \frac{\sqrt{E \cdot I_d \cdot I_m}}{1 + 4E \cdot \frac{I_1 + I_2 \cdot l_1}{(2 \cdot \sin \alpha \cdot I_d \cdot I_m)^2 \cdot 2 \cdot l_1 \cdot h}} \quad (6.55)$$

Pentru cazul rezervorului studiat, la nivelul intervalului 1, conform capitolului 3, rezultă:

$$\begin{aligned} I_1 &= 485.552 \text{ cm}^4 \\ I_m &= I_d = 5105 \text{ cm}^4 \\ R_0 &= 748 \text{ cm} \\ l_1 &= 303 \text{ cm} \\ h &= 792 \text{ cm} \\ \sin \alpha &= 0,95 \end{aligned}$$

Introducând aceste valori în relația (6.53) rezulta:

$$\frac{r_p}{r_m} = \frac{1}{1 + 4E \cdot \frac{485.552 + 5105 \cdot 303}{748^2 \cdot 2 \cdot 303 \cdot 792}} = \frac{\sqrt{2026 \cdot 41}}{1 + 4E \cdot \frac{485.552 + 5105 \cdot 303}{748^2 \cdot 2 \cdot 303 \cdot 792}} = 0,9997$$

Se constată efectul mult mai important al înclinației în direcția diagonalelor și montanților la încălzirea cuprinsă în (6.53). Cu această valoare a raportului  $r_p/r_0$  rezulta din (6.54):

$$\gamma = \frac{0}{140,0091} = 1,28 \cdot 10^{-3}$$

care corespunde practic cu înclinația perfectă din (6.53) (6.53) rezulta:

$$= 0,14 \cdot 1,28 \cdot 10^{-3} = 0,18 \cdot 10^{-3} = 0,00018$$

Și atunci se poate scrie relația de formă:  $\gamma = 1,28 \cdot 10^{-3} \cdot \gamma_1$  (6.56)

în care  $\gamma_1$  ține seama de îndoirea elastică la margini și este dat de relația (6.53), iar coeficientul  $\gamma_2$  este dat de (6.54) (6.54). Coeficientul  $\gamma_2$  ține seama de variația nivelului eforturilor datorită condițiilor de rezonanță:

$$\gamma_2 = 1,055 + 0,11 \cdot \gamma_2 \quad (6.57)$$

în care:

$$\gamma_2 = - \frac{N_r}{P \cdot R} = 0,5 \quad (6.58)$$

$N_r$  fiind efortul radial maxim din zona ventilei.

Coeficientul  $\gamma_2$  ține seama de deformările w, mai mari

momentul vitezei de rotație și numărul  $w_0$

$$\gamma_2 = \frac{w}{w_0} \quad (6.67)$$

unde:

$$w_0 = \frac{P \cdot R^2}{2 \cdot E \cdot t} \cdot (1 + \mu) \quad (6.68)$$

Coefficientul de este dat în tabelul 6.4 în funcție de  $\gamma_2$

Tabelul 6.4. COEFFICIENTUL -2-

$\gamma_2$	1	5	10	20	40
$\alpha$	1,00	0,94	0,90	0,81	0,71

Pentru  $\gamma_2 = 1$  și  $\mu = 0,3$  rezultă  $\alpha = 1,00$ , conform tabelului 6.4, unde  $\mu = 0,3$  și  $\gamma_2 = 1$ .

Tinând seama de valoarea  $\mu = 0,3$  și  $\gamma_2 = 1$  din tabelul 6.4, rezultă  $\alpha = 1,00$ .

și, din (6.68):

$$w_0 = \frac{P \cdot R^2}{2 \cdot E \cdot t} \cdot (1 + \mu) = \frac{1,055 \cdot 0,11 \cdot 0,501}{2 \cdot E \cdot t} = 0,299$$

Tinând seama de valoarea  $\mu = 0,3$  și  $\gamma_2 = 1$  din tabelul 6.4:

$$w = 0,299 \cdot \frac{P \cdot R^2}{2 \cdot E \cdot t}$$

se obține din (6.67):

$$\gamma_2 = 1$$

și din tabelul 6.4 rezultă:

$$\alpha = 1,00$$

Astfel, coeficientul  $\alpha$  rezultă din relația (6.64):

$$\alpha = 0,991 \cdot 0,999 \cdot 1,00 = 1$$

această valoare corespunde la cazul încălzirii periferice.

### 6.2.3. Încălzirea liniară din deformațiune

La stabilirea coeficientului de dilatație  $\alpha$  din (6.64), atât în Recomandările CECM cât și în SASI-Rickhill [12], s-a avut în vedere valorile experimentale prezentate în literatură, obținute atât pe sfere complete cât și pe sfere, fără să se facă distincția în funcție de condițiile de încălzire. Prin urmare, la calculul coeficientului de dilatație  $\alpha$  din Recomandările SASI, la rândul său, s-a avut în vedere valoarea prezentată în figura 6.19, rezultată dintr-o serie de teste efectuate pe sfere de oțel, deși la sferele complete s-a luat în calcul coeficientul de dilatație în axitate.

Astfel, în figura 6.22 s-a făcut o separare a rezultatelor experimentale prezentate în Tiganu și Ivan [21] în două categorii: a) valori experimentale obținute pe sfere complete și b) valori experimentale obținute pe sfere cu margini încălzite.

La valori experimentale obținute pe sfere complete s-a separat și s-a reformată lista în funcție de condițiile de încălzire.

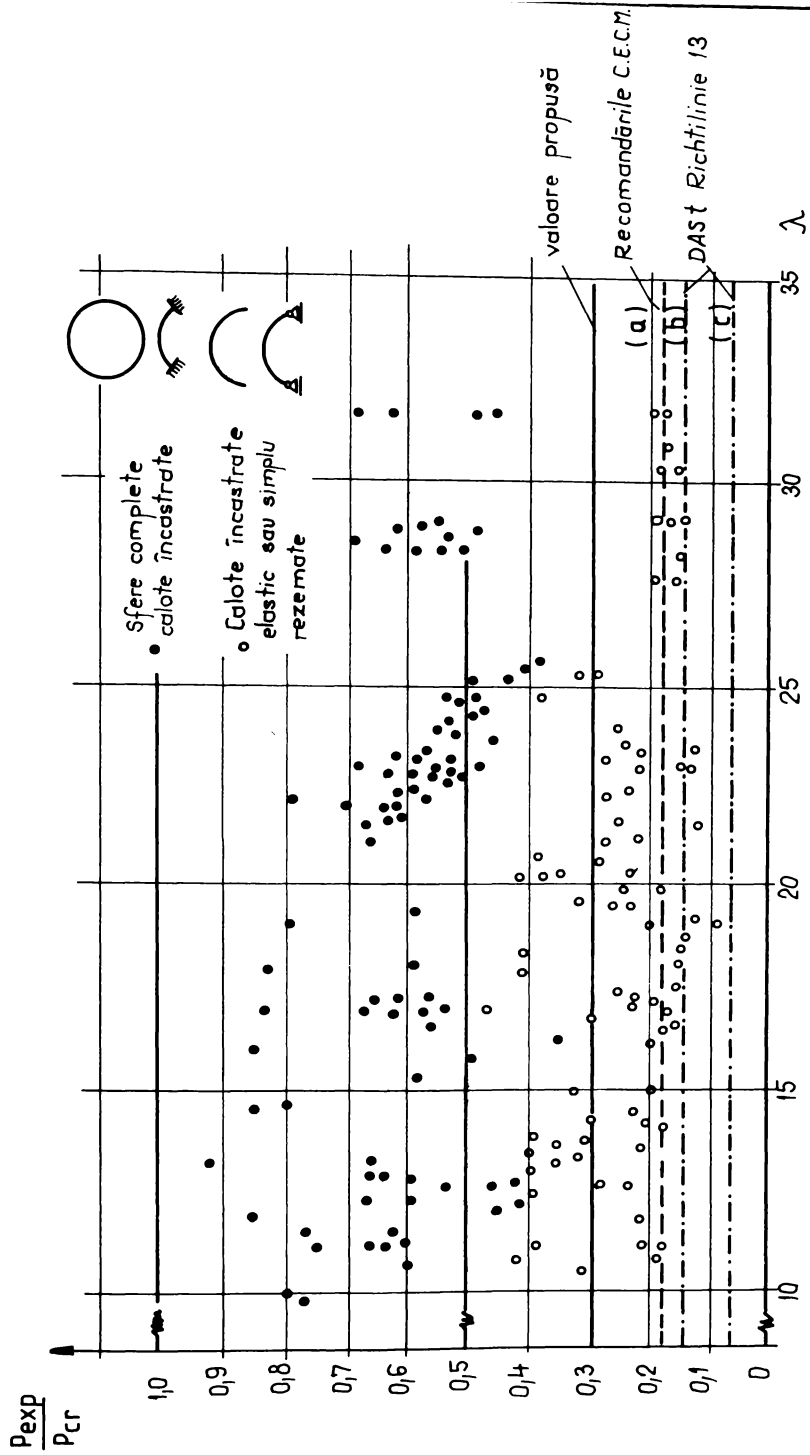


FIG. 6.22 Selectarea valorilor experimentale

Se constata o separare foarte clara a rezultatelor experimentale, primele grupandu-se in partea superioara, celelalte grupand pe cele inferioara. In figura s-au trasat indreptarile liniei mijlocii de bifurcare conform (al) Recomandarii CECK (a=0,19) (16.70) si (al) DAST-Richtlinie 13 (16.71) (a=0,15 si 0,20).

Din figura se constata foarte clar ca indreptarile propuse in de normele mentionate sint valabile pentru cupolele sferice cu margini libere sau incastrate elastice si pentru cupolele cu cupolelor incastrate sau al sferelor complete.

Tinind seama de aceste observatii, se propune adoptarea unui coeficient de reducere  $\alpha=0,20$ . Se observa ca nici o valoare experimentală pentru cupolele incastrate sau sferelor complete nu este sub aceasta valoare.

In cele ce urmeaza se propune crestarea metodei de calcul, bazata ca principiu pe model DAST-Richtlinie 13. Se calculeaza astfel:

$$\bar{\lambda}_s = \sqrt{\frac{P_u}{P_c}} \quad (16.70)$$

in care:

$$P_c = \frac{2 \cdot I}{R} \cdot \frac{E \cdot \pi \cdot R^3}{4} \cdot \mu_c \quad (16.70a)$$

$$P_U = \alpha \cdot 1,21 \cdot E \cdot \left[ \frac{I}{R} \right]^2 \quad (16.70b)$$

$$\alpha = 0,20 \quad (16.70c)$$

Limita dintre domeniul elastic si elasto-plastic este data de:

$$P_r = 0,4 \cdot P_c \quad (16.70d)$$

pentru care:

$$\bar{\lambda}_s = \sqrt{2,5} = 1,58 \quad (16.70e)$$

Rezulta ca determinarea incarcarii ultime se face astfel (fig. 6.22):

$$\frac{P_u}{P_c} = \frac{1}{\bar{\lambda}_s^2}; \quad \bar{\lambda}_s = 1,58 \quad (\text{domeniul elastic}) \quad (16.70f)$$

$$\frac{P_u}{P_c} = 1 + 0,434(0,20 \cdot \bar{\lambda}_s); \quad 0,21 \cdot \bar{\lambda}_s = 1,58 \quad (\text{domeniul elasto-plastic}) \quad (16.70g)$$

$$\frac{P_u}{P_c} = 1,0; \quad \bar{\lambda}_s = 0,2 \quad (\text{domeniul plastic}) \quad (16.70h)$$

### 3.3.4. Incarcarea limita din presiunea vintului.

Asa cum s-a aratat in paragraful 3.1.4, comportarea cupolei la vint se apropie de cazul cupolei artice la care, conform (al) DAST-Richtlinie 13 (16.71) (a=0,15) si (al) CECK (a=0,19) (16.70), incarcarea ultima va fi determinata conform relatiei (16.70b), utilizand in relatie (16.70b) valoarea  $\alpha=0,17$ .

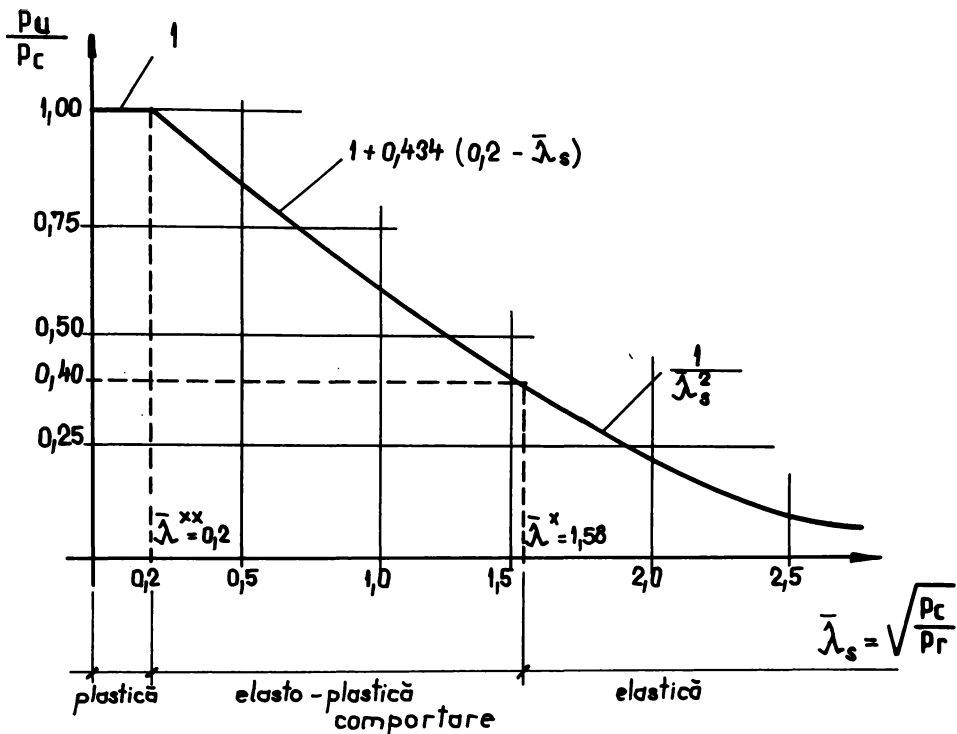


FIG. 6.23 Verificarea stabilității reazemelor sferice

6.2.5. Incercarea limită în valizoră cilindrică a depresiunii și vîntului.

Asa cum s-a arătat mai înainte, și în cazul acesta există diferențe între rezultatele obținute pentru diferite valori ale coeficientului de presiune din relatiile (6.77) și (6.78).

Se constată că această relație este aplicabilă și pentru  $p_v = 0$  (linie  $\mu = 0,2$ ), iar pentru  $p_v = 0,10$  (linia  $\mu = 0,10$ ). În acest caz se pot folosi relațiile (6.77), care determină  $\lambda_{s,cr}$  (6.78).

## 6.4. VERIFICAREA STABILITĂȚII REZERVORULUI

### 6.4.1. Relatia de verificare.

Atit Recomandarile CECM cit si norma DST-Richardson [10] determina incercarea de calcul la verificarea stabilitatii sferei cu un coeficient de supraincarcare de  $n = 1,5$ . In aceasta noastra, acest coeficient este de  $1,3$  pentru  $p_{10} = 1,0$  pentru presiune din vint. Rezulta, pentru calculul la sigurare, necesitatea aplicarii unui coeficient de sigurare suplimentar:

$$k = \frac{1,5 \cdot 1,0}{1,3} = 1,154 \quad (6.75)$$

in care pe rezulta din relatia (6.73), iar restul este al conditiilor de lucru astfel determinat la nivelul acelasi nivel de sigurare ca si cel de calcul.

$$\frac{1,3 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0}{1,5 \cdot (1,154 \cdot 1,0)} = 0,84$$

unde  $p^H$  si  $p^H$  int la arcele normale din fig. 6.60

Relatia de verificare va fi:

$$k = 1,154 \cdot 0,84 = 0,97 \quad (6.76)$$

unde  $p_{0.01}$  este incercarea de calcul

### 6.4.2. Verificarea stabilitatii intervalului 1.

In acest interval sint semnificative la instabilitate viteza proprie si presiunea.

$$P_{cal} = P + P_0 = 125 + 125 = 250 \text{ daN/m}^2$$

Din relatia (6.70) se obtine:

$$p = \frac{2 \cdot 1}{250} \cdot 2100 = 16,8 \text{ daN/m}^2 = 52500 \text{ daN/m}^2$$

$$p_p = 0,3 \cdot 1,21 \cdot 2100000 / 20000 = 3,7 \text{ daN/m}^2 = 12000 \text{ daN/m}^2$$

Din relatia (6.69) se obtine:

$$\lambda_s = \frac{\left[ \frac{52500}{12000} \right]}{\left[ \frac{12000}{12000} \right]} = 2,09 > 1,53$$

prin urmare instabilitatea poate fi deosebita de restul sferei

$$k = \frac{1 \cdot 1}{2,09} \cdot 0,84 = 0,4 \cdot 0,84 = 0,34$$

$$P_{ured} = 0,8 \cdot 12012 = 9610 \text{ daN/m}^2 > P_{cal} = 250 \text{ daN/m}^2$$

Rezulta astfel ca verificarea data de relatia (6.73) este satisfacuta.

### 6.4.3. Verificarea stabilitatii intervalului 2.

In acest interval sint semnificative la instabilitate viteza proprie si presiunea vintului.

$$P_{cal} = P + P_0 = 125 + 120 = 245 \text{ daN/m}^2$$

Coefficientul a rezulta din relatia (6.74)



0,24 · 195 · 10,19 · 120

0,24

195 · 120

Proiecția redusă rezultă din relația (6.70b).

$$\lambda_2 = 0,24 \cdot 1,21 \cdot 2100000 / 9500 = 0,35 \text{ 1/s} \quad \lambda_1 = 3500 \text{ 1/s}^2$$

Din relația (6.69) se obține:

$$\lambda_{2,3} = \left[ \frac{52500}{9500} \right] \quad 0,35 \pm 1,52$$

Deci instabilitatea se produce în domeniul cântii

$$P_2 = \frac{1}{\lambda_2} = \frac{1}{0,35} = 2,857 \text{ s} \quad 3500 \text{ 1/s}^2$$

$$P_{2,3} = 0,3 \cdot 2500 = 7500 \text{ 1/s}^2 \quad \lambda_1 = 315 \text{ 1/s}^2$$

Deci nici acest interval este foarte îngust în ceea ce privește

#### 6.4.4. Verificarea stabilității intervalului 2.

Fie ca și în cazul anterior, numai deplasările, care  
 Invers greutatea și înălțimea rezervoarelor, și înălțimea  
 luată în calcul înălțimea rezervoarelor, și înălțimea  
 $\lambda_1 = 0,2 \cdot 0,21 = 0,042 \text{ 1/s}^2$   
 $\lambda_2 = 0,2 \cdot 0,21 = 0,042 \text{ 1/s}^2$   
 În aceeași măsură, înălțimea rezervoarelor și înălțimea  
 $\lambda_1 = 0,2 \cdot 0,21 = 0,042 \text{ 1/s}^2$   
 Rezultă că în intervalul 2, rezervoarele sunt  
 Instabilității.

### 6.5. CONCLUZII PRIVIND STABILITATEA REZERVOARELOR SPERICE STUDIATE

Așa cum rezultă din verificările la stabilitate efectuate în  
 paragraful 6.4, alți un interval foarte îngust de rezonanță  
 instabilității. Acest fapt este datorat în primul rând  
 înțele de rigiditate foarte mici ale rezervoarelor  
 eliminat efectele de rezonanță în cazul rezervoarelor  
 rezonanță de rezonanță în cazul rezervoarelor  
 Verificarea stabilității rezervoarelor este  
 și deci cea prin ipoteza din prezenta lucrare.

Ca urmare a acestor concluzii, din punct de vedere  
 stabilității, grosimea plăcii rezervoarelor trebuie să fie  
 substanțială. De asemenea, trebuie să se evite  
 rezistența de calcul aplicată la rezervoare  
 trebuie să se evite și rezonanța rezervoarelor.

Faptul că prin soluția adoptată s-a eliminat  
 instabilității, factori foarte importanți în cazul  
 rezervoare, astfel încât să se evite instabilitățile.

## CAPITOLUL 7

### STABILIREA INCARCARILOR PENTRU CALCULUL STRUCTURII DE SUSTINERE A NOULUI TIP DE REZERVOR STUDIAT

#### **7.1. GENERALITATI. DESCRIEREA STRUCTURII DE SUSTINERE A NOULUI TIP DE REZERVOR DE INALTIME STUDIAT**

In cadrul tezei de doctorat a fost studiat un nou tip de rezervor de inaltime, pentru castele de apa, intr-o solutie originala, precum si structura de sustinere a acestuia.

Castelul de apa studiat si calculat este format dintr-un rezervor sferic, avind capacitatea de 2000 mc de apa inmagazinata, la un diametru exterior de 16 m si o structura metalica de sustinere a rezervorului. Structura metalica de sustinere este alcatuita dintr-o parte dispusa la nivelul rezervorului, care este alcatuita din doua inele metalice chesonate legate intre ele cu zabrele, inelul superior fiind asezat in interiorul rezervorului, deasupra cercului ecuatorial, iar inelul interior in exteriorul rezervorului sub cercul ecuatorial, si din turnul metalic de sustinere a rezervorului la inaltimea de 30 m deasupra solului.

Structura de sustinere a rezervorului la inaltime este formata din 8 stilpi dispusi in colturile unui octogon inscris la baza intr-un cerc cu diametrul de 16m, legati intre ei cu montanti orizontali si bare orizontale de legatura la mai multe niveluri, precum si cu diagonale incrucisate, schema de principiu a structurii de sustinere fiind prezentata in figura 7.1.

#### **7.2. STABILIREA INCARCARILOR**

Incarcarile de calcul provin din greutatea rezervorului si a apei inmagazinate, din greutatea structurii de sustinere si din din greutatea unor elemente auxiliare precum si din actiunea vintului si a seismelor.

Aceste incarcari sint stabilite in cele ce urmeaza avind la baza standardele privitoare la actiuni pentru constructii, in vigoare la ora actuala.

La nivelul celor doua inele, nivelul I pentru inelul superior si nivelul II pentru nivelul interior, unde se descarca rezervorul, efectul incarcarii aduse de rezervor se transmite sub forma unor actiuni orizontale si verticale si a unui moment incovoietor (fig. 7.2).

Aceste actiuni sint calculate in continuare.

##### 7.2.1. Incarcari permanente [92]

Incarcarile permanente provin din greutatea proprie a rezervorului si din greutatea proprie a structurii de sustinere.

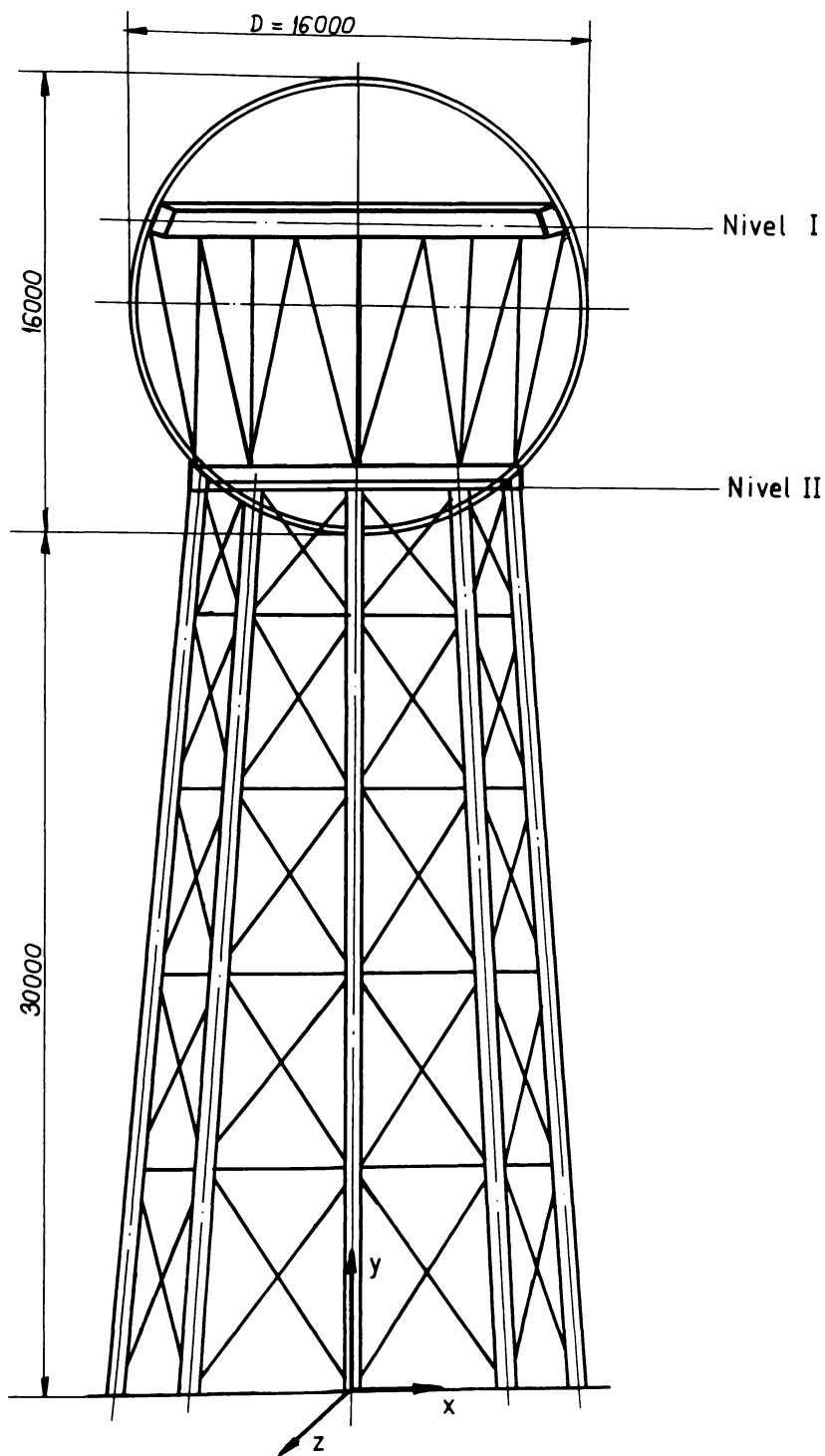


FIG. 7.1 Schema structurii castelului de apă

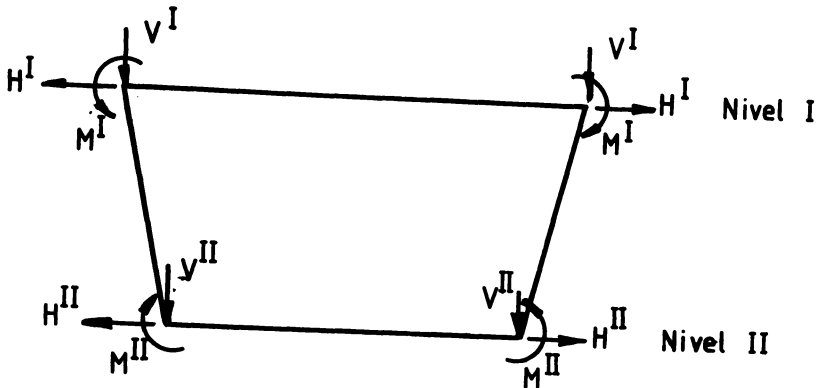


FIG. 7.2 Transmiterea încărcărilor de la rezervor

7.2.1.1. Incarcari din greutatea proprie a rezervorului.

Greutatea proprie a rezervorului se poate stabili alegind o tabla cu grosimea de 10 mm sub doua forme, ca greutate pe  $m^2$  de suprafata, cu care se determina actiunile la cele doua niveluri 1 si 2 (fig.7.2) cit si ca greutate totale a rezervorului.

a) Incarcari la nivelul inelelor I si II din greutatea rezervorului.

