

UNIVERSITATEA POLITEHNICA TIMIȘOARA
FACULTATEA DE MECANICĂ

DOCTORAND
Ing. IOAN T. CIREȘ

TEZA DE DOCTORAT

CONDUCĂTOR ȘTIINȚIFIC
PROF. DR. ING. MARIN TRUȘCULESCU
MEMBRU TITULAR AL ACADEMIEI DE
ȘTIINȚE TEHNICE

TIMIȘOARA 2003

UNIVERSITATEA POLITEHNICA TIMIȘOARA
FACULTATEA DE MECANICĂ

Ing IOAN T.CIREȘ

TEMA TEZEI DE DOCTORAT

**STUDII ASUPRA COMPORTĂRII IN EXPLOATARE A
MATERIALELOR DIN COMPONENTA ELEMENTELOR
PORTANTE ALE STRUCTURILOR COMPLEXE PENTRU UTILAJE
GRELE MOBILE**

CONDUCĂTOR ȘTIINȚIFIC
PROF. DR. ING. MARIN TRUȘCULESCU
MEMBRU TITULAR AL ACADEMIEI DE
ȘTIINȚE TEHNICE

CUPRINS

INTRODUCERE	5
CAP.1. CONSIDERAȚII GENERALE	10
1.1. Scopul și necesitatea abordării temei	
1.2. Principalele elemente portante din structura unor utilaje grele mobile (U.G.M.).	
CAP.2. TEHNICA DE PROIECTARE PENTRU ELEMENTELE PORTANTE COMPLEXE	13
2.1. Acțiuni ce încarcă construcția metalică portantă a UGM.	
2.2. Funcționare și solicitări.	
2.3. Principalii factori care afectează durata de viață a U.G.M.	
2.4. Breviar de calcul pentru elementele cele mai solicitate .	
2.5. Studiul de oboseală la rotorul port cupe.	
2.6. Concluzii.	
CAP.3. CARACTERIZAREA MATERIALELOR FOLOSITE LA FABRICAREA CONSTRUCȚIILOR PORTANTE LA U.G.M.	101
3.1. Caracteristicile mecanice și structurale ale oțelurilor elementelor portante.	
3.2. Materiale de adaos.	
3.3. Defecte și metode de remaniere a acestora din elementele portante.	
3.4. Studiul fragilități structurale a materialelor din componenta roții cu cupe.	
3.5. Concluzii.	
CAP.4. CERCETĂRI ASUPRA COROZIUNII ELEMENTELOR PORTANTE ALE U.G.M.	143
4.1. Fenomene de coroziune.	
4.2. Tipuri specifice de coroziune și evaluarea tendinței la coroziune.	
4.3. Cercetări privind rezistența la coroziune ale unor zone din corpul roții cu cupe.	
4.4. Concluzii.	
CAP.5. CALITATEA ȘI COMPORTAREA ÎN EXPLOATARE A ELEMENTELOR U.G.M.	171
5.1. Principalele tipuri de defecte ce apar în exploatare.	
5.2. Fiabilitatea produselor complexe (U.G.M.)	
5.3. Bază de date privind concepția și proiectarea U.G.M.	
5.4. Controlul în exploatare a U.G.M.	
5.5. Expertizarea siguranței în exploatare a structurii portante.	

5.6. Metodologia de analiză a stării de oboseală a structurilor portante ale instalațiilor de ridicat din componența U.G.M.cu durata de viață depășită.

5.7. Concluzii.

CAP.6.	EFICIENȚA ECONOMICĂ A ROȚII CU CUPE REPROIECTATĂ	197
	6.1. Varianta inițială și varianta modernizată – reducerea consumului de materiale și manoperă .	
	6.2. Concluzii	
CAP.7.	CONSIDERAȚII FINALE, CONTRIBUȚII ORIGINALE, PROBLEME DE VIITOR	203
	7.1. Considerații finale .	
	7.2. Contribuții originale .	
	7.3. Probleme de viitor .	
	REFERINȚE BIBLIOGRAFICE	206
	ANEXE	

INTRODUCERE

În cadrul sistemului energetic național exploatarea minereurilor de cărbune ocupă un loc prioritar în vederea asigurării din resurse proprii într-o proporție cât mai mare a necesităților interne.

Pentru realizarea acestui obiectiv în industria extractivă se folosesc tehnologii și utilaje de mare complexitate și productivitate care urmăresc prin ridicarea gradului de mecanizare creșterea eficienței operațiilor de tăiere, încărcare și transport și implicit creșterea eficienței economice. În funcție de locul unde se utilizează aceste utilaje se pot grupa astfel :

- mașini, instalații și utilaje specifice exploatării subterane a substanțelor minerale utile.

- mașini, instalații și utilaje specifice exploatării și manipulării la suprafață a substanțelor minerale utile .

Grupa de utilaje grele mobile (U.G.M.) pentru exploatarea și manipularea la suprafață cuprinde : excavatoare cu rotor portcupe, mașini de haldat, mașini de lucru în depozit ,transportoare cu bandă de mare capacitate, cărucioare de bandă etc.

În etapa actuală se constată o trecere de la dezvoltarea extensivă la cea intensivă care duce la o creștere a producției nu numai prin investiții dar mai ales prin creșterea indicatorilor de utilizare ai instalațiilor, utilajelor etc. Aceasta presupune și o creștere a fiabilității în faza de exploatare care să asigure o corectă funcționare în procesul tehnologic ,fără defecțiuni, opririle urmând să se facă conform programelor de revizii și reparații tehnologice.

La intern se constată până în prezent , o reducere a programelor de investiții din industria minieră și o direcționare într-o mică măsură a fondurilor în vederea achiziționării de noi utilaje fabricate în țară. Această evoluție puternic descendentă după anul 1989 a fondurilor de investiții de la buget, mai ales în perioada 1990-1994 , s-a datorat atât recesiunii economice cât și a blocajului financiar și a gradului redus de competitivitate și fiabilitate a produselor .

Fondurile alocate de la buget pentru investiții în industria minieră sunt prezentate în tabelul 1.

Tabelul 1

Specific	UM	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996-2001
Valoare absolută	miliarde lei	13,6	10,8	7,5	12,0	56,1	120	200	500
Valoare comparată	miliarde lei	13,6	3,6	0,8	0,7	1,7	1,2	1,9	4,8
	%	100	3	9	17	33	100	105	104

În acest context economic precum și datorită prețurilor materialelor metalice, a componentelor mecanice și electrice, valoarea reală a utilajelor destinate manipulării și excavării cărbunelui la suprafață este foarte mare (1 - 12 miliarde lei) ceea ce duce la limitarea posibilităților de achiziționare de către potențiali beneficiari.

Ca tendințe actuale pe plan mondial se constată următoarele :

- modernizarea utilajelor existente în exploatare
- automatizarea și transmiterea datelor la distanță
- prevederea utilajelor cu echipamente de control al funcționării componentelor
- dotarea cu echipamente care să înregistreze masele vehiculate și timpul efectiv de lucru
- efectuarea de controale preventive și diagnosticări tehnice pentru a evita opririle accidentale
- asigurarea funcționării pe timp de iarnă
- asimilarea de transportoare cu debite mărite și transportoare cu debite variabile
- prevederea utilajelor cu microprocesoare și calculatoare

La noi în țară se acționează pentru rezolvarea unora din cerințele prezentate anterior, la ora actuală fiind luată în obiectiv modernizarea utilajelor existente în exploatare.

Modernizarea utilajelor grele mobile [excavatoarelor cu rotor port-cupe, mașinilor de depozitare (cărbune) și mașinilor de haldare (steril)] pentru carierele de lignit se face prin creșterea fiabilității următoarelor componente :

- rotorul port-cupe, inclusiv grupul de antrenare
- mecanismul de marș, inclusiv reductoarele
- mecanismul de direcție (viraj)
- sistemul de ungere
- instalația electrică etc.

Din statistica avariilor la aceste tipuri de utilaje se constată că majoritatea au fost de natură mecanică și electrică.

Prin acțiunea de modernizare se urmărește mărirea duratei de viață a utilajelor cu efect benefic atât din punct de vedere economic cât și al fiabilității în exploatare.

Datorită faptului că elementul cel mai important care determină durata de viață a unui utilaj este construcția metalică (restul elementelor mecanice și electrice se pot înlocui) este imperios necesar să se elaboreze o metodologie de analiză a structurii portante reale în vederea determinării duratei de utilizare în siguranță al acesteia. Asupra utilajelor acționează în timp o serie de factori (suprasarcini, șocuri, oboseala, coroziunea etc.) care împreună duc la degradarea structurilor metalice portante.

Temperaturile negative reprezintă unul din factorii care contribuie la tendința de fragilizare a oțelurilor și cum majoritatea utilajelor de manipulare și excavare a cărbunelui lucrează la suprafață și în perioada de iarnă la temperaturi negative este necesar a fi făcute cercetări asupra materialelor și sudurilor din structurile metalice portante.

Problema ruperilor fragile în construcțiile metalice sudate a început să fie cercetată relativ târziu, începând cu deceniul al -4-lea al secolului nostru, după ce

au avut loc o serie de avarii la un număr de poduri metalice sudate din Germania, Belgia, Canada, Australia etc. Numeroase avarii, prin ruperi fragile, s-au produs și în domeniul construcțiilor mecanice, recipiente, conducte de înaltă presiune, etc.

În urma unor studii și cercetări menite să stabilească cauzele precum și măsurile necesare pentru evitarea lor s-a ajuns la următoarele concluzii:

1. În cazul podurilor, ruperile fragile au avut loc când podurile erau neîncărcate, deci cauza ruperilor nu putea fi pusă pe seama rezistenței admisibile.
2. Accidentele s-au produs după un interval de 1-5 ani de la darea în exploatare a construcției.
3. Ruperile au avut loc la temperaturi scăzute, în majoritatea cazurilor sub 0°C, sau la scăderi bruște de temperatură.
4. În toate cazurile, ruperile au avut un caracter casant, s-au produs brusc, însoțite de un zgomot puternic.
5. În majoritatea cazurilor, s-a constatat că oțelul utilizat nu corespunde condițiilor de calitate cerute pentru construcțiile sudate.
6. În numeroase cazuri, proiectele conțineau defecte de concepție (zone cu puternici concentratori de eforturi).
7. În unele cazuri, tehnologia de sudare a fost necorespunzătoare, ducând la apariția de tensiuni remanente foarte mari.
8. Au existat cazuri când calitatea îmbinărilor sudate a fost necorespunzătoare, constatându-se prezența a diferite defecte.

Din analiza acestor accidente și avarii a rezultat că în cazul construcțiilor sudate, calculele de rezistență și stabilitate cu toate că sunt indispensabile, nu sunt suficiente pentru a garanta siguranța construcției, fiind absolut necesar ca ele să fie completate cu luarea unor măsuri contra eventualelor ruperi fragile.

Având în vedere cele prezentate anterior și luând în considerare că utilajele de manipulare și excavare a cărbunelui prin specificul lor lucrează în regim dinamic, este imperios necesar o verificare a structurilor din oțel pentru determinarea stării reale a materialului.

Printre factorii care acționează în timp asupra utilajelor și care duc la degradarea structurilor metalice portante se află fenomene de coroziunii și de oboseală.

Alegerea materialului potrivit pentru construcția unui utilaj constituie o problemă destul de dificilă. Decizia corectă poate fi luată ținând cont de proprietățile fizice și mecanice ale materialului, dar și de efectul interacțiunii acestuia cu mediul în care materialul va fi exploatat, adică de fenomenul coroziunii și obosealii. Pierderile anuale datorate coroziunii sunt foarte mari. În România se apreciază că 30% din cantitatea de metal consumată anual pentru întreținere și reparații în industria chimică și 25% în industria metalurgică sunt destinate înlocuirii metalului corodat (cifrele sunt la nivelul anului 1976). În afara acestor pagube directe apar cheltuieli suplimentare legate de oprirea instalațiilor pentru înlocuirea părților corodate, consecințe grave cauzate de distrugerea accelerată a unor aparate de măsură și control, precum și pericole vizând securitatea personalului. Aplicarea metodelor de protecție anticorozivă adecvate fiecărui caz în parte duce la diminuarea apreciabilă a pierderilor provocate de către acest fenomen dăunător.

Coroziunea poate fi descrisă ca o reacție la interfața metal/nemetal în care metalul este oxidat, iar nemetalul redus. Natura nemetalului, proprietățile fizice și chimice ale produșilor de reacție și condițiile de mediu (temperatură, presiune, viteză, etc.)

vor determina forma, întinderea și viteza de reacție. Coroziunea metalelor se poate clasifica după mecanismul procesului de distrugere și după aspectul exterior al distrugerii.

După mecanismul reacției se pot distinge: coroziune chimică și coroziune electrochimică.

Coroziunea chimică definește procesele în care o reacție chimică directă are loc între metal și mediul său, fără schimb de sarcini electrice. Există trei tipuri de reacții de coroziune chimică:

- metal /gaz, în care produsul de coroziune este un compus volatil (ex. reacția molibdenului cu oxigenul sau a fierului cu clorul);
- metal/oxigen la temperaturi ridicate, care duce la formarea unor pelicule de oxizi, în general solide și aderente la suprafața metalică din care provin;
- metal/ lichid (ex. dizolvarea nichelului în mercur, dizolvarea unui metal în cloruri topite, dizolvarea metalelor în soluții neapoase).

Coroziunea electrochimică include acele procese care implică un transfer de sarcină la interfața metal/mediu agresiv. Reacțiile de coroziune electrochimică pot fi clasificate în următoarele tipuri:

- reacții de coroziune cu zonele anodice și catodice neseperate care cuprind dizolvarea uniformă a metalelor în soluții acide alcaline sau neutre, în soluții neapoase sau în săruri topite;
- reacții cu zonele anodice și catodice separate, în care anumite suprafețe de metal funcționează preponderent anodic, iar altele catodic;
- reacții în care suprafața metalului este acoperită de un film, reacții în care sarcina electrică este transportată printr-un film superficial de coroziune.

După aspectul suprafeței afectate, coroziunea poate fi clasificată în coroziune generală, localizată, uniformă, neuniformă, selectivă, intercristalină, transcristalină, sub suprafața, pete de coroziune, coroziune pitting.

În procesele de coroziune uniformă sau generală, suprafețele anodice nu sunt separate de cele catodice. Atunci când porțiuni diferite ale suprafeței metalice sunt predominant anodice sau catodice distrugerea corozivă este localizată (coroziune locală). Frecvența și distribuția suprafețelor anodice pot varia foarte mult. Forma care predomină va depinde de sistemul particular metal/mediu și de condițiile concrete.

În funcție de mediul de coroziune și de caracteristicile acestuia procesele de coroziune care conduc la distrugerea metalelor pot să apară și să se dezvolte în condiții diferite. Astfel se cunosc : coroziunea în atmosferă, coroziunea în ape naturale, coroziunea în apa de mare, coroziunea în sol, coroziunea microbiologică, coroziunea datorată reactivilor chimici.

Transformările suferite de metal sub acțiunea mediului înconjurător sunt fenomene naturale nedorite. Ele se desfășoară fără intervenția omului și tind să

readucă metalele, în marea lor majoritate instabile termodinamic, în starea lor inițială de combinații chimice (oxizi, săruri, etc.).

Eforturile sunt îndreptate spre o cunoaștere cât mai bună a acestor transformări și spre micșorarea efectului lor distructiv prin mijloace de protecție corespunzătoare. Construcțiile metalice, carcasele și părțile neprelucrate ale subansamblurilor mecanice se protejează în mod corespunzător prin aplicarea unor

straturi de grunduri, lacuri sau vopsele. Suprafețele metalice se curăță înainte de grunduire de ulei, zgură și alte impurități prin sablare cu alică.

Toate suprafețele interioare și exterioare neprelucrate ale construcțiilor metalice se acoperă la întreprinderea executantă cu grund. Grosimea minimă a stratului de grund este de 30 μ m.

După grunduire se efectuează acoperirea suprafețelor interioare și exterioare ale construcțiilor metalice cu un strat de vopsea. Suprafețele interioare ale carcaselor reductoarelor se vopsesc în prealabil cu o vopsea rezistentă la ulei.

Vopsirea definitivă a utilajului se efectuează la locul de montaj, după efectuarea acestuia. În scopul unei protecții sigure contra coroziunii grosimea totală a straturilor învelișului trebuie să fie min. 120 μ m. Părțile prelucrate ale construcției metalice se acoperă cu un strat de protecție din vaselină.

Teza de doctorat este structurată pe 7 capitole, cuprinde 208 pagini, 111 figuri și fotografii, 57 tabele, 33 anexe și o listă bibliografică cu 65 de titluri în care sunt incluse și cele ale autorului.

Rezultatele obținute prezentate în teză sunt urmarea unei activități de mai mulți ani desfășurate de autor în cadrul S.C. PROMPT S.A. Timișoara și S.C. ROMINEX S.A. Timișoara.

Pe această cale ,adrez cele mai sincere mulțumiri conducătorului științific, Dl. prof. dr. ing. Marin Trușculescu pentru sollicitudinea și îndrumarea de înaltă competență ,pentru sprijinul efectiv acordat pe parcursul elaborării tezei.

Mulțumesc colegilor din cadrul S.C. ROMINEX S.A. din Timișoara care m-au sprijinit și m-au încurajat în realizarea tezei de doctorat.

De asemenea ,îmi exprim cele mai calde mulțumiri colaboratorilor de la C.N.C.Tg. Jiu, RAL Petroșani, ISIM Timișoara, Universitatea Politehnică Timișoara pentru ajutorul continuu și dezinteresat de-a lungul multor ani de colaborare.

Cap.1 CONSIDERAȚII GENERALE

1.1. Scopul și necesitatea tezei.

Lucrarea urmărește elaborarea unei metodologii de analiză a stării utilajelor grele mobile destinate manipulării și excavării cărbunelui la suprafață aflate în exploatare pentru estimarea comportărilor în condiții de siguranță până la temperaturi de -20°C .

Scopul tezei este ca prin aplicarea metodologiei de verificare să se realizeze starea reală a structurilor portante metalice ale utilajelor și să se poată aprecia gradul de siguranță în exploatare a acestora.

Lucrarea este necesară și pentru faptul că până în acest moment în țară nu există o metodologie clară de expertizare pentru aceste tipuri de utilaje, iar pe plan extern deși s-au făcut diferite cercetări cu aplicabilitate redusă, nu se cunoaște o metodologie complexă de abordare a acestor probleme.

În vederea alinierii la criteriile generale folosite în țările vestice, la noi prin Hotărârea guvernamentală nr.266/1994 sunt prezentate duratele normale de funcționare (utilizare)pentru mijloace fixe, care coincid cu duratele de amortizare , în ani ,aferente regimului de amortizare liniar. Duratele normale de funcționare (utilizare) s-au redus față de duratele normale de funcționare ,aprobată prin Legea nr. 62/1968 și modificate prin Decretul nr.393/1976, cu 20-65 % .Astfel pentru excavatoare cu rotor și instalații de haldat durata normală de utilizare este de 12 ani.

Marea majoritate a utilajelor aflate la ora actuală în dotarea bazinelor carbonifere a termocentralelor au deja durata normală de funcționare depășită, aceasta neînsemnând că ele nu mai pot funcționa în continuare.

Un factor de risc cu multiple implicații negative este utilizarea în continuare peste limita de timp normală de funcționare a utilajelor fără a cunoaște starea reală a elementelor portante cât și rezerva de funcționare în continuare în condiții de siguranță. O apreciere a stării reale a structurii portante poate duce la o mărire a duratei de viață a utilajului cu efect benefic atât din punct de vedere al siguranței în exploatare cât și financiar.

Lucrarea se înscrie în domeniul cercetărilor moderne asupra fenomenelor de fragilizare structurală a oțelurilor și a îmbinărilor din construcția metalică a utilajelor care lucrează și în condiții de temperaturi scăzute (până la -20°C).

Tema tezei de doctorat are ca obiective principale :

- Reproiectarea unor componente ale utilajelor grele mobile, de a reduce consumul de materiale și a le mări durata de viață.
- Materiale și tehnologii pentru realizarea roții cu cupe reproiectată .
- Comportarea în exploatare a elementelor portante ale utilajelor grele mobile.

1.2. Principalele elemente portante din structura unor utilaje grele mobile (U.G.M.)

În cadrul unei expertizări ,o pondere importantă o are verificarea stării reale ale structurilor metalice portante care presupune încercări distructive și nedistructive atât asupra unor elemente structurale cât și încercări pe probe extrase (epruvete) din structura portantă .Studiul stării de degradare a elementelor din construcția metalică a acestor utilaje trebuie să ia în considerare posibilitatea apariției fisurilor și ruperea fragilă, precum și influența proceselor datorate fenomenelor de coroziune. Cunoașterea acestor tendințe de fragilizare și fisurare a oțelurilor este vitală pentru menținerea în funcționare a acestor elemente.

În prezent în țară se găsesc mai multe tipuri de utilaje grele mobile care pot fi clasificate după diferite criterii. În cadrul tezei sunt prezentate utilajele clasificate după locul de funcționare și care se împart în două grupe :

- mașini de lucru în depozite de combustibili solizi (centrale termoelectrice)
- excavatoare și mașini din cadrul exploatărilor miniere de suprafață.

Celelalte criterii de clasificare nefiind relevante în cadrul tezei ,nu sunt prezentate.

1.2.1.Mașini de lucru în depozite de combustibil solizi (centrale termoelectrice)

Aceste tipuri de mașini se folosesc în general pentru manipularea cărbunelui (lignit) în depozitele centralelor termoelectrice ale sistemului național. După funcțiile pe care le îndeplinesc ele se împart în trei grupe :

- mașini de stivuit
- mașini de scos din depozit
- mașini combinate de scos din depozit și stivuit

În prezent sunt în exploatare 160 de mașini de concepție și fabricație indigenă, alte 27 mașini fiind în exploatare în depozitele de cărbune ale întreprinderilor miniere. Aceste tipuri de utilaje au fost realizate în diverse variante constructive, pentru diferite capacități de vehiculare, lungimi de braț, etc.

În anexele 1..8 sunt prezentate tipurile de mașini de lucru și unele caracteristici tehnice ale acestora.

1.2.2. Excavatoare și mașini din cadrul exploatărilor miniere de suprafață

Aceste tipuri de utilaje se folosesc atât la excavarea sterilului cât și utilului în exploatările miniere de suprafață. În prezent funcționează la noi în țară 110 excavatoare cu rotor și 49 mașini de haldat.

Dintre excavatoarele cu rotor 21 sunt provenite din import ,iar restul de 89 sunt de fabricație indigenă. Excavatoarele executate în țară sunt de două tipuri : ERC1400 în număr de 61 bucăți și ESRc 470 în număr de 28 bucăți.

Dintre cele 49 mașini de haldat 12 sunt provenite din import, iar restul de 37 sunt mașini de haldat de tipul IH 6500x90 fabricate în țară.

Excavatoarele ERC 1400 și mașinile de haldat IH 6500x90 au fost asimilate pe baza documentației și modelelor de referință SchRs 1400 și respectiv ARS

6500x90 realizate de firma KRUPP în patru etape de integrare începând cu anul 1973.

Excavatorul ESTc 470 de producție românească este asimilat după modelul de referință Srs 470 realizat în RDG și face parte din categoria excavatoarelor mijlocii utilizate în exploatarea miniere de suprafață. Prezentarea acestor utilaje cu unele caracteristici tehnice este arătată în anexele

CAP.2. TEHNICA DE PROIECTARE PENTRU ELEMENTELE PORTANTE COMPLEXE

2.1. Acțiuni ce încarcă construcția U.G.M.

Construcția metalică a instalațiilor de ridicat se calculează și proiectează conform STAS 8290 - 83. Acest standard nu se aplică și la proiectarea utilajelor grele mobile (excavatoare și celelalte tipuri de utilaje de lucru în cariere și depozite de suprafață: mașini de haldat, mașini de scos din depozit, mașini de stivuit și mașini combinate).

Diferențele de calcul se datorează specificului de lucru al utilajelor și se referă în principiu la:

- acțiuni
- gruparea acțiunilor
- rezistența în exploatare.

În continuare este prezentat pe scurt specificul de calcul pentru tipurile de utilaje prezentate anterior.

Standardul de calcul pentru instalațiile de ridicat clasifică acțiunile ce încarcă construcția metalică în acțiuni permanente, acțiuni temporare și acțiuni excepționale.

În categoria acțiunilor permanente intră:

- încărcări datorită greutatei proprii și eforturilor inițiale
- încărcări din greutatea proprie a materialului în vrac din buncăre sau de pe benzile de transport

În categoria acțiunilor temporare intră:

a) *acțiuni temporare principale:*

- încărcări nominale
- forțe de inerție în plan vertical
- forțe de inerție din acționări
- forțe centrifugale și tangențiale
- forțe provenite din căderea materialului în vrac

b) *acțiuni temporare secundare:*

- forțe provenite din mersul oblic
- încărcări datorate acțiunii vântului
- încărcări datorate variației de temperatură
- încărcări din gheață, zăpadă și praf
- încărcări pe scări, podeste, platforme și balustrăzi

În categoria acțiunilor excepționale intră:

- forța de răsturnare la cărucioare cu ghidare rigidă a sarcinilor utile
- forțe de lovire în tamponare și opritori
- încărcări provenite din sarcinile de verificare cu ocazia recepției sau autorizării pentru darea în funcțiune a instalației de ridicat (sarcini de încărcare)
- alte încărcări.

Acțiunile permanente, temporare și excepționale se combină în funcție de condițiile de exploatare a utilajului, rezultând grupări de acțiuni care reprezintă o combinație de încărcări ce pot acționa simultan asupra instalației de ridicat.

În funcție de frecvența și intensitatea cu care diferitele grupări de acțiuni apar pe toată durata de viață a construcției, ele se împart în:

- grupări fundamentale PTP
- grupări fundamentale PT
- grupări speciale PTE.

Grupările fundamentale PTP conțin toate acțiunile cu frecvența cea mai mare pe durata de viață a utilajului; verificarea la oboseală se efectuează pentru cea mai dezavantajoasă grupare, făcând parte din această categorie.

Grupările fundamentale PT au o frecvență relativ mică (accidentală) pe durata de viață a utilajului, ele considerându-se numai la verificarea generală a eforturilor unitare și la verificarea stabilității locale.

Grupările speciale PTE urmăresc ca în elementele construcției metalice să nu apară deformații permanente, la apariția rară, dar în principiu inevitabilă a acestora.

Gruparea acțiunilor este prezentată sintetic în tabelul 2.1.

Tabelul 2.1.

Acțiuni			Simb.	Grupări fundamentale de acțiuni				Grupări speciale de acțiuni				
Acțiuni permanente (P)			Greutăți proprii	G	φG	φG	G	φG	G	G	ΦG	G
			Coeficient dinamic	φ	φG_m	φG_m	G_m	φG_m	-	φG_m	-	-
			Încercări din materiale în vrac	G_m	φG_m	φG_m	G_m	φG_m	-	φG_m	-	-
Acțiuni temporare (T)	Principale (P)	Încărcări nominale	Q	ψQ	-	-	Q	-	Q	-	-	
		Coeficient dinamic	ψ	ψQ	-	-	-	-	-	-	-	
		Căderea sarcinii	$-0,25 \psi$	-	$-0,25 \psi$	-	-	-	-	-	-	
		Încărc.nominale-sarcina	-	-	-	Q_0	-	-	-	-		
		Forțe de inerție din acționări	Translație cărcior	Hc	Hc	Hc	-	-	Hc	Hc	Hc	Hc
			Translație macara	Hp	Hp	Hp	-	-	Hp	Hp	Hp	Hp
			Rotire	Hr	Hr	Hr	-	-	Hr	Hr	Hr	Hr
	Basculare		Hb	Hb	Hb	-	-	Hb	Hb	Hb	Hb	
	Forțe centrifugale și tangente		Fc	Fc	-	-	-	Fc	Fc	Fc	Fc	
	Forțe din mers oblic		S	-	-	-	S	-	-	-	-	
Secundare (S)	Vânt	în exploatare	Rv_1	Rv_1	Rv_1	-	Rv_1	-	-	-		
		în repaos	Rv_2	-	-	Rv_2	-	-	-	-		
Acțiuni excepționale (E)			Forțe de răsturnare	Fr	-	-	-	-	Fr	-	-	
			Forțe de tamponare	Ft	-	-	-	-	-	Ft	-	-
			Sarcini de verificare	statice	Qst	-	-	-	-	-	-	-
dinamice	Qd	-		-	-	-	-	-	ψQd	-		

2.2. Funcționare și solicitări

Metoda de dimensionare - verificare adaptată în standard este metoda rezistențelor admisibile. Rezistențele admisibile pentru elementele alcătuite din profile laminate la cald, supuse încărcărilor în exploatare, se obțin prin împărțirea limitei de curgere la un coeficient de siguranță corespunzător grupării de acțiuni (tabelul 2.2.) .

Tabelul 2.2.

Grupări de acțiuni	Coeficienți de siguranță	
	C ₁ (materiale laminate, suduri)	C ₂ (nituri, șuruburi)
PTp	1,5	1,71
PT	1,35	1,50
PTE	1,15	1,35

Rezistențele admisibile pentru profile și table laminate la cald sunt date în tabelul 2.3.

Tabelul 2.3.

Natura Efortului	Simbol	Coef. în raport cu σ_a	Rezistențe admisibile în daN/mm ² pentru oțel laminat la cald, marca								
			OL 37 și OLT 35			OLT 45			OL 50		
			Grupări de acțiuni								
			PTp	PT	PTE	PTp	PT	PTE	PTp	PT	PTE
Eforturi unitare normale	σ_a	1,0	1600	1800	2100	1750	1950	2200	2400	2700	3100
Forfecare	τ_a	0,0575	920	1040	1200	-	-	-	1380	1560	1800
Presiune locală	σ / a	-	6500	7500	8500	-	-	-	9000	11000	11700

Elementele construcțiilor metalice ale instalațiilor de ridicat sunt supuse la acțiuni și eforturi repetate, variabile în timp, necesitând verificarea de rezistență în exploatare.

În vederea calculului și verificării construcției metalice, instalațiile de ridicat și elementele componente ale acestora sunt împărțite în grupe de funcționare, pe baza a doi factori: clasa de utilizare și starea de încărcare.

Clasa de utilizare (A...D) este caracterizată de frecvența de încărcare (frecvența de utilizare) a instalației de ridicat pe durata ei de viață. Frecvența de încărcare este definită de numărul ciclurilor de încărcare pe care le efectuează instalația de ridicat pe durata ei de viață. Durata unui ciclu de încărcare se definește ca timpul scurs între începutul procesului de ridicare a unei sarcini și momentul când instalația de ridicat va fi din nou în situația de a efectua următorul proces de ridicare.

Starea de încărcare (0...3) pentru construcția metalică a instalațiilor de ridicat indică în ce proporție macaraua ridică sarcina nominală sau numai o sarcină redusă ca valoare față de aceasta. Această noțiune se definește prin spectrul de sarcini care indică numărul de cicluri în cadrul cărora se atinge sau se depășește o sarcină egală cu o anumită fracțiune din sarcina nominală.

În funcție de clasa de utilizare și starea de încărcare, construcțiile metalice ale instalațiilor de ridicat și / sau elementele acestora se împart în grupe de funcționare conform tabelului 2.4.

Tabelul 2.4.

Clasa de utilizare	A	B	C	D
Numărul total de cicluri de încărcare pe durata de viață a utilajului	$2 \times 10^4 \leq N \leq 2 \times 10^5$ Utilizare ocazională, neregulată, urmată de pauze lungi	$2 \times 10^5 < N \leq 6 \times 10^5$ Utilizare regulată, dar intermitentă	$6 \times 10^5 < N \leq 2 \times 10^6$ Utilizare regulată continuă	$2 \times 10^6 < N$ Utilizare regulată în condiții grele de exploatare
Starea de încărcare	Grupele de funcționare			
0 - foarte ușoară	I	II	III	IV
1 - ușoară	II	III	IV	V
2 - medie	III	IV	V	VI
3 - grea	IV	V	VI	VI

Verificarea la rezistență în exploatare se face numai pentru grupările de încărcări PTP și numai la instalații de ridicat și elementele acestora supuse la un ciclu mai mare ca 2×10^4 .

La verificarea elementelor construcției metalice la rezistența în exploatare trebuie să se țină cont de următorii factori:

- grupa de funcționare
- efortul unitar maxim în elementul respectiv
- caracteristica ciclului $\rho = \sigma_{\min} / \sigma_{\max}$
- materialul utilizat și efectul de încrestare în locul unde se face verificarea.

Rezistența în exploatare a unui anumit element depinde de materialul de bază, de forma constructivă și calitatea îmbinărilor sudate.

Pentru utilajele prevăzute cu rotor portcupe (excavatoare, mașini de depozit), calculul de rezistență s-a efectuat după norme germane DIN.

Tabelul 2.5.

	Grupa de funcționare	Încărcări principale H		Încărcări suplimentare Z		Încărcări speciale S		Sarcini limită G	
		a	i	a	i	a	i	a	i
1	Sarcini permanente	x	x						
2	Sarcina utilă a benzii		x						
3	Depuneri pe dispozitive de transport benzi	x	x						
4	Pretensionarea benzii								
5	Vânt: utilaj în repaos Vânt: utilaj în stare de funcționare			x	x				
6	Înclinația	x	x						
7	Sarcini utile		x						
8	Depuneri	x	x						
9	Rezistența normală la înaintare		x						
10	Rezistența normală laterală		x						
11	Rezistența la înaintare accidentală				x				
12	Rezistența laterală accidentală				x				
13	Astuparea cu minereu					x			
14	Încărcare roată cu cupe						x		x
	parțial								
	maxim								
15	Sarcină limită la rezistența laterală								x

NOTĂ : a – nefuncționare
i- funcționare

Încărcările (acțiunile) ce acționează asupra construcției metalice a utilajelor cuprind patru grupe:

- încărcări principale "H"
- încărcări suplimentare "Z"
- încărcări speciale "S"
- încărcări limită "G"

Pentru calcul se consideră două situații ale utilajului:

- în stare de nefuncționare (a)
- în stare de funcționare (i)

Încărcările și încadrarea lor în grupe de încărcare sunt prevăzute în tabelul 2.5.