Considerind rezervorul cu caracteristicile:

$$\begin{aligned} D_{ext} &= 16,0 \text{ m} \\ V &= 2000 \text{ mc} \\ \gamma_{otel} &= 7850 \text{ kg/mc} \\ t &= 10 \text{ mm (grosimea tablei)} \end{aligned}$$

rezulta greutatea pe unitatea de suprafata:

$$g_n = \gamma \cdot t = 7850 \cdot 0,01 = 78,5 \approx 80 \text{ daN/m}^2 \quad (7.1)$$

Cu aceasta se pot calcula actiunile  $V$ ,  $H$ ,  $M$  la nivelul celor doua inele, pe baza unor coeficienti stabiliti la calculul teoretic al rezervorului (cap.5) si anume:

$$\begin{aligned} \text{Inel I} \left\{ \begin{aligned} V_n^I &= 1,4876 \cdot g_n \cdot R = 1,4876 \cdot 80 \cdot 8 = 953 \text{ daN/m} & (7.2a) \\ H_n^I &= 0,3986 \cdot g_n \cdot R = 0,3986 \cdot 80 \cdot 8 = 256 \text{ daN/m} & (7.2b) \\ M_n^I &= 1,5401 \cdot g_n \cdot R \cdot d^I = 1,5401 \cdot 80 \cdot 8 \cdot 0,305 = 301 \text{ daN}\cdot\text{m/m} & (7.2c) \end{aligned} \right. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Inel II} \left\{ \begin{aligned} V_n^{II} &= 0,7962 \cdot g_n \cdot R = 0,7962 \cdot 80 \cdot 8 = 510 \text{ daN/m} & (7.2d) \\ H_n^{II} &= -0,7962 \cdot g_n \cdot R = -0,7962 \cdot 80 \cdot 8 = -510 \text{ daN/m} & (7.2e) \\ M_n^{II} &= 1,1260 \cdot g_n \cdot R \cdot d^{II} = 1,1260 \cdot 80 \cdot 8 \cdot 0,251 = 181 \text{ daN}\cdot\text{m/m} & (7.2f) \end{aligned} \right. \end{aligned}$$

unde  $d^I$  si  $d^{II}$  sint distantele de la mantaua sferica a rezervorului pina la centrul de greutate al celor doua inele: su-

perior I si inferior II (fig.7.3).

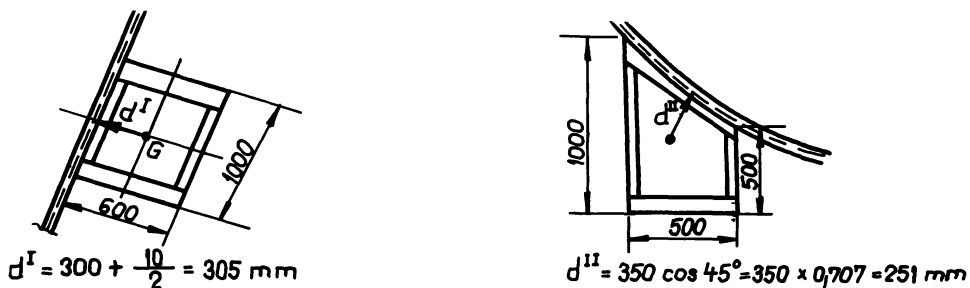


FIG.7.3 Distanțele  $d^I$  și  $d^{II}$

incarcările de calcul se obtin multiplicand incarcările normate cu coeficientul de incarcare  $n=1,1$ .

$$\text{Inel I} \left\{ \begin{array}{l} V_C^I = 953 \cdot 1,1 = 1048 \text{ daN/m} \\ H_C^I = 256 \cdot 1,1 = 281 \text{ daN/m} \\ M_C^I = 301 \cdot 1,1 = 331 \text{ daN}\cdot\text{m/m} \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} (7.3a) \\ (7.3b) \\ (7.3c) \end{array}$$

$$\text{Inel II} \left\{ \begin{array}{l} V_C^{II} = 510 \cdot 1,1 = 561 \text{ daN/m} \\ H_C^{II} = -510 \cdot 1,1 = -561 \text{ daN/m} \\ M_C^{II} = 181 \cdot 1,1 = 200 \text{ daN}\cdot\text{m/m} \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} (7.3d) \\ (7.3e) \\ (7.3f) \end{array}$$

b) Greutatea totală a rezervorului.

Considerind grosimea tablei  $t=10$  mm, se poate calcula volumul tablei utilizate:

$$V = \frac{4 \cdot \pi}{3} \cdot (R_e^3 - R_i^3) \quad (7.4)$$

unde:  $R_e$  - raza exterioara

$R_i$  - raza interioara.

$$R_e = D_e/2 = 16000/2 = 8000 \text{ mm}$$

$$R_i = D_i/2 = (16000-20)/2 = 7990 \text{ mm}$$

$$V = \frac{4 \cdot \pi}{3} \cdot (8^3 - 7,99^3) = 8,032 \text{ mc}$$

Cu acest volum, rezulta greutatea rezervorului:

$$G_{rn} = V \cdot \gamma = 8,032 \cdot 7850 = 63055 \text{ daN} \quad (7.5)$$

$$G_{rc} = G_{rn} \cdot n = 63055 \cdot 1,1 = 69360 \text{ daN} \quad (7.6)$$

7.2.1.4. Incarcari din greutatea constructiei de sustinere din interiorul rezervorului.

Aceste incarcari provin din greutatea inelelor superior I si interior II, precum si din cea a diagonalelor de legatura.

a) Greutatea inelului superior I.

Se calculeaza cu relatia:

$$G^I = w \cdot V^I \cdot \gamma = w \cdot A^I \cdot L \cdot \gamma \quad (7.7)$$

unde:  $A^I$  - aria sectiunii transversale a inelului (fig.7.4);  
 $w$  - coeficient de majorare care tine seama de rigidizari, suduri.

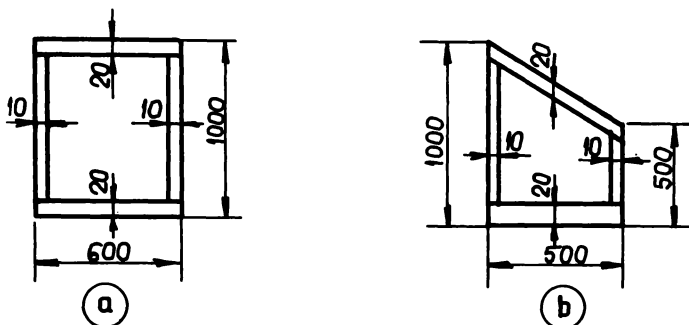


FIG.7.4 Sectioniunile inelelor

Cu sectiunile alese se calculeaza aria inelului superior I:

$$A^I = 2 \cdot 60 \cdot 2,0 + 2 \cdot 96 \cdot 1,0 = 432 \text{ cm}^2 = 0,0432 \text{ m}^2$$

Se calculeaza greutatea pe ml luind lungimea  $L=100$  cm:

$$g_n^I = \frac{w \cdot A (\text{cm}^2) \cdot 100 (\text{cm})}{1000} (\text{dm}^3) \cdot 7,85 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} = 1,2 \cdot \frac{432 \cdot 100}{1000} \cdot 7,85 = 407 \text{ daN/m} \quad (7.8)$$

Greutatea totala a inelului se calculeaza multiplicand aceasta greutate cu lungimea inelului  $L=\pi \cdot D$ .

$$G_n^I = g_n^I \cdot \pi \cdot D = 407 \cdot \pi \cdot 15,45 = 19745 \text{ [daN]} \quad (7.9)$$

b) Greutatea inelului interior II.

Se calculeaza in acelasi mod.

$$A^{II} = 50 \cdot 2,0 + 70,7 \cdot 2,0 + 96 \cdot 1,0 + 46 \cdot 1,0 = 384 \text{ cm}^2$$

$$g_n^{II} = w \cdot \frac{A \cdot 100}{1000} \cdot 7,85 = 1,2 \cdot \frac{384 \cdot 100}{1000} \cdot 7,85 = 362 \text{ daN/m} \quad (7.10)$$

$$G_{n}^{II} = g_{n}^{II} \cdot \pi \cdot D = 362 \cdot \pi \cdot 11,31 = 12856 \text{ [daN]} \quad (7.11)$$

c) Greutatea diagonalelor si montantilor.

Considerind pentru diagonalele si montantii ce leaga cele doua inele tevi cu  $\phi 194 \times 10$  cu  $A=60 \text{ cm}^2$ , rezulta greutatea totala a unui montant:

$$G_{1mn} = A \cdot L \cdot \gamma = \frac{60 \cdot 792}{1000} \cdot 7,85 = 373 \text{ [daN]} \quad (7.12a)$$

si greutatea totala a montantilor:

$$G_{mn} = 8 \cdot 373 = 2984 \text{ [daN]} \quad (7.12b)$$

apoi greutatea unei diagonale:

$$G_{1dn} = \frac{60 \cdot 832}{1000} \cdot 7,85 = 392 \text{ [daN]} \quad (7.13a)$$

si greutatea tuturor diagonalelor:

$$G_{dn} = 16 \cdot 392 = 6272 \text{ [daN]} \quad (7.13b)$$

d) Greutatea totala a intregii structuri superioare.

$$G_{sn} = G_{n}^{I} + G_{n}^{II} + G_{mn} + G_{dn} = 19745 + 12856 + 2984 + 6272 = 41857 \text{ [daN]} \quad (7.14)$$

cu care se obtine si greutatea totala de calcul

$$G_{sc} = G_{sn} \cdot n = 41857 \cdot 1,1 = 46042 \text{ [daN]} \quad (7.15)$$

### 7.2.1.3. Greutatea infrastructurii turnului de sustinere.

Pentru calculul greutatii se aleg sectiunile barelor din teava.

a) Picioarele (stilpii) structurii de sustinere a turnului:

Se alege o teava de  $\phi 325 \times 30$  cu  $A=278 \text{ cm}^2$ .

Sectiunea unui picior este  $A_1 = 278 \text{ cm}^2$

$$G_{1p} = \frac{278 \cdot 3243}{1000} \cdot 7,85 = 7077 \text{ daN} \quad (7.16a)$$

$$G_p = 8 \cdot 7077 = 56616 \text{ [daN]} \quad (7.16b)$$

b) Montantii orizontali ai structurii de sustinere.

Se alege o teava cu  $\phi 168 \times 10$  cu  $A=49,6 \text{ cm}^2$ .

\* tronsonul 1, cu  $l=5710 \text{ mm}$  (lungimea montantilor)

$$G_{1m} = \frac{49,6 \cdot 571}{1000} \cdot 7,85 = 222 \text{ daN} \quad (7.17a)$$

$$G_m = 8 \cdot 222 = 1776 \text{ daN} \quad (7.17b)$$

\* tronsonul 2 - cu  $l=5330 \text{ mm}$

$$G_{1m} = \frac{49,6 \cdot 533}{1000} \cdot 7,85 = 208 \text{ daN} \quad (7.17c)$$

$$G_m = 8 \cdot 208 = 1664 \text{ daN} \quad (7.17d)$$

\* tronsonul 3 - cu  $l=4970$  mm

$$G_{1m} = \frac{49,6 \cdot 497}{1000} \cdot 7,85 = 194 \text{ daN} \quad (7.17e)$$

$$G_m = 8 \cdot 194 = 1552 \text{ daN} \quad (7.17f)$$

\* tronsonul 4 - cu  $l=4640$  mm

$$G_{1m} = \frac{49,6 \cdot 464}{1000} \cdot 7,85 = 181 \text{ daN} \quad (7.17g)$$

$$G_m = 8 \cdot 181 = 1448 \text{ daN} \quad (7.17h)$$

$$G_{mtot} = 1776 + 1664 + 1552 + 1448 = 6440 \text{ daN} \quad (7.17i)$$

c) Legaturile horizontale intre montanti.

Se alege o teava de  $\Phi 121 \times 4$  cu  $A=14,7 \text{ cm}^2$ .

\* tronsonul 1 - cu  $l=7460$  mm

$$G_{1L} = \frac{14,7 \cdot 746}{1000} \cdot 7,85 = 86 \text{ daN} \quad (7.18a)$$

$$G_L = 8 \cdot 86 = 688 \text{ daN} \quad (7.18b)$$

\* tronsonul 2 - cu  $l=6960$  mm

$$G_{1L} = \frac{14,7 \cdot 696}{1000} \cdot 7,85 = 80 \text{ daN} \quad (7.18c)$$

$$G_L = 8 \cdot 80 = 640 \text{ daN} \quad (7.18d)$$

\* tronsonul 3 - cu  $l=6500$  mm

$$G_{1L} = \frac{14,7 \cdot 650}{1000} \cdot 7,85 = 75 \text{ daN} \quad (7.18e)$$

$$G_L = 8 \cdot 75 = 600 \text{ daN} \quad (7.18f)$$

\* tronsonul 4 - cu  $l=6070$  mm

$$G_{1L} = \frac{14,7 \cdot 607}{1000} \cdot 7,85 = 70 \text{ daN} \quad (7.18g)$$

$$G_L = 8 \cdot 70 = 560 \text{ daN} \quad (7.18h)$$

$$G_{Ltot} = 688 + 640 + 600 + 560 = 2488 \text{ daN} \quad (7.18i)$$



d) Diagonalele de legatura in planul picioarelor:  
Se alege  $\phi 80$  cu  $A=50,3 \text{ cm}^2$ .

\* tronsonul 1 - cu  $l=9570 \text{ mm}$

$$G_{1D} = \frac{50,3 \cdot 957}{1000} \cdot 7,85 = 378 \text{ daN} \quad (7.19a)$$

$$G_D = 16 \cdot 378 = 6048 \text{ daN} \quad (7.19b)$$

\* tronsonul 2 - cu  $l=8930 \text{ mm}$

$$G_{1D} = \frac{50,3 \cdot 893}{1000} \cdot 7,85 = 353 \text{ daN} \quad (7.19c)$$

$$G_D = 16 \cdot 353 = 5648 \text{ daN} \quad (7.19d)$$

\* tronsonul 3 - cu  $l=8300 \text{ mm}$

$$G_{1D} = \frac{50,3 \cdot 830}{1000} \cdot 7,85 = 328 \text{ daN} \quad (7.19e)$$

$$G_D = 16 \cdot 328 = 5248 \text{ daN} \quad (7.19f)$$

\* tronsonul 4 - cu  $l=7700 \text{ mm}$

$$G_{1D} = \frac{50,3 \cdot 770}{1000} \cdot 7,85 = 304 \text{ daN} \quad (7.19g)$$

$$G_D = 16 \cdot 304 = 4864 \text{ daN} \quad (7.19h)$$

\* tronsonul 5 - cu  $l=6990 \text{ mm}$

$$G_{1D} = \frac{50,3 \cdot 699}{1000} \cdot 7,85 = 276 \text{ daN} \quad (7.19i)$$

$$G_D = 16 \cdot 276 = 4416 \text{ daN} \quad (7.19j)$$

Greutatea totala a diagonalelor este:

$$G_{Dtot} = 6048 + 5648 + 5248 + 4864 + 4416 = 26224 \text{ ldaN} \quad (7.19k)$$

e) Greutatea platbenzilor de intarire a picioarelor:

$$A = 4 \cdot 2,5 \cdot 22 = 220 \text{ cm}^2$$

Greutatea platbenzilor aferente unui picior, pe tronsoanele 1 si 2 :

$$G_{p1} = \frac{220 \cdot (752 + 702)}{1000} \cdot 7,85 = 2511 \text{ daN} \quad (7.20a)$$

$$G_{\text{pitot}} = 8 \cdot 2511 = 20088 \text{ ldaN} \quad (7.20b)$$

f) Greutatea totala a infrastructurii:

$$G_{\text{totn}} = G_p + G_m + G_L + G_D + G_{p1} = \\ = 56616 + 6440 + 2488 + 26224 + 20088 = 111856 \text{ ldaN} \quad (7.21)$$

$$G_{\text{totc}} = 111856 \cdot 1,1 = 123042 \text{ daN} \quad (7.22)$$

### 7.2.2. Incarcari cvasi-permanente [92].

In categoria incarcarii cvasi-permanente intra actiunea din presiunea apei pe peretii rezervorului in cazul umplerii complete a rezervorului.

#### 7.2.2.1. Incarcari din presiunea lichidului la umplerea completa a rezervorului.

Se calculeaza in primul rind actiunile aduse de rezervor din presiunea lichidului pe inelele de sustinere, sub forma celor trei actiuni  $V$ ,  $H$ ,  $M$ , si apoi greutatea apei inmagazinate.

a) Actiunile din presiunea lichidului pe inelele I si II.

$$\gamma_a = 1000 \text{ kg/mc}$$

$$\text{Inel I} \left\{ \begin{array}{l} v_n^I = 0,4960 \cdot \gamma_a \cdot R^2 = 0,4960 \cdot 1000 \cdot 8^2 = 31744 \text{ daN/m} \quad (7.23a) \\ H_n^I = 0,1329 \cdot \gamma_a \cdot R^2 = 0,1329 \cdot 1000 \cdot 8^2 = 8506 \text{ daN/m} \quad (7.23b) \\ M_n^I = 0,5134 \cdot \gamma_a \cdot R^2 \cdot d^I = 0,5134 \cdot 1000 \cdot 8^2 \cdot 0,305 = 10022 \text{ daN}\cdot\text{m/m} \quad (7.23c) \end{array} \right.$$

$$\text{Inel II} \left\{ \begin{array}{l} v_n^{II} = 0,2654 \cdot \gamma_a \cdot R^2 = 0,2654 \cdot 1000 \cdot 8^2 = 16986 \text{ daN/m} \quad (7.23d) \\ H_n^{II} = -0,2654 \cdot \gamma_a \cdot R^2 = -0,2654 \cdot 1000 \cdot 8^2 = -16986 \text{ daN/m} \quad (7.23e) \\ M_n^{II} = 0,3754 \cdot \gamma_a \cdot R^2 \cdot d^{II} = 0,3754 \cdot 1000 \cdot 8^2 \cdot 0,251 = 6031 \text{ daN}\cdot\text{m/m} \quad (7.23f) \end{array} \right.$$

Cu acestea se calculeaza incarcari de calcul:

$$\text{Inel I} \left\{ \begin{array}{l} v_C^I = 31744 \cdot 1,2 = 38093 \text{ daN/m} \quad (7.24a) \\ H_C^I = 8506 \cdot 1,2 = 10207 \text{ daN/m} \quad (7.24b) \\ M_C^I = 10022 \cdot 1,2 = 12026 \text{ daN}\cdot\text{m/m} \quad (7.24c) \end{array} \right.$$

$$\text{Inel II} \left\{ \begin{array}{l} v_C^{II} = 16986 \cdot 1,2 = 20383 \text{ daN/m} \quad (7.24d) \\ H_C^{II} = -16986 \cdot 1,2 = -20383 \text{ daN/m} \quad (7.24e) \\ M_C^{II} = 6031 \cdot 1,2 = 7237 \text{ daN}\cdot\text{m/m} \quad (7.24f) \end{array} \right.$$

b) Greutatea apei continuta in rezervor.

Greutatea totala a apei inmagazinata in rezervor se poate calcula cu relatia:

$$G_a = V_a \cdot \gamma_a \quad (7.25)$$

unde:  $V_a$  - volumul de apa inmagazinat care rezulta din:

$$V_a = \frac{4 \cdot \pi \cdot R_i^3}{3} = \frac{4 \cdot \pi \cdot 7,99^3}{3} = 2136,6 \text{ mc} \quad (7.26)$$

$\gamma_a^*$  - densitatea apei:

$$\gamma_a^* = 1000 \text{ kg/mc}$$

cu care se obtine:

$$G_{an} = 2136,6 \cdot 1000 = 2136600 \text{ daN} \quad (7.27)$$

si greutatea de calcul:

$$G_{ac} = 2136600 \cdot 1,2 = 2563920 \text{ daN} \quad (7.28)$$

#### 7.2.2.4. Greutatea echipamentelor si dispozitivelor cu pozitie fixa pe rezervor.

Aceasta incarcare se refera la greutatea platformelor pasarelelor si scarilor de acces la acestea, care sint montate pe rezervor.

Valoarea acestor incarcari se ia din tabelul 31.2 din cursul de Constructii metalice al prof. C.Dalban si altii [14][93], care are valoarea maxima:

$$g_{en} = 80 \text{ daN/m}^2 \quad (7.29)$$

$$g_{ec} = 80 \cdot 1,2 = 96 \text{ daN/m}^2 \quad (7.30)$$

#### 7.2.3. Incarcari variabile.

Incarcarile variabile, care actioneaza temporar asupra castelului de apa, cuprind mai multe incarcari, ale caror valori sint urmatoarele:

##### 7.2.3.1. Incarcari cu oameni, unelte si materiale pentru intretinerea castelului de apa.

Valoarea acestor incarcari se ia din tabelul 31.2 din cursul prpt.C.Dalban [14][93].

$$g_{o,un} = 100 \text{ daN/m}^2 \quad (7.31)$$

$$g_{o,uc} = 100 \cdot 1,4 = 140 \text{ daN/m}^2 \quad (7.32)$$

##### 7.2.3.2. Incarcari distribuite in lungul balustradelor.

Se iau din acelasi tabel 31.2 din cursul prof.C.Dalban [14].

$$p_{bn} = 100 \text{ daN/m} \quad (7.33)$$

$$p_{bc} = 100 \cdot 1,2 = 120 \text{ daN/m} \quad (7.34)$$

##### 7.2.3.3. Incarcarea din actiunea vintului [94].

Incarcarea din actiunea vintului se calculeaza separat pe rezervor si separat pe structura de sustinere.

a) Incarcarea din vint pe rezervor.

Pe baza indicatiilor de la paragraful 5.6.1 punctul 'c', rezultanta presiunii vîntului pe rezervor are valoarea:  
 $P_{vN} = 0,4859 \cdot p_{vN} \cdot R^2 = 0,4859 \cdot 100 \cdot 8^2 = 3110 \text{ daN}$  (7.35)

rezultanta care se repartizeaza la cele doua inele pe baza relatiilor (5.223) astfel (fig.7.5):

$$P_v^I = 3110 \cdot \frac{2,732}{1,0+2,732} = 2277 \text{ daN} \quad (7.36a)$$

$$P_v^{II} = 3110 \cdot \frac{1,0}{1,0+2,732} = 833 \text{ daN} \quad (7.36b)$$

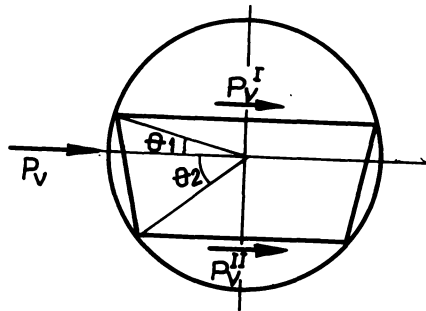


FIG.7.5 Repartizarea rezultantei vîntului

Fortele orizontale si verticale provenite din nedeterminarea intervalului 2 sînt foarte mici si pot fi neglijate.

Fortele din vînt repartizate pe circumferinta inelelor (fig.7.6) au valorile:

$$r_v^I = 0,0921 \cdot p_{vN} \cdot R = 0,0921 \cdot 100 \cdot 8 = 74 \text{ daN/m} \quad (7.37a)$$

$$r_v^{II} = 0,0460 \cdot p_{vN} \cdot R = 0,0460 \cdot 100 \cdot 8 = 37 \text{ daN/m} \quad (7.37b)$$

Se pot calcula si fortele de calcul, care au valorile:

$$P_{vC} = 100 \cdot 1,2 = 120 \text{ daN/m}^2 \quad (7.38a)$$

$$P_{vC} = 3110 \cdot 1,2 = 3732 \text{ daN} \quad (7.38b)$$

$$P_v^I = 2277 \cdot 1,2 = 2733 \text{ daN} \quad (7.38c)$$

$$P_v^{II} = 833 \cdot 1,2 = 1000 \text{ daN} \quad (7.38d)$$

$$r_v^I = 74 \cdot 1,2 = 90 \text{ daN/m} \quad (7.38e)$$

$$r_v^{II} = 37 \cdot 1,2 = 45 \text{ daN/m} \quad (7.38f)$$

Fortele repartizate pe circumferinta inelelor actioneaza ca in figura 7.6:

d) incarcarea din vint pe structura turnului de sustinere a rezervorului de apa.

Actiunea vintului asupra structurii turnului de sustinere al rezervorului, se determina in baza prevederilor standardului in vigoare STAS 10101/20-90.