Pentru realizarea construcției metalice la aceste tipuri de utilaje s-au folosit oțeluri nealiat OL 37 și OL 52, de preferință fiind ultimul. Rezistențele admisibile pentru oțelul OL 52, în funcție de încărcare, sunt prezentate în tabelul 2.6.

Tabelul 2.6.

Cazul de încărcare	Efort unitar admisibil $\sigma_{apăsare}$ [daN/cm ²]	Efort unitar admisibil $\sigma_{tracțiune}$ [daN/cm ²]	$\sigma = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$	coeficient γ_B
H	2100	2400	2700	1,35
HZ	2400	2700	3000	1,25
HZS	2700	3000	3300	1,15
HZG	3000	3300	3600	1,05

În cazul acestor tipuri de utilaje o problemă de o importanță deosebită și mai puțin studiată este verificarea construcției metalice la rezistența în exploatare. Spre deosebire de instalațiile de ridicat unde noțiunea de ciclu de încărcare (și implicit durata) sunt precizate clar; la utilajele de excavat cărbune la suprafață prin modul lor de funcționare continuă este mai greu de definit această noțiune. Datorită acestui fapt este destul de dificil de precizat și caracteristicile ciclului (σ_{min} , σ_{max}). În general, în breviarele de calcul existente la aceste tipuri de utilaje nu sunt făcute verificări decât pentru eforturi maxime în diferite poziții de lucru ale brațului și eventual ale utilajului (pentru cele cu șenile).

2.3. Principalii factori care afectează durata de viață a U.G.M.

În general utilajele grele mobile sunt concepute pentru a funcționa în condiții optime pe o anumită perioadă de ani. Din punct de vedere economic se urmărește durata de viață a unui utilaj să fie cât mai mare, păstrându-se totodată și parametrii funcționali la limite superioare. Subansamblul principal (atât prin greutate cât și prin volum), care este hotărâtor în aprecierea duratei de viață a unui utilaj, este construcția metalică a acestuia. Construcția metalică este dimensionată astfel încât să preia solicitările statice și dinamice ce apar în exploatare astfel încât să asigure

siguranța în funcționare a întregii instalații. Prin soluțiile constructive alese, se urmărește o conlucrare a elementelor componente care să ducă la o disipare a eforturilor în structură și o reducere a concentratorilor de eforturi din zonele solicitate.

Durata de viață a utilajelor este influențată de o serie de factori, cum ar fi:

- factori care favorizează tendința de rupere fragilă a oțelurilor
- factori care produc îmbătrânirea oțelurilor
- factori care influențează rezistența la oboseală a materialelor
- factori care produc coroziunea oțelurilor.

2.3.1. Factori care favorizează tendința de rupere fragilă a oțelurilor

Ruperea fragilă este un mod de rupere caracteristic stării cristaline, producându-se brusc după planuri paralele cu planele cristalografice de mare densitate atomică, sub efectul sarcinilor aplicate. Factorii care diferențiază comportarea diferită a oțelurilor (tenace sau fragilă) sunt următorii:

- starea de tensiune
- temperatura
- viteza de deformare
- factorii metalurgici.

2.3.1.1. Influența stării de tensiune

Când eforturile unitare sunt întinderi și au același ordin de mărime, stările de tensiune biaxiale și triaxiale duc la o reducere sensibilă a deformațiilor plastice la rupere și respectiv la o tendință de fragilizare a metalului. Astfel de stări de tensiune pot proveni din solicitări datorită variațiilor bruște de secțiune ale piesei sau din cauza tensiunilor remanente provenite din deformațiile împiedicate la răcirea pieselor laminate sau sudate.

La elementele cu creștături apar concentratori de tensiune care favorizează tendința de rupere fragilă a oțelului prin așa numitul efect de creștătură.

2.3.1.2. Influența temperaturii

Odată cu scăderea temperaturii se modifică capacitatea de deformare plastică și limita de curgere. Astfel limita de curgere crește, micșorându-se domeniul până la rezistența la rupere, iar alungirea la rupere și stricțiunea se reduc.

2.3.1.3. Influența vitezei de deformare

La fel ca și influența temperaturii, la mărirea vitezei de deformare rezultă o creștere a limitei de curgere și o scădere a capacității de deformare plastică.

2.3.1.4. Influența factorilor metalurgici

Oțelurile pentru construcțiile metalice ale utilajelor sunt influențate de următorii factori: mărimea granulației, grosimea laminatului, compoziția chimică, tehnologia de elaborare, tratamentele termice etc.

Micșorarea și uniformizarea grăunților conduc la o coborâre a temperaturii de tranziție (trecere în stare fragilă).

Compoziția chimică influențează prin compușii fragili care se formează (structura Wiedmannstätten, nitruri și carburi etc.), comportarea fragilă a oțelurilor.

Grosimea influențează prin două moduri:

- laminatele de grosimi mari cu grad de îndesare la laminare mai mic care conduc la o granulație mai grosolană (rezultă tenacitate scăzută).

- grosimile mari influențează răcirea după laminare sau sudare, dând naștere la tensiuni remanente cu caracter spațial datorită răcirii neuniforme.

Modul de elaborare și dezoxidarea laminatelor din oțel, sunt importante prin structura, granulația și uniformitatea compoziției chimice.

2.3.2. Factori care produc îmbătrânirea

Îmbătrânirea produsă afectează negativ domeniului elastic al oțelurilor ca rezultat al precipitărilor, afectând negativ proprietățile plastice ale acestora. Fenomenul de îmbătrânire nu apare brusc, ci în decursul timpului, fiind favorizat de suprasolicitări, încărcări repetate, variații de temperatură etc. care produc blocarea straturilor de ferită și crearea de tensiuni la nivelul rețelei, micșorând astfel tenacitatea oțelurilor. Procesul de îmbătrânire se accentuează în cazul unor deformații plastice la rece, mai ales dacă acestea se repetă. Dacă după deformarea plastică la rece se face o încălzire la 200... 300 °C, se produce așa numita îmbătrânire artificială (îmbătrânire tenso-termică).

2.3.3. Factori care influențează rezistența la oboseală:

Rezistența la oboseală poate fi influențată de o serie de factori care pot fi grupați în trei categorii:

2.3.3.1. Factori ce depind de condițiile de exploatare:

- felul ciclului de solicitare caracterizat de coeficientul de asimetrie al ciclului
- suprasolicitări
- șocuri
- felul solicitării
- frecvența solicitării
- temperatura

2.3.3.2. Factori metalurgici :

- felul natura, cantitatea și dispersia constituienților structurali
- calitatea suprafețelor

2.3.3.3. Factorii constructivi:

- forma piesei (concentratori de eforturi)
- mărimea piesei

2.3.4. Factori care produc coroziunea oțelurilor:

Coroziunea reprezintă un proces de distrugere a metalelor sub acțiunea unor agenți exteriori, ca urmare a unor reacții chimice sau electrochimice. În construcțiile

metalice pagubele produse de coroziune se datorează în proporție de 80% din cazuri coroziunii atmosferice industriale.

Coroziunea electrochimică reprezintă cazul general de distrugere a metalelor.

Factorii care influențează comportarea la coroziune sunt:

- natura și caracteristicile mediului agresiv
- natura și caracteristicile metalului
- solicitarea mecanică și alcătuirea constructivă
- protecția anticorozivă.

Un element important îl reprezintă coroziunea în stare de tensiune mecanică, având în vedere că tensiunea mecanică accelerează procesul de coroziune, iar coroziunea modifică starea de eforturi unitare din structura metalică.

Oțelul carbon obișnuit și în general oțelul nealiat prezintă fenomenul de coroziune chiar la temperaturi obișnuite în soluții de H_2SO_4 , HNO_3 , HCl etc. precum și în cazul construcțiilor metalice exploatate în atmosferă industrială conținând gaze agresive: SO_2 , NO_2 , Cl etc. S-a demonstrat experimental că eforturile de întindere stimulează coroziunea, în timp ce eforturile de compresiune o inhibă, efectul fiind sesizabil pentru valori ale eforturilor unitare ce depășesc limita de proporționalitate a oțelului. Un caz particular al coroziunii sub tensiune, care constituie forma cea mai periculoasă de distrugere, îl reprezintă *coroziunea tenso-fisurantă*.

2.4. Breviar de calcul pentru elementele cele mai solicitate

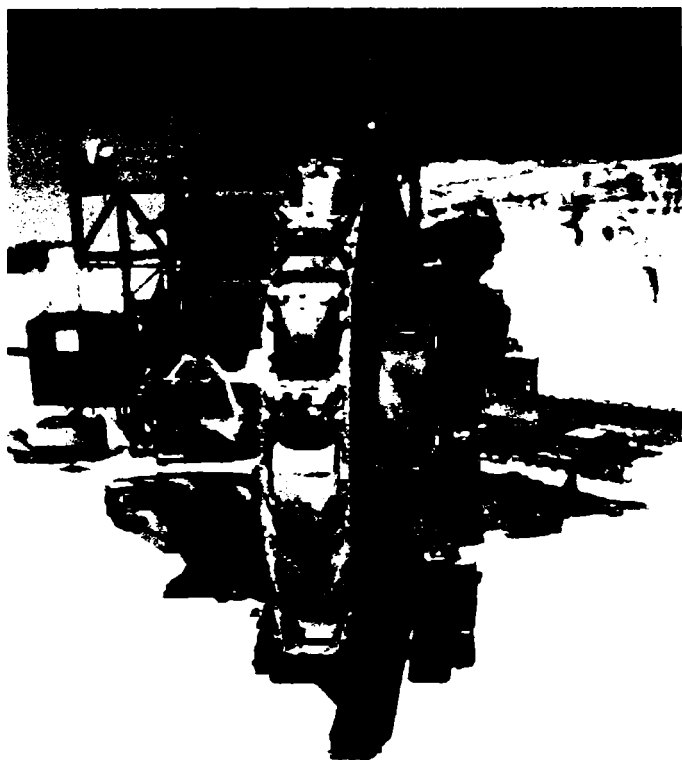
Modernizarea excavatorului constă în înlocuirea roții cu cupe existente cu o roată cu cupe de tip membrană, cu cercul de tăiere 11,5 m având 20 de cupe, schimbarea axului roții, a reductorului și schimbarea construcției metalice a capului elindei de pe brațul roții portcupe.

Ca urmare, a fost necesar calculul și verificarea următoarelor părți componente mecanice și de construcție metalică:

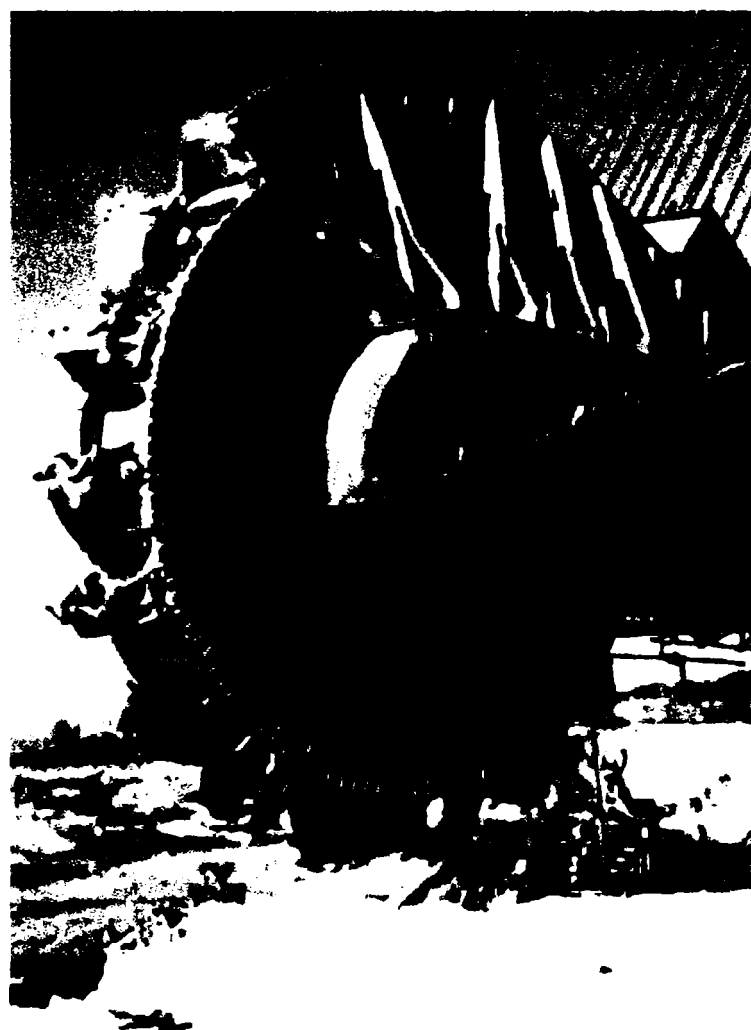
- **Roata portcupe**
- **Axul roții portcupe + lagăre**
- **Structura modernizată (capul elindei)**

Calculul s-a făcut pentru 3 poziții de lucru a brațului, sus, mijloc și jos și în 4 cazuri de combinații de încărcări corespunzând încărcărilor principale H , principale și auxiliare HZ, principale auxiliare și speciale HZS și principale, auxiliare și la limita HZG.

În breviarul de calcul s-au prezentat numai calculele corespunzând acelor elemente la care valoarea eforturilor sunt semnificative, fiind aproape de valoarea limită admisibilă sau depășind-o, necesitând consolidarea .



Vedere frontală a roții



Vedere laterală a roții

2.4.1. Calculul roții portcupe:

2.4.1.1. Considerații generale.

Se calculează corpul roții cu cupe a unei roți tip membrană cu un cerc de tăiere de 11,5 m și 20 de cupe cu ajutorul metodei cu EF.

Din totalul de 20 de cupe, legătura cupe – roată se va face numai la nivelul a 6 cupe considerând că descărcarea forțelor se face numai la nivelul acestora.

Încărcările care s-au luat în considerare la efectuarea calculelor sunt:

- Din greutatea proprie a roții cu cupe, a încărcării cu murdărie, a încărcăturii utile (umplutura)
- Din componentele forței de excavare în direcția tangențială, radială și laterală.

Cazurile speciale de încărcare se suprapun în combinații [H1, H2], [HZ1, HZ2].

Repartiția forțelor de tăiere se consideră pe 5 din cele 20 de cupe, în raport de 1/10, 3/10, 3/10, 2/10, 1/10.

Cusăturile sudate se presupun ca sudate „complet“.

Materialul din care este confecționată roata este OL 52.4 .

2.4.1.2. Structura de calcul.

Dimensiunile constructive ale roții cu cupe care s-au luat în considerare la calcule, cat si ansamblul de calcul al rotii, impreuna cu cele 6 cupe luate în considerare sunt prezentate în fig.2.1 și 2.2 .

Din acest ansamblu se observă că corpul roții cu cupe a fost modelat cu elemente de placă și cupele cu elemente de bară. S-au determinat eforturile în elemente și la nodurile elementelor.