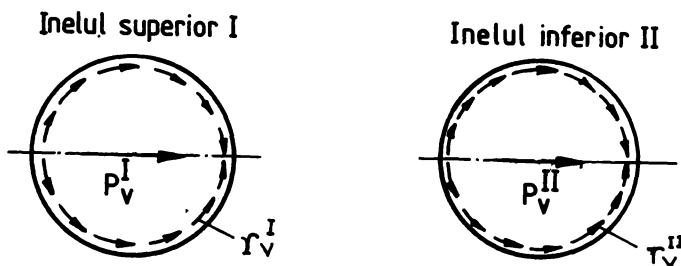


FIG.7.6 Repartizarea vintului pe mantaua rezervor

In conformitate cu punctele 2.3 si 2.8 din STAS, pentru constructiile de tip turn, cum este turnul de sustinere al rezervorului, actiunea vintului se calculeaza sub forma unei rezultante, normale pe suprafata expusa vintului, care se determina cu relatia (4) din STAS:

$$P_{tn} = B \cdot c_t \cdot c_s \cdot c_h(h_{med}) \cdot g_v \cdot A_t \quad (7.39)$$

in care:  $B$  - coeficient de rafala,  
 $c_t$  - coeficient aerodinamic al rezultantei,  
 $c_h(h_{med})$  - coeficient aerodinamic ce tine seama de inaltimea structurii,  
 $g_v$  - presiunea dinamica de baza din vint,  
 $A_t$  - aria totala expusa vintului.

b1) Calculul coeficientului dinamic  $B$ .

Se calculeaza conform punctului 2.14 din STAS si este calculat in capitolul 5 la paragraful 5.6.1.3 punctul 'b'.

b2) Calculul coeficientului presiunii pe structura de sustinere -  $c_t$ .

Coeficientul aerodinamic  $c_{ts}$  al rezultantei presiunilor se calculeaza conform punctului 2.8 din STAS, pentru structura spatiala din tabelul 4, sub forma:

$$c_{ts} = c_{t_f} \cdot (1 + \gamma) \quad (7.40)$$

in care coeficientul  $c_{t_f}$  se calculeaza cu relatia:

$$c_{t_f} = c_t \cdot \varphi \quad (7.41)$$

unde coeficientul  $c_t$  se ia din graficul de la punctul 2.8.1, tabelul 4, in functie de numarul lui Reynolds.

$$Re = \frac{40 \cdot d \cdot \sqrt{(\delta_f \cdot g_v)}}{\nu} \quad (7.42)$$

unde:  $d$  - diametrul mediu al constructiei de sustinere

$$d = \frac{16 + 10,5}{2} = 13,25 \text{ m} \quad (7.43)$$

$\gamma_f$  - coeficient partial de siguranta  $\gamma_f = 2,0$   
 $E_v$  - presiunea dinamica de baza ( $\text{KN/m}^2$ ) care se determina cu relatia:

$$E_v = \frac{V_{2m}^2}{1630} = \frac{22^2}{1630} = 0,3 \text{ [KN/m}^2\text{]} \quad (7.44)$$

in care s-a considerat viteza

$$V_{2m} = 80 \text{ km/h} = 22 \text{ m/s}$$

$\nu$  - viscozitatea cinematica a aerului (la  $15^\circ\text{C}$  si presiunea atmosferica de 760 mm coloana de mercur)

$$\nu = 0,145 \cdot 10^{-4} \text{ (m}^2\text{/s)}$$

Cu acestea rezulta numarul lui Reynolds:

$$Re = \frac{40 \cdot 13,25 \cdot \sqrt{(2 \cdot 0,3)}}{0,145 \cdot 10^{-4}} = 2,8 \cdot 10^7 > 4 \cdot 10^5$$

pentru raportul

$$\frac{Re}{10^5} = \frac{2,8 \cdot 10^7}{10^5} = 280 > 50$$

rezulta din graficul dat in tabelul 4:

Coeficientul  $\varphi$  este coeficientul de umplere a suprafetei cu plinurile formate din barele structurii si se poate lua:

$$\varphi = \frac{E_{s1}}{S} \approx 0,2 \quad (7.45)$$

unde:  $E_{s1}$  - suprafata proiectiei elementelor pline ale structurii cu zabrele pe planul ei;  
 $S$  - suprafata conturului structurii.

Cu valoarea lui  $\varphi$  se obtine:

$$ct_f = ct \cdot \varphi = 0,65 \cdot 0,2 = 0,13$$

Coeficientul  $\eta = 0,95$  pentru structuri cu zabrele din tevi si pentru  $Re > 4 \cdot 10^5$ , cu care se obtine  $ct_s$ :

$$ct_s = ct_f \cdot (1 + \eta) = 0,13 \cdot (1 + 0,95) = 0,254$$

Coeficientul  $C_{h(hmed)}$ , care tine seama de inaltimea structurii, se determina cu relatia:

$$C_{h(hmed)} = 0,65 \cdot \left[ \frac{h_{med}}{10} \right]^{0,44} = 0,65 \cdot \left[ \frac{15}{10} \right]^{0,44} = 0,78 \quad (7.46)$$

Aria totala  $A_t$  a proiectiei structurii pe plan perpendicular directiei vintului, aferenta rezultantei considerate, se calculeaza cu diametrul mediu:

$$A_t = d \cdot h = 13,25 \cdot 30 = 398 \text{ m}^2 \quad (7.47)$$

Cu acestea se calculeaza rezultanta presiunilor din relatia (7.39)

$$P_{tn} = \beta \cdot c_t \cdot s \cdot C_h(h_{med}) \cdot \gamma_v \cdot A_L = 2,58 \cdot 0,254 \cdot 0,78 \cdot 30 \cdot 398$$

$$P_{tn} = 6103 \text{ daN}$$

Se poate determina si presiunea pe ml de inaltime:

$$P_{tn} = \frac{P_{tn}}{d_{med}} = \frac{6103}{13,25} = 461 \text{ daN/m} \quad (7.48)$$

Componenta tangentiala la suprafata expusa:

$$P_{fn} = \beta \cdot c_f \cdot C_h(h_{med}) \cdot \gamma_v \quad (7.49)$$

unde  $c_f = 0,025$  coeficient de frecare.

$$P_{fn} = 2,58 \cdot 0,025 \cdot 0,78 \cdot 30 = 1,5 \text{ daN/m}^2$$

care se poate neglija.

#### 7.2.3.4. Incarcari din actiunea seismica.

Incarcarile din actiunea seismica se determina conform normativului P100-91 pentru proiectarea antisismica a constructiilor.

Incarcarile seismice horizontale se determina pentru fiecare mod de vibratie proprie si se calculeaza cu relatia (5.1) din normativul P100-91 [68]:

$$S_p = c_p \cdot G \quad (7.50)$$

unde coeficientul  $c_p$  se determina cu relatia:

$$c_p = \alpha \cdot K_s \cdot \beta_r \cdot \psi \cdot \epsilon_r \quad (7.51)$$

in care:  $\alpha$  - este un coeficient care tine seama de importanta constructiei, care se ia din tabelul 5.1 in functie de clasa I de importanta:

$$\alpha = 1,4$$

$K_s$  - este un coeficient functie de zona seismica de calcul si care se scoate din tabelul 5.3 pentru zona E:

$$K_s = 0,12$$

$\beta_r$  - coeficient de amplificare dinamica, care se determina conform punctului 5.3.3 din normativ, in functie de perioada de vibratie

$$T_r = 1,03 \text{ s}$$

si

$$T_c = 1,0 \text{ s}$$

(conform diagramei din figura 7.7)

$$\beta_r = 1,875$$

$\psi$  - este coeficientul de reducere a efectelor actiunii seismice datorita ductilitatii structurii si se determina conform punctului 5.3.6 si se scoate din tabelul 5.4 pentru structuri metalice cu zabrele:

$$\psi = 0,65$$

$\epsilon_r$  - este coeficientul de echivalenta care se determina conform punctului 5.3.7 si care a fost calculat pe

calculator fiind egala cu:

$$\varepsilon_r = \frac{\sum_{k=1}^n (G_k \cdot U_{kr})^2}{G \cdot \sum_{k=1}^n G_k \cdot U_{kr}^2} = 0,987 \text{ (din listing)}$$

Cu aceste valori rezulta coeficientul  $c_p$  din relatia (7.51):

$$c_p = \alpha \cdot K_s \cdot B_r \cdot \Psi \cdot \varepsilon_r = 1,4 \cdot 0,12 \cdot 1,875 \cdot 0,65 \cdot 0,987 = 0,202$$

Cu acest coeficient se obtine forta orizontala din actiunea seismica, daca se stabileste greutatea proprie a constructiei.

La calculul fortei seismice  $S_p$  se va lua greutatea urmatoarelor elemente ale constructiei:

- \* greutatea rezervorului.
- \* greutatea constructiei interioare de sustinere.
- \* greutatea apei din interior.
- \* greutatea infrastructurii.

$$G_T = G_r + G_{ci} + G_a + G_i = 69361 + 46042 + 2563920 + 123042 = 2.802.365 \text{ daN} \quad (7.52)$$

Fora seismica are valoarea:

$$S_p = c_p \cdot G = 0,202 \cdot 2802365 = 566078 \text{ daN}$$

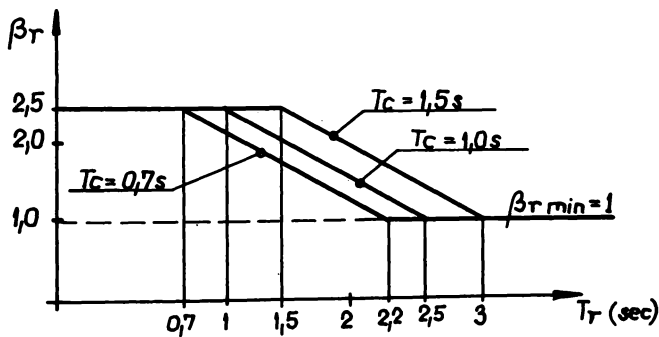


FIG. 7.7 Variația lui  $\beta_r$  funcție de  $T$  (sec)

### 7.3. CALCULUL INCARCĂRILOR CONCENTRATE PE INELUL SUPERIOR I

Inelul superior reazema în 16 noduri pe diagonalele și montanții care îl leaga de inelul interior (fig. 7.8), cu care formează structura interioară de susținere.



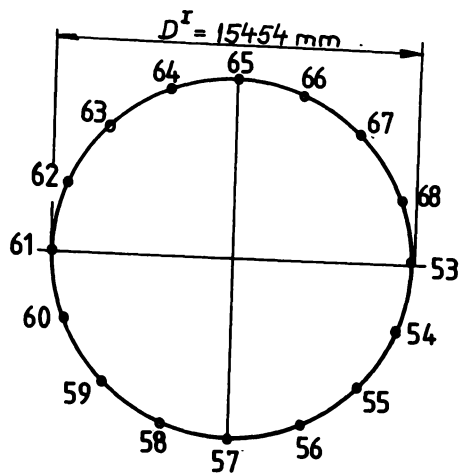


FIG.7.8 Numerotarea nodurilor inelului superior

Numerotarea nodurilor inscrise pe figura 7.8 este cea facuta din numerotarea nodurilor pentru intreaga structura, asa cum a fost introdusa in calculator.

Pentru a calcula fortele concentrate in noduri este necesar sa se calculeze lungimea aferenta unui nod din inelul superior.

7.3.1. Calculul lungimii aferente unui nod.

Lungimea totala a inelului este:

$$L^I = \pi \cdot D^I = 3,14 \cdot 15454 = 48550 \text{ mm} \quad (7.53a)$$

iar lungimea aferenta unui nod este :

$$L_1^I = \frac{L^I}{16} = \frac{48550}{16} = 3034 \text{ mm} \quad (7.53b)$$

Cu aceasta se pot calcula fortele concentrate din nodurile inelului superior din fiecare incarcare.

7.3.2. Calculul fortelor concentrate din incarcari permanente.

Fortele concentrate se pot calcula cu relatia:

$$P_i = p_i (\text{daN/m}) \cdot L_1^I (\text{m}) \quad [\text{daN}] \quad (7.54)$$

Aceste incarcari se introduc in calculator ca incarcari normale si se introduce, in plus, coeficientul de incarcare  $n = 1,1$ .

din greutatea proprie a rezervorului.

Încărcările concentrate din greutatea rezervorului se exprimă prin cele trei componente, dirijate după axa y verticală a structurii și după axele x și z din planul orizontal al structurii (fig. 7.9).

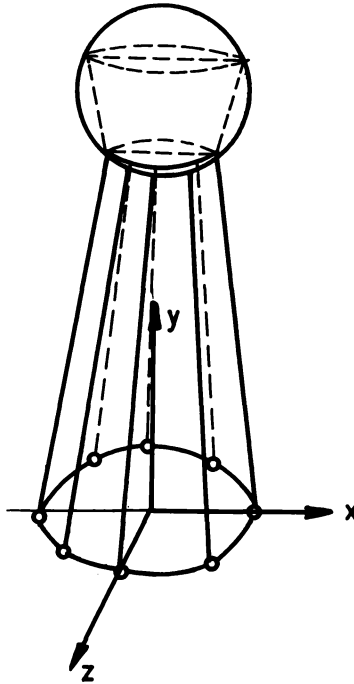


FIG. 7.9 Schema axelor

Componentele verticale  $P_y$  din greutatea rezervorului. Aceste componente se calculează cu relația:

$$P_{yi} = v_n^i \cdot L_i \quad (7.55)$$

unde  $v_n^i = 953 \text{ daN/m}$ .

$$P_{y53} \dots P_{y68} = -953 \text{ daN/m} \cdot 3,034 \text{ m} = -2891 \text{ daN}$$

Componentele orizontale  $P_x$  și  $P_z$  din greutatea rezervorului.

Componentele orizontale  $H_n^i$  calculate la 7.2.1.1a și egale  $H_n^i = 256 \text{ daN/m}$  se descompun după axele x și z conform cu figura 7.10.

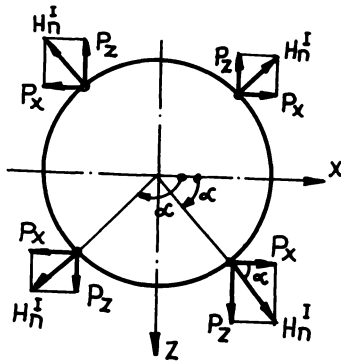


FIG.7.10 Elemente privind calculul componentelor  $P_x$  și  $P_z$

Cele doua componente se determina cu relatiile:

$$P_x^I = H_n^I \cdot L_1 \cdot \cos \alpha \quad (7.56a)$$

$$P_z^I = H_n^I \cdot L_1 \cdot \sin \alpha \quad (7.56b)$$

cù

$$H_n^I = 256 \text{ daN/m}$$

$$L_1 = 3.034 \text{ m}$$

si rezulta valorile din tabelul 7.1 pentru nodurile din figura 7.8, calculind anterior

$$P^I = H_n^I \cdot L_1 = 256 \cdot 3.034 = 777 \text{ daN} \quad (7.57)$$

Tabelul 7.1.

Nodul	$\alpha^\circ$	$P_x^I = P^I \cos \alpha$	$P_z^I = P^I \sin \alpha$
53	0°	+777	0
54	22,5°	+718	+297
55	45°	+549	+549
56	67,5°	+297	+718
57	90°	0	+777
58	112,5°	-297	+718
59	135°	-549	+549
60	157,5°	-718	+297
61	180°	-777	0
62	202,5°	-718	-297
63	225°	-549	-549
64	247,5°	-297	-718
65	270°	0	-777
66	292,5°	+297	-718
67	315°	+549	-549
68	337,5°	+718	-297

c) Componentele momentului distribuit pe inel.  
Din acest moment distribuit pe inel si egal cu

$M_n^I = 301 \text{ daNm/m}$   
se calculeaza momentul concentrat aferent unui nod:

$$M^I = M_n^I \cdot L_1 = 301 \cdot 3,034 = 913 \text{ daNm} \quad (7.58)$$

din care se determina, conform figurii 7.11, componentele  $M_x$  si  $M_z$  egale cu valorile trecute in tabelul 7.2.

$$M_x^I = M^I \cdot \sin \alpha \quad (7.59a)$$

$$M_z^I = -M^I \cdot \cos \alpha \quad (7.59b)$$

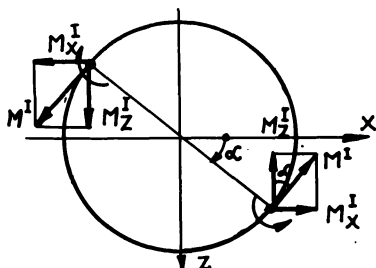


FIG.7.11 Elemente pentru calculul componentelor  $M_x$  și  $M_z$

Tabelul 7.2.

Nodul	$\alpha^\circ$	$M_x^I = M^I \sin \alpha$	$M_z^I = -M^I \cos \alpha$
53	0°	0	-913
54	22,5°	+349	-844
55	45°	+646	-646
56	67,5°	+844	-349
57	90°	+913	0
58	112,5°	+844	+349
59	135°	+646	+646
60	157,5°	+349	+844
61	180°	0	+913
62	202,5°	-349	+844
63	225°	-646	+646
64	247,5°	-844	+349
65	270°	-913	0
66	292,5°	-844	-349
67	315°	-646	-646
68	337,5°	-349	-844

7.3.2.2. Incarcari concentrate in nodurile inelului superior din greutatea sa proprie.

Greutatea proprie a inelului superior fiind o incarcare gravitacionala produce doar componente  $P_y$  egale cu:

$P_{y53} \dots P_{y68} = -g_n^I \cdot L_1 = -407 \cdot 3,034 = -1235 \text{ daN}$  (7.60)  
 aceste încărcări fiind încărcări normate, iar coeficientul de încărcare ce se introduce în calculator este  $n=1,1$ .

**7.3.2.3. Încărcări concentrate în nodurile inelului superior din greutatea diagonalelor și montanților de legătură între inele.**

Greutatea diagonalelor și montanților s-a considerat ca se repartizează jumătate la inelul superior, jumătate la cel inferior (fig.7.12) astfel:

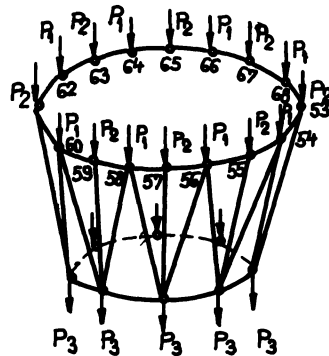


FIG. 7.12 Elemente pentru calculul încărcărilor concentrate

$$P_{1y54} = P_{1y56} = P_{1y58} = P_{1y60} = P_{1y62} = P_{1y64} = P_{1y66} = P_{1y68} = \frac{-2 \cdot G_d}{2} = -G_d = -377 \text{ daN} \quad (7.61a)$$

$$P_{2y53} = P_{2y55} = P_{2y57} = P_{2y59} = P_{2y61} = P_{2y63} = P_{2y65} = P_{2y67} = \frac{-G_m}{2} = \frac{-368}{2} = -184 \text{ daN} \quad (7.61b)$$

**7.3.3. Calculul tortelor concentrate din încărcări cvasipermanente**

În același mod se calculează forțele concentrate în nodurile inelului superior din încărcări cvasipermanente ca și la încărcările permanente, ținând cont și de figurile 7.8 ... 7.12.

**7.3.3.1. Încărcări concentrate în noduri din presiunea lichidului pe peretii rezervorului.**

a) Componente verticale.

$$P_{y53} \dots P_{y68} = V_n^I \cdot L_1 = -31744 \cdot 3,034 = -96311 \text{ daN} \quad (7.62)$$

La toate componentele verticale și orizontale coeficientul

de incarcare n se ia de valoare 1,2.

b) Componentele orizontale  $P_x$  si  $P_z$ .

Componentele orizontale  $P_x$  si  $P_z$  se calculeaza cu relatiile:

$$P_x^I = H_n^I \cdot L_1 \cdot \cos \alpha \quad (7.63a)$$

$$P_z^I = H_n^I \cdot L_1 \cdot \sin \alpha \quad (7.63b)$$

in care:

$$H_n^I = 8506 \text{ daN/m}$$

$$L_1 = 3,034 \text{ m}$$

rezultind:

$$P^I = H_n^I \cdot L_1 = 8506 \cdot 3,034 = 25807 \text{ daN} \quad (7.64)$$

si valorile din tabelul 7.3.

Tabelul 7.3.

Nodul	$\alpha^\circ$	$P_x^I = P^I \cos \alpha$	$P_z^I = P^I \sin \alpha$
53	0°	+25807	0
54	22,5°	+23843	+9876
55	45°	+18248	+18248
56	67,5°	+9876	+23843
57	90°	0	+25807
58	112,5°	-9876	+23843
59	135°	-18248	+18248
60	157,5°	-23843	+9876
61	180°	-25807	0
62	202,5°	-23843	-9876
63	225°	-18248	-18248
64	247,5°	-9876	-23843
65	270°	0	-25807
66	292,5°	+9876	-23843
67	315°	+18248	-18248
68	337,5°	+23843	-9876

c) Componentele momentelor  $M_n^I$ .

Componentele momentelor din greutatea lichidului se calculeaza cu relatiile:

$$M_x^I = M_n^I \cdot L_1 \cdot \sin \alpha = M^I \cdot \sin \alpha \quad (7.65a)$$

$$M_z^I = -M_n^I \cdot L_1 \cdot \cos \alpha = -M^I \cdot \cos \alpha \quad (7.65b)$$

unde:

$$M_n^I = 10022 \text{ daN}\cdot\text{m/m}$$

$$L_1 = 3,034 \text{ m}$$

cu care rezulta:

$$M^I = M_n^I \cdot L_1 = 10022 \cdot 3,034 = 30407 \text{ daN}\cdot\text{m/m} \quad (7.66)$$

cu care se pot calcula valorile componentelor momentelor in nodurile inelului superior care au valorile cuprinse in tabelul 7.4.

7.3.3.2. Incarcari concentrate in noduri din greutatea echipamentelor si dispozitivelor cu pozitie fixa.

Pentru a determina aceste incarcari se considera ca acestea

se transmit numai la inelul superior, deoarece pasarele si balustrada se monteaza la nivelul inelului superior. Pentru a le determina se calculeaza suprafata aterenta unui nod din stera (fig. 7.13).

$$A_1 = \frac{A_{51}}{16} = \frac{4\pi R^2}{16} = \frac{\pi R^2}{4} = \frac{\pi \cdot 8^2}{4} = 16 \cdot \pi = 50,24 \text{ m}^2 \quad (7.67)$$

Tabelul 7.4.

Nodul	$\alpha^\circ$	$M_x^I = M^I \sin \alpha$	$M_z^I = -M^I \cos \alpha$
53	0°	0	-30407
54	22,5°	+11636	-28092
55	45°	+21501	-21501
56	67,5°	+28092	-11636
57	90°	+30407	0
58	112,5°	+28092	+11636
59	135°	+21501	+21501
60	157,5°	+11636	+28092
61	180°	0	+30407
62	202,5°	-11636	+28092
63	225°	-21501	+21501
64	247,5°	-28092	+11636
65	270°	-30407	0
66	292,5°	-28092	-11636
67	315°	-21501	-21501
68	337,5°	-11636	-28092

$$P_y = -A_1 \cdot g = -50,24 \cdot 80 = -4021 \text{ daN} \quad (7.68)$$

$$g = 80 \text{ daN/m}^2$$

deci componentele vor fi:

$$P_{y53} \dots P_{y68} = -4021 \text{ daN}$$

La aceste incarcari, coeficientul de incarcare n se ia de 1,2.

#### 7.3.4. Calculul tortelor concentrate din incarcari variabile.

##### 7.3.4.1. Incarcari concentrate in noduri din incarcarea cu oameni, unelte si materiale pentru intretinere si incarcările distribuite ce actioneaza in lungul balustradei.

Aceste incarcari se iau in calcul ca in figura 7.13.

Incarcarile verticale "g" pe pasarela de circulatie din actiunea oamenilor si a uneltelor de intretinere actioneaza pe toata latimea pasarelei si au valoarea

$$g = 100 \text{ daN/m}^2$$

Incarcarea orizontala p pe balustrada se considera distribuita pe ml de balustrada si avind valoarea:

$$p = 100 \text{ daN/m}$$

In punctul de prindere a pasarelei de rezervor iau nastere conform figurii 7.13 eforturile  $P_y$ , H si M.

a) Calculul componentei verticale  $P_y$ .

Componenta verticala provine din incarcarea verticala g de

pe pasarele:

$$P_{y53} \dots P_{y68} = -1,0 \cdot 1,0 \cdot g \cdot L_1 \quad (7.69)$$

$$P_{y53} \dots P_{y68} = -1,0 \cdot 1,0 \cdot 100 \cdot 3,034 = -303 \text{ daN}$$

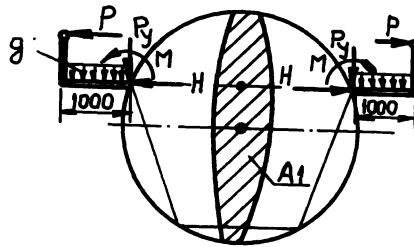


FIG. 7.13 Încărcări pe pasarele și balustrade

Coefficientul de incarcare se ia de  $n=1,4$ .

b) Calculul componentelor orizontale  $P_x$  și  $P_z$ .

Se calculeaza mai intii forta radiala orizontala atarenta unui nod:

$$H = p \cdot L_1 = 100 \cdot 3,034 = 303 \text{ daN} \quad (7.70)$$

Aceasta se descompune in cele doua componente:

$$P_x = H \cdot \cos \alpha \quad (7.71a)$$

$$P_z = H \cdot \sin \alpha \quad (7.71b)$$

a caror valoare este data in tabelul 7.5, iar  $n=1,2$ .

Tabelul 7.5.

Nodul	$\alpha^\circ$	$P_x = H \cdot \cos \alpha$	$P_z = H \cdot \sin \alpha$
53	0°	+303	0
54	22,5°	+280	+116
55	45°	+214	+214
56	67,5°	+116	+280
57	90°	0	+303
58	112,5°	-116	+280
59	135°	-214	+214
60	157,5°	-280	+116
61	180°	-303	0
62	202,5°	-280	-116
63	225°	-214	-214
64	247,5°	-116	-280
65	270°	0	-303
66	292,5°	+116	-280
67	315°	+214	-214
68	337,5°	+280	-116

c) Calculul componentelor momentelor  $M$ .

Momentul produs de forta de pe platforma de circulatie are valoarea:

$$M = g \cdot 1 \cdot 0,5 \cdot L_1 = 100 \cdot 1 \cdot 0,5 \cdot 3,034 = 152 \text{ daNm} \quad (7.72)$$

Componentele momentului se calculeaza cu relatiile:

$$M_x = M \cdot \sin \alpha \quad (7.73a)$$

$$M_z = -M \cdot \cos \alpha \quad (7.73b)$$



Valorile componentelor momentelor sînt inscrite in tabelul 7.6. Pentru aceste componente coeficientul de incarcare are valoarea  $n=1,4$ .

Tabelul 7.6.

Nodul	$\alpha^\circ$	$M_x = M \cdot \sin \alpha$	$M_z = -M \cdot \cos \alpha$
53	0°	0	-152
54	22,5°	+58	-140
55	45°	+107	-107
56	67,5°	+140	-58
57	90°	+152	0
58	112,5°	+140	+58
59	135°	+107	+107
60	157,5°	+58	+140
61	180°	0	+152
62	202,5°	-58	+140
63	225°	-107	+107
64	247,5°	-140	+58
65	270°	-152	0
66	292,5°	-140	-58
67	315°	-107	-107
68	337,5°	-58	-140

7.3.4.2. Incarcari concentrate in noduri din actiunea vîntului.

Fortele concentrate din nodurile inelului superior se calculeaza din incarcările  $r_v^I = 74 \text{ daN/m}$  distribuite pe circumferinta inelului care sînt dispuse ca in figura 7.14.

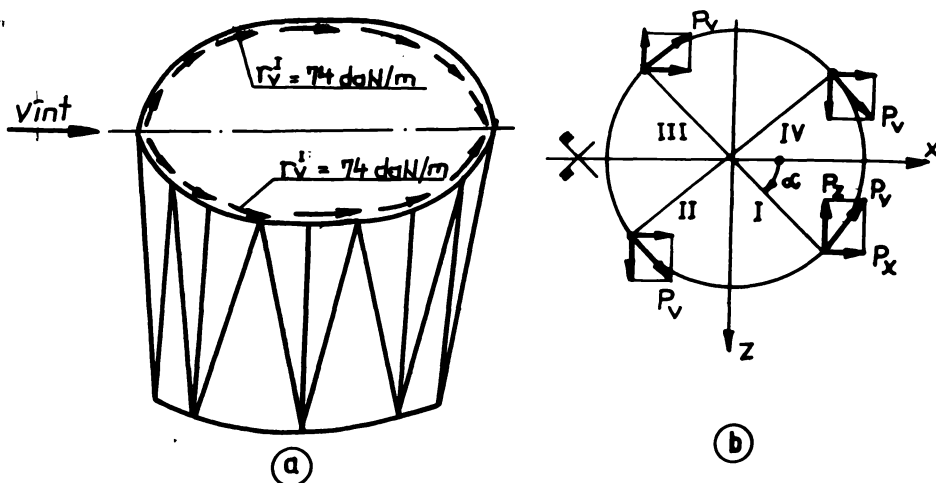


FIG. 7.14 Elemente pentru calculul componentelor vîntului

Datorita faptului ca incarcările  $r_v^I$  au directii diferite in cadranele I si II, respectiv III si IV, ca la scurgerea unui fluid (fig.7.14a), componentele fortelor din vint vor avea semne diferite in aceste cadrane asa cum se vede in (fig.7.14b).

Forța concentrata din vint, ațerenta unui nod al inelului superior are ȳaloarea:

$$P_v = r_v^I \cdot L_1 = 74 \cdot 3,034 = 225 \text{ daN} \quad (7.74)$$

Componentele pe cadranele I si II (fig.7.14b) se calculeaza cu relatiile:

$$P_x = P_v^I \cdot \sin \alpha \quad (7.75a)$$

$$P_z = -P_v^I \cdot \cos \alpha \quad (7.75b)$$

Componentele pe cadranele III si IV (fig.7.14b) au valorile:

$$P_x = -P_v^I \cdot \sin \alpha \quad (7.76a)$$

$$P_z = P_v^I \cdot \cos \alpha \quad (7.76b)$$

In aceste conditii in nodurile 53 si 61 vor exista doua componente spre cadranele I, II respectiv III, IV.

ȳaloarea componentelor din vint este cea inșcrisa in tabelul 7.7.

Tabelul 7.7.

Nodul	$\alpha^\circ$	$P_x = P_v^I \cdot \sin \alpha; P_x = -P_v^I \cdot \sin \alpha$	$P_z = -P_v^I \cdot \cos \alpha; P_z = P_v^I \cdot \cos \alpha$
53I	0°	0	-225
54	22,5°	+86	-208
55	45°	+159	-159
56	67,5°	+208	-86
57	90°	+225	0
58	112,5°	+208	+86
59	135°	+159	+159
60	157,5°	+86	+208
61II	180°	0	+225
61III	180°	0	-225
62	202,5°	+86	-208
63	225°	+159	-159
64	247,5°	+208	-86
65	270°	+225	0
66	292,5°	+208	+86
67	315°	+159	+159
68	337,5°	+86	+208
53IV	360°	0	+225

#### 7.4. CALCULUL INCARCARILOR CONCENTRATE PE INELUL INFERIOR II

Inelul inferior este legat prin diagonale si montanti de inelul superior in 8 puncte (fig.7.15), formind structura interioara de sustinere.

Numerotarea acestor noduri este cea din figura 7.15 si ea corespunde numerotarii de pe intreaga structura asa cum a fost

introdusa pe calculator.

Pentru calculul fortelor concentrate se determina in prealabil lungimea aferenta unui nod  $L_1^{II}$ .

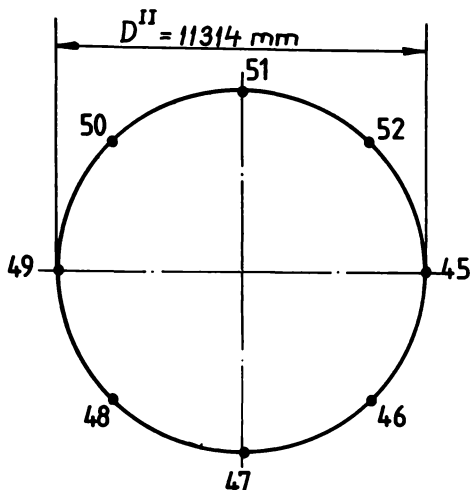


FIG. 7.15 Numerotarea nodurilor inelului inferior

7.4.1. Calculul lungimii aferente unui nod.

Lungimea totală a inelului este:

$$L^{II} = \pi \cdot D^{II} = 3,14 \cdot 11314 = 35544 \text{ mm} \quad (7.77a)$$

iar lungimea aferenta unui nod este :

$$L_1^{II} = \frac{L^{II}}{8} = \frac{35544}{8} = 4443 \text{ mm} \quad (7.77b)$$

Că aceasta lungime se determina fortile concentrate.

7.4.2. Calculul fortelor concentrate din incarcari permanente.

incarcările permanente provenite din greutatea proprie a elementelor - rezervor și structura de sustinere - actioneaza sub forma componentelor fortelor și a momentelor ce actioneaza pe inel.

7.4.2.1. Incarcari concentrate in nodurile inelului din greutatea proprie a rezervorului.

Aceste incarcari provin din componentele  $v^{II}$ ,  $H^{II}$  și  $M^{II}$  calculate la paragraful 7.2.1.1.

$$v_n^{II} = 510 \text{ daN/m}$$

$$H_n^{II} = -510 \text{ daN/m}$$

$$M_n^{II} = 181 \text{ daN}\cdot\text{m/m}$$

Sensul acestora se ia conform figurii 7.2.

a) Componentele verticale a incarcarii concentrate.

$$P_{y45} \dots P_{yb2} = -v_n^{II} \cdot L_1^{II} = -510 \cdot 4,443 = -2266 \text{ daN} \quad (7.78)$$

Coefficientul de incarcare este :

$$n = 1,1$$

b) Componentele orizontale  $P_x$  si  $P_z$  provenite din  $H_n^{II}$ .

Incarcarea distribuita  $H_n^{II}$  se descompune in doua componente  $P_x$  si  $P_z$ :

$$P_x = P^{II} \cdot \cos \alpha \quad (7.79a)$$

$$P_z = P^{II} \cdot \sin \alpha \quad (7.79b)$$

cu

$$P^{II} = H_n^{II} \cdot L_1^{II} = -510 \cdot 4,443 = -2266 \text{ daN} \quad (7.80)$$

Valorile acestor componente sint date in tabelul 7.8, iar

$n=1,1$ .

Tabelul 7.8.

Nodul	$\alpha^\circ$	$P_x = P^{II} \cos \alpha$	$P_z = P^{II} \sin \alpha$
45	0°	-2266	0
46	45°	-1602	-1602
47	90°	0	-2266
48	135°	+1602	-1602
49	180°	+2266	0
50	225°	+1602	+1602
51	270°	0	+2266
52	315°	-1602	+1602

c) Componentele momentelor  $M_n^{II}$ .

Sensul momentelor este ca in figura 7.16, unde este indicata si descompunerea acestora.

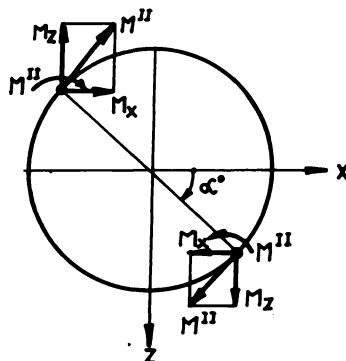


FIG. 7.16 Descompunerea momentelor

Se poate calcula

$$M^{II} = M_n^{II} \cdot L_1^{II} = 181 \cdot 4,443 = 804 \text{ daN}\cdot\text{m} \quad (7.81)$$

iar cu aceasta componentele vor fi conform figurii 7.1b:

$$M_x = -M^{II} \cdot \sin \alpha \quad (7.82a)$$

$$M_z = M^{II} \cdot \cos \alpha \quad (7.82b)$$

Valorile acestor componente sint calculate in tabelui 7.9.  
Coeficientul de incarcare se ia:

$$n = 1,1$$

Tabelui 7.9.

Nodul	$\alpha^\circ$	$M_x = -M^{II} \sin \alpha$	$M_z = M^{II} \cos \alpha$
45	0°	0	+804
46	45°	-569	+569
47	90°	-804	0
48	135°	-569	-569
49	180°	0	-804
50	225°	+569	-569
51	270°	+804	0
52	315°	+569	+569

7.4.2.2. Incarcari concentrate in noduri din greutatea proprie a inelului interior II.

Din greutatea proprie a inelului iau nastere numai torte concentrate verticale.

$$P_{y45} \dots P_{y52} = -G_n^{II} \cdot L_1 = -362 \cdot 4,443 = -1608 \text{ daN} \quad (7.83)$$

Coeficientul de incarcare este:

$$n = 1,1$$

7.4.2.3. Incarcari concentrate in noduri din greutatea diagonalelor si montantilor structurii interioare de sustinere.

Conform figurii 7.12, incarcariile verticale  $P_3$  provin din greutatea a doua diagonale si a unui montant din care se considera jumătate din greutate in nodurile inelului interior.

$$P_3 = \frac{2 \cdot G_d}{2} + \frac{G_m}{2} = \frac{2 \cdot 377 + 368}{2} = 561 \text{ daN} \quad (7.84)$$

iar componenta  $P_y$  este:

$$P_{y45} \dots P_{y52} = -561 \text{ daN.}$$

7.4.3. Incarcari cvasipermanente.

Din aceasta categorie fac parte greutatea lichidului din rezervor si greutatea utilajelor cu pozitie fixa.

7.4.3.1. Incarcari concentrate in noduri din presiunea lichidului din rezervor.

La aceasta incarcare coeficientul de incarcare este  $n=1,2$ .

a) Componenta verticala  $P_y$ .

$$P_{y45} \dots P_{y52} = V_n^{II} \cdot L_1^{II} = -16986 \cdot 4,443 = -75469 \text{ daN} \quad (7.85)$$

b) Componentele orizontale  $P_x$  si  $P_z$ .

Aceste componente se calculeaza cu relatiile:

$$P_x = P^{II} \cdot \cos \alpha \quad (7.86)$$

$$P_z = P^{II} \cdot \sin \alpha \quad (7.86)$$

$$H_n^{II} = -16986 \text{ daN}$$

$$P^{II} = H_n^{II} \cdot L_1^{II} = -16986 \cdot 4,443 = -75469 \text{ daN} \quad (7.8)$$

Cu aceste relatii, valorile componentelor  $P_x$  si  $P_z$  sint calcula in tabelul 7.10.

Tabelul 7.1

Nodul	$\alpha^\circ$	$P_x = P^{II} \cos \alpha$	$P_z = P^{II} \sin \alpha$
45	0°	-75469	0
46	45°	-53365	-53365
47	90°	0	-75469
48	135°	+53365	-53365
49	180°	+75469	0
50	225°	+53365	+53365
51	270°	0	+75469
52	315°	-53365	+53365

c) Componentele momentului  $M_n^{II}$

Componentele momentului se calculeaza cu relatiile:

$$M_x = M^{II} \cdot \sin \alpha \quad (7.88)$$

$$M_z = M^{II} \cdot \cos \alpha \quad (7.88)$$

in care:

$$M^{II} = M_n^{II} \cdot L_1^{II} = 6031 \cdot 4,443 = 26796 \text{ daNm} \quad (7.8)$$

cu  $M_n^{II} = 6031 \text{ daNm/m}$ .

Valorile componentelor momentului sint cele inscrise tabelul 7.11.

Tabelul 7.1

Nodul	$\alpha^\circ$	$M_x = M^{II} \sin \alpha$	$M_z = M^{II} \cos \alpha$
45	0°	0	+26796
46	45°	-18948	+18948
47	90°	-26796	0
48	135°	-18948	-18948
49	180°	0	-26796
50	225°	+18948	-18948
51	270°	+26796	0
52	315°	+18948	+18948

#### 7.4.3.2. Incarcari concentrate din greutatea echipamentelor si dispozitivelor cu pozitie fixa.

Acestea dau nastere numai la componente verticale:

$$r_y = -A_1 \cdot g = - \frac{8}{2} \cdot g = - \frac{8}{2} \cdot g \quad (7.90)$$

h care  $g=80 \text{ daN/m}^2$ .

$$P_{y45} \dots P_{y52} = - \frac{\pi R^2}{2} \cdot g = - \frac{\pi \cdot 8^2}{2} \cdot 80 = 8042 \text{ daN}$$

#### 7.4.4. Incarcari variabile.

##### 7.4.4.1. Incarcari concentrate in noduri, din actiunea vintului.

Actiunea vintului se transmite la inelul interior II ca si la cel superior (fig.7.14) numai prin componentele orizontale  $P_x$  si  $P_z$ , cu directii diferite in cadranele I si II, respectiv III si IV, asa cum se arata in figura 7.14b.

In acest scop se determina forta din vint aterenta unui nod, cu relatia:

$$P_v^{II} = r_v^{II} \cdot L_1^{II} = 37 \cdot 4,443 = 164 \text{ daN.} \quad (7.91)$$

Componentele acestor forte din vint se calculeaza cu relatiile :

\* cadranele I si II (fig.7.14b)

$$P_x = P_v^{II} \cdot \sin \alpha \quad (7.92a)$$

$$P_z = -P_v^{II} \cdot \cos \alpha \quad (7.92b)$$

\* cadranele III si IV (fig.7.14b)

$$P_x = -P_v^{II} \cdot \sin \alpha \quad (7.93a)$$

$$P_z = P_v^{II} \cdot \cos \alpha \quad (7.93b)$$

Fortele sint date in tabelul 7.12, in punctele 45 si 49 existind doua componente din cadranele I si IV, respectiv II si III.

Tabelul 7.12.

Nodul	$\alpha^\circ$	$P_x = P_v^{II} \sin \alpha; P_x = -P_v^{II} \cdot \sin \alpha$	$P_z = -P_v^{II} \cos \alpha; P_z = P_v^{II} \cos \alpha$
45I	0°	0	-164
46	45°	+116	-116
47	90°	+164	0
48	135°	+116	+116
49II	180°	0	+164
49III	180°	0	-164
50	225°	+116	-116
51	270°	+164	0
52	315°	+116	+116
45IV	360°	0	+164

### **7.5. INCARCARI CONCENTRATE PE STRUCTURA TURNULUI DE SUSTINERE A REZERVORULUI**

#### 7.5.1. Incarcari concentrate permanente.

Se folosesc valorile calculate la paragraful 7.2.1.3, pen-

tru picioare majorindu-se sectiunea pe tronsonul I si rezulta, pe tronsoane, incarcările:

7.5.1.1. Tronsonul 1.

$$P_{y10} \dots P_{y17} = - \left( \frac{498 \cdot 702}{1000} \cdot 7,85 + 222 + 86 + 2 \cdot 353 \right) = -3758 \text{ daN} \quad (7.94a)$$

7.5.1.2. Tronsonul 2.

$$P_{y19} \dots P_{y26} = - \left( \frac{278 \cdot 652}{1000} \cdot 7,85 + 208 + 80 + 2 \cdot 328 \right) = -2367 \text{ daN} \quad (7.94b)$$

7.5.1.3. Tronsonul 3.

$$P_{y28} \dots P_{y35} = - \left( \frac{278 \cdot 602}{1000} \cdot 7,85 + 194 + 75 + 2 \cdot 304 \right) = -2191 \text{ daN} \quad (7.94c)$$

7.5.1.4. Tronsonul 4.

$$P_{y37} \dots P_{y44} = - \left( \frac{278 \cdot 536}{1000} \cdot 7,85 + 181 + 70 + 2 \cdot 276 \right) = -1973 \text{ daN} \quad (7.94d)$$

7.5.2. Incarcari concentrate variabile din actiunea vintului pe structura.

Incarcarea distribuita pe unitatea de suprafata din actiunea vintului este:

$$P_{tvn} = \frac{P_{tvn}}{A} = \frac{6103}{398} = 15 \text{ daN/m}^2 \quad (7.95)$$

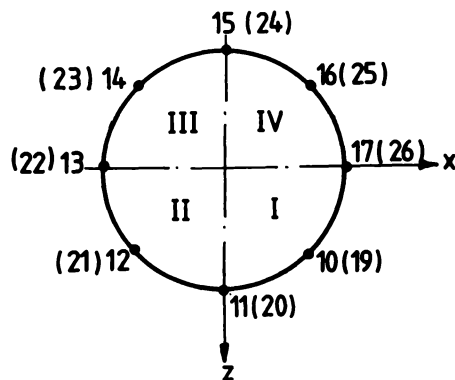


FIG. 7.17 Noduri turn susținere



iar tорта concentrata dintr-un nod al structurii de rezistenta de sustinere a rezervorului se calculeaza cu relatia:

$$P_V = P_{t\text{v}n} \cdot \frac{\pi \cdot D \cdot h_i + h_{i+1}}{8} = 15 \cdot \frac{\pi \cdot D \cdot h_i + h_{i+1}}{8}$$

$$P_V = 2,94 \cdot D \cdot (h_i + h_{i+1}) \quad (7.96)$$

Aceste forte se calculeaza pe tronsoane introducind valoarea diametrului  $D$  si a inaltimeilor  $h_i$  si  $h_{i+1}$  corespunzatoare fiecarui tronson.

Componentele dupa axele  $x$  si  $z$  se calculeaza pe cadrane astfel:

\* cadranele I si II

$$P_x = P_V \cdot \sin \alpha \quad (7.97a)$$

$$P_z = -P_V \cdot \cos \alpha \quad (7.97b)$$

\* cadranele III si IV

$$P_x = -P_V \cdot \sin \alpha \quad (7.98a)$$

$$P_z = P_V \cdot \cos \alpha \quad (7.98b)$$

#### 7.5.2.1. Tronsonul 1.

Pentru tronsonul 1,  $D=7,465\text{m}$  (diametrul mediu), iar  $h_1=7,0\text{ m}$  si  $h_2=7,5\text{m}$ .

$$P_{V1} = 2,94 \cdot 7,465 \cdot (7+7,5) = 319 \text{ daN}$$

iar valorile componentelor  $P_x$  si  $P_z$  sint prezentate in tabelul 7.13, in nodurile  $0^\circ$  si  $180^\circ$  fiind doua forte.

Tabelul 7.13.

Nodul	$\alpha^\circ$	$P_x = P_V \sin \alpha; P_x = -P_V \sin \alpha$	$P_z = -P_V \cos \alpha; P_z = P_V \cos \alpha$
17I	$0^\circ$	0	-319
10	$45^\circ$	+226	-226
11	$90^\circ$	+319	0
12	$135^\circ$	+226	+226
13II	$180^\circ$	0	+319
13III	$180^\circ$	0	-319
14	$225^\circ$	+226	-226
15	$270^\circ$	+319	0
16	$315^\circ$	+226	+226
17IV	$360^\circ$	0	+319

#### 7.5.2.2. Tronsonul 2.

La tronsonul 2:

$$D = 6,965\text{m}$$

$$h_1 = 6,5\text{m}$$

$$h_2 = 7\text{m}$$

$$P_{V2} = 2,94 \cdot 6,965 \cdot (6,5+7) = 277 \text{ daN}$$

iar valorile componentelor sint cele din tabelul 7.14.

Tabelul 7.14.

Nodul	$\alpha^\circ$	$P_x = P_V \sin \alpha; P_x = -P_V \cdot \sin \alpha$	$P_z = -P_V \cos \alpha; P_z = P_V \cos \alpha$
26I	0°	0	-277
19	45°	+196	-196
20	90°	+277	0
21	135°	+196	+196
22II	180°	0	+277
22III	180°	0	-277
23	225°	+196	-196
24	270°	+277	0
25	315°	+196	+196
26IV	360°	0	+277

7.5.2.3. Tronsonul 3.

La tronsonul 3:

$$D = 6,501\text{m}$$

$$h_1 = 6\text{m}$$

$$h_2 = 6,5\text{m}$$

$$P_{V3} = 2,94 \cdot 6,501 \cdot (6 + 6,5) = 239 \text{ daN}$$

Tabelul 7.15.

Nodul	$\alpha^\circ$	$P_x = P_V \sin \alpha; P_x = -P_V \cdot \sin \alpha$	$P_z = -P_V \cos \alpha; P_z = P_V \cos \alpha$
35I	0°	0	-239
28	45°	+169	-169
29	90°	+239	0
30	135°	+169	+169
31II	180°	0	+239
31III	180°	0	-239
32	225°	+169	-169
33	270°	+239	0
34	315°	+169	+169
45IV	360°	0	+239

7.5.2.4. Tronsonul 4.

In cazul tronsonului 4:

$$D = 6,072\text{m}$$

$$h_1 = 5,343\text{m}$$

$$h_2 = 6,0\text{m}$$

cu care se obtine:

$$P_{V4} = 2,94 \cdot 6,072 \cdot (5,343 + 6,0) = 203 \text{ daN}$$

iar valorile componentelor  $P_x$  si  $P_z$  sint inscrise in tabelul 7.16.

Tabelul 7.16.

Nodul	$\alpha^\circ$	$P_x = P_V \sin \alpha; P_x = -P_V \cdot \sin \alpha$	$P_z = -P_V \cos \alpha; P_z = P_V \cos \alpha$
44I	0°	0	-203
37	45°	+144	-144
38	90°	+203	0
39	135°	+144	+144
40II	180°	0	+203
40III	180°	0	-203
41	225°	+144	-144
42	270°	+203	0
43	315°	+144	+144
44IV	360°	0	+203

## CAPITOLUL 8

### CALCULUL SI DIMENSIONAREA STRUCTURII DE SUSTINERE A REZERVORULUI

#### 8.1. ASPECTE GENERALE

Structura de sustinere a rezervorului este o structura spatiaala, formata din doua parti (fig.7.1) [56][15][177]:

- \* structura de sustinere interioara, formata din cele doua inele - inelul superior I si inferior II - legate intre ele cu diagonale si montanti.
- \* structura de rezistenta a turnului de sustinere a rezervorului la inaltimea de 30 m, care este alcatuita din stilpii de sustinere, montantii orizontali, cu barele de legatura interioare si din diagonalele montate pe toate retelele structurii, alcatuind astfel o structura cu zabrele.

Pentru calcul, aceasta structura a fost considerata ca o structura spatiaala in ansamblu, ale carei noduri si bare au fost numerotate asa cum este indicat in capitolul 7.

#### 8.2. DATE DE INTRARE IN CALCULATOR

Pentru calculul structurii cu ajutorul programului de calcul GPS1, au fost introduse in calculator urmatoarele date de intrare:

1. Topologia structurii exprimata prin numerotarea nodurilor si barelor structurii.

Numerotarea a inceput de la baza structurii turnului de sustinere, unde aceasta se reazema pe fundatie si s-a facut numerotind nodurile si barele de la aceiasi nivel mergind in sens orar, continuind apoi la toate nivelele, inclusiv structura de sustinere interioara a rezervorului.

2. Coordonatele nodurilor sint date in tabelul 8.1, exprimate intr-un sistem de axe de coordonate spatiale x, y, z.

Originea acestor axe s-a considerat in centrul octogonului de la baza turnului de sustinere, axele x si z fiind axe in planul orizontal, iar axa y este cea verticala. Sensul acestor axe este cel aratat in figura 7.1.

3. Conditiiile de rezemare a capetelor barelor.
4. Caracteristicile geometrice ale barelor structurii, exprimate prin: aria sectiunii transversale  $A(\text{cm}^2)$ , momentele de inertie axiale  $I_x, I_z(\text{cm}^4)$  si momentul de inertie la rasucire  $I_r(\text{cm}^4)$ . Aceste caracteristici geometrice au fost apreciate initial si apoi corectate dupa prima si a doua rulare si predimensionare a elementelor structurii. [25][26][44][61][62][67]
5. Componentele incarcarii exterioare, dupa cele trei axe de coordonate, luate cu valorile determinate in capitolul 7.

Tabelul 8.1. COORDONATELE NODURILOR.

Nr. nod	X	Y	Z
1	8000	0	0
2	5656	0	5656
3	0	0	8000
4	-5656	0	5656
5	-8000	0	0
6	-5656	0	-5656
7	0	0	-8000
8	5656	0	-5656
9	0	7500	0
10	5271	7500	5271
11	0	7500	7465
12	-5271	7500	5271
13	-7465	7500	0
14	-5271	7500	-5271
15	0	7500	-7465
16	5271	7500	-5271
17	7465	7500	0
18	0	14500	0
19	4919	14500	4919
20	0	14500	6965
21	-4919	14500	4919
22	-6965	14500	0
23	-4919	14500	-4919
24	0	14500	-6965
25	4919	14500	-4919
26	6965	14500	0
27	0	21000	0
28	4591	21000	4591
29	0	21000	6501
30	-4591	21000	4591
31	-6501	21000	0
32	-4591	21000	-4591
33	0	21000	-6501
34	4591	21000	-4591
35	6501	21000	0
36	0	27000	0
37	4288	27000	4288
38	0	27000	6072
39	-4288	27000	4288
40	-6072	27000	0
41	-4288	27000	-4288
42	0	27000	-6072
43	4288	27000	-4288
44	6072	27000	0
45	5691	32343	0
46	4019	32343	4019
47	0	32343	5691
48	-4019	32343	4019
49	-5691	32343	0

Tabelul 8.1. COORDONATELE NODURILOR. <continuare>

Nr. nod	X	Y	Z
50	-4019	32343	-4019
51	0	32343	-5091
52	4019	32343	-4019
53	7423	40070	0
54	6858	40070	2841
55	5249	40070	5249
56	2841	40070	6858
57	0	40070	7423
58	-2841	40070	6858
59	-5249	40070	5249
60	-6858	40070	2841
61	-7423	40070	0
62	-6858	40070	-2841
63	-5249	40070	-5249
64	-2841	40070	-6858
65	0	40070	-7423
66	2841	40070	-6858
67	5249	40070	-5249
68	6858	40070	-2841

### 8.3. DATE DE IESIRE DIN CALCULATOR

Prin programul de calcul automat GIPSI au fost determinate si listate urmatoarele date:

1. Formele de vibratie proprie a structurii din actiunea seismica.
2. Perioada de vibratie proprie determinata corespunzator formelor de vibratie proprie si corectata in doua etape, dupa prima si a doua rulare.
3. Eforturile din bare: forta axiala N, forta taietoare T si momentele incovoietoare Mx si Mz, din fiecare ipoteza de incarcare, precum si eforturile insumate, care sunt redade in listingul anexat.