Schema roții cu cupe

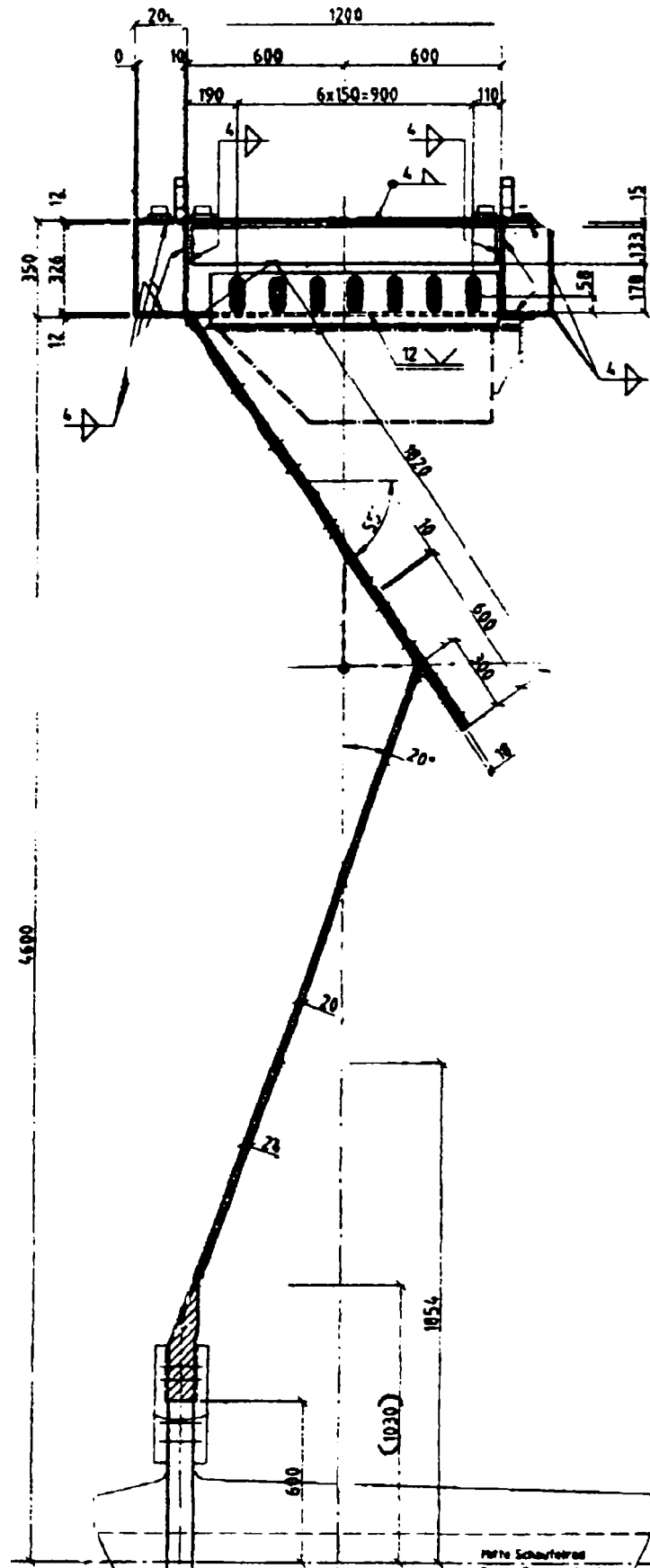


Fig. 2.1

Model FE

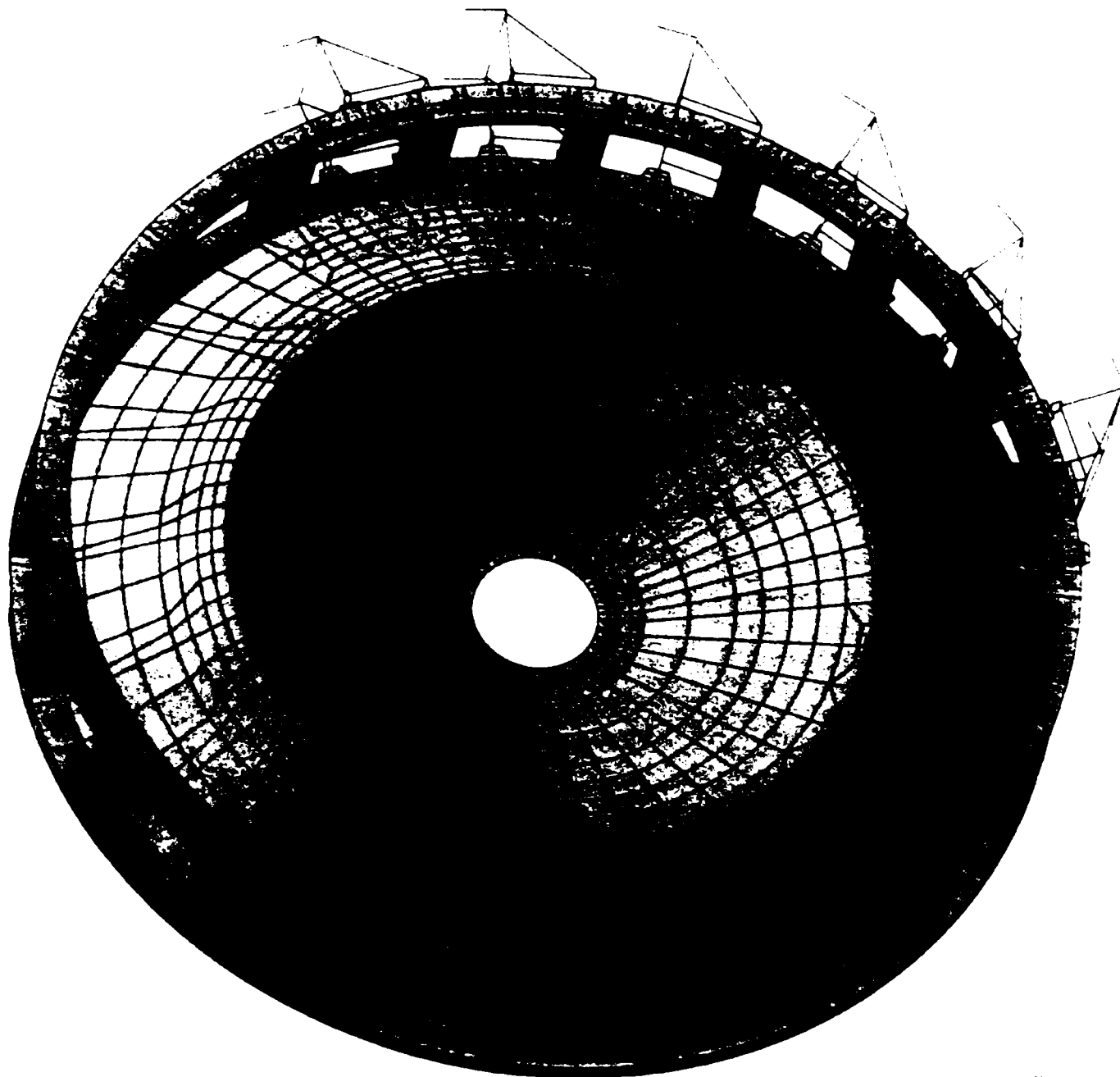


Fig.2.2.

2.4.1.3. Încărcări de calcul.

În calcul s-au considerat următoarele încărcări:

- Greutate proprie roată cu cupe cu 20 cupe $E = 424,77 \text{ kN}$
- Murdărie roată cupe $V = 100 \text{ kN}$
- Material în cupe $N = 50 \text{ kN}$
- Forța de tăiere ipoteza H
 - Tangențială $U = 190 \text{ kN}$
 - Laterală $S = 50 \text{ kN}$
 - Radială $R = 57 \text{ kN}$
- Forța de tăiere ipoteza HZ
 - Tangențială $UU = 320 \text{ kN}$
 - Laterală $SS = 70 \text{ kN}$
 - Radială $RR = 96 \text{ kN}$

Forțele de tăiere se distribuie pe 5 din cele 20 de cupe în raportul 1/10; 3/10; 3/10; 2/10; 1/10.

Forțele laterale vor fi luate cu semn „-“ pentru rotirea la dreapta și cu „+“ pentru rotirea la stânga.

Ipotezele de încărcare definite se constituie în următoarele cazuri de încărcare primare:

- LC1 $E = 424.77 \text{ kN}$
- LC2 $V = 100 \text{ kN}$
- LC3 $N = 50 \text{ kN}$
- LC4 $U_{dr} = 190 \text{ kN}$
- LC5 $R_{dr} = 57 \text{ kN}$
- LC6 $U_{st} = 190 \text{ kN}$
- LC7 $R_{st} = 57 \text{ kN}$
- LC8 $S = 50 \text{ kN}$

Combi-nații de calcul ale acestor cazuri de încărcare primare sunt prezentate în tabelul 2.7.

Tabelul 2.7.

Combi-nația	H1	H2	HZ1	HZ2
Caz de încărcare	LC1	LC2	LC3	LC4
Direcția de rotire	dreapta	stânga	dreapta	stânga
$E + V + N$	574.77	574.77	574.77	574.77
U	190	190	-	-
S	- 50	50	-	-
R	57	57	-	-
UU	-	-	320	320
SS	-	-	- 70	70
RR	-	-	96	96

2.4.1.4. Rezultate

2.4.1.4.1. Eforturi

Valorile eforturilor unitare de comparație maxime în element, pe fiecare caz de încărcare și locul în care au fost determinate aceste valori, sunt date în tabelul 2.8. în kN/cm^2 :

Tabelul 2.8.

Caz de încărcare/Combinatie	$\sigma_{\text{max superior}}$ $\sigma_{\text{max mijloc}}$ $\sigma_{\text{max inferior}}$	Loc de manifestare
LC1 [H1]	3.74	Con interior
	4.06	Con interior
	4.39	Con interior
LC2 [H2]	3.7	Ureche cupă
	2.82	Ureche cupă
	2.88	Con inferior
LC3 [HZ1]	4.93	Con interior
	5.33	Con interior
	5.74	Con interior
LC4 [HZ2]	5.40	Ureche cupă
	4.40	Ureche cupă
	4.16	Ureche cupă

Valoarea maximă este $5.74 \text{ kN/cm}^2 < \sigma_a = 30 \text{ kN/cm}^2$ pentru cazul de încărcare LC3, HZ.

Pentru acest caz de încărcare este prezentată distribuția eforturilor de comparație în planul median și pe fața inferioară în ANEXA 1 - 2.

Valorile eforturilor unitare principale în element, pe fiecare caz de încărcare și la locul în care au fost determinate aceste valori, sunt date în tabelul 2.9. :

Tabelul 2.9.

Caz de încărcare/Combinatie	$\sigma_1 \text{ superior [kN/cm}^2]$ $\sigma_1 \text{ mijloc [kN/cm}^2]$ $\sigma_1 \text{ inferior [kN/cm}^2]$	$\sigma_2 \text{ superior [kN/cm}^2]$ $\sigma_2 \text{ mijloc [kN/cm}^2]$ $\sigma_2 \text{ inferior [kN/cm}^2]$	Loc de manifestare
LC1 [H1]	3.4	- 3.68	Con interior
	2.68	- 2.9	Con interior
	3.2	- 3.08	Con interior
LC2 [H2]	3.39	- 3.16	Ureche cupă
	2.76	- 2.61	Ureche cupă
	3.74	- 2.2	Ureche cupă
LC3 [HZ1]	4.44	- 4.76	Con interior
	4.11	- 3.9	Con interior
	5.01	- 5.0	Con interior
LC4 [HZ2]	5.14	- 4.79	Ureche cupă
	4.45	- 4.26	Ureche cupă
	5.66	- 3.87	Ureche cupă

Valoarea maximă este $5.66 \text{ kN/cm}^2 < \sigma_{aHZ} = 30 \text{ kN/cm}^2$ pentru cazul de încărcare LC4 [HZ2].

Pentru acest caz de încărcare reprezentarea grafică a eforturilor principale în planul median și pe fața inferioară este redată în ANEXA 3 - 4.

Valoarea eforturilor unitare de comparație în nodurile elementelor din corpul roții, pe fiecare caz de încărcare și locul în care au fost determinate aceste valori, sunt date în tabelul 2.10.:

Tabelul 2.10.

Caz de încărcare/Combinăție	$\sigma_{\text{max superior}} [\text{kN/cm}^2]$ $\sigma_{\text{max mijloc}} [\text{kN/cm}^2]$ $\sigma_{\text{max inferior}} [\text{kN/cm}^2]$	Loc de manifestare
LC1 [H1]	5.53 5.83 6.21	La îmbinarea cap la cap la conul interior
LC2 [H2]	3.78 3.91 4.08	La îmbinarea cap la cap la conul interior
LC3 [HZ1]	7.02 7.65 8.12	La îmbinarea cap la cap la conul interior
LC4 [HZ2]	4.9 5.05 5.27	La îmbinarea cap la cap la conul interior

Valoarea maximă este $8.12 \text{ kN/cm}^2 < \sigma_{aHZ} = 30 \text{ kN/cm}^2$ pentru cazul de încărcare LC3 [HZ1].

Distribuția eforturilor pentru acest caz de încărcare este reprezentată în ANEXA 5.

Valoarea eforturilor unitare de comparație în nodurile elementelor din grinzile inelare, pe fiecare caz de încărcare și locul în care aceste valori au fost determinate sunt date în tabelul 2.11. :

Tabelul 2.11.

Caz de încărcare/Combinatie	σ_{\max} superior [kN/cm ²] σ_{\max} mijloc [kN/cm ²] σ_{\max} inferior [kN/cm ²]	Loc de manifestare
LC1 [H1]	5.7 5.15 6.66	Grinda de legătură Grinda dinspre bandă Grinda dinspre bandă
LC2 [H2]	7.33 6.27 5.75	Ureche cupă Ureche cupă Ureche cupă
LC3 [HZ1]	9.65 8.64 10.9	Grinda de legătură Grinda dinspre bandă Grinda dinspre bandă
LC4 [HZ2]	11.1 10.1 9.7	Ureche cupă Ureche cupă Grinda de legătură

Valoarea maximă este $10.9 \text{ kN/cm}^2 < \sigma_{aHZ} = 30 \text{ kN/cm}^2$ pentru cazul de încărcare LC3 [HZ1].

Datorită modelării grosiere a cupelor, valoarea din urechea cupei nu se ia în considerare.

Reprezentarea grafică a eforturilor pentru acest caz de încărcare, pe fața inferioară, este redată în ANEXA 6 .

2.4.1.4.2. Deformații.

Starea de deformare a roții este reprezentată pentru cele 4 cazuri de încărcare LC1 ÷ LC4, în ANEXELE 7 – 10 .

Deformația rezultantă a secțiunii transversale a roții este prezentată pentru cazurile LC1 [H1] și LC4 [HZ2] în ANEXA 11.

2.4.2. Calculul axului roții portcupe + lagăre

2.4.2.1. Calculul axului roții portcupe

2.4.2.1.1. Caracteristici statice.

Calculul axului roții cu cupe s-a făcut pentru arborele din fig.2.3

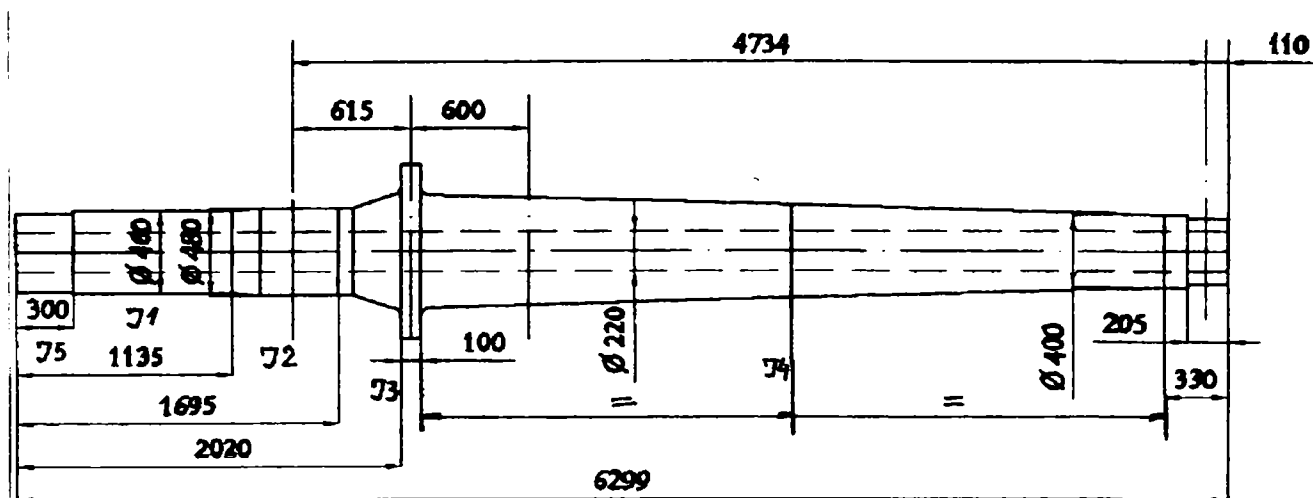


Fig.2.3

$$J_{xy} = 0.785398 (R^4 + r^4) \quad (2.1.)$$

$$J_T = \pi/2 (R^4 + r^4) \quad (2.2.)$$

$$A = \pi (R^4 + r^4) \quad (2.3.)$$

Tabelul 2.12.

	J ₁	J ₂	J ₃	J ₄	J ₅
R	23	24	30	26.5	22
r	11	11	11	11	11
A	1282	1430	2447	1826	1140
J _{xy}	208287	249077	624673	375824	172485
J _T	416575	498154	1249347	751648	344970

2.4.2.1.2. Încărcări.

În calcul s-au luat în considerare următoarele încărcări:

- Greutate proprie roată cu cupe cu 20 cupe 424.8 kN
- Reductor 230 kN
- Arbore 107.6 kN
- Forțe de săpare:
 - Tangențiale 320 kN
 - Tangențială cu cupă întoarsă 360 kN
 - Laterale 70 kN

Tabelul 2.13.

Din aceste încărcări rezultă următoarele:	
Ipoteze primare	Combinatii de calcul
LF1 - greutate proprie	LF8: 1 + 2 + 4
LF2 - forțe de săpare tangențiale în față	LF9: 1 + 2 – 4
LF3 - forțe de săpare tangențiale jos	LF10: 1 + 3 + 5
LF4 - forțe de săpare laterală în față	LF11: 1 + 3 – 5
LF5 - forțe de săpare laterală jos	LF12: 1 + 6 + 4
LF6 - forțe de săpare tangențiale în față cupă întoarsă	LF13: 1 + 6 – 4
LF7 - forțe de săpare tangențiale jos cupă întoarsă	LF14: 1 + 7 + 5
	LF15: 1 + 7 – 5

2.4.2.1.3. Structura de calcul

Structura de calcul este reprezentată în ANEXA 12 – 13

2.4.2.1.4. Rezultate.

Din calcule rezultă că solicitările maxime sunt din combinația 11 în elementul 30, în apropiere de peretele B în vecinătatea roții.

Forța axială	$N = 0$
Moment de torsiune	$M_1 = 184064 \text{ kNcm}$
Moment de încovoiere	$M_2 = 45779 \text{ kNcm}$
Moment de încovoiere	$M_3 = 6660 \text{ kNcm}$

Modulul de rezistență la torsiune:

$$W_T = \frac{\Pi}{2R} (R^4 - r^4) = \frac{\Pi}{2 \cdot 24} (24^4 - 11^4) = 20756 \text{ cm}^3 \quad (2.3.)$$

Modulul de rezistență la încovoiere:

$$W = \frac{249077}{24} = 10378 \text{ cm}^3 \quad (2.4.)$$

Momentul de încovoiere rezultat:

$$M = \sqrt{M_2^2 + M_3^2} = 46261 \text{ kNcm} \quad (2.5.)$$

din încovoiere:

$$\sigma = \frac{46261}{10378} = 4.46 \text{ kNcm}^{-2} \quad (2.6.)$$

din forfecare:

$$\tau = \frac{184064}{20756} = 8.87 \text{ kNcm}^{-2} \quad (2.7.)$$

efortul de comparație:

$$\sigma_{comp} = \sqrt{4.46^2 + 3 \cdot 8.87^2} = 15.99 \text{ kNcm}^{-2} < \sigma_{afiz} = 27 \text{ kNcm}^{-2} \text{ pt. OL52}; \quad (2.8.)$$

$$< \sigma_{afiz} = 67 \text{ kNcm}^{-2} \text{ pt. 34MoCrNi16};$$

2.4.2.2. Calculul lagărului oscilant

Din calcule rezultă că reacțiunile maxime pe lagăr sunt cele din combinația 9.

$$\begin{aligned} \text{Forța axială} & F_x = 0 \\ \text{Forța tăietoare} & F_y = 85 \text{ kN} \\ \text{Forța tăietoare} & F_z = -1272 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{Rezultă : } F_r = \sqrt{F_y^2 + F_z^2} = 1275 \text{ kN} \quad (2.10.)$$

$$P_0 = F_r + y_0 \cdot F_A \quad (2.11.)$$

$$y_0 = 2,8 \text{ (FAG)}$$

$$P_0 = 1275 + 2,8 \cdot 70 = 1471 \text{ kN}$$

Acțiuni statice:

$$f_s = \frac{C_0}{P_0} \quad ; \quad C_0 = 7650 \text{ kN (FAG)} \quad (2.12.)$$

$$f_s = \frac{7650}{1471} = 5.2 > 2,5 \text{ la sollicitări ridicate.}$$

Acțiuni dinamice :

$$P = F_r + y \cdot F_A \quad ; \quad e = 0,23 \quad ; \quad \frac{F_A}{F_r} = \frac{70}{1275} = 0.05 < 0.23 \quad (2.13.)$$

$$y = 2,9 \quad ; \quad P = 1275 + 2,9 \cdot 70 = 1478 \text{ kN (FAG)}$$

$$f_L = \frac{C}{P} \cdot f_n \quad ; \quad f_n = \sqrt[p]{\frac{33^{\frac{1}{3}}}{n}} \quad ; \quad n = 4,5 \text{ rot/min} \quad (2.14.)$$

$$p = 10/3 = 3.333$$

$$C = 3650 \text{ kN} \quad ; \quad f_n = \sqrt[3.333]{\frac{33^{\frac{1}{3}}}{4.5}} = 1.82 \quad (2.15.)$$

$$f_L = \frac{C}{P} \cdot f_n = \frac{3650}{1478} \cdot 1.82 = 4.5 \quad (2.16.)$$

$$\text{Durata de viață } L_H = \frac{10000}{4.58 - 4.4} \cdot 0.1 + 70000 = 75550 \text{ ore} \quad (2.17.)$$

2.4.2.3. Structura modernizata cap elinda

2.4.2.3.1. Considerații generale

Calcululele s-au făcut pentru trei poziții de funcționare a excavatorului :

- Cu brațul jos
- Cu brațul la mijloc (orizontal)
- Cu brațul sus

În fiecare din aceste poziții, în toate elementele structurii pe baza calcululelor din statica de bază conținând solicitările în elemente la capătul din stânga respectiv dreapta constând din forța axială, forțele tăietoare, momentul de torsiune și momentele de încovoiere, maxime și minime, s-au calculat eforturile unitare în șase puncte care delimitează secțiunea transversală a elementului și efortului unitar de comparație.

2.4.2.3.2. Încărcări

Încărcările luate în calcul sunt :

1. Încărcare din greutate proprie
2. Încărcare din material
3. Încărcare din murdărire bandă și cupe
4. Încărcare din astupare pâlnie
5. Încărcare din vânt
6. Încărcare din înclinarea utilajului
7. Încărcare din forțele de săpare excepțională
8. Încărcare din tamponarea brațului de taluz.

Aceste încărcări au fost grupate în patru cazuri de încărcare:

- H – cazul de încărcare compus din încărcările principale:
Încărcările 1 + 2 + 3 + 6 + 7
- HZ – cazul de încărcare compus din încărcările principale și auxiliare:
Încărcările 1 + 2 + 3 + 5 + 6 + 8
- HZS – cazul de încărcare compus din încărcările principale, auxiliare și speciale:

Încărcările 1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6 + 7 sau 1 + 2 + 3 + 5 + 6 + 7

- HZG – cazul de încărcare compus din încărcările principale, auxiliare și la limită:

Încărcările 1 + 2 + 3 + 5 + 6 + 7 + 9

Valorile solicitărilor maxime și minime la cele două capete ale elementelor s-au determinat pentru fiecare caz de încărcare în parte, din combinația ipotezelor de încărcări aferente pentru fiecare element în parte și pentru fiecare poziție de funcționare.

Eforturile unitare s-au calculat pentru toate aceste combinații de încărcări și poziții de funcționare în toate cele șase puncte ale secțiunii transversale ale fiecărui element, la ambele capete.

Tipurile de secțiuni ale elementelor și punctelor de calcul sunt în fig.2.4 :

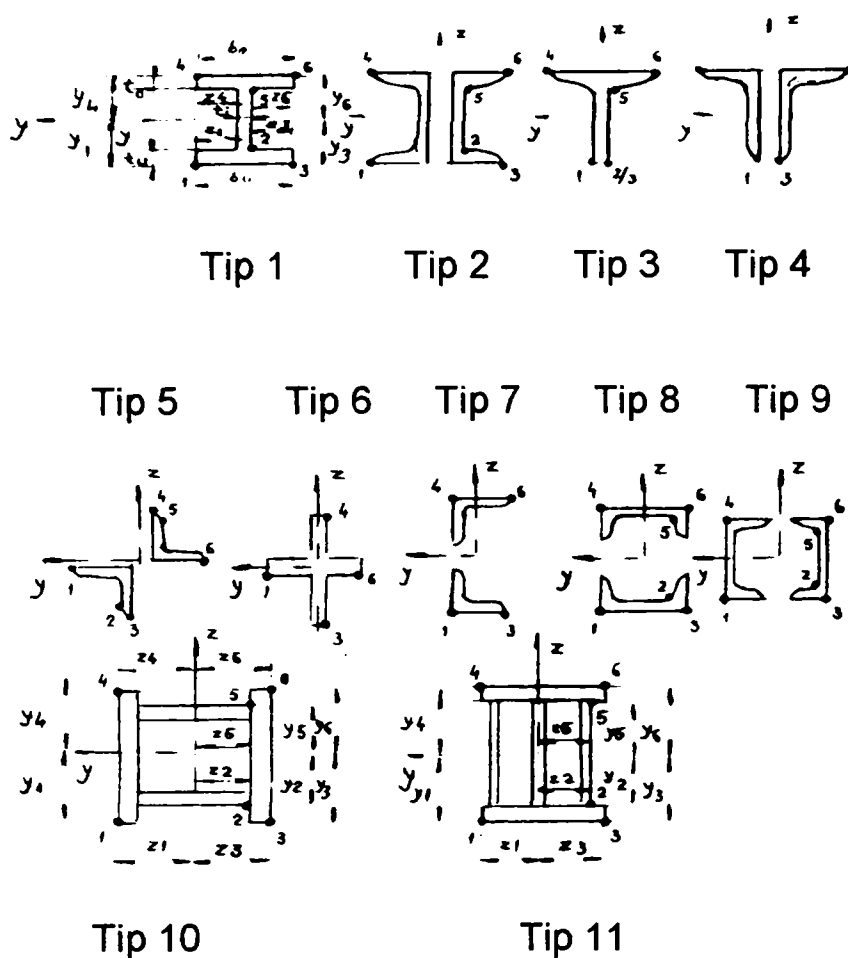


Fig.2.4

Conform normei de calcul pentru utilajele miniere lucrând în exploatări de suprafață, BG 60 (normă KF), rezistențele admisibile funcție de marca oțelului, cazul de încărcare și natura solicitării, în daN/cm², sunt date în tabelele 2.14. și 2.15. :

- Pentru OL 37

Tabelul 2.14.

Caz de încărcare	H	HZ	HZS	HZG
Întindere	1600	1800	2000	2200
Compresiune	1400	1600	1800	2000
Forfecare	920	1040	1150	1270
Efort echivalent	1800	2000	2200	2400

- Pentru OL 52

Tabelul 2.15.

Caz de încărcare	H	HZ	HZS	HZG
Întindere	2400	2700	3000	3300
Compresiune	2100	2400	2700	3000
Forfecare	1390	1560	1730	1900
Efort echivalent	2700	3000	3300	3600

Încărcări din greutatea proprie.

Greutatea proprie se compune din greutatea structurii determinată automat de program pe baza relației : $Arie \times Lungime \text{ element} \times \gamma$; $\gamma = 7,85 \text{ kg/dm}^3$ și din greutatea următoarelor elemente :

- Elemente de construcție :

Apărătoare transversală + fixare	1652 kg
Pâlnia roții cu cupe	3348 kg
Pâlnia longitudinală	1263 kg
Pâlnie inelară dreapta	3150 kg
Pâlnie inelară stânga	3480 kg
Pâlnie inelară mijloc	262 kg
Podest și trepte	1436 kg
Cabină de comandă	2203 kg
Protecție mecanism roată cu cupe	4945 kg
Dispozitiv de montare motor roată cu cupe	782 kg
Consolidare stâlp	970 kg
Consolidare diagonală	522 kg
Cutia contragreutății	24330 kg
Contragreutate	242000 kg
Scară basculantă	1500 kg
Podest traversare + scară	1850 kg
Podest pe latura A	1850 kg
Podest pe latura B	2700 kg
Suporți banda 1	10550 kg
Paravan de deflector	1930 kg
Podeste și scări pe turn și braț contragreutate	9060 kg
Casa aparataj electric	14150 kg

- Elemente mecanice :

Roată cu cupe	30057 kg
Arbore roată cu cupe	10760 kg
Cupe	12420 kg

COMPLEXE

Cuplaj hidraulic + apărătoare	863 kg
Reductor	23000 kg
Ax cardanic	250 kg
Baterie role catarg	11000 kg
Cap role pe braț	5750 kg
Macara de montaj	33470 kg
Tambur cablu ridicare	12120 kg
Reductor ridicare	2410 kg
Roată antrenare	6990 kg
Lagăre articulație braț	5640 kg
Aționare banda 1	3520 kg
Tambur de întoarcere banda 1	6210 kg
- Elemente electrice :	
Transformator	2380 kg
Motor acționare roată	5100 kg
Motor acționare banda 1	5620 kg
Motor troliu ridicare	4090 kg
Încărcare din material :	
Încărcare în cupă	5000 kg
Încărcare pe bandă	24000 kg
Încărcare din murdărie bandă și cupe :	
Încărcare pe roata cu cupe	10000 kg
Încărcare pe bandă	2400 kg
Încărcare din astupare pâlnie :	18000 kg
Încărcare din vânt :	
În funcționare	25 kg/m ²
În repaus	80 kg/m ²
Încărcare din înclinarea utilajului :	
În funcționare	1/20,8 sarcini gravitaționale
La schimbarea locului de funcționare	1/16,6 sarcini gravitaționale
Încărcare din forțele de săpare normală :	
Forța de săpare tangențială	19000 kg
Forța de săpare laterală	5000 kg
Încărcare din forțele de săpare excepțională :	
Forța de săpare tangențială	32000 kg
Forța de săpare laterală	7000 kg

Încărcare din tamponarea brațului de taluz :

Forța laterală din tamponare

19000 kg în centrul
cutiei contragreutății

2.4.2.3.3 Structura de calcul

Structura de calcul a excavatorului este reprezentată schematic în ANEXA 14.

Calculul s-a efectuat pentru bratul rotii cu cupe

Brațul roții cu cupe este reprezentat schematic în ANEXA 15.

Brațul se compune din elementele construcției existente, în ANEXELE 16 și 17 și elementele construcției noi (modernizată) în ANEXELE 18 și 19 .

Tipul secțiunii fiecărui element și caracteristicile statice ale secțiunii sunt prezentate în tabelul 2.16.

COMPLEXE

Tabelul 2.16.

TIPUL SI CARACTERISTICI STATICE ALE SECTIUNII

EI.	Tip.	ARIA	Jy	Jz	z1	y1	z3	y3	z4	y4	z8	y8	z2	y2	z5	y5	bu	tu	bo	to	ti	Jx
333	1	212.60	201682.00	13584.00	37.80	17.50	37.80	17.50	45.60	17.50	45.60	17.50	36.40	0.50	44.40	0.50	35.00	1.40	35.00	2.40	1.00	98.80
334	1	212.60	201682.00	13584.00	37.80	17.50	37.80	17.50	45.60	17.50	45.60	17.50	36.40	0.50	44.40	0.50	35.00	1.40	35.00	2.40	1.00	98.80
335	1	212.60	201682.00	13584.00	37.80	17.50	37.80	17.50	45.60	17.50	45.60	17.50	36.40	0.50	44.40	0.50	35.00	1.40	35.00	2.40	1.00	98.80
336	1	212.60	201682.00	13584.00	37.80	17.50	37.80	17.50	45.60	17.50	45.60	17.50	36.40	0.50	44.40	0.50	35.00	1.40	35.00	2.40	1.00	98.80
337	1	212.60	201682.00	13584.00	37.80	17.50	37.80	17.50	45.60	17.50	45.60	17.50	36.40	0.50	44.40	0.50	35.00	1.40	35.00	2.40	1.00	98.80
340	1	122.20	18653.80	9293.30	13.58	17.50	13.58	17.50	15.02	17.50	15.02	17.50	12.18	0.60	13.82	0.60	35.00	1.40	35.00	1.20	1.20	67.10
343	1	93.60	14017.90	3810.30	13.60	13.00	13.60	13.00	15.00	13.00	15.00	13.00	12.20	0.50	13.80	0.50	26.00	1.40	26.00	1.20	1.00	47.40
345	1	104.00	15946.60	5852.20	13.58	17.50	13.58	17.50	15.02	17.50	15.02	17.50	12.18	0.50	13.82	0.50	30.00	1.40	30.00	1.20	1.00	53.40
352	1	117.00	18357.20	9291.80	15.06	17.50	15.06	17.50	13.54	17.50	13.54	17.50	13.86	0.50	12.14	0.50	35.00	1.20	35.00	1.40	1.00	60.80
354	1	117.00	18357.20	9291.80	15.06	17.50	15.06	17.50	13.54	17.50	13.54	17.50	13.86	0.50	12.14	0.50	35.00	1.20	35.00	1.40	1.00	60.80
355	1	117.00	18357.20	9291.80	15.06	17.50	15.06	17.50	13.54	17.50	13.54	17.50	13.86	0.50	12.14	0.50	35.00	1.20	35.00	1.40	1.00	60.80
356	1	122.20	18650.80	9293.00	15.06	17.50	15.06	17.50	13.54	17.50	13.54	17.50	13.86	0.60	12.14	0.60	35.00	1.20	35.00	1.40	1.20	67.10
357	1	122.20	18650.80	9293.00	15.06	17.50	15.06	17.50	13.54	17.50	13.54	17.50	13.86	0.60	12.14	0.60	35.00	1.20	35.00	1.40	1.20	67.10
358	1	122.20	18650.80	9293.00	15.06	17.50	15.06	17.50	13.54	17.50	13.54	17.50	13.86	0.60	12.14	0.60	35.00	1.20	35.00	1.40	1.20	67.10
362	1	104.00	15946.6	5876.00	15.03	15.00	15.03	15.00	13.57	15.00	13.57	15.00	13.83	0.50	12.17	0.50	30.00	1.20	30.00	1.40	1.00	53.40
363	1	91.00	13535.80	3387.60	15.00	12.50	15.00	12.50	13.60	12.50	13.60	12.50	13.80	0.50	12.20	0.50	25.00	1.20	25.00	1.40	1.00	45.90
364	1	91.00	13535.80	3387.60	15.00	12.50	15.00	12.50	13.60	12.50	13.60	12.50	13.80	0.50	12.20	0.50	25.00	1.20	25.00	1.40	1.00	45.90
365	1	104.00	14018.50	3834.00	14.90	13.00	14.90	13.00	13.70	13.00	13.70	13.00	13.70	0.50	12.30	0.50	26.00	1.20	26.00	1.40	1.00	47.40
367	11	196.00	45269.00	12987.00	20.40	13.00	20.40	13.00	20.40	13.00	20.40	13.00	18.80	11.00	18.80	11.00	26.00	1.60	26.00	1.60	3.00	26741.20
368	11	196.00	45269.00	12987.00	20.40	13.00	20.40	13.00	20.40	13.00	20.40	13.00	18.80	11.00	18.80	11.00	26.00	1.60	26.00	1.60	3.00	26741.20
375	1	78.00	8895.80	2663.00	14.90	8.00	14.90	8.00	11.30	15.00	11.30	15.00	13.70	0.60	10.30	0.60	16.00	1.20	30.00	1.00	1.20	33.00
376	1	130.60	19247.80	7652.40	16.00	15.00	16.00	15.00	16.00	15.00	16.00	15.00	14.80	0.50	14.80	0.50	30.00	1.70	30.00	1.70	1.00	54.10
377	1	130.60	19247.80	7652.40	16.00	15.00	16.00	15.00	16.00	15.00	16.00	15.00	14.80	0.50	14.80	0.50	30.00	1.70	30.00	1.70	1.00	54.10
378	1	130.60	19247.80	7652.40	16.00	15.00	16.00	15.00	16.00	15.00	16.00	15.00	14.80	0.50	14.80	0.50	30.00	1.70	30.00	1.70	1.00	54.10
379	1	113.60	16399.90	4429.50	16.00	12.50	16.00	12.50	16.00	12.50	16.00	12.50	14.80	0.50	14.80	0.50	25.00	1.70	25.00	1.70	1.00	47.00
456	1	131.70	22037.30	5212.00	15.20	12.50	15.20	12.50	15.20	12.50	15.20	12.50	13.20	0.60	13.20	0.60	25.00	2.00	25.00	2.00	1.20	148.50
457	1	131.70	22037.30	5212.00	15.20	12.50	15.20	12.50	15.20	12.50	15.20	12.50	13.20	0.60	13.20	0.60	25.00	2.00	25.00	2.00	1.20	148.50
47	1	151.7	26077	9004	15.2	15	15.2	15	15.2	15	15.2	15	13.2	0.6	13.2	0.6	30	2	30	2	1.2	175.2
167	1	151.7	26077	9004	15.2	15	15.2	15	15.2	15	15.2	15	13.2	0.6	13.2	0.6	30	2	30	2	1.2	175.2
292	6	87	3383.3	3217.5	0.6	14.6	15	0.6	15	0.6	14.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	29.2	0.6	29.2	0.6	1.2	66.9
321	6	55.2	1385.7	1252.2	0.6	11.6	12	0.6	12	0.6	11.6	12	12	0.6	12	0.6	23.2	0.6	23.2	0.6	1.2	27.2
462	6	102.00	3395.00	4508.00	1.00	15.00	15.00	0.75	15.00	0.75	15.00	15.00	15.00	0.75	15.00	0.75	30.00	1.00	30.00	1.00	1.50	113.80