Din acest listing au fost extrase eforturile maxime pentru toate tipurile de bare, care sunt inscrise in tabelele 8.2 ÷ 8.5.

TABEL GENERALIZATIUN DE EFORTURI.

Tableiul B.2. INEL SUPERIOR.

Nr. crt.	Tipul barei	Bara	Combinarea incarcarilor permanente+vint+greutate lichida			seise			eforturi insumate		
			N	My	Mz	N	My	Mz	N	My	Mz
1	inelui superior	21/ (53-54)	-166,941	-8,254	72,306	-3,073	0,287	1,308	-171,534	-7,967	73,614
		218 (54-55)	-166,577	8,354	116,005	-3,004	-0,176	-1,162	-169,581	8,158	114,843
		219 (55-56)	-166,855	-8,268	72,265	-4,332	0,185	1,118	-170,987	-8,085	73,381
		220 (56-57)	-166,574	8,255	116,175	0,701	-0,012	-0,200	-165,473	8,221	115,975
		221 (57-58)	-166,859	-8,372	72,200	-0,774	-0,037	-0,122	-167,655	-8,411	72,078
		222 (58-59)	-166,222	8,351	116,038	4,302	0,147	0,775	-161,920	8,478	116,851
		223 (59-60)	-166,478	-8,215	71,747	2,763	-0,248	-1,327	-165,525	-8,461	70,418
		224 (60-61)	-166,804	8,304	116,098	3,100	0,235	1,408	-161,504	8,539	117,508

Tableiul B.3. INEL INFERIOR.

Nr. crt.	Tipul barei	Bara	Combinarea incarcarilor permanente+vint+greutate lichida			seise			eforturi insumate		
			N	My	Mz	N	My	Mz	N	My	Mz
1	inelui inferior	169 (45-46)	213,650	0,305	-31,900	-24,306	-0,226	16,375	171,322	0,079	-14,527
		170 (46-47)	213,742	-1,272	-31,185	37,625	-0,655	22,916	203,367	-1,905	-8,767
		171 (47-48)	213,934	0,304	-31,417	77,710	-0,767	14,736	273,144	-0,372	-10,485
		172 (48-49)	214,174	-1,250	-31,577	72,322	-0,622	-1,370	207,216	-2,002	-21,747

**Tableul 8.4. STRUCTURA VINIȚEI INELE.**

Nr. crt.	Izipi barei	Bara	Combinarea incarcărilor permanente+vinț+greutate lic.			Seisa			Eforturi însumate		
			N	My	Mz	N	My	Mz	N	My	Mz
1	Montanti	193 (45-53)	77,791	0,004	0,148	2,006	0,007	-0,053	77,797	0,011	0,095
		196 (46-55)	77,622	-0,006	0,151	1,275	-0,108	-0,061	78,717	-0,114	0,076
		199 (47-57)	77,624	-0,010	0,154	-0,270	-0,161	-0,050	77,554	-0,171	0,077
		202 (48-59)	77,553	-0,006	0,133	-1,732	-0,117	0,012	75,821	-0,123	0,145
		205 (49-61)	77,488	0,004	0,121	-2,006	-0,007	0,053	75,482	-0,003	0,174
2	Diagonale	174 (45-54)	84,575	-0,205	-0,006	4,366	0,043	-0,003	84,707	-0,162	-0,011
		175 (46-54)	85,434	0,206	-0,004	-6,215	-0,077	0,061	77,217	0,107	0,057
		177 (46-56)	85,103	-0,212	-0,012	12,884	0,007	-0,100	77,787	-0,205	-0,112
		178 (47-56)	82,744	0,190	-0,008	-13,411	-0,070	0,113	87,553	0,100	0,105
		200 (47-58)	85,514	-0,197	-0,023	13,771	-0,034	-0,137	79,085	-0,233	-0,160
		201 (48-58)	82,838	0,171	-0,011	-12,663	-0,027	0,078	78,175	0,164	0,087
		203 (48-60)	84,547	-0,197	-0,017	6,418	-0,053	-0,072	70,765	-0,230	-0,111
		204 (49-60)	83,718	0,183	-0,024	-4,345	0,052	0,026	77,573	0,237	0,072

**Tableul 8.5. STRUCTURA DE SUSINEREA.**

Nr. crt.	Izipi barei	Bara	Combinarea incarcărilor permanente+vinț+greutate lic.			Seisa			Eforturi însumate		
			N	My	Mz	N	My	Mz	N	My	Mz
1	Stilpi	1 (1-17)	373,765	4,460	-0,502	483,737	2,360	-33,373	857,702	6,820	-33,876
		2 (2-10)	373,514	4,873	0,147	414,267	22,841	-13,000	787,781	27,724	-12,851
		3 (3-11)	367,601	3,056	0,502	102,750	27,703	16,341	472,356	34,761	17,043
		4 (4-12)	364,474	4,864	1,151	-207,263	17,300	36,565	74,771	24,364	37,716
		5 (5-13)	361,207	4,420	0,744	-483,741	-2,361	33,373	-122,734	2,037	36,337
		41 (17-26)	367,687	-1,157	0,147	373,814	-0,274	2,627	783,301	-1,951	2,776
		42 (18-19)	367,607	-1,246	-0,223	363,637	-1,301	-4,336	753,246	-2,547	-4,377
		43 (11-20)	366,775	-1,276	-0,138	122,142	-1,260	-8,373	488,737	-2,476	-8,331
		44 (12-21)	362,772	-1,252	-0,413	-173,718	-0,873	-7,643	167,074	-2,143	-8,036
		45 (13-22)	360,080	-1,167	-0,138	-373,817	0,274	-2,626	-33,373	-0,873	-2,764
		81 (26-35)	364,854	1,202	-0,034	287,774	0,231	-1,630	634,828	1,443	-1,684
		82 (17-28)	364,724	1,213	0,008	273,075	2,032	-0,883	637,817	3,245	-0,770
		83 (20-29)	363,042	1,213	-0,031	128,028	2,634	0,382	471,070	3,047	0,331
		84 (21-30)	357,772	1,214	-0,001	-114,685	1,707	1,370	243,307	2,721	1,367
		85 (22-31)	358,186	1,204	-0,064	-287,781	-0,231	1,630	68,200	0,770	1,366
		121 (35-44)	361,702	-0,207	0,268	177,575	-0,647	-0,986	341,477	-0,708	0,182
		122 (28-37)	361,815	-0,207	0,243	223,022	0,373	-0,126	364,837	0,136	0,117
123 (27-38)	360,713	-0,235	0,236	136,041	1,200	-0,988	476,704	0,747	0,186		
124 (30-39)	358,677	-0,247	0,233	-31,178	1,308	0,020	327,321	1,057	0,233		
125 (31-40)	357,516	-0,247	0,231	-177,602	0,647	0,986	177,714	0,702	0,337		



TABLEA 6.3. STRUCTURA DE SUSȚINERE. (continuare)

Nr. crt.	Tipul barei	Bara	Combinarea incarcărilor permanente+vînt+greutate lic.			Seisă			Eforturi însumate		
			N	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>	N	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>	N	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>
		161 (44-45)	557,546	1,320	-1,165	70,685	0,211	-2,675	428,251	1,531	-3,860
		162 (45-46)	557,424	1,331	-1,154	141,547	3,575	-4,500	478,771	4,726	-5,454
		163 (46-47)	557,045	1,335	-1,185	124,227	4,882	-5,387	466,271	6,217	-4,572
		164 (47-48)	555,524	1,326	-1,154	40,451	3,506	-0,488	376,455	4,632	-1,692
		165 (40-49)	554,868	1,315	-1,164	-70,689	-0,211	2,674	264,174	1,102	1,330
2	Montanti	9 (17-10)	1,040	0,022	0,190	58,726	0,036	0,750	37,766	0,076	0,740
		10 (10-11)	1,715	0,009	0,201	84,755	-0,087	1,427	66,446	-0,076	1,626
		11 (11-12)	1,638	0,017	0,200	81,114	-0,164	1,271	62,757	-0,147	1,471
		12 (12-13)	0,597	0,007	0,185	30,077	-0,147	0,572	30,674	-0,140	0,555
		49 (26-19)	0,675	0,034	0,175	40,410	0,030	0,750	41,365	0,064	0,745
		50 (19-20)	1,440	0,052	0,208	77,720	-0,090	1,452	101,207	-0,058	1,660
		51 (20-21)	1,422	0,051	0,205	100,174	-0,135	1,301	101,601	-0,104	1,504
		52 (21-22)	0,591	0,052	0,192	41,402	-0,135	0,387	42,473	-0,081	0,381
		89 (35-28)	0,762	0,016	0,275	45,648	0,040	0,828	44,411	0,036	1,121
		90 (28-29)	1,347	0,014	0,301	105,270	-0,105	1,625	106,617	-0,071	1,726
		91 (29-30)	1,355	0,015	0,300	105,544	-0,187	1,470	106,682	-0,174	1,770
		92 (30-31)	0,634	0,014	0,287	45,755	-0,165	0,436	44,387	-0,147	0,475
		129 (44-37)	-1,421	-0,005	0,412	41,028	0,124	0,478	39,607	0,114	1,390
		130 (37-38)	-0,485	-0,008	0,420	105,066	-0,091	2,152	104,203	-0,077	2,372
		131 (38-39)	-0,464	-0,007	0,414	107,734	-0,201	2,068	106,785	-0,208	2,467
		132 (39-40)	-1,314	-0,004	0,404	47,272	-0,267	0,774	45,736	-0,270	1,265
		3	Legături orizontale	17 (9-17)	-0,132	0,001	-0,001	-0,274	0,031	-0,030	-0,406
18 (9-10)	0,255			0,000	-0,001	0,275	0,017	-0,018	0,326	0,017	-0,014
19 (9-11)	-0,120			0,000	0,000	-0,074	-0,007	0,005	-0,214	-0,007	0,005
20 (9-12)	0,235			-0,001	0,000	-0,121	-0,026	0,025	0,112	-0,027	0,025
21 (9-13)	-0,105			-0,001	0,000	0,275	-0,031	0,030	0,168	-0,032	0,030
57 (18-26)	0,005			0,001	0,000	-0,020	0,038	-0,030	-0,015	0,037	-0,030
58 (18-19)	0,024			0,000	-0,001	0,023	0,026	-0,018	0,047	0,026	-0,017
59 (18-20)	0,016			0,000	0,000	0,007	-0,004	0,004	0,023	-0,004	0,004
60 (18-21)	0,007			0,000	0,000	-0,008	-0,030	0,025	-0,007	-0,036	0,026
61 (18-22)	0,024			-0,001	0,000	0,018	-0,038	0,030	0,047	-0,034	0,030
97 (27-35)	0,065			0,000	-0,001	-0,005	0,043	-0,034	0,066	0,043	-0,035
98 (27-28)	0,078			0,000	-0,001	0,025	0,027	-0,021	0,101	0,027	-0,022
99 (27-29)	0,074			0,000	-0,001	-0,004	-0,005	0,004	0,070	-0,005	0,003
100 (27-30)	0,063			0,000	-0,001	0,012	-0,034	0,027	0,075	-0,034	0,026
101 (27-31)	0,065			0,000	-0,001	0,004	-0,043	0,037	0,067	-0,043	0,038
137 (36-44)	-0,361			0,000	0,002	0,026	0,051	-0,046	-0,355	0,051	-0,044
138 (36-37)	-0,511			0,000	0,002	0,014	0,051	-0,051	-0,477	0,051	-0,047
139 (36-38)	-0,538	0,000	0,002	-0,010	-0,005	0,000	-0,366	-0,005	0,002		
140 (36-39)	-0,526	0,000	0,003	0,046	-0,037	0,033	-0,466	-0,037	0,036		
141 (36-40)	-0,546	0,000	0,003	-0,027	-0,051	0,046	-0,575	-0,051	0,047		
4	Diagonale	25 (1-10)	0,001	0,000	0,000	0,005	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000
		26 (2-17)	0,325	0,002	0,007	-70,777	0,000	0,000	-40,274	0,002	0,015

tabelul 0.3. SITUATIUNI DE SUSINERIE (CONTINUARE)

Nr. crt.	Tipul barei	Bara	Combinarea incarcaturilor permanente+vint+greutate iic.			Seism			Erorturi insumate		
			N	My	Mz	N	My	Mz	N	My	Mz
			2/ (2-11)	0,001	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000	0,005	0,000
28 (3-10)	-0,784	0,001	0,000	-127,670	0,001	0,014	-126,654	0,002	0,021		
29 (3-12)	0,001	0,000	0,000	0,005	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000		
30 (4-11)	-1,312	0,001	0,000	-132,277	-0,027	0,013	-133,271	-0,026	0,020		
31 (4-13)	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000		
32 (5-12)	0,373	0,000	0,000	-37,373	-0,042	0,005	-37,182	-0,042	0,010		
65 (17-19)	0,001	0,000	0,000	0,005	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000		
66 (10-26)	-1,333	-0,001	-0,002	-66,233	0,006	-0,027	-67,366	0,007	-0,032		
67 (10-20)	0,001	0,000	0,000	0,005	0,000	0,000	0,006	0,000	0,000		
68 (11-17)	-3,000	-0,001	-0,003	-156,406	0,004	-0,062	-157,406	0,003	-0,063		
69 (11-21)	0,001	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000	0,005	0,000	0,000		
70 (12-20)	-2,728	-0,001	-0,003	-134,827	-0,001	-0,060	-137,333	-0,002	-0,063		
71 (12-22)	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000		
72 (13-21)	-1,506	-0,001	-0,002	-62,540	-0,007	-0,022	-64,046	-0,006	-0,024		
105 (26-28)	0,002	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000		
106 (19-33)	-0,104	0,000	0,006	-67,188	0,007	-0,020	-67,277	0,007	-0,014		
107 (19-29)	0,002	0,000	0,000	0,005	0,000	0,000	0,007	0,000	0,000		
108 (20-28)	-1,273	0,000	0,005	-162,700	0,000	-0,047	-163,773	0,000	-0,042		
109 (20-30)	0,002	0,000	0,000	0,005	0,000	0,000	0,007	0,000	0,000		
110 (21-27)	-1,258	0,000	0,006	-163,038	-0,006	-0,047	-164,276	-0,006	-0,041		
111 (21-31)	0,002	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000		
112 (22-30)	-0,137	0,000	0,006	-67,773	-0,012	-0,020	-68,132	-0,012	-0,014		
143 (33-37)	0,002	0,000	0,000	0,005	0,000	0,000	0,005	0,000	0,000		
146 (28-44)	-0,673	-0,004	-0,003	-71,663	0,010	-0,031	-72,336	0,006	-0,034		
147 (28-38)	0,002	0,000	0,000	0,007	0,000	0,000	0,007	0,000	0,000		
148 (27-37)	-1,651	-0,004	-0,003	-173,766	0,001	-0,072	-173,667	-0,003	-0,073		
149 (27-39)	0,002	0,000	0,000	0,005	0,000	0,000	0,007	0,000	0,000		
156 (30-38)	-1,371	-0,004	-0,004	-174,367	-0,006	0,071	-176,373	-0,012	-0,073		
151 (30-40)	0,002	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000		
152 (31-37)	-0,747	-0,004	-0,003	-73,013	-0,013	-0,027	-73,764	-0,017	-0,030		
177 (44-46)	0,002	0,000	0,000	0,005	0,000	0,000	0,005	0,000	0,000		
178 (37-43)	1,331	-0,004	0,016	-71,437	0,010	-0,020	-70,066	0,006	-0,004		
179 (37-47)	0,002	0,000	0,000	0,005	0,000	0,000	0,007	0,000	0,000		
180 (38-46)	0,740	-0,004	0,013	-167,006	0,012	-0,040	-168,266	0,006	-0,023		
181 (38-48)	0,002	0,000	0,000	0,005	0,000	0,000	0,007	0,000	0,000		
182 (37-47)	0,673	-0,004	0,016	-167,770	0,003	-0,036	-167,277	0,001	-0,022		
183 (37-47)	0,002	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000		
184 (40-48)	1,387	-0,004	0,016	-68,387	-0,004	-0,013	-67,100	-0,006	0,000		

## 8.4. ELEMENTE PRIVIND DIMENSIONAREA BARELOR

Din erorturile  $N$ ,  $V$  și  $M$  înscrise în tabelele 8.2 ÷ 8.5 au fost selectate valorile maxime pentru fiecare tip de bare, adică: inelul superior I, inelul interior II, diagonalele și montanții de legatură între inele, stâlpii structurii de susținere pe tronsoane, montanții și diagonalele acestei structuri. La aceste valori maxime s-a făcut dimensionarea tuturor barelor, în metoda stărilor limită, în baza prevederilor STAS 10108/0-78 [95][58][64][12].

Pentru bare s-a adoptat, în general, secțiunea formată din tevi din oțel OLT 45, cu rezistența de calcul  $R=2300 \text{ daN/cm}^2$ .

Excepție fac cele două inele ale structurii interioare care, din motive de a asigura prinderea mantalei rezervorului de inele, au fost realizate cu secțiune cheșonată din table de oțel OL 37, cu rezistența de calcul  $R=2100 \text{ daN/cm}^2$ .

Diagonalele structurii de susținere au fost realizate din două bare de oțel rotund prinse prin gusee de stâlpi, astfel încât să aibă raza de giratie mare în afara planului rețelilor structurii, rata de care lungimea de flambaj este dublă.

Toate îmbinările și prinderile barelor sunt concepute a fi realizate prin sudură.

## 8.5. DIMENSIONAREA STRUCTURII DE SUSȚINERE

### 8.5.1. Dimensionarea stâlpilor.

#### 8.5.1.1. Tronsoanele 1 și 2.

a) Solicitări de calcul.

Din tabelul centralizator de erorturi rezultă solicitările maxime, care sunt:

$$N_1 = -857902 \text{ daN} \quad , \quad M_y = 0820 \text{ daN}\cdot\text{m} \quad , \quad M_z = -35890 \text{ daN}\cdot\text{m}$$

b) Alegerea secțiunii.

Se alege pentru barele ce alcătuiesc stâlpii (picioarele) structurii de susținere, o secțiune formată din tevi circulare cu dimensiuni mai mari ca cele cuprinse în STAS din OLT 45 și anume, cele prevăzute în DIN 2458 [17].

Teava  $\phi 20'' = 660,4 \text{ mm} \times 25 \text{ mm}$  care are, conform STAHL IM HOCHBAU pag. 58 [86] (fig. 8.1).



FIG. 8.1

$$A = 499 \text{ cm}^2$$
$$I_y = I_z = 252200 \text{ cm}^4 \quad ; \quad W_y = W_z = 7640 \text{ cm}^3$$
$$i_y = i_z = 22,5 \text{ cm}$$

Cu acestea, rezultă:

$$\lambda_y = \lambda_z = \frac{l_{ty}}{i_y} = \frac{752}{22,5} = 33 \Rightarrow \varphi_y^A = 0,966$$

c) verificarea sectiunii [122][123][124][158][160][163][164][165].

$$\sigma = \frac{N}{\varphi \cdot A} + \frac{\sqrt{M_y^2 + M_z^2}}{W} \leq R$$

$$\sigma = \frac{857902}{0,966 \cdot 499} + \frac{\sqrt{682000^2 + 3589600^2}}{7640} = 2339 \text{ daN/cm}^2$$

$$\sigma < R + 3\% = 2369 \text{ daN/cm}^2$$

$$\lambda_{\max} = 33 < \lambda_a = 120$$

d) Calculul bazei stîlpului  
[63][164][165][171].

Se pune sub stîlpi o placă de  $\phi 1200$  mm diametru, care se verifică astfel (fig. 8.2):

$$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{\sqrt{M_y^2 + M_z^2}}{W} \leq R_{\text{bet}}$$

Se alege beton B300 cu  
 $R_{\text{bet}} = 120 \text{ daN/cm}^2$

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = 11309 \text{ cm}^2$$

$$W_y = W_z = \frac{\pi \cdot D^3}{32} = 169646 \text{ cm}^3$$

$$\sigma = \frac{857902}{11309} + \frac{\sqrt{682000^2 + 3589600^2}}{169646} = 101 \text{ daN/cm}^2 \leq R_{\text{bet}} = 120 \text{ daN/cm}^2$$

Grosimea se calculează luînd o porțiune de placă rezemată pe trei laturi (fig. 8.3).

$$a = \frac{\pi \cdot D}{16} = \frac{\pi \cdot 1200}{16} = 236 \text{ mm}$$

$$\frac{b_1}{a} = \frac{270}{236} = 1,14 \Rightarrow \beta = 0,118$$

$$M = \beta \cdot \sigma \cdot a^2 = 0,118 \cdot 101 \cdot 236^2 = 6638 \text{ daN} \cdot \text{cm/cm}$$

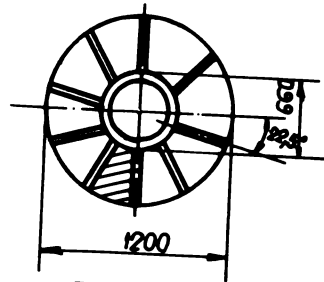


FIG. 8.2

$$t = \left[ \frac{0 \cdot M_1}{R} \right] = \left[ \frac{0 \cdot 6638}{2100} \right] \Rightarrow t = 4,35 \text{ cm}$$

Se alege:

$$t = 50 \text{ mm}$$

e) Suruburi ancoraj [63][164].

$$N_t = 122734 \text{ daN}$$

$$M_z = 36337 \text{ daN}\cdot\text{m}$$

$$T = \frac{N}{2} + \frac{M_z}{90} = \frac{122734}{2} + \frac{3633700}{90} =$$

$$= 101741 \text{ daN}$$

$$T_1 = \frac{101741}{2} = 50870 \text{ daN}$$

Se reduce cu 0,7, caci se pun si suruburi mai apropiate.

$$T_1 = 0,7 \cdot 50870 = 35609 \text{ daN}$$

Se aleg suruburi M56 clasa 6.6

#### 8.5.1.2. Tronsoanele 3, 4 si 5.

a) Solicitari de calcul.

Acestea sint scoase din tabelul centralizator si au valoarea:

$$N_1 = -659819 \text{ daN}, \quad M_y = 3245 \text{ daN}\cdot\text{m}, \quad M_z = -795 \text{ daN}\cdot\text{m}$$

b) Alegerea sectiunii.

Se considera tevi din OLT 45 de acelasi diametru exterior ca la tronsoanele 1 si 2, dar cu grosimea mai mica a peretelui.

Teava  $\phi 26'' = 660,4 \text{ mm} \times 16 \text{ mm}$ , care are caracteristicile geometrice conform cu STAHL IM HOCHBAU pag.58 [86]:

$$A = 324 \text{ cm}^2, \quad I_y = I_z = 108200 \text{ cm}^4 \\ W_y = W_z = 5090 \text{ cm}^3, \quad i_y = i_z = 22,8 \text{ cm}$$

si cu care se obtine:

$$\lambda_y = \lambda_z = \frac{i_y}{i_y} = \frac{652}{22,8} = 29 \Rightarrow \varphi_y^A = 0,974$$

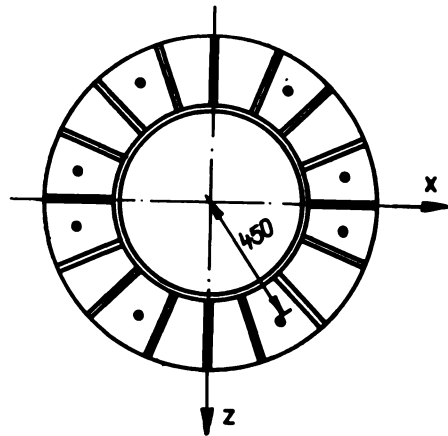
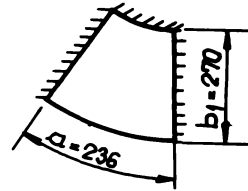


FIG. 8.3

c) Verificarea sectiunii.

$$\sigma' = \frac{N}{\varphi \cdot A} + \frac{\sqrt{M_y^2 + M_z^2}}{W} \leq R$$

$$\sigma = \frac{659819}{0,974 \cdot 324} + \frac{\sqrt{324500^2 + 19500^2}}{5090} = 2170 \text{ daN/cm}^2 < R = 2300 \text{ daN/cm}^2$$

$$\lambda_{\max} = 29 < \lambda_a = 120$$

### 8.5.2. Dimensionarea montanților.

a) Solicitari de calcul.

$$N = -106785 \text{ daN}, \quad M_y = -258 \text{ daN} \cdot \text{m}, \quad M_z = 2487 \text{ daN} \cdot \text{m}$$

b) Alegerea sectiunii.

Se alege sectiunea barelor montanților din teava din OLI 45 cu  $\Phi 203 \times 14$ , care are urmatoarele caracteristici geometrice:

$$A = 83,1 \text{ cm}^2$$

$$I_x = \frac{\pi \cdot 20,3^4}{32} \cdot \left(1 - \frac{17,5^4}{20,3^4}\right) = 7404 \text{ cm}^4$$

$$I_y = I_z = 3732 \text{ cm}^4; \quad i_y = i_z = \sqrt{(I_y/A)} = 6,7 \text{ cm}$$

$$W_y = W_z = \frac{i_y}{z_{\max}} = \frac{3732}{10,15} = 368 \text{ cm}^3$$

$$\lambda_y = \lambda_z = \frac{i_{y,z}}{i_{y,z}} = \frac{465}{6,7} = 69 \Rightarrow \varphi^A = 0,815$$

c) Verificarea sectiunii.

$$\sigma = \frac{106785}{0,815 \cdot 83,1} + \frac{\sqrt{25800^2 + 248700^2}}{368} = 2323 \text{ daN/cm}^2 < R + 3\% \text{ daN/cm}^2$$

Verificarea zveltirii:  $\lambda_{\max} = 69 < \lambda_a = 150$

### 8.5.3. Dimensionarea legaturilor orizontale.

a) Solicitari de calcul.

$$N = 573 \text{ daN}, \quad M_y = -51 \text{ daN} \cdot \text{m}, \quad M_z = 49 \text{ daN} \cdot \text{m}$$

b) Alegerea sectiunii.