2.4.2.4 Rezultatele calculului :

Solicitările pe fiecare element la ambele capete au fost determinate de K.F. Aceste solicitări au fost calculate pentru fiecare ipoteză de calcul H, HZ, HZS, HZG și pentru fiecare poziție a brațului roții cu cupe, sus, mijloc și jos, pentru toate elementele structurii de calcul a excavatorului.

La fiecare capăt al elementului sunt date 6 solicitări maxime și minime provenite din ipotezele și pozițiile de lucru de mai sus. Solicitățile reprezintă forța axială N, forțele tăietoare pe cele două direcții Q_y , Q_z în kN și momentul de torsiune M_x și momentele de încovoiere pe cele două direcții M_y , M_z în kNm.

Cu aceste solicitări au fost determinate funcție de caracteristicile statice ale secțiunii elementului respectiv, eforturile unitare normale „ σ ” eforturile unitare tangențiale „ τ ” și eforturile unitare de comparație „ σ ” în punctele de calcul ale secțiunii, în daN/cm².

Pe baza eforturilor unitare minime și maxime s-a calculat coeficientul de asimetrie „ ρ ” al ciclului care a permis calculul la oboseală în elementele puternic solicitate la oboseală.

S-au făcut calculele de verificare ale îmbinării cu șuruburi de înaltă rezistență dintre construcția nouă (modernizată) a brațului roții cu cupe și construcția existentă. În breviar se prezintă calculul eforturilor unitare numai pentru elementele importante ale structurii construcției modernizate și pentru elementele cu eforturi critice din elementele turnului.

2.4.2.4.1. Calculul eforturilor unitare pentru brațul roții cu cupe.

În tabelul 2.17. sunt prezentate solicitările la capetele elementelor și eforturile unitare pentru elementele structurii modernizate pentru ipotezele H și care s-au dovedit a fi cele mai defavorabile, în poziția brațului sus, mijloc și jos pentru elementele 353; 367; 368; 456; 457.

Tabelul 2.17

SOLICITARI IPOTEZA H SUS

El.	ExtrSI	N	Qy	Qz	Mx	My	Mz
		kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
353	Nxl max	-7.4	2.98	-1.07	-0.01	-12.64	4.09
	Qyl max	-35.31	6.54	-2.39	-0.05	-36.82	9.28
	Qzl max	-12.8	3.54	0.76	-0.02	-18.99	5.4
	Mxl max	-8.12	3.15	-2.65	-0.01	-11.32	3.98
	Myl max	-8.12	3.15	-2.65	-0.01	-11.32	3.98
	Mzl max	-34.59	6.37	-0.81	-0.05	-38.14	9.39
	Nxr max	36.27	-6.39	4.98	0.05	44.61	4.31
	Qyr max	8.6	-2.8	3.56	0.01	17.54	1.98
	Qzr max	30.98	-5.68	6.76	0.03	42.04	4.27
	Mxr max	35.69	-6.34	3.35	0.05	42.56	3.96
	Myr max	35.92	-6.21	5.95	0.04	44.87	4.2
	Mzr max	33.88	-6.29	5.75	0.04	44.3	4.65
	Nxl min	-35.36	6.49	-2.35	-0.05	-36.91	9.21
	Qyl min	-7.44	2.93	-1.03	-0.01	-12.72	4.03
	Qzl min	-29.96	5.92	-4.18	-0.03	-30.55	7.91
	Mxl min	-34.64	6.32	-0.77	-0.05	-38.23	9.33
	Myl min	-34.64	6.32	-0.77	-0.05	-38.23	9.33
	Mzl min	-8.16	3.1	-2.61	-0.01	-11.4	3.92
	Nxr min	8.56	-2.85	3.6	0.01	17.54	2.03
	Qyr min	36.23	-6.44	5.02	0.05	44.6	4.35
	Qzr min	13.85	-3.57	1.82	0.02	20.11	2.07
	Mxr min	9.14	-2.9	5.23	0.01	19.58	2.37
	Myr min	8.91	-3.03	2.63	0.01	17.28	2.14
	Mzr min	10.95	-2.96	2.83	0.02	17.85	1.69
367	Nxl max	-1001.91	-9.66	22.48	-3.07	-49.36	-12.31
	Qyl max	-1040	-3.86	22.74	-1.93	-50.35	-10.6
	Qzl max	-1394.95	-5.86	27.06	-3.31	-65.19	-15.98
	Mxl max	-1039.32	-3.9	22.79	-1.84	-50.48	-10.59
	Myl max	-1041.61	-14.51	21.36	-4.08	-47.81	-14.08
	Mzl max	-1039.32	-3.9	22.79	-1.84	-50.48	-10.59
	Nxr max	2229.22	15.32	-16.99	7.82	2.1	-26.19
	Qyr max	2191.5	21.56	-16.73	8.97	2.09	-46.88
	Qzr max	1836.54	19.55	-12.41	7.59	3.32	-44.8
	Mxr max	2192.18	21.52	-16.68	9.06	2.15	-46.73
	Myr max	1993.51	20.38	-12.66	8.23	6.27	-45.52
	Mzr max	1039.59	3.79	-14.38	1.93	-18.7	-3.62
	Nxl min	-2230.07	-15.03	25.31	-7.82	-80.78	-30.25
	Qyl min	-2191.99	-20.83	25.05	-8.97	-79.79	-31.95

COMPLEXE

	Qzl min	-1837.03	-18.83	20.73	-7.59	-64.95	-26.58
	Mxl min	-2192.67	-20.79	25	-9.06	-79.66	-31.97
	Myl min	-2190.38	-10.17	26.44	-6.82	-82.33	-28.47
	Mzl min	-2192.67	-20.79	25	-9.06	-79.66	-31.97
	Nxr min	1001.86	10.03	-14.12	3.07	-18.71	-24.31
	Qyr min	1039.59	3.79	-14.38	1.93	-18.7	-3.62
	Qzr min	1394.54	5.79	-18.7	3.31	-19.93	-5.7
	Mxr min	1038.9	3.82	-14.43	1.84	-18.75	-3.77
	Myr min	1237.57	4.97	-18.45	2.67	-22.87	-4.98
	Mzr min	2191.5	21.56	-16.73	8.97	2.09	-46.88
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
368	Nxl max	-619.97	8.52	36.87	-10.44	-120.68	20.89
	Qyl max	-1519.91	16.79	36.27	-20.85	-251.86	41.35
	Qzl max	-1185.6	11.24	65.45	-10.18	-226.47	26.5
	Mxl max	-1516.05	7.06	34.03	3.08	-249.12	13.7
	Myl max	-706.8	7.67	16.32	-8.09	-116.36	18.38
	Mzl max	-1519.91	16.79	36.27	-20.85	-251.86	41.35
	Nxr max	1561.33	-11.34	-22.07	7.72	217.75	-11.27
	Qyr max	661.54	-3.2	-22.66	-2.69	85.78	-1.53
	Qzr max	995.7	-8.62	6.51	7.98	149.3	-9.22
	Mxr max	665.37	-12.65	-24.91	21.23	85.59	-16.65
	Myr max	1555.05	-11.04	-2.9	7.75	226.87	-11.05
	Mzr max	661.54	-3.2	-22.66	-2.69	85.78	-1.53
	Nxl min	-1561.62	11.44	24.99	-7.72	-248.5	26.16
	Qyl min	-661.69	3.17	25.6	2.69	-117.31	5.69
	Qzl min	-996	8.72	-3.59	-7.98	-142.7	20.55
	Mxl min	-665.55	12.9	27.84	-21.23	-120.05	33.34
	Myl min	-1474.8	12.3	45.55	-10.06	-252.82	28.66
	Mzl min	-661.69	3.17	25.6	2.69	-117.31	5.69
	Nxr min	619.96	-8.39	-33.94	10.44	74.41	-9.84
	Qyr min	1519.74	-16.53	-33.34	20.85	206.38	-19.58
	Qzr min	1185.58	-11.11	-62.51	10.18	142.86	-11.89
	Mxr min	1515.91	-7.08	-31.09	-3.08	206.58	-4.46
	Myr min	626.23	-8.69	-53.1	10.41	65.3	-10.06
	Mzr min	1519.74	-16.53	-33.34	20.85	206.38	-19.58
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
456	Nxl max	552.39	-0.79	3.25	0	0	0
	Qyl max	290.98	-0.49	3.25	0	0	0
	Qzl max	321.33	-0.56	3.31	0	0	0
	Mxl max	290.98	-0.49	3.25	0	0	0
	Myl max	290.98	-0.49	3.25	0	0	0
	Mzl max	290.98	-0.49	3.25	0	0	0
	Nxr max	-257.95	-0.49	3.25	0	0	0
	Qyr max	-288.53	-0.49	3.25	0	0	0
	Qzr max	-319.31	-0.56	3.31	0	0	0
	Mxr max	-288.53	-0.49	3.25	0	0	0
	Myr max	-288.53	-0.49	3.25	0	0	0

COMPLEXE

Mzr max	-288.53	-0.49	3.25	0	0	0
Nxl min	260.41	-0.49	3.25	0	0	0
Qyl min	521.81	-0.79	3.25	0	0	0
Qzl min	491.47	-0.72	3.18	0	0	0
Mxl min	521.81	-0.79	3.25	0	0	0
Myl min	521.81	-0.79	3.25	0	0	0
Mzl min	521.81	-0.79	3.25	0	0	0
Nxr min	-550.26	-0.79	3.25	0	0	0
Qyr min	-519.68	-0.79	3.25	0	0	0
Qzr min	-488.9	-0.72	3.18	0	0	0
Mxr min	-519.68	-0.79	3.25	0	0	0
Myr min	-519.68	-0.79	3.25	0	0	0
Mzr min	-519.68	-0.79	3.25	0	0	0

457	Nxl max	-195.37	-0.79	3.25	0	0
	Qyl max	-258.69	-0.49	3.25	0	0
	Qzl max	-241.44	-0.56	3.31	0	0
	Mxl max	-258.69	-0.49	3.25	0	0
	Myl max	-258.69	-0.49	3.25	0	0
	Mzl max	-258.69	-0.49	3.25	0	0
	Nxr max	430.8	-0.49	3.25	0	0
	Qyr max	261.15	-0.49	3.25	0	0
	Qzr max	243.46	-0.56	3.31	0	0
	Mxr max	261.15	-0.49	3.25	0	0
	Myr max	261.15	-0.49	3.25	0	0
	Mzr max	261.15	-0.49	3.25	0	0
	Nxl min	-428.35	-0.49	3.25	0	0
	Qyl min	-365.03	-0.79	3.25	0	0
	Qzl min	-382.28	-0.72	3.18	0	0
	Mxl min	-365.03	-0.79	3.25	0	0
	Myl min	-365.03	-0.79	3.25	0	0
	Mzl min	-365.03	-0.79	3.25	0	0
	Nxr min	197.5	-0.79	3.25	0	0
	Qyr min	367.16	-0.79	3.25	0	0
	Qzr min	384.85	-0.72	3.18	0	0
	Mxr min	367.16	-0.79	3.25	0	0
	Myr min	367.16	-0.79	3.25	0	0
	Mzr min	367.16	-0.79	3.25	0	0

COMPLEXE

Tabelul 2.18

EFORTURI UNITARE IPOTEZA H SUS

EI.	353	9.36	9.69	-91.31	87.71	92.74	89.31	-20.34	-10.97	-174.40	-160.38	176.59	487.73	22.53	135.87
		26.25	27.89	-252.81	268.68	256.87	272.99	-97.11	max $\sigma_1 R$	-446.66	max $\sigma_3 R$	476.54	max $\sigma_4 R$	126.98	max $\sigma_6 R$
		10.76	11.42	-135.34	133.62	136.62	135.07	-43.15	-168.91	-246.55	-93.84	252.71	282.55	49.31	443.28
		15.63	15.96	-80.67	79.66	85.09	84.32	-10.97	min $\sigma_1 L$	-160.89	min $\sigma_3 L$	165.39	min $\sigma_4 L$	15.48	min $\sigma_6 L$
		15.63	15.96	-80.67	79.66	85.09	84.32	-10.97	-108.31	-160.89	-460.18	165.39	164.89	15.48	15.48
		19.98	21.63	-263.45	276.74	265.72	279.26	-106.48	min $\sigma_1 R$	-460.18	min $\sigma_3 R$	487.73	min $\sigma_4 R$	134.03	min $\sigma_6 R$
		36.04	37.69	-303.49	328.33	309.85	334.76	-416.15	-422.05	-253.80	-258.30	278.86	94.77	441.21	172.85
		18.74	19.07	-124.01	124.41	128.19	128.72	-173.84	ro 1 L	-99.25	ro 2 L	99.43	ro 4 L	174.01	ro 6 L
		38.16	39.15	-288.63	306.80	296.10	314.20	-398.83	0.10	-237.99	0.35	256.14	0.34	416.98	0.11
		29.72	31.36	-288.70	314.09	293.25	318.76	-393.23	ro 1 R	-244.07	ro 2 R	269.84	ro 4 R	419.00	ro 6 R
		37.60	38.92	-305.82	329.70	312.67	336.52	-416.51	0.40	-258.30	0.36	282.55	0.34	440.76	0.39
		36.92	38.24	-303.01	324.42	309.69	331.12	-422.05		-246.90		268.13		443.28	
		26.04	27.68	-253.41	269.36	257.39	273.59	-99.12		-446.04		475.92		129.01	
		9.16	9.48	-91.85	88.31	93.21	89.83	-22.09		-173.89		176.08		24.28	
		28.50	29.49	-209.31	223.38	215.05	229.15	-76.05		-374.00		399.91		101.96	
		19.78	21.42	-264.06	277.41	266.27	279.88	-108.31		-459.75		487.31		135.87	
		19.78	21.42	-264.06	277.41	266.27	279.88	-108.31		-459.75		487.31		135.87	
		15.42	15.75	-81.21	80.26	85.49	84.76	-12.72		-160.38		164.89		17.23	
		18.95	19.28	-124.02	124.40	128.29	128.81	-174.81		-98.35		98.46		174.92	
		36.25	37.90	-303.43	328.26	309.86	334.75	-416.85		-253.00		278.00		441.86	
		14.87	15.53	-138.88	145.94	141.25	148.40	-192.13		-114.16		121.18		199.15	
		25.28	25.60	-138.75	138.57	145.49	145.50	-197.46		-108.18		107.60		196.87	
		15.42	15.75	-121.70	123.04	124.60	126.03	-174.45		-93.84		94.77		175.37	
		18.08	18.74	-124.50	128.31	128.38	132.36	-168.91		-105.25		109.19		172.85	
		33.38	33.38	410.45	820.43	414.51	822.47	165.52	470.96	411.97	1079.75	610.39	1203.57	856.84	1804.62
		25.95	25.95	411.29	829.50	413.74	830.71	197.61	max $\sigma_1 R$	409.82	max $\sigma_3 R$	651.40	max $\sigma_4 R$	863.62	max $\sigma_6 R$
		33.01	33.01	576.33	1117.79	579.16	1119.25	257.98	1577.96	577.90	865.73	845.52	1596.80	1165.44	884.66
		25.99	25.99	410.32	829.60	412.78	830.82	196.78	min $\sigma_1 L$	408.79	min $\sigma_3 L$	651.74	min $\sigma_4 L$	863.75	min $\sigma_6 L$
		38.82	38.82	452.14	849.24	457.11	851.90	175.04	165.52	456.92	408.79	605.94	605.94	887.83	856.84
		25.99	25.99	410.32	829.60	412.78	830.82	196.78	min $\sigma_1 R$	408.79	min $\sigma_3 R$	651.74	min $\sigma_4 R$	863.75	min $\sigma_6 R$
		38.15	38.15	906.81	924.25	909.21	926.61	1390.06	650.91	865.73	352.12	1408.98	482.37	884.66	183.50
		46.11	46.11	712.36	729.72	716.82	734.08	1577.96	ro 1 L	639.42	ro 2 L	1596.80	ro 4 L	658.26	ro 6 L