Se alege o teava  $\Phi 121 \times 4$  din OLI 35, cu caracteristicile geometrice:

$$A = 14,7 \text{ cm}^2; \quad I_x = \frac{\pi \cdot 12,1^4}{32} \cdot \left(1 - \frac{11,3^4}{12,1^4}\right) = 504 \text{ cm}^4$$

$$I_y = I_z = 252 \text{ cm}^4 \quad ; \quad i_y = i_z = 4,14 \text{ cm}$$

$$W_y = W_z = \frac{252}{0,05} = 41,7 \text{ cm}^3 \quad ; \quad \lambda_y = \lambda_z = \frac{607}{4,14} = 147$$

c) Verificarea sectiunii.

Bara se verifica la intindere cu incovoiere.

$$\sigma = \frac{573}{14,7} + \frac{\sqrt{5100^2 + 4900^2}}{41,7} = 279 \text{ daN/cm}^2 < R = 2100 \text{ daN/cm}^2$$

Verificarea zveltetii:  $\lambda_{\max} = 147 < \lambda_a = 150$

Aceste bare sint dimensionate din conditia de zveltete.

#### 8.5.4. Dimensionarea diagonalelor.

a) Solicitari de calcul.

$$N = 176178 \text{ daN}$$

$$M_y = -12 \text{ daN}\cdot\text{m}$$

$$M_z = -75 \text{ daN}\cdot\text{m}$$

b) Alegerea sectiunii.

Se dimensioneaza barele solicitate la intindere centraca, barele comprimate considerindu-se ca riambeaza si deci ies din lucru.

Se alege otei rotund  $2\phi 75 \text{ mm}$  (fig. 8.4):

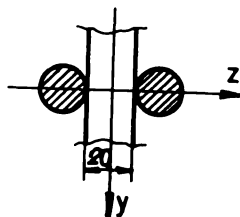


FIG. 8.4

$$A = 2 \cdot 44,2 \text{ cm}^2 = 88,4 \text{ cm}^2$$

$$I_y = 2 \cdot \frac{\pi \cdot 7,5^4}{64} + 2 \cdot 44,2 \cdot 4,75^2 = 2306 \text{ cm}^4 \quad ; \quad I_z = 2 \cdot \frac{\pi \cdot 7,5^4}{64} = 311 \text{ cm}^4$$

$$i_y = \sqrt{(2306/88,4)} = 5,1 \text{ cm} \quad ; \quad i_z = \sqrt{(311/88,4)} = 1,9 \text{ cm}$$

$$I_{fy} = I_{fz} = 770 \text{ cm}^4$$

$$W_y = \frac{2306}{8,5} = 271 \text{ cm}^3 \quad ; \quad W_z = \frac{311}{3,75} = 83 \text{ cm}^3$$

$$\lambda_y = \frac{i_{fy}}{i_y} = \frac{770}{5,1} = 151 \quad ; \quad \lambda_z = \frac{i_{fz}}{i_z} = \frac{770}{1,9} = 405$$

c) Verificarea sectiunii.

$$\sigma = \frac{176178}{88,4} + \frac{1200}{271} + \frac{7500}{83} = 2088 \text{ daN/cm}^2 < R = 2100 \text{ daN/cm}^2$$

$$\Delta_{\max} = 405 < \Delta_a + 3\% = 412$$

d) Calculul lungimii sudurilor [63][64].

Pentru prinderea diagonalelor de gusee cu sudura, se calculeaza aceste suduri (fig. 8.5).

$$A_s = \frac{D}{R_{tS}} = \frac{176178}{1500} = 117 \text{ cm}^2$$

$$A_s = 4 \cdot a \cdot l_c$$

$$a < 0,7 \cdot t = 0,7 \cdot 20 = 14 \text{ mm}$$

$$l_c = \frac{A_s}{4a} = \frac{117}{4 \cdot 1,4} = 20,9 \text{ cm} ; \quad l = l_c + 2a = 20,9 + 2,8 = 23,7 \text{ cm}$$

Se va lua  $l = 240 \text{ mm}$ .

#### 8.5.5. Dimensionarea inelului interior [1.12][23][64]

a) Solicitari de calcul.

$$N = -287216 \text{ daN} , \quad M_y = -2052 \text{ daN} \cdot \text{m} , \quad M_z = -32749 \text{ daN} \cdot \text{m}$$

b) Alegerea sectiunii (fig. 8.6).

$$A = 1,5 \cdot 50 + 1,5 \cdot 70,7 + 0,8 \cdot 47 + 0,8 \cdot 97 = 296 \text{ cm}^2$$

$$I_{\eta} = \frac{4 \cdot A_m^2}{n \sum_{i=1}^n h_i^2} \quad A_m = \frac{(b+B) \cdot l}{2} = \frac{(48,5 + 98,5) \cdot 49,2}{2} = 3616 \text{ cm}^2$$

$$I_{\eta} = \frac{4 \cdot 3616^2}{\frac{47}{0,8} + \frac{97}{0,8} + \frac{50}{1,5} + \frac{70,7}{1,5}} = 200800 \text{ cm}^4$$

$$I_{\eta} = \frac{1,5 \cdot 70,7^3}{12} + \frac{1,5 \cdot 50^3}{12} + 1,5 \cdot 70,7 \cdot 3^2 + 1,5 \cdot 50 \cdot 3^2 + \frac{47 \cdot 0,8^3}{12} + \frac{97 \cdot 0,8^3}{12} + 47 \cdot 0,8 \cdot 28^2 + 97 \cdot 0,8 \cdot 21,2^2 = 125790 \text{ cm}^4$$

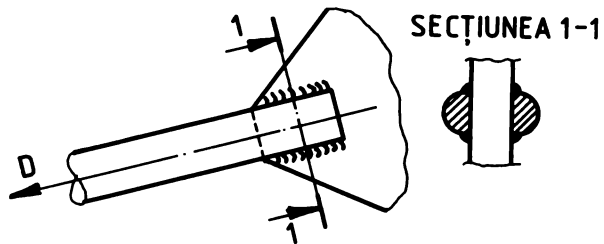


FIG. 8.5



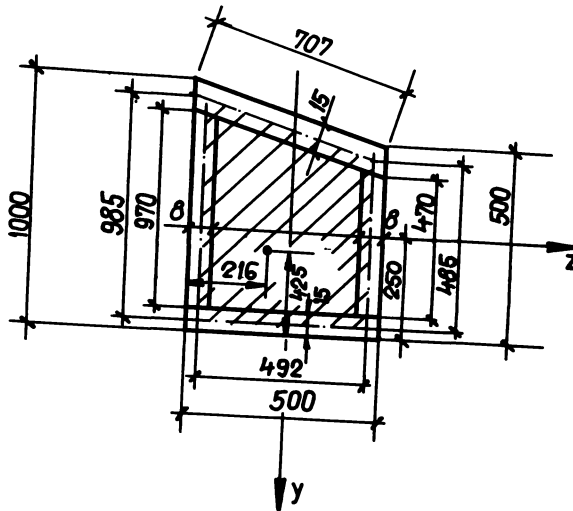


FIG. 8.6

$$I_z = \frac{0,8 \cdot 47^3}{12} + \frac{0,8 \cdot 97^3}{12} + 0,8 \cdot 47 \cdot 17,5^2 + 0,8 \cdot 97 \cdot 7,5^2 + \frac{50 \cdot 1,5^3}{12} + \frac{70,7 \cdot 1,5^3}{12} + 50 \cdot 1,5 \cdot 41,75^2 + 70,7 \cdot 1,5 \cdot 31,75^2 = 321315 \text{ cm}^4$$

$$i_y = \sqrt{I_y/A} = \sqrt{(125790/296)} = 20,6 \text{ cm} ; i_z = \sqrt{I_z/A} = \sqrt{(321315/296)} = 33 \text{ cm}$$

$$W_y = I_y/z_{\max} = 125790/28,4 = 4429 \text{ cm}^3 ; W_z = I_z/y_{\max} = 321315/57,5 = 5588 \text{ cm}^3$$

$$\lambda_y = I_{ry}/i_y = 435 \cdot 4/20,6 = 84 \quad \text{--->} \varphi_y^B = 0,005$$

$$\lambda_z = I_{rz}/i_z = 435 \cdot 1/33 = 13 \quad \text{--->} \varphi_z^B = 0,993$$

$$\text{====>} \varphi_{\min}^B = 0,005$$

c) Verificarea sectiunii.

$$\sigma = \frac{287210}{0,005 \cdot 296} + \frac{205200}{4429} + \frac{3274900}{5588} = 2091 \text{ daN/cm}^2 < R = 2100 \text{ daN/cm}^2$$

Verificarea zveltetii:  $\lambda_{\max} = 84 < \lambda_a = 120$

Se va mari sectiunea inelului din conditia ca sa fie mai lat ca diametrul picioarelor din teava care este  $D=600,4 \text{ mm}$ , latimea

inelului luindu-se 700 mm.

d) Calculul caracteristicilor geometrice (fig. 8.7).

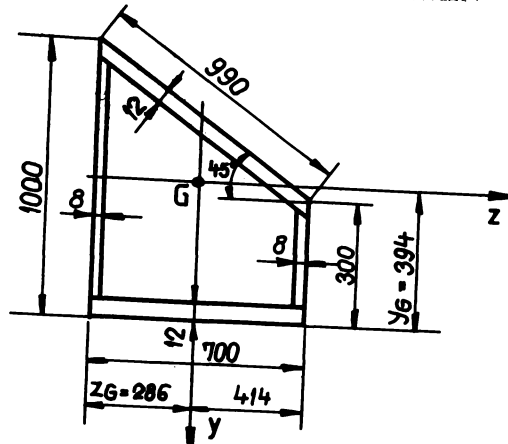


FIG. 8.7

$$Y_G = \frac{70 \cdot 1,2 \cdot 0,6 + 99 \cdot 1,2 \cdot 0,4 + 97,6 \cdot 0,8 \cdot 0,5 + 27,6 \cdot 0,8 \cdot 0,15}{70 \cdot 1,2 + 99 \cdot 1,2 + 97,6 \cdot 0,8 + 27,6 \cdot 0,8} = 39,4 \text{ cm}$$

$$Y_G = 394 \text{ mm}$$

$$Z_G = \frac{70 \cdot 1,2 \cdot 35 + 99 \cdot 1,2 \cdot 35 + 97,6 \cdot 0,8 \cdot 0,4 + 27,6 \cdot 0,8 \cdot 0,6}{302,96} = 28,6 \text{ cm}$$

$$Z_G = 286 \text{ mm}$$

$$A = 70 \cdot 1,2 + 99 \cdot 1,2 + 97,6 \cdot 0,8 + 27,6 \cdot 0,8 = 302,96 \text{ cm}^2$$

$$A_m = \frac{(b+B) \cdot l}{2} = \frac{(28,8 + 98,8) \cdot 0,8}{2} = 4415 \text{ cm}^2$$

$$I_x = (4 \cdot 4415^2) / \left( \frac{97,6}{0,8} + \frac{27,6}{0,8} + \frac{70}{1,2} + \frac{99}{1,2} \right) = 262227 \text{ cm}^4$$

$$I_y = \frac{1,2 \cdot 70^3}{12} + \frac{1,2 \cdot 99^3}{12} + 1,2 \cdot 70 \cdot 0,4^2 + 1,2 \cdot 99 \cdot 0,4^2 + 0,8 \cdot 97,6 \cdot 28,2^2 + 0,8 \cdot 27,6 \cdot 41^2 = 238845 \text{ cm}^4$$

$$i_z = \frac{0,8 \cdot 97,6^3}{12} + 0,8 \cdot 97,6 \cdot 10,6^2 + 0,8 \cdot 27,6 \cdot 24,4^2 + \frac{0,8 \cdot 27,6^3}{12} + 70 \cdot 1,2 \cdot 38,8^2 + 99 \cdot 1,2 \cdot 25^2 = 286008 \text{ cm}^4$$

$$i_y = \sqrt{(I_y/A)} = \sqrt{(238845/302,96)} = 28,0 \text{ cm}$$

$$i_z = \sqrt{(I_z/A)} = \sqrt{(286008/302,96)} = 30,7 \text{ cm}$$

$$W_y = I_y/z_{\max} = 238845/41,4 = 5769 \text{ cm}^3 ; \quad W_z = I_z/y_{\max} = 286008/60,6 = 4720 \text{ cm}^3$$

e) Verificarea sectiunii.

$$\lambda_y = I_{fy}/i_y = 435 \cdot 4/28 = 62 \quad \text{--->} \quad \varphi_y^B = 0,816$$

$$\lambda_z = I_{fz}/i_z = 435 \cdot 1/30,7 = 14 \quad \text{--->} \quad \varphi_z^B = 0,992$$

$$\text{====>} \quad \varphi_{\min}^B = 0,816$$

$$\sigma = \frac{287216}{0,816 \cdot 302,96} + \frac{205200}{5769} + \frac{3274900}{4720} = 1891 \text{ daN/cm}^2 < R$$

### 8.5.6. Dimensionarea inelului superior 1.

a) Solicitarile de calcul.

$$N = 169381 \text{ daN} ; \quad M_y = +8158 \text{ daN} \cdot \text{m} ; \quad M_z = 114843 \text{ daN} \cdot \text{m}$$

b) Alegerea sectiunii  
(fig. 8.8).

$$A = 2 \cdot 1,5 \cdot 50 + 2 \cdot 0,8 \cdot 97 = 305 \text{ cm}^2$$

$$A_m = 49,2 \cdot 98,5 = 4846 \text{ cm}^2$$

$$I_f = \frac{4 \cdot 4846^2}{2 \cdot 97 \cdot 2 \cdot 50 + \frac{0,8}{1,5}} = 303832 \text{ cm}^4$$

$$I_y = 2 \cdot \frac{1,5 \cdot 50^3}{12} + 2 \cdot \frac{97 \cdot 0,8^3}{12} + 2 \cdot 97 \cdot 0,8 \cdot 24,6^2 = 125179 \text{ cm}^4$$

$$I_z = 2 \cdot \frac{0,8 \cdot 97^3}{12} + 2 \cdot \frac{50 \cdot 1,5^3}{12} + 2 \cdot 1,5 \cdot 50 \cdot 49,25^2 = 485552 \text{ cm}^4$$

$$i_y = \sqrt{(I_y/A)} = \sqrt{(125179/305)} = 20,3 \text{ cm}$$

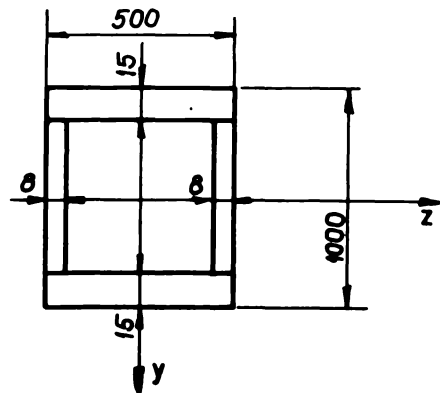


FIG. 8.8

$$i_z = \sqrt{I_z/A} = \sqrt{(485552/305)} = 39,9 \text{ cm}$$

$$W_y = I_y/z_{\max} = 125179/25 = 5007 \text{ cm}^3 ; \quad W_z = I_z/y_{\max} = 485552/50 = 9711 \text{ cm}^3$$

$$\lambda_y = i_{ry}/i_y = 290/20,3 = 14 ; \quad \lambda_z = i_{rz}/i_z = 290/39,9 = 7$$

c) Verificarea sectiunii.

$$\sigma = \frac{169381}{305} + \frac{815800}{5007} + \frac{11484300}{9711} = 1901 \text{ daN/cm}^2 < R = 2100 \text{ daN/cm}^2$$

Verificarea zveltetii:  $\lambda_{\max} = 14 < \lambda_a = 400$

### 8.5.7 Dimensionarea structurii dintre inele.

a) Solicitari de calcul.

$$N = -99085 \text{ daN} , \quad M_y = -233 \text{ daN}\cdot\text{m} , \quad M_z = -160 \text{ daN}\cdot\text{m}$$

b) Alegerea sectiunii.

Se alege o teava  $\Phi 245 \times 10$  cu caracteristicile geometrice:

$$A = 73,8 \text{ cm}^2 ; \quad I_x = \frac{\pi \cdot 24,5^4}{32} \cdot \left(1 - \frac{22,5^4}{24,5^4}\right) = 10211 \text{ cm}^4$$

$$I_y = I_z = 5105 \text{ cm}^4 ; \quad i_y = i_z = \sqrt{(5105/73,8)} = 8,3 \text{ cm}$$

$$W_y = W_z = I_y/z_{\max} = 5105/12,25 = 420 \text{ cm}^3$$

$$\lambda_y = \lambda_z = i_{ry,z}/i_{y,z} = 832/8,3 = 100 \text{ ----} \varphi^A = 0,587$$

c) Verificarea sectiunii.

$$\sigma = \frac{99085}{0,587 \cdot 73,8} + \frac{23300}{420} + \frac{16000}{420} = 2372 \text{ daN/cm}^2 \approx R + 3\% = 2369 \text{ daN/cm}^2$$

Verificarea zveltetii:  $\lambda_{\max} = 100 < \lambda_a = 150$

## CAPITOLUL 9

### CONCLUZII FINALE. CONTRIBUTII PERSONALE

Studiile si cercetarile intreprinse in cadrul tezei de doctorat au condus la o serie de concluzii care isi au suportul in rezultatele obtinute si inscrise in capitolele in care este structurata teza si care sint prezentate in cele ce urmeaza. Tot aici sint scoase in evidenta contributiile personale la obtinerea rezultatelor obtinute in teza de doctorat.

#### 9.1. CONCLUZII FINALE

##### 9.1.1. Concluzii privind solutiile de realizare a castelelor de apa.

Cele mai importante concluzii finale care rezulta din studierea in cadrul tezei de doctorat a posibilitatilor de inmagazinare a apei in castelele de apa sint urmatoarele:

1. Pentru dezvoltarea societatii omenesti, de o importanta deosebita este asigurarea necesarului de apa, fara de care viata nu este posibila.

Dupa ce se face o trecere in revista a importantei rolului apei la dezvoltarea societatii, este scoasa in evidenta cresterea consumului de apa in lume, ca urmare a factorilor de mai jos:

- \* Cresterea rapida a populatiei lumii, care se dubleaza in prezent la circa 33 de ani, putind ajunge dupa anul 2000 la aproximativ 7 miliarde de locuitori.

- \* Urbanizarea rapida a populatiei, prin transferul acesteia din comune si sate spre orase, contindu-se, dupa unii autori, ca la mijlocul secolului urmator, circa 90% din populatia globului va locui in orase.

- \* Cresterea vertiginoasa a necesitatilor de apa pentru dezvoltarea productiei industriale si agricole, considerindu-se ca productia industriala se dubleaza la circa 10 ani, iar cea agricola la circa 35...40 de ani.

2. Consumul de apa a crescut si in Romania in ultimii 30 de ani de circa 15 ori, ca urmare a dezvoltarii industriei si agriculturii.
3. Studiile mai multor autori [35][66] au scos in evidenta faptul ca agricultura intensiv irigata, care va trebui sa asigure hrana necesara unei cresteri rapide a populatiei, este cea care va consuma cea mai mare cantitate din apa necesara omenirii, impreuna cu dezvoltarea sectorului zootehnic. Dupa anul 2000 se estimeaza ca circa 80% din nevoile totale ale omenirii il solicita agricultura si zootehnia, mai ales in conditiile in care o foarte mare parte a globului - pustiurile si deserturile - nu sint fertile fara apa. Dupa agricultura si zootehnie, o mare consumatoare de apa este industria, care s-a dezvoltat si se dezvolta in continuare.
4. Sistematizarea si prezentarea istoricului dezvoltarii

posibilitatilor de inmagazinare a apei scoate in evidenta dezvoltarea, din cele mai vechi timpuri, a capacitatilor de inmagazinare a apei, mai intii in rezervoare realizate din zidarie de piatra sau caramida, de regula ingropate, apoi sub forma de rezervoare din lemn tolosite inca din cele mai vechi timpuri si, in fine, in epoca moderna, din fier sau otei si din beton armat sau precomprimat. Odata cu dezvoltarea si aparitia a noi materiale pentru constructii de rezervoare, a fost posibila cresterea capacitatii rezervoarelor si la realizarea unor rezervoare montate la inaltime sub forma de castele de apa.

5. Posibilitatile actuale de calcul automat cu ajutorul calculatorului, materialele folosite pentru realizarea rezervoarelor, dintre care oteul este pe primul loc, ca si tehnologiile de fabricatie de care dispune omenirea la ora actuala, permit realizarea unor rezervoare montate la inaltime, sub forma de castele de apa, cu capacitati mari de inmagazinare a apei, in conditii de deplina siguranta in exploatare si cu asigurarea unui aspect arhitectonic deosebit de reusit.

6. Tipurile de rezervoare pentru castele de apa sint foarte variate in prezent, dupa functiile pe care acestea le indeplinesc, ele putind fi grupate in patru categorii importante:

\* Rezervoare la care functia de asigurare a capacitatii portante, functia de etansare si cea de izolare si protectie sint indeplinite de acelasi element, care coincide cu structura portanta a rezervorului.

\* Rezervoare la care pe langa structura de rezistenta a rezervorului, pentru asigurarea functiei de etansare, se prevede un sistem suplimentar de executie.

\* Rezervoare la care, pentru satisfacerea functiei de izolare a rezervorului, se ataseaza un sistem de constructie suplimentar, pe langa cel de rezistenta.

Exista si posibilitatea ca, pe langa structura de rezistenta, sa se prevada constructii separate pentru etansare si pentru izolare.

\* Rezervoare la care, pentru protectia rezervorului, se prevede o constructie suplimentara de protectie. Aceasta poate fi combinata si cu functia de izolare sau cu functia de etansare.

7. Pentru realizarea castelelor de apa se folosesc diferite tipuri de rezervoare, clasificate dupa: felul structurii portante de rezistenta in: cilindrice, conice, sferice, sau de forme speciale, dupa sistemul de etansare a rezervorului sau dupa sistemul de izolare utilizat.

8. Forma si geometria rezervoarelor poate fi foarte variata, ea depinzind de modul de realizare a tundului, capacului si a peretilor rezervorului.

Aceste parti principale, care alcatuiesc rezervorul, pot fi realizate din elemente liniare, sub forma de bare, din elemente de suprafata, sub forma de pinze sau placi plane sau curbe, si din elemente combinate de suprafata si liniare.

9. Rezervoarele montate la inaltime sub forma de castele de apa sint tolosite pentru satisfacerea unor deziderate cum ar fi:

- asigurarea apei potabile in marile aglomerari urbane, asigurarea necesariului de apa in intreprinderi industriale sau a rezervei de apa pentru stingerea incendiilor, asigurarea necesariului de apa la termele a-grozootehnice de crestere a animalelor si a pasarilor sau pentru satisfacerea nevoilor de apa in locuri izolate, cum ar fi in unitati militare sau in statiuni de odihna.
10. Castelele de apa sint formate, in principal, din: rezervorul propriu-zis, in care se face inmagazinarea apei, din structura metalica de tip turn, care are rolul de a sustine rezervorul montat la inaltime, impreuna cu fundatiile pe care se reazema aceasta structura si din instalatiile auxiliare, care servesc la transportul si depozitarea apei in rezervor.
  11. Structurile de sustinere a rezervoarelor, realizate sub forma unor turnuri, pot fi, de asemenea, realizate intr-o foarte mare varietate de solutii constructive, care cuprind, in general, urmatoarele parti: partea superioara a structurii de sustinere, prin intermediul careia reazema rezervorul pe turn, turnul propriu-zis de sustinere, care asigura inaltimea necesara la care se monteaza rezervorul, si partea inferioara a acestuia, reprezentata de fundatiile castelelor de apa, prin care structura se descarca pe terenul de fundatie.
  12. Rezemarea rezervoarelor pe structura de sustinere se poate face: punctiform, pe o suprafata, pe un inel de rezemare sau prin intermediul unei membrane, la toate tipurile de rezervoare: cilindrice, conice si sferice.
  13. Castelele de apa sint executate la ora actuala, in special, cu rezervoare metalice si cu structuri de sustinere, de asemenea, metalice, care sint mult mai economice, datorita rezistentelor mult superioare ale otelului in comparatie cu cele ale betonului.
  14. Din punct de vedere constructiv si al formei, rezervoarele montate la inaltime in castele de apa au evoluat in decursul timpului, pe masura evolutiei cunostintelor ingineresti.
 

In ordinea folosirii lor in timp, rezervoarele metalice montate in castele de apa au fost executate la inceput ca rezervoare cilindrice realizate in doua variante: cu fund conic rezemate pe un trepid in apropierea virtului conului, sau cu fund sferic, rezemate pe o structura de sustinere prin intermediul unui inel montat la nivelul prinderii fundului sferic de mantaua cilindrica. Aceste rezervoare (Fig. 3.1) se folosesc la capacitati mici (60...250 mc).

In urmatoarea etapa, in primele decenii ale acestui secol, a fost folosit rezervorul incze, avind fundul format dintr-o portiune conica spre exterior si o portiune sferica spre zona centrala (fig. 3.2), rezemarea lui facindu-se pe o structura de sustinere in dreptul virturilor de racord dintre portiunea conica si cea sferica. Partea centrala sferica poate fi concava cu bombamentul in sus, sau convexa cu bombamentul in jos (cind fundul are doua portiuni conice).

Urmatorul tip de rezervor folosit a fost rezervorul sferic, folosit la capacitati de (100...600) mc si avind diametre de (6...10) m (fig. 3.3).

Un alt tip de rezervor este cel sferoidal, al carei manta

este formata din portiuni sferice de raze diferite, racordate intre ele (fig.3.4), utilizate in general la capacitati de (500...3000) mc, dar putind ajunge chiar pina la 12000 mc, avind diametre de 35...40 m.

Cele mai noi tipuri de rezervoare pentru castele de apa sint rezervoarele speciale, cum sint cele cilindrice cu fund elipsoidal, cele cu pereti in forma de tor cu fund sferoidal, precum si rezervoarele in forma de picatura de apa (fig.3.5), ultimele doua putind ajunge pina la capacitati de 15000 mc.