367

COMPLEXE

39.04	39.04	543.77	571.34	547.95	575.33	1370.50	0.35	473.60	0.38	1400.42	0.50	503.52	0.47
46.07	46.07	713.73	731.58	718.17	735.92	1576.54	ro 1 R	641.00	ro 2 R	1595.92	ro 4 R	660.38	ro 6 R
40.64	40.64	605.50	657.58	609.58	661.34	1444.50	0.41	533.19	0.41	1501.01	0.30	589.70	0.21
18.46	18.46	577.40	422.08	578.29	423.29	650.91		578.44		482.37		409.90	
45.18	45.18	1058.53	1729.48	1061.42	1731.25	470.96		1076.57		1199.01		1804.62	
52.61	52.61	1057.61	1720.34	1061.53	1722.75	438.98		1078.62		1158.11		1797.75	
45.55	45.55	892.66	1432.13	896.14	1434.30	378.50		910.64		963.88		1466.02	
52.57	52.57	1058.67	1720.32	1062.58	1722.73	439.71		1079.75		1157.67		1797.71	
39.74	39.74	1016.77	1700.59	1019.10	1701.99	461.54		1031.51		1203.57		1773.54	
52.57	52.57	1058.67	1720.32	1062.58	1722.73	439.71		1079.75		1157.67		1797.71	
26.41	26.41	382.95	227.55	385.67	232.10	838.81		352.12		670.18		183.50	
18.46	18.46	577.40	422.08	578.29	423.29	650.91		578.44		482.37		409.90	
25.52	25.52	745.99	580.45	747.30	582.13	858.37		744.26		678.74		564.63	
18.48	18.48	575.99	420.25	576.88	421.47	652.28		576.81		483.29		407.82	
23.93	23.93	684.21	494.25	685.46	495.99	784.32		684.62		578.20		478.50	
46.11	46.11	712.36	729.72	716.82	734.08	1577.96		639.42		1596.80		658.26	
49.17	49.17	-361.81	640.55	371.70	646.19	-18.41	132.31	-436.63	-248.01	1069.25	2324.36	651.03	1758.99
64.81	64.81	-620.73	1471.19	630.80	1475.47	54.40	max σ_1 R	-773.43	max σ_3 R	2324.36	max σ_4 R	1496.53	max σ_6 R
77.62	77.62	-560.08	1320.96	575.99	1327.79	-150.40	125.94	-680.93	-64.35	1890.73	1926.37	1360.20	1705.15
40.50	40.50	-377.13	1692.04	383.60	1693.49	-212.00	min σ_1 L	-486.28	min σ_3 L	2033.27	min σ_4 L	1758.99	min σ_6 L
28.53	28.53	-278.30	688.17	282.66	689.94	20.23	-212.00	-347.74	-773.43	1068.96	923.20	700.99	546.83
64.81	64.81	-620.73	1471.19	630.80	1475.47	54.40	min σ_1 R	-773.43	min σ_3 R	2324.36	min σ_4 R	1496.53	min σ_6 R
37.81	37.81	-203.17	1605.45	213.46	1606.78	-71.86	-118.36	-297.48	-350.65	1890.68	714.47	1665.05	513.07
25.54	25.54	-31.68	680.80	54.42	682.24	-33.72	ro 1 L	-64.35	ro 2 L	739.39	ro 4 L	708.76	ro 6 L
20.91	20.91	-190.12	1049.95	193.54	1050.58	-72.50	-0.62	-257.09	0.32	1273.11	0.40	1088.52	0.31
49.99	49.99	-157.00	553.90	179.30	560.63	120.44	ro 1 R	-212.89	ro 2 R	891.84	ro 4 R	558.51	ro 6 R
20.48	20.48	-242.38	1641.98	244.96	1642.36	-118.36	-0.94	-339.58	0.18	1926.37	0.37	1705.15	0.30
25.54	25.54	-31.68	680.80	54.42	682.24	-33.72		-64.35		739.39		708.76	
40.52	40.52	-456.84	1607.18	462.20	1608.71	-61.23		-584.96		2178.45		1654.72	
28.11	28.11	-197.78	776.59	203.69	778.11	-134.09		-248.01		923.20		809.29	
18.44	18.44	-258.52	926.73	260.49	927.28	70.81		-340.61		1356.93		945.52	
52.89	52.89	-441.39	555.74	450.79	563.24	132.31		-535.16		1214.29		546.83	
61.18	61.18	-540.25	1559.65	550.55	1563.24	-99.97		-673.74		2178.64		1604.87	
28.11	28.11	-197.78	776.59	203.69	778.11	-134.09		-248.01		923.20		809.29	
46.42	46.42	-76.06	541.98	110.68	547.91	79.48		-117.51		750.13		553.13	
61.90	61.90	-247.55	1466.62	269.77	1470.53	41.34		-350.65		1901.40		1509.41	
74.86	74.86	-89.11	1097.47	157.33	1105.10	80.12		-157.91		1367.69		1129.65	
37.91	37.91	-122.27	1593.56	138.79	1594.92	-112.86		-202.15		1749.00		1659.71	

368

COMPLEXE

63.75	63.75	-36.89	505.48	116.41	517.40	125.94	-75.46	714.47	513.07
61.90	61.90	-247.55	1466.62	269.77	1470.53	41.34	-350.65	1901.40	1509.41
11.05	11.05	-419.43	-419.43	419.87	419.87	-419.43	-197.73	-419.43	-197.73
10.75	10.75	-220.94	-220.94	221.72	221.72	-220.94	max σ_1 R	-220.94	max σ_4 R
11.01	11.01	-243.99	-243.99	244.73	244.73	-243.99	-195.86	-243.99	-195.86
10.75	10.75	-220.94	-220.94	221.72	221.72	-220.94	min σ_1 L	-220.94	min σ_4 L
10.75	10.75	-220.94	-220.94	221.72	221.72	-220.94	-419.43	-220.94	-419.43
10.75	10.75	-220.94	-220.94	221.72	221.72	-220.94	min σ_1 R	-220.94	min σ_4 R
10.75	10.75	-195.86	-195.86	196.74	196.74	-195.86	-417.81	-195.86	-417.81
10.75	10.75	-219.08	-219.08	219.87	219.87	-219.08	ro 1 L	-219.08	ro 4 L
11.01	11.01	-242.45	-242.45	243.20	243.20	-242.45	0.47	-242.45	0.47
10.75	10.75	-219.08	-219.08	219.87	219.87	-219.08	ro 1 R	-219.08	ro 4 R
10.75	10.75	-219.08	-219.08	219.87	219.87	-219.08	0.47	-219.08	0.47
10.75	10.75	-219.08	-219.08	219.87	219.87	-219.08	-197.73	-219.08	-197.73
11.05	11.05	-396.21	-396.21	396.67	396.67	-396.21	-396.21	-396.21	-396.21
10.76	10.76	-373.17	-373.17	373.64	373.64	-373.17	-373.17	-373.17	-373.17
11.05	11.05	-396.21	-396.21	396.67	396.67	-396.21	-396.21	-396.21	-396.21
11.05	11.05	-396.21	-396.21	396.67	396.67	-396.21	-396.21	-396.21	-396.21
11.05	11.05	-417.81	-417.81	418.25	418.25	-417.81	-417.81	-417.81	-417.81
11.05	11.05	-394.59	-394.59	395.06	395.06	-394.59	-394.59	-394.59	-394.59
10.76	10.76	-371.22	-371.22	371.69	371.69	-371.22	-371.22	-371.22	-371.22
11.05	11.05	-394.59	-394.59	395.06	395.06	-394.59	-394.59	-394.59	-394.59
11.05	11.05	-394.59	-394.59	395.06	395.06	-394.59	-394.59	-394.59	-394.59
11.05	11.05	-394.59	-394.59	395.06	395.06	-394.59	-394.59	-394.59	-394.59

11.05	11.05	148.34	148.34	149.57	149.57	148.34	325.25	148.34	325.25
10.75	10.75	196.42	196.42	197.30	197.30	196.42	max σ_3 R	196.42	max σ_6 R
11.01	11.01	183.33	183.33	184.31	184.31	183.33	327.11	183.33	327.11
10.75	10.75	196.42	196.42	197.30	197.30	196.42	min σ_3 L	196.42	min σ_6 L
10.75	10.75	196.42	196.42	197.30	197.30	196.42	148.34	196.42	148.34
10.75	10.75	196.42	196.42	197.30	197.30	196.42	min σ_3 R	196.42	min σ_6 R
10.75	10.75	327.11	327.11	327.64	327.64	327.11	149.96	327.11	149.96
10.75	10.75	198.29	198.29	199.16	199.16	198.29	ro 2 L	198.29	ro 6 L
11.01	11.01	184.86	184.86	185.84	185.84	184.86	0.46	184.86	0.46
10.75	10.75	198.29	198.29	199.16	199.16	198.29	ro 2 R	198.29	ro 6 R
10.75	10.75	198.29	198.29	199.16	199.16	198.29	0.46	198.29	0.46

456

457

COMPLEXE

10.75	10.75	198.29	199.16	199.16	198.29	198.29	198.29	198.29	198.29	198.29	198.29	198.29
10.75	10.75	325.25	325.78	325.78	325.25	325.25	325.25	325.25	325.25	325.25	325.25	325.25
11.05	11.05	277.17	277.83	277.83	277.17	277.17	277.17	277.17	277.17	277.17	277.17	277.17
10.76	10.76	290.27	290.86	290.86	290.27	290.27	290.27	290.27	290.27	290.27	290.27	290.27
11.05	11.05	277.17	277.83	277.83	277.17	277.17	277.17	277.17	277.17	277.17	277.17	277.17
11.05	11.05	277.17	277.83	277.83	277.17	277.17	277.17	277.17	277.17	277.17	277.17	277.17
11.05	11.05	149.96	151.18	151.18	149.96	149.96	149.96	149.96	149.96	149.96	149.96	149.96
11.05	11.05	278.79	279.44	279.44	278.79	278.79	278.79	278.79	278.79	278.79	278.79	278.79
10.76	10.76	292.22	292.81	292.81	292.22	292.22	292.22	292.22	292.22	292.22	292.22	292.22
11.05	11.05	278.79	279.44	279.44	278.79	278.79	278.79	278.79	278.79	278.79	278.79	278.79
11.05	11.05	278.79	279.44	279.44	278.79	278.79	278.79	278.79	278.79	278.79	278.79	278.79
11.05	11.05	278.79	279.44	279.44	278.79	278.79	278.79	278.79	278.79	278.79	278.79	278.79
11.05	11.05	278.79	279.44	279.44	278.79	278.79	278.79	278.79	278.79	278.79	278.79	278.79

Tabelul 2.19.

SOLICITARI IPOTEZA H MIJLOC

EI	ExtrSI	N	Qy	Qz	Mx	My	Mz
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
		kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
353	Nxl max	-19.13	3.50	-3.76	-0.02	-14.45	5.24
	Qyl max	-47.63	7.35	-7.43	-0.04	-37.41	10.37
	Qzl max	-22.88	3.73	-2.18	-0.02	-18.74	6.06
	Mxl max	-19.49	3.60	-5.30	-0.01	-12.76	5.01
	Myl max	-19.49	3.60	-5.30	-0.01	-12.76	5.01
	Mzl max	-49.37	7.19	-5.04	-0.05	-40.69	10.97
	Nxr max	49.65	-7.25	9.30	0.05	55.74	4.52
	Qyr max	19.52	-3.41	8.02	0.01	26.82	2.35
	Qzr max	46.02	-6.87	10.88	0.04	54.76	4.71
	Mxr max	49.44	-7.27	7.76	0.06	54.18	4.22
	Myr max	47.62	-7.22	10.22	0.04	55.94	4.93
	Mzr max	47.62	-7.22	10.22	0.04	55.94	4.93
	Nxl min	-49.78	7.23	-6.51	-0.05	-39.14	10.68
	Qyl min	-21.28	3.38	-2.84	-0.02	-16.17	5.54
	Qzl min	-46.04	7.00	-8.09	-0.04	-34.84	9.85
	Mxl min	-49.42	7.13	-4.97	-0.06	-40.82	10.90
	Myl min	-49.42	7.13	-4.97	-0.06	-40.82	10.90
	Mzl min	-19.54	3.54	-5.24	-0.01	-12.89	4.94
	Nxr min	19.26	-3.49	6.54	0.02	25.27	2.10
	Qyr min	49.39	-7.33	7.82	0.05	54.19	4.27
	Qzr min	22.89	-3.87	4.96	0.02	26.24	1.92
	Mxr min	19.47	-3.47	8.09	0.01	26.82	2.41
	Myr min	21.29	-3.51	5.62	0.02	25.06	1.70
	Mzr min	21.29	-3.51	5.62	0.02	25.06	1.70
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
367	Nxl max	-1236.39	-5.78	18.68	-1.79	-46.39	-11.93
	Qyl max	-1250.12	0.18	18.57	-0.63	-46.39	-10.03
	Qzl max	-1516.61	-7.21	22.08	-2.67	-57.65	-15.71
	Mxl max	-1249.05	0.14	18.61	-0.51	-46.53	-9.97
	Myl max	-1250.07	-10.47	17.14	-2.74	-43.80	-13.43
	Mzl max	-1249.05	0.14	18.61	-0.51	-46.53	-9.97
	Nxr max	2539.25	11.16	-11.52	6.42	18.34	-11.34
	Qyr max	2525.84	17.56	-11.48	7.58	18.20	-32.41
	Qzr max	2246.68	16.10	-8.04	6.80	19.61	-30.68
	Mxr max	2526.91	17.52	-11.43	7.69	18.22	-32.20
	Myr max	2428.10	10.50	-9.09	5.93	20.91	-10.67
	Mzr max	1246.62	-0.58	-10.97	0.63	-8.55	11.43
	Nxl min	-2543.15	-11.21	18.93	-6.42	-74.96	-30.27
	Qyl min	-2529.42	-17.16	19.04	-7.58	-74.96	-32.17

COMPLEXE

	Qzl min	-2262.92	-9.78	15.53	-5.53	-63.70	-26.48
	Mxl min	-2530.48	-17.12	19.00	-7.69	-74.82	-32.23
	Myl min	-2529.46	-6.51	20.47	-5.46	-77.55	-28.77
	Mzl min	-2530.48	-17.12	19.00	-7.69	-74.82	-32.23
	Nxr min	1233.21	5.82	-10.93	1.79	-8.69	-9.64
	Qyr min	1246.62	-0.58	-10.97	0.63	-8.55	11.43
	Qzr min	1525.78	0.89	-14.42	1.40	-9.96	9.70
	Mxr min	1245.56	-0.54	-11.02	0.51	-8.58	11.23
	Myr min	1344.37	6.48	-13.36	2.27	-11.26	-10.31
	Mzr min	2525.84	17.56	-11.48	7.58	18.20	-32.41
-----		-----	-----	-----	-----	-----	-----
368	Nxl max	-906.04	4.79	-36.63	-0.70	-101.44	10.09
	Qyl max	-1934.54	13.17	-69.23	-11.00	-226.03	30.75
	Qzl max	-964.22	5.16	-23.86	-0.66	-119.88	10.84
	Mxl max	-1931.16	3.42	-71.17	12.92	-223.60	3.07
	Myl max	-956.77	3.68	-56.64	1.81	-92.32	7.01
	Mzl max	-1934.54	13.17	-69.23	-11.00	-226.03	30.75
	Nxr max	1957.16	-7.68	82.65	-2.21	326.78	-5.19
	Qyr max	928.81	0.57	50.12	-12.51	159.64	4.61
	Qzr max	1898.98	-7.31	95.43	-2.17	325.04	-4.92
	Mxr max	932.16	-8.89	48.17	11.42	159.52	-10.53
	Myr max	1957.16	-7.68	82.65	-2.21	326.78	-5.19
	Mzr max	928.81	0.57	50.12	-12.51	159.64	4.61
	Nxl min	-1958.53	7.66	-80.05	2.21	-220.47	15.21
	Qyl min	-930.03	-0.72	-47.45	12.51	-95.88	-5.45
	Qzl min	-1900.35	7.29	-92.83	2.17	-202.03	14.46
	Mxl min	-933.41	9.03	-45.51	-11.42	-98.31	22.24
	Myl min	-1907.81	8.77	-60.04	-0.30	-229.59	18.29
	Mzl min	-930.03	-0.72	-47.45	12.51	-95.88	-5.45
	Nxr min	904.92	-4.77	39.35	0.70	151.09	-3.85
	Qyr min	1933.28	-13.02	71.89	11.00	318.24	-13.64
	Qzr min	963.11	-5.14	26.58	0.66	152.84	-4.11
	Mxr min	1929.93	-3.56	73.84	-12.92	318.35	1.49
	Myr min	904.92	-4.77	39.35	0.70	151.09	-3.85
	Mzr min	1933.28	-13.02	71.89	11.00	318.24	-13.64
-----		-----	-----	-----	-----	-----	-----
456	Nxl max	546.15	-0.15	3.50	0.00	0.00	0.00
	Qyl max	288.06	0.15	3.50	0.00	0.00	0.00
	Qzl max	288.06	0.15	3.50	0.00	0.00	0.00
	Mxl max	288.06	0.15	3.50	0.00	0.00	0.00
	Myl max	288.06	0.15	3.50	0.00	0.00	0.00
	Mzl max	288.06	0.15	3.50	0.00	0.00	0.00
	Nxr max	-248.32	0.15	3.50	0.00	0.00	0.00
	Qyr max	-287.89	0.15	3.50	0.00	0.00	0.00
	Qzr max	-287.89	0.15	3.50	0.00	0.00	0.00
	Mxr max	-287.89	0.15	3.50	0.00	0.00	0.00
	Myr max	-287.89	0.15	3.50	0.00	0.00	0.00