15. In ce priveste structura de sustinere a rezervoarelor montate la inaltime, aceasta poate fi realizate in mai multe variante, si anume:

- \* ca structura de tip turn cu zabrele cu patru, sase, opt sau mai multi stilpi (picioare) de sustinere, legati intre ei cu zabrele articulate, realizat fie cu stilpi verticali, fie evazati spre baza (fig.3.7).

- \* ca structura cu zabrele cu noduri rigide de tip Vierendeel, avind numai stilpi si montanti rigizi orizontali.

- \* ca structura tubulara din tabla, de forma cilindrica de sus pina jos sau de forma evazata spre baza, pe masura cresterii solicitatilor, sau evazat si sub rezervor, pentru o mai buna rezemare a acestuia (fig.3.8).

- \* ca structuri tubulare din mai multe tuburi (tevi) cuplate intre ele in manunchi si evazate sub forma de picioare la baza (fig.3.9).

16. In urma analizarii acestor variante de realizare a rezervorului si a structurii de sustinere, au fost avute initial in vedere pentru studiu, patru variante de castele de apa, si anume:

- \* castel de apa cu rezervor sferic si cu structura de sustinere tubulara din tabla, avind rezervorul cu volumul de 600 mc si diametrul de 10,5 m (fig.3.12).

- \* castel de apa cu rezervor sferic si structura cu zabrele cu noduri rigide de forma unui hiperboloid, avind rezervorul de aceeaasi capacitate (fig.3.13).

- \* castel de apa cu rezervor sferic, rezemat prin intermediul unui inel interior pe o structura cu zabrele de tip turn (fig.3.14).

- \* castel de apa cu rezervor sferic, rezemat pe o structura interioara cu doua inele legate cu zabrele si o constructie de sustinere cu zabrele, evazata spre baza (fig.3.15), diametrul rezervorului fiind de 16 m la o capacitate de 2000 mc.

Dintre aceste patru variante analizate, a fost studiata varianta a patra, cu rezemarea rezervorului pe doua inele, unul superior montat in interiorul rezervorului si unul inferior, la baza, dispus in exterior sub rezervor, legate intre ele prin zabrele interioare (fig.3.15), inelul interior fiind apoi rezemat pe o structura de sustinere cu zabrele.

Pentru acest castel de apa s-au facut studii teoretice, pentru stabilirea starii de eforturi in cele trei zone ale rezervorului, capacul de deasupra inelului superior, corpul rezervorului, capatul de sub inelul interior, dintre cele doua inele si rundul de sub inelul interior, pentru care au fost determinate formule de calcul ai



eforturilor.

De asemenea, a fost calculata, cu ajutorul calculatorului electronic si structura de sustinere a acestuia.

#### 9.1.2 Concluzii privind materialele folosite pentru realizarea castelelor de apa.

17. La realizarea castelelor de apa metalice, pentru executia rezervorului si a structurii de sustinere se folosesc, in general, otelul. Pentru executarea rezervorului de inmagazinare a apei se pot folosi si aliaje de aluminiu.
18. Otelul folosit la executia rezervoarelor si a structurii de sustinere poate fi: otel normal Siemens-Martin sau de convertizor, otel slab aliat, obtinut prin aceleasi procedee in urma alierii cu alte metale, otel rezistent la coroziune si oteluri speciale.
19. Otelurile intrebuintate la realizarea rezervoarelor si a structurilor de sustinere trebuie sa satisfaca clasele de calitate si compozitia chimica din STAS 500/1-89 si 500/2-80.
20. Otelurile rezistente la coroziune folosite la executia rezervoarelor satisfac conditiile de calitate cerute de STAS 500/3-80, in care este prevazuta si compozitia chimica a acestora.
21. In cazuri speciale, pentru rezervoarele metalice se pot folosi si aliajele de aluminiu, cu avantajul unei greutate mult mai mici decit la cele din otel.

#### 9.1.3. Concluzii privind calculul rezervorului.

22. Principalele incarcari care au fost luate in considerare la calculul rezervorului au fost greutatea proprie, presiunea lichidului (cu diferite niveluri de umplere), depresiunea interioara, vant si, in plus, seismul, pentru calculul structurii de sustinere. Din calculele efectuate a rezultat ca, pentru calculul de rezistenta al rezervorului, cea mai importanta actiune este presiunea lichidului (rezervor plin), pentru calculul de stabilitate al rezervorului - depresiunea interioara, iar pentru structura de sustinere - incarcari seismice.
23. Distributia cea mai dificil de apreciat este cea din vant, cu o variatie a presiunilor si suptiunilor foarte complexa. Pentru rezervoarele de inaltime, dupa STAS 10101/20-90, distributia actiunii vintului prezinta o axa de simetrie orizontala, constatare care va fi folosita in continuare la determinarea starii de eforturi si deformatii.
24. In lucrare a fost dezvoltata atat teoria de membrana, cit si cea de incovoiere, particularizind ecuatiile cunoscute pentru cazul sterei complete. Au fost determinate atat eforturile, cit si deplasările rezervorului. Pentru cazul teoriei de incovoiere, a fost preferata metoda Geckelor, fiind mai simpla decit celelalte metode cunoscute.
25. Pentru calculul eforturilor si deformatiilor din intervalele virtului si fundului rezervorului, se poate utiliza teoria de membrana, cu corectarea valorilor in zona inelelor de rigidizare folosind teoria de incovoiere.

26. In intervalul dintre inelele de rigidizare, segmentul de sfera este static nedeterminat chiar si in stadiul de membrana, si este necesara folosirea unei metode de calcul care tine seama de impiedicarea deplasariilor marginilor placii de catre inelele legate intre ele cu montanti si diagonale.
27. Datorita utilizarii a doua inele de sustinere legate intre ele si introduse in interiorul rezervorului, starea de eforturi si deformatii se modifica substantial rata de cazul rezemarii pe un singur inel. Astfel, calculele au aratat ca prin acest sistem de rezemare, eforturile din presiunea lichidului sint practic numai de intindere, spre deosebire de cazul rezemarii pe un singur inel, la care eforturile de compresiune au valori importante.
28. Din calculele comparative efectuate a rezultat ca in cazul incarcarii din lichid, eforturile maxime s-au obtinut pentru cazul umplerii complete a rezervorului.
29. Calculul la actiunea vintului prezinta dificultati majore din cauza faptului ca rezervorul are axa de simetrie verticala, iar distributia presiunilor din vint are o simetrie rata de o axa orizontala. Aceasta neconcordanta a necesitat elaborarea unei metode de calcul originale, care este prezentata in paragraful privind contributiile autorului.
30. Din cauza distributiei neuniforme a presiunii vintului, eforturile din sfera au o mare variatie, prezentind atat compresiuni, cit si intinderi. Cu toate ca prezenta inelelor perturba simetria rata de axa orizontala, marimea eforturilor a fost putin modificata, pastrindu-se in mare masura simetria rata de aceasta axa, rezultind, astfel, forte de lunecare mici.
31. Verificarea de rezistenta a rezervorului, facuta pentru combinatii de actiuni, a aratat ca grosimea tablei rezervorului a fost bine aleasa, eforturile unitare maxime fiind apropiate de limita de curgere de calcul.
32. Comparatia comportarii la stabilitate a barei rata de cea a sferei complete au aratat diferente foarte mari, care au dus la concluzia ca principiile de verificare trebuie sa fie diferite.
33. Dintre normele de verificare la stabilitate a placilor curbe, cele mai moderne la ora actuala sint Recomandarile CECM si DAST-Richtlinie 13.
34. Principiul de verificare la stabilitate cuprins in cele doua norme este identic, dar exista diferente intre valorile numerice prescrise. Comparatia facuta in lucrare intre cele doua prevederi au aratat ca, in zona elastica, diferentele constau numai in considerarea sau nu a conditiilor de rezemare, in zona elasto-plastica, unde racordarea se face cu formule aproximative, Recomandarile au adoptat o curba exponentiala, pe cind DAST-Richtlinie 13 prevad drepte de racordare. Exista diferente in zona de comportare plastica, dar domeniul nu este interesant pentru cazurile practice.
35. Din analiza starii de eforturi a rezultat ca verificarea la stabilitate trebuie facuta din depresiune, la care se adauga, in zonele din viri si fund, greutatea proprie, iar in zona din mijloc - presiunea vintului.

36. In lucrare se prezinta teoria neliniara a placilor curbe, particularizata pentru sterele complete. Au fost analizate atit teoria complet neliniara, cit si cea liniarizata, care serveste la determinarea incarcarii critice de birurcare.
37. Intrucit incarcariile critice de birurcare cunoscute in literatura au fost determinate dintr-o presiune radiala care isi pastreaza directia in timpul voalarii placii, in lucrare s-a analizat influenta modificarii directiei presiunilor in cazul incarcarii hidrostatice. S-a ajuns la concluzia ca, spre deosebire de cazul instabilitatii arcelor, la care aceasta modificare este foarte importanta, in cazul placilor curbe, valorile incarcariilor critice sint putin modificate.
38. Pentru determinarea incarcarii inferioare au fost analizate rezultatele prezentate in literatura de specialitate, aratindu-se o variatie mare a valorilor obtinute, functie de forma suprafetei de voalare adoptata si de conditiile de margine tolosite.
39. In lucrare se analizeaza, de asemenea, si influenta conditiilor de rezemare asupra incarcarii inferioare, asa cum este relatata in lucrarile de publicate. Doua din metodele prezentate in literatura (Haas si Gloncu) au fost particularizate pentru cazul rezervorului cu inele de rigidizare. S-a aratat ca inelele, diagonalele si montantii au o rigiditate suficient de mare ca sa asigure o incastrare aproape perfecta a marginilor tronsoanelor de placa.
40. In lucrare se prezinta o metoda de verificare a stabilitatii rezervoarelor sferice complete, bazata pe principiul normei DASf-Richtlinie 13, dar cu modificarea coeficientului de reducere  $\alpha$ .
41. Verificarea la stabilitate a rezervorului a aratat ca incarcariile ultime sint mult mai mari decit cele de calcul. O reducere a grosimii tablei nu este insa posibila, din cauza calculului de rezistenta.
42. Concluzia ca verificarea stabilitatii nu este notarioare pentru rezervorul studiat subliniaza eficienta sistemului constructiv ales care, prin cele doua inele de rezemare a rezervorului, a eliminat eforturile de compresiune din presiunea lichidului - care este incarcarea cea mai importanta.

#### 9.1.4. Concluzii privind incarcariile si calculul automat al structurii de sustinere si al rezervorului studiat.

43. Pentru castelul de apa studiat cu rezervorul sferic sustinut de o structura inferioara formata din doua inele legate intre ele cu zabrele, inelul interior exterior fiind rezemat pe structura in forma de turn ce sustine rezervorul la inaltime, au fost determinate actiunile provenite din incarcari permanente, cvasipermanente si variabile care se exercita asupra rezervorului si a structurii de sustinere.
44. Actiunea greutatii proprii a rezervorului si presiunea apei in interior a fost luata in considerare la calculul structurii de sustinere, sub forma unor reactiuni verticale si orizontale si a unor momente uniform distribuite pe conturul inelelor, determinate la calculul rezervorului. La fel s-a luat in calcul si actiunea vintului, respectiv a seismului pe

- castelului de apa.
- 4b. Cu aceste actiuni distribuite au fost determinate componentele dupa cele trei axe ale incarcarii concentrate in nodurile structurii de sustinere, care au fost introduse in calculul automat al structurii, cu ajutorul calculatoarelor electronice.
  - 4b. Prin rulara la calculator a structurii, au fost determinate deplasariile structurii si eforturile insumate - momente, forte axiale, forte taietoare - cu care, apoi, a fost facuta dimensionarea elementelor structurii de sustinere, dimensiunile acestora rezultand cu valori normale sau chiar economice.

## 9.2. CONTRIBUTII PERSONALE ALE AUTORULUI LA ELABORAREA TEZEI DE DOCTORAT

in activitatea de elaborare a tezei de doctorat, consider ca principalele contributii personale sint urmatoarele:

1. A fost facuta o ordonare si evidentiere a factorilor care conduc la cresterea necesarului de apa in viata si activitatea oamenilor, cu incercarea de justificare a tendintelor viitoare de sporire a nevoilor de apa ale societatii.
2. Studiile bibliografice intreprinse au permis o sistematizare a evolutiei rezervoarelor pentru inmagazinarea apei, incepind din cele mai vechi timpuri si pina in prezent, cu indicarea principalelor tipuri de rezervoare, dupa functiile pe care le satisfac si dupa forma si geometria lor, cu indicatii pentru viitor.
3. In urma studierii bibliografiei avuta la dispozitie, a fost facuta o sistematizare si clasificare a tuturor tipurilor de structuri de sustinere a rezervoarelor pentru castele de apa, care au forme si geometrii foarte variate. Aceasta creaza mari posibilitati pentru proiectanti, de alegere a celor mai rationale sisteme, atit din punct de vedere al rezistentei, al avantajelor economice, cit si din punct de vedere al aspectului arhitectonic al castelului de apa.  
Ca urmare a analizei unor solutii deosebite de realizare a castelelor de apa, o contributie mai importanta a fost aceea a alegerii unei noi solutii de structura de sustinere a rezervorului sferic, prin intermediul a doua inele - unul interior si altul exterior - legate intre ele cu zabrele, care sint apoi sustinute de o constructie tip turn cu zabrele.  
Acest tip de castel de apa nu a fost executat pina in prezent, el avind deci un caracter de noutate care va putea fi folosit in viitor la realizarea unor castele de apa de mare capacitate.
5. Cea mai importanta contributie este cea privind calculul rezervorului, rezemat pe cele doua inele, la care elementele de noutate cuprinse in teza de doctorat sint cele inscrise in punctele care urmeaza.
6. Determinarea unei relatii analitice pentru variatia presiunilor si suptiunilor din vint pe sfera completa. In SIAS 10101/20-90 sint date valori numerice in diferite puncte ale

sterei, care nu pot fi folosite în cadrul metodelor analitice din teoria de membrana și de încovoiere. De aceea, a fost necesară aproximarea acțiunii cu o serie trigonometrică conținând cinci termeni, coeficienții numerici fiind determinați astfel ca variația presiunilor să coincidă cu valorile normale.

7. Elaborarea unei metode de calcul pentru segmentul de sferă cuprins între cele două inele de rigidizare. Deoarece prezența diagonalelor și montanților ce leaga cele două inele împiedică deplasările tangențiale ale sterei la nivelul legăturilor cu inelele de susținere, structura în această zonă este static nedeterminată. Folosind metoda eforturilor, calculând deplasările sistemului de bază și dintr-o forță unitară tangențială la sferă (calculul deplasărilor la plăcile curbe prezintă dificultăți sporite față de calculul eforturilor), au fost calculate eforturile și deplasările sistemului static nedeterminat, ce diferă foarte mult de starea de eforturi a sistemului static determinat.
8. Elaborarea unei noi metode de calcul la vânt a rezervoarelor sferice montate la înălțime. Dificultatea problemei constă în faptul că rezervorul are axa de simetrie verticală, care nu coincide cu axa de simetrie a presiunilor din vânt - care este orizontală. Procedeu folosit constă în determinarea reacțiunilor ce apar în cele două inele din rezultanta totală a încărcării din vânt și distribuția acestor rezultante în lungul inelelor ca forțe de legătură între sferă și inele. Astfel, determinarea eforturilor din sferă s-a putut face dintr-o ecuație de echilibru global, în care, pe lângă încărcările din vânt și eforturile din sferă, intervin și eforturile din inele.
9. S-a studiat influența încărcărilor de tip hidrostatic asupra încărcării critice de bifurcare, demonstrându-se că modificarea direcției presiunii în timpul voalării nu are efecte mari în cazul rezervorului analizat. Necesitatea acestui studiu a rezultat din faptul că încărcările critice de bifurcare prezentate în literatură au fost determinate dintr-o presiune radială care nu-și modifică direcția în timpul voalării, efect care la arce este foarte important.
10. Pentru stabilirea gradului de încăstrare în margini a segmentelor de sferă, necesară în vederea determinării reducerii încărcării critice inferioare, a fost stabilită o relație de calcul în care intervin elementele de susținere: restul plăcii curbe, inelul de susținere, diagonalele și montanții ce leaga cele două inele.
11. S-a elaborat o metodă de verificare la stabilitate a rezervoarelor complete, bazată pe principiul normei germane DAST-Richtlinie 13. Modificarea adusă acestei metode constă din propunerea unui alt coeficient  $\alpha$  de reducere a încărcării critice de bifurcare decât cel prevăzut în norma respectivă. Justificarea acestei modificări s-a făcut pe baza analizei valorii experimentale prezentate în literatură, analiză care a separat rezultatele obținute pe sfere complete și calote sferice încăstrate de cazul calotelor sferice simplu rezemate articulat sau rezemate elastic. S-a constatat că toate valorile experimentale obținute în primul caz sînt mult

superioare celor obtinute in al doilea caz, justificind alegerea unui alt coeficient de reducere  $\alpha$ , specific numai rezervoarelor sferice complete.

12. Rezultatele cercetarilor, elementele de noutate si contributiile personale cuprinse in prezenta teza de doctorat, consider ca vor contribui la introducerea in proiectare a noului sistem de castel de apa, care prezinta o serie de avantaje in practica.

ANEXA A<sub>0</sub>

1. Calculul rotirii tangentei  $\chi_{\varphi}$

Din relatiile (5.39), (5.29a,b) si (5.26)

$$\begin{aligned} \chi_{\varphi} &= \frac{1+\mu}{E \cdot t} \cdot (N_{\varphi} - N_{\theta}) \cdot \operatorname{ctg} \varphi + \frac{1}{E \cdot t} \cdot \frac{d}{d\varphi} (Z \cdot R + N_{\varphi}) = \\ &= \frac{1}{E \cdot t} \cdot \left\{ (1+\mu) \cdot \left[ (N_{\varphi} - N_{\theta}) \cdot \operatorname{ctg} \varphi + \frac{dN_{\varphi}}{d\varphi} \right] + R \cdot \frac{dZ}{d\varphi} \right\} = \\ &= \frac{1+\mu}{E \cdot t} \cdot \frac{1}{\sin \varphi} \cdot \left( \frac{dN_{\varphi}}{d\varphi} \cdot \sin \varphi + N_{\varphi} \cdot \cos \varphi - N_{\theta} \cdot \cos \varphi \right) + \frac{R}{E \cdot t} \cdot \frac{dZ}{d\varphi} = \\ &= \frac{1+\mu}{E \cdot t} \cdot \frac{1}{\sin \varphi} \cdot \left[ \frac{d(N_{\varphi} \cdot \sin \varphi)}{d\varphi} - N_{\theta} \cdot \cos \varphi \right] + \frac{R}{E \cdot t} \cdot \frac{dZ}{d\varphi} = \\ &= - \frac{R}{E \cdot t} \cdot \left[ (1+\mu) \cdot \gamma - \frac{dZ}{d\varphi} \right] \end{aligned}$$

in care s-a folosit relatia (5.23a)

**ANEXA A<sub>1</sub>**

1.

$$I = \int \left( 2 \cdot \frac{1 - \cos \varphi}{\sin^3 \varphi} - \operatorname{ctg} \varphi \right) \cdot d\varphi = 2 \cdot I_1 - 2 \cdot I_2 - I_3$$

a) Calculul integralei  $I_1 = \int \frac{d\varphi}{\sin^3 \varphi}$

$$\int \frac{d\varphi}{\sin^n \varphi} = \frac{n-2}{n-1} \int \frac{d\varphi}{\sin^{(n-2)} \varphi} - \frac{1}{n-1} \cdot \frac{\cos \varphi}{\sin^{(n-1)} \varphi}$$

$$\int \frac{d\varphi}{\sin \varphi} = \ln \left( \frac{\operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}}{2} \right)$$

Rezulta:

$$I_1 = \frac{1}{2} \int \frac{d\varphi}{\sin \varphi} - \frac{1}{2} \cdot \frac{\cos \varphi}{\sin^2 \varphi} = \frac{1}{2} \cdot \ln \left( \frac{\operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}}{2} \right) - \frac{1}{2} \cdot \frac{\cos \varphi}{\sin^2 \varphi}$$

b) Calculul integralei  $I_2 = \int \frac{\cos \varphi}{\sin^3 \varphi} \cdot d\varphi$

$$\sin \varphi = x, \quad \cos \varphi \cdot d\varphi = dx$$

$$I_2 = \int \frac{dx}{x^3} = -\frac{1}{2 \cdot x^2} = -\frac{1}{2 \cdot \sin^2 \varphi}$$

c) Calculul integralei  $I_3 = \int \frac{\cos \varphi}{\sin \varphi} \cdot d\varphi = \ln(\sin \varphi)$

Rezulta astfel:

$$I = \ln \left( \frac{\operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}}{2} \right) - \frac{\cos \varphi}{\sin^2 \varphi} + \frac{1}{\sin^2 \varphi} - \ln(\sin \varphi) = \frac{1 - \cos \varphi}{\sin^2 \varphi} + \ln \left( \frac{\operatorname{tg}(\varphi/2)}{\sin \varphi} \right) =$$

$$= \frac{1 - \cos \varphi}{\sin^2 \varphi} + \ln \left( \frac{1}{2 \cdot \cos^2(\varphi/2)} \right) = \frac{1 - \cos \varphi}{\sin^2 \varphi} + \ln \left( \frac{1}{1 + \cos \varphi} \right) = \frac{1}{1 + \cos \varphi} - \ln(1 + \cos \varphi)$$

2.

$$I = \int \left( 2 \cdot \frac{\cos \varphi_1 - \cos \varphi}{\sin^3 \varphi} - \operatorname{ctg} \varphi \right) \cdot d\varphi = 2 \cdot \cos \varphi_1 \cdot I_1 - 2 \cdot I_2 - I_3$$



unde  $I_1$ ,  $I_2$  si  $I_3$  sint calculate la punctul 1.

$$I = \cos\varphi_1 \cdot \left( \ln\left(\operatorname{tg}\frac{\varphi}{2}\right) - \frac{\cos\varphi}{\sin^2\varphi} \right) + \frac{1}{\sin^2\varphi} - \ln(\sin\varphi) =$$

$$= \cos\varphi_1 \cdot \ln\left(\operatorname{tg}\frac{\varphi}{2}\right) - \ln(\sin\varphi) + \frac{1 - \cos\varphi_1 \cdot \cos\varphi}{\sin^2\varphi}$$

3.

$$I = \int \left( 2 \cdot \frac{1 + \cos\varphi}{\sin^3\varphi} + \operatorname{ctg}\varphi \right) \cdot d\varphi = 2 \cdot I_1 + 2 \cdot I_2 + I_3$$

unde  $I_1$ ,  $I_2$  si  $I_3$  sint calculate la punctul 1.

$$I = \ln\left(\operatorname{tg}\frac{\varphi}{2}\right) - \frac{\cos\varphi}{\sin^2\varphi} - \frac{1}{\sin^2\varphi} + \ln(\sin\varphi) = \ln\left(\operatorname{tg}\frac{\varphi}{2}\right) - \frac{1 + \cos\varphi}{\sin^2\varphi} + \ln(\sin\varphi) =$$

$$= \ln\left(\operatorname{tg}\frac{\varphi}{2} \cdot \sin\varphi\right) - \frac{1}{1 - \cos\varphi} = \ln\left(\frac{1 - \cos\varphi}{\sin\varphi} \cdot \sin\varphi\right) - \frac{1}{1 - \cos\varphi} = \ln(1 - \cos\varphi) - \frac{1}{1 - \cos\varphi}$$

4.

$$I = \int (\cos\varphi - \cos^2\varphi) \cdot \sin\varphi \cdot d\varphi = I_1 - I_2 = -\frac{\cos^2\varphi}{2} + \frac{\cos^3\varphi}{3}$$

$$a) I_1 = \int \cos\varphi \cdot \sin\varphi \cdot d\varphi = -\frac{\cos^2\varphi}{2}$$

$$b) I_2 = \int \cos^2\varphi \cdot \sin\varphi \cdot d\varphi = -\frac{\cos^3\varphi}{3}$$

5.

$$I = \int \frac{3 \cdot \cos\varphi - \cos^3\varphi - 2}{\sin^3\varphi} \cdot d\varphi = 3 \cdot I_1 - I_2 - 2 \cdot I_3$$

$$a) I_1 = \int \frac{\cos\varphi \cdot d\varphi}{\sin^3\varphi} = -\frac{1}{2 \cdot \sin^2\varphi} \quad (\text{vezi pct. 1.b})$$

$$b) I_2 = \int \frac{\cos^3\varphi}{\sin^3\varphi} \cdot d\varphi = \int \frac{1 - \sin^2\varphi}{\sin^3\varphi} \cdot \cos\varphi \cdot d\varphi = \int \frac{1 - x^2}{x^3} \cdot dx = -\frac{1}{2 \cdot x^2} - \ln x$$

$$\sin\varphi = x$$

$$I_2 = -\frac{1}{2 \cdot \sin^2\varphi} - \ln(\sin\varphi)$$

$$c) I_3 = \int \frac{1}{\sin^3 \varphi} \cdot d\varphi = \frac{1}{2} \cdot \ln\left(\frac{1}{\operatorname{tg} \varphi}\right) - \frac{1}{2} \cdot \frac{\cos \varphi}{\sin^2 \varphi} \quad (\text{vezi pct. 1.a})$$

$$I = -\frac{3}{2 \cdot \sin^2 \varphi} + \frac{1}{2 \cdot \sin^2 \varphi} + \ln(\sin \varphi) - \ln\left(\frac{1}{\operatorname{tg} \varphi}\right) + \frac{\cos \varphi}{2 \sin^2 \varphi} = \ln(1 + \cos \varphi) - \frac{1}{1 + \cos \varphi}$$

$$6. I = \int \frac{2 \cdot \sqrt{5} - 1 - (1/3) \cdot \cos^3 \varphi + \cos \varphi}{\sin^3 \varphi} \cdot d\varphi = (2 \cdot \sqrt{5} - 1) \cdot I_1 - \frac{1}{3} \cdot I_2 + I_3$$

$$a) I_1 = \int \frac{d\varphi}{\sin^3 \varphi} = \frac{1}{2} \cdot \ln\left(\frac{1}{\operatorname{tg} \varphi}\right) - \frac{1}{2} \cdot \frac{\cos \varphi}{\sin^2 \varphi} \quad (\text{vezi pct. 1.a})$$

$$b) I_2 = \int \frac{\cos^3 \varphi}{\sin^3 \varphi} \cdot d\varphi = -\frac{1}{2 \cdot \sin^2 \varphi} - \ln(\sin \varphi) \quad (\text{vezi pct. 5.b})$$

$$c) I_3 = \int \frac{\cos \varphi}{\sin^3 \varphi} \cdot d\varphi = -\frac{1}{2 \cdot \sin^2 \varphi} \quad (\text{vezi pct. 1.b})$$

$$I = (2 \cdot \sqrt{5} - 1) \cdot \left[ \frac{1}{2} \cdot \ln\left(\frac{1}{\operatorname{tg} \varphi}\right) - \frac{1}{2} \cdot \frac{\cos \varphi}{\sin^2 \varphi} \right] + \frac{1}{3} \cdot \left( \frac{1}{2 \cdot \sin^2 \varphi} + \ln(\sin \varphi) \right) - \frac{1}{2 \cdot \sin^2 \varphi} =$$

$$= \sqrt{5} \cdot \left( \ln\left(\frac{1}{\operatorname{tg} \varphi}\right) - \frac{\cos \varphi}{\sin^2 \varphi} \right) - \frac{1}{2} \cdot \ln\left(\frac{1}{\operatorname{tg} \varphi}\right) - \frac{1}{2} \cdot \ln(\sin \varphi) + \frac{3 \cdot \cos \varphi - 2}{6 \cdot \sin^2 \varphi}$$

$$7. I = \int \frac{3 \cdot \cos \varphi - \cos^3 \varphi + 2}{\sin^3 \varphi} \cdot d\varphi = 3 \cdot I_1 - I_2 + 2 \cdot I_3$$

$$a) I_1 = \int \frac{\cos \varphi \cdot d\varphi}{\sin^3 \varphi} = -\frac{1}{2 \cdot \sin^2 \varphi} \quad (\text{vezi pct. 1.b})$$

$$b) I_2 = -\frac{1}{2 \cdot \sin^2 \varphi} - \ln(\sin \varphi) \quad (\text{vezi pct. 5.b})$$

$$c) I_3 = \frac{1}{2} \cdot \ln\left(\frac{1}{\operatorname{tg} \varphi}\right) - \frac{1}{2} \cdot \frac{\cos \varphi}{\sin^2 \varphi} \quad (\text{vezi pct. 1.a})$$

$$I = -\frac{3}{2 \cdot \sin^2 \varphi} + \frac{1}{2 \cdot \sin^2 \varphi} + \ln(\sin \varphi) + \ln\left(\frac{1}{\operatorname{tg} \varphi}\right) - \frac{\cos \varphi}{\sin^2 \varphi} = \ln(1 - \cos \varphi) - \frac{1}{1 - \cos \varphi}$$

8.

$$I = \int (\cos f_1 - \cos f) \cdot \cos f \cdot \sin f \cdot df = \cos f_1 I_1 - I_2$$

$$a) I_1 = \int \cos f \cdot \sin f \cdot df = -\frac{\cos^2 f}{2} \quad (\text{vezi pct. 4.a})$$

$$b) I_2 = \int \cos^2 f \cdot \sin f \cdot df = -\frac{\cos^3 f}{3} \quad (\text{vezi pct. 4.b})$$

$$I = -\cos f_1 \cdot \frac{\cos^2 f}{2} + \frac{\cos^3 f}{3}$$

9.

$$I = \int \frac{-\cos^3 f + 3 \cdot \cos f - 3 \cdot \cos f_1 + \cos^3 f_1}{\sin^3 f} \cdot df = -I_1 + 3 \cdot I_2 - (3 \cdot \cos f_1 - \cos^3 f_1) \cdot I_3$$

$$a) I_1 = -\frac{1}{2 \cdot \sin^2 f} - \ln(\sin f) \quad (\text{vezi pct. 5.b})$$

$$b) I_2 = \int \frac{\cos f \cdot df}{\sin^3 f} = -\frac{1}{2 \cdot \sin^2 f} \quad (\text{vezi pct. 1.b})$$

$$c) I_3 = \frac{1}{2} \cdot \ln\left(\operatorname{tg} \frac{f}{2}\right) - \frac{1 \cdot \cos f}{2 \sin^2 f} \quad (\text{vezi pct. 1.a})$$

$$I = \frac{1}{2 \cdot \sin^2 f} + \ln(\sin f) - \frac{3}{2 \cdot \sin^2 f} - \frac{3 \cdot \cos f_1 - \cos^3 f_1}{2} \cdot \left( \ln\left(\operatorname{tg} \frac{f}{2}\right) - \frac{\cos f}{\sin^2 f} \right) =$$

$$= \ln(\sin f) - \frac{3 \cdot \cos f_1 - \cos^3 f_1}{2} \cdot \ln\left(\operatorname{tg} \frac{f}{2}\right) + \frac{(3 - \cos^2 f_1) \cdot \cos f_1 \cdot \cos f - 2}{2 \cdot \sin^2 f}$$

10

$$a) I_0 = \int \cos \alpha \cdot \sin \alpha \cdot d\alpha = -\int x \cdot dx = -\frac{x^2}{2} = -\frac{\cos^2 \alpha}{2}$$

$$\cos \alpha = x \quad -\sin \alpha \cdot d\alpha = dx$$

$$b) I_1 = \int \cos^2 \alpha \cdot \sin \alpha \cdot d\alpha = -\int x^2 dx = -\frac{x^3}{3} = -\frac{\cos^3 \alpha}{3}$$

$$c) I_2 = \int \cos 2\alpha \cdot \cos \alpha \cdot \sin \alpha \cdot d\alpha = \int (2 \cdot \cos^2 \alpha - 1) \cdot \cos \alpha \cdot \sin \alpha \cdot d\alpha =$$

$$= -\int (2 \cdot x^3 - x) \cdot dx = -\frac{x^2}{2} \cdot (x^2 - 1) = -\frac{\cos^2 \alpha}{2} \cdot (\cos^2 \alpha - 1)$$

$$\begin{aligned} \text{d) } I_3 &= \int \cos 3\alpha \cdot \cos \alpha \cdot \sin \alpha \cdot d\alpha = \int (4 \cdot \cos^3 \alpha - 3 \cdot \cos \alpha) \cdot \cos \alpha \cdot \sin \alpha \cdot d\alpha = \\ &= \int (4 \cdot \cos^4 \alpha - 3 \cdot \cos^2 \alpha) \cdot \sin \alpha \cdot d\alpha = -\int (4 \cdot x^4 - 3 \cdot x^2) \cdot dx = \\ &= -x^3 \cdot \left(\frac{4 \cdot x^2}{5} - 1\right) = -\cos^3 \alpha \cdot \left(\frac{4 \cdot \cos^2 \alpha}{5} - 1\right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{e) } I_4 &= \int \cos 4\alpha \cdot \cos \alpha \cdot \sin \alpha \cdot d\alpha = \int (2 \cdot \cos^2 2\alpha - 1) \cdot \cos \alpha \cdot \sin \alpha \cdot d\alpha = \\ &= \int [2 \cdot (2 \cdot \cos^2 \alpha - 1)^2 - 1] \cdot \cos \alpha \cdot \sin \alpha \cdot d\alpha = \\ &= \int (8 \cdot \cos^4 \alpha - 8 \cdot \cos^2 \alpha + 1) \cdot \cos \alpha \cdot \sin \alpha \cdot d\alpha = -\int (8 \cdot x^5 - 8 \cdot x^3 + x) \cdot dx = \\ &= -\frac{x^2}{2} \cdot \left(\frac{8 \cdot x^4}{3} - 4 \cdot x^2 + 1\right) = -\frac{\cos^2 \alpha}{2} \cdot \left(\frac{8 \cdot \cos^4 \alpha}{3} - 4 \cdot \cos^2 \alpha + 1\right) \end{aligned}$$

ANEXA A2

1.

$$\int e^{\beta f} \cdot \sin \beta f \cdot df = \frac{e^{\beta f}}{2 \cdot \beta} \cdot (\sin \beta f - \cos \beta f)$$
$$\int e^{\beta f} \cdot \cos \beta f \cdot df = \frac{e^{\beta f}}{2 \cdot \beta} \cdot (\sin \beta f + \cos \beta f)$$
$$\int e^{-\beta f} \cdot \sin \beta f \cdot df = -\frac{e^{-\beta f}}{2 \cdot \beta} \cdot (\sin \beta f + \cos \beta f)$$
$$\int e^{-\beta f} \cdot \cos \beta f \cdot df = \frac{e^{-\beta f}}{2 \cdot \beta} \cdot (\sin \beta f - \cos \beta f)$$

2.

$$\frac{d(e^{\beta f} \cdot \cos \beta f)}{df} = \beta \cdot e^{\beta f} \cdot (\cos \beta f - \sin \beta f)$$
$$\frac{d(e^{\beta f} \cdot \sin \beta f)}{df} = \beta \cdot e^{\beta f} \cdot (\cos \beta f + \sin \beta f)$$
$$\frac{d(e^{-\beta f} \cdot \cos \beta f)}{df} = -\beta \cdot e^{-\beta f} \cdot (\cos \beta f + \sin \beta f)$$
$$\frac{d(e^{-\beta f} \cdot \sin \beta f)}{df} = \beta \cdot e^{-\beta f} \cdot (\cos \beta f - \sin \beta f)$$

**ANEXA A<sub>3</sub>**

**1. Calculul integralei I<sub>1</sub>**

$$\int_{-x}^x \cos^2 \frac{k_x \cdot x}{R} \cdot dx = \frac{1}{2} \int_{-x}^x \left( \cos \frac{2 \cdot k_x \cdot x}{R} + 1 \right) dx = \frac{1}{2} \left[ \frac{R}{2 \cdot k_x} \cdot \sin \frac{2 \cdot k_x \cdot x}{R} + x \right]_{-x}^x =$$

$$= \frac{\pi \cdot R}{2 \cdot k_x}$$

$$\int_{-y}^y \cos^2 \frac{k_y \cdot y}{R} \cdot dy = \frac{\pi \cdot R}{2 \cdot k_y}$$

Rezulta

$$I_1 = \frac{\pi^2 \cdot R^2}{4 \cdot k_x \cdot k_y}$$

**2. Calculul integralei I<sub>2</sub>**

$$\int_{-x}^x \sin^2 \frac{k_x \cdot x}{R} \cdot \cos \frac{k_x \cdot x}{R} \cdot dx = \frac{R}{3 \cdot k_x} \left[ \sin^3 \frac{k_x \cdot x}{R} \right]_{-x}^x = \frac{2 \cdot R}{3 \cdot k_x}$$

$$\int_{-y}^y \cos^3 \frac{k_y \cdot y}{R} \cdot dy = \int_{-y}^y \left( 1 - \sin^2 \frac{k_y \cdot y}{R} \right) \cdot \cos \frac{k_y \cdot y}{R} \cdot dy = \int_{-y}^y \cos \frac{k_y \cdot y}{R} \cdot dy -$$

$$- \int_{-y}^y \sin^2 \frac{k_y \cdot y}{R} \cdot \cos \frac{k_y \cdot y}{R} \cdot dy = \frac{2 \cdot R}{k_y} - \frac{2 \cdot R}{3 \cdot k_y} = \frac{4 \cdot R}{3 \cdot k_y}$$

Rezulta

$$I_2 = \frac{8 \cdot R^2}{9 \cdot k_x \cdot k_y}$$

**3. Calculul integralei I<sub>3</sub>**

$$\int_{-x}^x \cos^3 \frac{k_x \cdot x}{R} \cdot dx = \frac{4 \cdot R}{3 \cdot k_x}$$

$$\int_{-y}^y \sin^2 \frac{k_y \cdot y}{R} \cdot \cos \frac{k_y \cdot y}{R} \cdot dy = \frac{2 \cdot R}{3 \cdot k_y}$$

## BIBLIOGRAFIE

- 1 - Huall R.F., King R.A.: Experimental investigation on the stability of monocoque domes subjected to external pressure. Exptl. Mech., 1965, nr.5, pg. 3131.
- 2 - Allen H.G., Bulson P.S.: Background to Buckling. McGraw Hill, 1980.
- 3 - Beles A.A., Soare M.V.: Calculul placilor curbe subtiri. Editura Tehnica, Bucuresti, 1967.
- 4 - Beles A.A., Soare M.V.: Berechnung von Schalentragwerken. Bauverlag GmbH. Wiesbaden und Berlin, 1972.
- 5 - Beles A.A., Soare M.V.: Paraboloidul eliptic si hiperbolic in constructii. Editura Academiei, Bucuresti, 1964.
- 6 - Beles A.A., Soare M.V.: Les paraboloides elliptiques et hyperboliques dans les constructions. Editura Dunod, Paris, 1967.
- 7 - Beles A.A., Soare M.V.: Das elliptische und hyperbolische paraboloid in Bauwesen. Veb verlag fur bauwesen, Berlin, 1971.
- 8 - Berke L., Carlson K.L.: Experimental studies of the postbuckling behaviour of complete spherical shells. Experimental Mechanics, Vol.8, 1968, pg.546.
- 9 - Birger I.A., Panovko I.B.: Procinost, ustoiçivost, kolebania. Tom 3, Izd. Masinostroenie, Moskva, 1966
- 10 - Bornscheuer B.F., Bornscheuer F.W.: zur alpha bemessung dünnwandiger Schalen Stahlbau, nr.4/1965, pg.112.
- 11 - Bornscheuer B.F.: Einheitliches Bemessungskonzept für gedruckte Schalen, Platten und Stäbe aus Baustahl. Dissertation, Universität Stuttgart, 1964.
- 12 - Caracostea A. si alti: Manual pentru calculul constructiilor. Vol.1, Editura Tehnica Bucuresti, 1977.
- 13 - Carlson K.L., Sendelbeck K.L., Hoff N.S.: Experimental studies of the buckling of complete spherical shells. Exptl. Mech., nr.7, 1967, pg.281.
- 14 - Daiban C., Juncan N., Serdescu C., Varga H., Vima S.: Constructii metalice, Bucuresti 1983.

- 15 - De Loringhoven Leo: Le chateau d'eau d'Iri-Amenas (Banara).  
ACIER STAHL STEEL 11/1964.
- 16 - Deutscher Ausschuss für Stahlbau (DASt): Richtlinie 013:  
Beurteilungsnachweise für Schalen. 1980
- 17 - D.I.N./2438 Beschweißte Stahlkonstruktion.
- 18 - Edläng B., Sanwelson L.A.: Shell buckling. General report  
Colocviu Budapesta, 1966, rapoarte finale, pg.203.
- 19 - Esslinger M., Geier B.: Postbuckling behaviour of structures  
Springer Verlag, Wien, 1973.
- 20 - Esslinger M., Geier B.: bemerkungen zur DASt Richtlinie 013.  
Der Stahlbau, nr.2, 1982, pg.37.
- 21 - European Convention of Constructional Steel work (ECCS):  
European recommendations for steel construction. section  
4.6. Buckling of shells, 1981.
- 22 - Gadeanu L., Mercea G., Regep Z.: Constructii metalice (cal-  
culul elementelor) vol. 1, I.P.I.V. Ilimisoara, 1989.
- 23 - Gadeanu L., Mercea G., Regep Z., Bred I., Bolcus D., Iosip M.  
Constructii metalice - indrumar de proiect si laborator,  
vol. 1, I.P.I.V. Ilimisoara, 1991.
- 24 - Gadeanu L., Mercea G., Regep Z., Bred I., Bolcus D., Iosip M.  
Constructii metalice - indrumator de proiect, vol. II,  
I.P.I.V. Ilimisoara, 1991.
- 25 - Gheorghiu Al.: Statica Constructiilor, vol. I, editura Tehnica  
Bucuresti, 1964.
- 26 - Gheorghiu Al.: Statica constructiilor, vol. II, editura Tehnica  
Bucuresti, 1965.
- 27 - Gioncu V.: Placi curbe subtiri de beton armat, Editura Aca-  
demiei, 1974.
- 28 - Gioncu V.: Thin Reinforced concrete shells. Special Analysis  
Problems, John Wiley, Chichester, 1977.
- 29 - Gioncu V., Ivan M.: Bazele calculului structurilor la  
stabilitate. Editura Pacia, 1985.
- 30 - Gioncu V., Ivan M.: teoria comportarii critice si post-  
critice a structurilor elastice. Editura Academiei, 1984.
- 31 - Gioncu V., Ivan M.: instabilitatea structurilor din placi  
curbe subtiri. Editura Academiei, 1978.
- 32 - Gioncu V.: Stabilitatea cupolelor incastrate elastic pe  
contur. Conferinta de constructii metalice, Ilimisoara, 1973.



- 33 - Gravina F.B.: Sobre a teoria das estruturas elasticas de superficie e sua applicacao ao calculo das cascas de revolucao. Sao Paulo, 1956.
- 34 - Haas A.M., Van Koten H.: The stability of double covered shells having a positive curvature index. Heron 17, nr.4, 1970.
- 35 - Hampe E.: Flussigkeitsbehälter, Band 1 Grundlagen, Berlin 1980.
- 36 - Hampe E.: Rotationssymmetrische Flächentragwerke, 1982.
- 37 - Hampe E.: Stabilität der Rotationsschalen. VEB Verlag für Bauwesen, Berlin 1983.
- 38 - Henrion Ed.: L'evolution de la construction des chateaux d'eau en acier. ACIER STAHLE STÄEL 1/1962.
- 39 - Henrion Ed.: La construction metallique des chateaux d'eau. ACIER STAHLE STÄEL 1/1965.
- 40 - Hillinger E.: Chateaux d'eau en acier de conception nouvelle. ACIER 4/1973.
- 41 - Homewood R.H., Grine A.C., Johnson A.E.: Experimental investigation for the buckling instability of monocoque shells. Proc.Soc.Experimental Stress Analysis, vol.16, 1961, pg.88.
- 42 - Hutchinson J.M., Koiter W.I.: Post-buckling theory. Applied Mechanics Review, nr.12, 1970, pg.1355.
- 43 - Hutchinson J.W.: Imperfection sensitivity of externally pressurized spherical shells. Journal of Applied Mechanics, nr.3, 1967, pg.49.
- 44 - Ivan M., Gobesz F., Banat N.: Statica constructiilor. Editura Academiei, Bucuresti 1961.
- 45 - Ivan M.: Bazele calculului linear al structurilor. Editura Facia, Timisoara 1985.
- 46 - Kinkel H.: Durchschlaglasten elastisch eingespannter, flacher Kugelschalen unter Aussendruck. Dissertation Darmstadt, 1970.
- 47 - Kloppele K., Jungblut U.: Beitrag zum Durchschlag - problem dünnwandiger Kugelschalen. Der Stahlbau, vol.22, nr.2, 1953, pg.125.
- 48 - Koiter W.I.: On the stability of elastic equilibrium. Teza de doctorat, Delft, 1945.
- 49 - Koiter W.I.: Elastic stability and post buckling behavior

In "Nonlinear problems", Symp. Wisconsin, 1965.

- 50 - Kollar L., Dulacska E.: Buckling of shells for engineers. Akademiai Kiado, Budapest 1984.
- 51 - Kollar L.: Buckling of complete spherical shells and spherical caps. Buckling of shells (E.Kamm editor) Colocviu mai 1982, Stuttgart, Springer Verlag Berlin, 1982, pg.401.
- 52 - Koten H., Haas A.M.: Influence of edge stiffness and the angle of buckled area on the stability of a spherical shell. Large Span shells, IASS Congress, Leningrad 1966, vol.1, pg.666.
- 53 - Kruger D.B., Blockner F.B.: Experiments on the stability of spherical and paraboloidal shells. Exptl. Mech., nr.6, 1971, pg.254.
- 54 - Little W.A.: Reability of shell buckling predictions. Research Monograph, nr.25, Cambridge M.I.T.Press, 1964.
- 55 - Loo I.C., Evan-Iwanowski R.M.: Experiments on stability on spherical caps. Journal Engineering Mechanical Division EMS, 1964, pg.266.
- 56 - Mateescu Dan: Constructii metalice speciale. Editura Tehnica Bucuresti 1956.
- 57 - Mateescu Dan: Constructii metalice speciale, ed.11. Editura Tehnica, Bucuresti 1962.
- 58 - Mateescu Dan, Ioan Caraba: Constructii metalice. Editura Tehnica, Bucuresti 1980.
- 59 - Mateescu D., Appeltauer I., Cuteanu E.: Stabilitatea la compresiune a structurilor din bare de otei. Editura Academiei Romane 1980.
- 60 - Mateescu D., Badeanu L., Mercea Gh., Muhidbacher K., Losmuciescu F.: Constructii metalice. Editura Didactica si Pedagogica, Bucuresti 1975.
- 61 - Mazilu F.: Statica constructiilor, vol.1. Editura de Stat pentru Arhitectura si Constructii, Bucuresti 1955.
- 62 - Mazilu F.: Statica constructiilor, vol.11. Editura Tehnica, Bucuresti 1959.
- 63 - Mercea G.: Constructii metalice - structuri. Editat I.P.I.V. Timisoara 1984.
- 64 - Mercea G., Badeanu L., Kegep Z.: Constructii Metalice (structuri), vol. 11. Editat I.P.I.V. Timisoara 1987.
- 65 - Mercea G., Kegep Z.: Constructii metalice (subingineri).

Editat I.F.I.V. limisoara 1971.

- 66 - Mirei I.: Alimentari cu apa. I.F.I.V. limisoara 1982.
- 67 - Munteanu I.: Structuri pentru constructii. teorie si calcul. Editura Academiei, Bucuresti 1985.
- 68 - PI00-91 Normativ. Proiectarea antisismica a constructiilor. Editat Bucuresti, 1990.
- 69 - Farmerter R.K.: The buckling of clamped shallow spherical shells under uniform pressure. Teza doctorat, California Inst. of Technology, 1963.
- 70 - Favei A.: Stabilitatea recipientelor. Editura Academiei, Bucuresti 1985.
- 71 - Patriniche N., Petre Siminea, Eugen Chesaru: Constructii metalice, Bucuresti 1982.
- 72 - Popescu Victor: Constructii metalice, Bucuresti 1985.
- 73 - Fozo Frutos F., Fozo Vindeu F.: Elastic buckling of non-perfect spherical shells of constant thickness, Congres IASS, Madrid 1979, vol. 1, pg.173.
- 74 - Fozo Frutos F., Fozo Vindeu F.: Buckling of ribbed spherical shells. Congres IASS, Madrid 1979, vol. 1, pg.197.
- 75 - Wuist W.B.: Le nouveau chateau d'eau en acier de Eindhoven (Pays-Bas). AUCK 11/1971.
- 76 - Kamm E. (editor): Buckling of shells. Colocviu Univeritatea Stuttgart, mai 1982, Springer Verlag, 1982.
- 77 - Regep L.: Structuri speciale metalice. Editat I.F.I.V. limisoara, 1983.
- 78 - Kondal J., Maguoi K.: Vers une formulation unifiee des principaux problemes d'instabilite des structures en acier. buletinul Conferintei a 11-a de Constructii metalice, limisoara 1979, vol. 1.
- 79 - Ross E.: zur berechnung vorgebeulten Kugelschalen unter gleichmaessigem Aussendruck. Der Stahlbau, nr.2, 1971, pg.3.
- 80 - Sawires M.I.: Iragiastberechnung dunnwandiger ausgesteifter Kugelschalen. Dissertation, Karlsruhe, 1968.
- 81 - Siminea F., Negrei I.: Constructii metalice si tehnologia executiei. Editura didactica si pedagogica, Bucuresti 1975.
- 82 - Boare M.V.: Aplicarea ecuatiilor cu diferente finite la calculul placilor curbe subtiri. Editura Academiei, Bucuresti, 1962.

- 83 - Soare M.V.: Application of finite difference equations to shell Analysis. Pergamon Press, Oxford 1967.
- 84 - Soare M.V.: Application des equations aux differences finies au calcul des coques. Eyrolles, Paris 1962.
- 85 - Steenbergen A.J., Den Hond G.H.: Chateau d'eau en acier a Amsterdam (Pays-Bas). ALIEN STAHL STEEL 7-8/1967.
- 86 - STAHL IM HOCHBAU - 13 Auflage Dusseldorf 1967.
- 87 - SIAS 500/1-87: Uteieri de uz general pentru constructii.
- 88 - SIAS 500/2-80: Uteieri de uz general pentru constructii.
- 89 - SIAS 500/3-80: Uteieri de uz general pentru constructii rezistente la corozione atmosferica.
- 90 - SIAS 10101/0-75: Actiuni in constructii. Clasificarea si gruparea actiunilor.
- 91 - SIAS 10101/0A-77: Actiuni in constructii. Clasificarea si gruparea actiunilor pentru constructii civile si industriale
- 92 - SIAS 10101/1-78: Actiuni in constructii. Greutati tehnice si incarcari permanente.
- 93 - SIAS 10101/2.A1-78: Actiuni datorate procesului de exploatare.
- 94 - SIAS 10101/20-90: Actiunea vintului.
- 95 - SIAS 10108/0-78: Constructii civile, industria si agricole. Calculul elementelor din otel.
- 96 - Serbescu C., Muhibacher K., Anarei C., Pescaru V.: Probleme speciale in constructii metalice. Editura Tehnica, Bucuresti 1984.
- 97 - Thompson J.M.I.: The elastic instability of a complete spherical shell. The Aero Quart, vol.XIII, nr.5, 1962, pg.187.
- 98 - Thompson J.M.I.: The post-buckling of a spherical shell by computer analysis. Conference on shell structures, San Francisco, 1962, pg.161.
- 99 - Limoshenko S., Gere J.: Teoria stabilitatii elastice, Editura Tehnica, 1967.
- 100 - Limoshenko S.F., Woinowsky-Krieger: Teoria placilor plane si curbe, Editura Tehnica, 1968.
- 101 - Volmir A.: Biegsame Platten und Schalen, VEB, Ver. fur

Bauw., Berlin, 1762.

- 102- Vandepitte D.: The background to the new ECCS Recommendations for shell buckling. Gent University Report, 1981.
- 103- Wang L.R., Argait L.R., Little W.A.: Effect of boundary conditions on the shell buckling. Journal of Eng. Mechanics Division, EMB, 1966, pg.101
- 104- Warolus L.: Les chateaux d'eau a tube central. ACIER STAHL STEEL 4/1964.

E R A T A

<u>Pag.:</u>	<u>rindul:</u>	<u>in loc de:</u>	<u>se va citi:</u>
23	24 de sus	rece-	recen-
23	25 de sus	nre	te
81	5 de jos	virf	zapada
215	6 de jos	introdologie	metodologie

OBSERVATIE:

In CAPITOLUL 6, in loc de DAST Richtlinie 13 se va citi DAST Richtlinie 013.

"Contributii la studiul castelilor de apa cu rezervoare sferice rezemate pe structuri de sustinere cu zabrele" - Teza de doctorat elaborata de Ing. YASER HADDAD