COMPLEXE

Mzr max	-287.89	0.15	3.50	0.00	0.00	0.00	
Nxl min	248.49	0.15	3.50	0.00	0.00	0.00	
Qyl min	506.58	-0.15	3.50	0.00	0.00	0.00	
Qzl min	506.58	-0.15	3.50	0.00	0.00	0.00	
Mxl min	506.58	-0.15	3.50	0.00	0.00	0.00	
Myl min	506.58	-0.15	3.50	0.00	0.00	0.00	
Mzl min	506.58	-0.15	3.50	0.00	0.00	0.00	
Nxr min	-546.31	-0.15	3.50	0.00	0.00	0.00	
Qyr min	-506.74	-0.15	3.50	0.00	0.00	0.00	
Qzr min	-506.74	-0.15	3.50	0.00	0.00	0.00	
Mxr min	-506.74	-0.15	3.50	0.00	0.00	0.00	
Myr min	-506.74	-0.15	3.50	0.00	0.00	0.00	
Mzr min	-506.74	-0.15	3.50	0.00	0.00	0.00	

457	Nxl max	-223.61	-0.15	3.50	0.00	0.00	0.00
	Qyl max	-300.63	0.15	3.50	0.00	0.00	0.00
	Qzl max	-300.63	0.15	3.50	0.00	0.00	0.00
	Mxl max	-300.63	0.15	3.50	0.00	0.00	0.00
	Myl max	-300.63	0.15	3.50	0.00	0.00	0.00
	Mzl max	-300.63	0.15	3.50	0.00	0.00	0.00
	Nxr max	484.44	0.15	3.50	0.00	0.00	0.00
	Qyr max	300.79	0.15	3.50	0.00	0.00	0.00
	Qzr max	300.79	0.15	3.50	0.00	0.00	0.00
	Mxr max	300.79	0.15	3.50	0.00	0.00	0.00
	Myr max	300.79	0.15	3.50	0.00	0.00	0.00
	Mzr max	300.79	0.15	3.50	0.00	0.00	0.00
	Nxl min	-484.28	0.15	3.50	0.00	0.00	0.00
	Qyl min	-407.25	-0.15	3.50	0.00	0.00	0.00
	Qzl min	-407.25	-0.15	3.50	0.00	0.00	0.00
	Mxl min	-407.25	-0.15	3.50	0.00	0.00	0.00
	Myl min	-407.25	-0.15	3.50	0.00	0.00	0.00
	Mzl min	-407.25	-0.15	3.50	0.00	0.00	0.00
	Nxr min	223.45	-0.15	3.50	0.00	0.00	0.00
	Qyr min	407.09	-0.15	3.50	0.00	0.00	0.00
	Qzr min	407.09	-0.15	3.50	0.00	0.00	0.00
	Mxr min	407.09	-0.15	3.50	0.00	0.00	0.00
	Myr min	407.09	-0.15	3.50	0.00	0.00	0.00
	Mzr min	407.09	-0.15	3.50	0.00	0.00	0.00

COMPLEXE

Tabelul 2.20

EFORTURI UNITARE IPOTEZA H MIJLOC

353	22.26	22.91	-95.57	109.09	103.05	116.09	-3.51	6.33	-200.88	-182.09	221.62	548.93	24.24	138.03
	44.55	45.86	-247.32	282.53	259.08	293.49	-70.89	max σ_1 R	-461.50	max σ_3 R	511.95	max σ_4 R	121.33	max σ_6 R
	16.43	17.09	-125.20	140.23	128.39	143.32	-20.05	-219.41	-248.32	-151.30	271.91	368.44	43.65	546.16
	26.31	26.64	-82.38	98.35	94.15	108.64	6.33	min σ_1 L	-182.38	min σ_3 L	205.13	min σ_4 L	16.42	min σ_6 L
	26.31	26.64	-82.38	98.35	94.15	108.64	6.33	-87.35	-182.38	-498.23	205.13	204.81	16.42	16.42
	37.15	38.80	-270.92	305.39	278.46	312.69	-85.01	min σ_1 R	-498.23	min σ_3 R	548.93	min σ_4 R	135.71	min σ_6 R
	53.60	55.25	-375.98	413.49	387.27	424.42	-499.98	-511.07	-329.72	-329.72	368.44	163.30	538.69	235.05
	36.57	36.90	-184.55	195.31	195.11	205.50	-247.60	ro 1 L	-159.08	ro 2 L	170.24	ro 4 L	258.76	ro 6 L
	57.29	58.61	-371.58	404.01	384.60	416.56	-498.62	-0.07	-321.20	0.37	354.53	0.37	531.94	0.12
	49.68	51.65	-364.54	402.83	374.56	412.65	-481.71	ro 1 R	-322.75	ro 2 R	362.40	ro 4 R	521.36	ro 6 R
	55.14	56.45	-379.00	413.30	390.85	424.71	-511.07	0.43	-325.37	0.46	360.46	0.44	546.16	0.43
	55.14	56.45	-379.00	413.30	390.85	424.71	-511.07		-325.37		360.46		546.16	
	42.85	44.50	-258.71	295.64	269.15	305.52	-77.41		-479.70		532.38		130.09	
	18.58	19.24	-106.88	122.14	111.62	126.61	-10.13		-218.81		241.79		33.12	
	46.70	48.02	-229.00	264.45	242.86	277.22	-60.96		-431.99		481.84		110.81	
	38.79	40.77	-271.82	306.33	280.01	314.36	-87.35		-497.93		548.61		138.03	
	38.79	40.77	-271.82	306.33	280.01	314.36	-87.35		-497.93		548.61		138.03	
	26.02	26.35	-83.28	99.29	94.69	109.27	3.99		-182.09		204.81		18.74	
	32.94	33.59	-173.20	184.71	182.35	193.66	-230.40		-151.30		163.30		242.40	
	48.00	49.65	-364.63	402.88	373.99	411.96	-482.77		-321.93		361.49		522.33	
	27.28	27.93	-177.52	194.13	183.70	200.07	-231.87		-159.54		176.95		249.27	
	36.90	37.23	-184.56	195.30	195.31	205.67	-248.78		-158.00		169.07		259.85	
	29.42	30.08	-170.10	184.84	177.56	192.04	-219.41		-155.37		171.02		235.05	
	29.42	30.08	-170.10	184.84	177.56	192.04	-219.41		-155.37		171.02		235.05	
367	24.58	24.58	539.20	924.51	540.88	925.49	302.34	656.72	541.18	1276.52	720.44	1352.02	959.28	1950.85
	17.06	17.06	530.12	915.43	530.94	915.90	328.36	max σ_1 R	529.17	max σ_3 R	746.47	max σ_4 R	947.27	max σ_6 R
	29.84	29.84	667.43	1146.26	669.42	1147.43	356.73	1531.10	671.24	1099.37	876.32	1695.13	1190.83	1264.67
	16.97	16.97	528.48	914.95	529.30	915.43	327.79	min σ_1 L	527.39	min σ_3 L	747.15	min σ_4 L	946.75	min σ_6 L
	29.42	29.42	569.64	933.44	571.92	934.83	305.98	302.34	574.85	527.39	700.74	700.74	969.61	946.75
	16.97	16.97	528.48	914.95	529.30	915.43	327.79	min σ_1 R	527.39	min σ_3 R	747.15	min σ_4 R	946.75	min σ_6 R
	27.47	27.47	1123.32	1275.65	1124.33	1276.54	1326.40	560.15	1099.37	571.85	1491.70	483.09	1264.67	493.53
	35.82	35.82	938.60	1089.76	940.65	1091.53	1531.10	ro 1 L	882.25	ro 2 L	1695.13	ro 4 L	1046.29	ro 6 L
	30.55	30.55	804.97	967.84	806.70	969.29	1365.00	0.46	750.79	0.41	1541.74	0.52	927.53	0.49
	35.79	35.79	940.84	1092.17	942.88	1093.93	1529.46	ro 1 R	884.81	ro 2 R	1693.67	ro 4 R	1049.02	ro 6 R

COMPLEXE

24.23	1061.61	1235.29	1062.44	1236.00	1251.40	0.37	1037.79	0.52	1439.86	0.28	1226.25	0.39
10.80	768.35	697.34	768.58	697.59	560.15		788.97		483.09		711.92	
34.10	1242.61	1865.22	1244.01	1866.15	656.72		1262.73		1332.32		1938.33	
42.04	1251.70	1874.31	1253.81	1875.72	630.70		1274.74		1306.30		1950.34	
28.83	1114.29	1643.38	1115.41	1644.14	602.43		1132.56		1176.54		1706.67	
42.02	1253.33	1874.77	1255.44	1876.19	631.27		1276.52		1305.61		1950.85	
29.24	1212.16	1856.28	1213.22	1856.98	653.08		1229.06		1352.02		1928.00	
42.02	1253.33	1874.77	1255.44	1876.19	631.27		1276.52		1305.61		1950.85	
17.76	583.63	511.45	584.44	512.37	764.85		571.85		686.52		493.53	
10.80	768.35	697.34	768.58	697.59	560.15		788.97		483.09		711.92	
14.69	901.98	819.25	902.34	819.65	726.25		920.44		636.48		830.67	
10.72	766.24	694.98	766.47	695.22	561.74		786.57		484.41		709.24	
20.99	645.34	551.82	646.36	553.01	839.85		633.44		738.36		531.96	
35.82	938.60	1089.76	940.65	1091.53	1531.10		882.25		1695.13		1046.29	
368	38.65	798.08	80.37	800.88	106.14	276.24	-95.86	96.99	1020.40	2313.40	818.39	1962.18
83.79	83.79	1665.25	257.02	1671.56	276.24	max σ_1 R	-339.38	max σ_3 R	2313.40	max σ_4 R	1697.78	max σ_6 R
27.75	27.75	897.99	108.90	899.28	60.23	-137.86	-156.79	-199.37	1140.68	2557.02	923.67	2434.18
74.93	74.93	1887.88	133.37	1892.34	8.39	min σ_1 L	-53.07	min σ_3 L	2023.65	min σ_4 L	1962.18	min σ_6 L
55.72	55.72	812.17	106.64	817.89	142.29	-12.12	1.95	-339.38	974.35	852.02	834.01	696.63
83.79	83.79	1665.25	257.02	1671.56	276.24	min σ_1 R	-339.38	min σ_3 R	2313.40	min σ_4 R	1697.78	min σ_6 R
83.82	83.82	2311.69	427.89	2316.25	-422.10	-464.87	-526.00	-584.28	2523.10	1147.14	2419.20	1089.05
52.60	52.60	1175.91	175.54	1179.43	-291.66	ro 1 L	-199.37	ro 2 L	1147.14	ro 4 L	1239.43	ro 6 L
94.69	94.69	2277.07	453.38	2282.97	-446.64	-0.04	-545.14	-0.29	2482.88	0.37	2384.38	0.36
60.22	60.22	1048.88	295.12	1054.06	-137.86	ro 1 R	-348.67	ro 2 R	1299.86	ro 4 R	1089.05	ro 6 R
83.82	83.82	2311.69	427.89	2316.25	-422.10	0.30	-526.00	0.34	2523.10	0.45	2419.20	0.45
52.60	52.60	1175.91	175.54	1179.43	-291.66		-199.37		1147.14		1239.43	
81.50	81.50	1786.02	148.21	1791.59	157.98		-146.53		2145.03		1840.52	
50.42	50.42	918.85	150.42	922.99	-12.12		96.99		852.02		961.13	
92.36	92.36	1686.11	160.17	1693.68	203.88		-85.61		2024.74		1735.25	
58.03	58.03	696.13	156.86	703.35	255.83		-189.42		1141.88		696.63	
63.95	63.95	1771.93	174.64	1775.39	121.83		-244.33		2191.08		1824.91	
50.42	50.42	918.85	150.42	922.99	-12.12		96.99		852.02		961.13	
41.04	41.04	1056.55	210.73	1058.94	-180.64		-257.72		1181.10		1104.03	
85.96	85.96	2192.47	474.75	2197.52	-311.21		-584.28		2557.02		2283.95	
30.14	30.14	1091.31	185.66	1092.56	-156.23		-238.52		1221.28		1139.00	
77.47	77.47	2319.37	351.44	2323.25	-464.87		-435.04		2404.35		2434.18	
41.04	41.04	1056.55	210.73	1058.94	-180.64		-257.72		1181.10		1104.03	
85.96	85.96	2192.47	474.75	2197.52	-311.21		-584.28		2557.02		2283.95	

COMPLEXE

456	11.20	-414.69	-414.69	415.15	415.15	-414.69	max σ_1 L	-188.68	σ_3	max σ_3 L	σ_4	max σ_4 L	σ_5	max σ_5 L
	11.20	-218.72	-218.72	219.58	219.58	-218.72	max σ_1 R	max σ_3 R	-218.72	max σ_3 R	-218.72	max σ_4 R	-218.72	max σ_5 R
	11.20	-218.72	-218.72	219.58	219.58	-218.72	min σ_1 L	min σ_3 L	-218.72	min σ_3 L	-218.72	min σ_4 L	-218.72	min σ_5 L
	11.20	-218.72	-218.72	219.58	219.58	-218.72	min σ_1 R	min σ_3 R	-218.72	min σ_3 R	-218.72	min σ_4 R	-218.72	min σ_5 R
	11.20	-188.55	-188.55	189.54	189.54	-188.55	ro 1 L	ro 2 L	-188.55	ro 2 L	-188.55	ro 4 L	-188.55	ro 6 L
	11.20	-218.60	-218.60	219.45	219.45	-218.60	0.45	0.45	-218.60	0.45	-218.60	0.45	-218.60	0.45
	11.20	-218.60	-218.60	219.45	219.45	-218.60	ro 1 R	ro 2 R	-218.60	ro 2 R	-218.60	ro 4 R	-218.60	ro 6 R
	11.20	-218.60	-218.60	219.45	219.45	-218.60	0.45	0.45	-218.60	0.45	-218.60	0.45	-218.60	0.45
	11.20	-218.60	-218.60	219.45	219.45	-218.60			-218.60		-218.60		-218.60	
	11.20	-188.68	-188.68	189.67	189.67	-188.68			-188.68		-188.68		-188.68	
	11.20	-384.65	-384.65	385.14	385.14	-384.65			-384.65		-384.65		-384.65	
	11.20	-384.65	-384.65	385.14	385.14	-384.65			-384.65		-384.65		-384.65	
	11.20	-384.65	-384.65	385.14	385.14	-384.65			-384.65		-384.65		-384.65	
	11.20	-384.65	-384.65	385.14	385.14	-384.65			-384.65		-384.65		-384.65	
	11.20	-414.81	-414.81	415.27	415.27	-414.81			-414.81		-414.81		-414.81	
	11.20	-384.77	-384.77	385.26	385.26	-384.77			-384.77		-384.77		-384.77	
	11.20	-384.77	-384.77	385.26	385.26	-384.77			-384.77		-384.77		-384.77	
	11.20	-384.77	-384.77	385.26	385.26	-384.77			-384.77		-384.77		-384.77	
	11.20	-384.77	-384.77	385.26	385.26	-384.77			-384.77		-384.77		-384.77	
	11.20	-384.77	-384.77	385.26	385.26	-384.77			-384.77		-384.77		-384.77	
457	11.20	169.79	169.79	170.89	170.89	169.79	max σ_1 R	max σ_3 R	169.79	max σ_3 R	169.79	max σ_4 R	169.79	max σ_5 R
	11.20	228.27	228.27	229.09	229.09	228.27	367.84	367.84	228.27	367.84	228.27	367.84	228.27	367.84
	11.20	228.27	228.27	229.09	229.09	228.27	min σ_1 L	min σ_3 L	228.27	min σ_3 L	228.27	min σ_4 L	228.27	min σ_5 L
	11.20	228.27	228.27	229.09	229.09	228.27	169.79	169.79	228.27	169.79	228.27	169.79	228.27	169.79
	11.20	228.27	228.27	229.09	229.09	228.27	min σ_1 R	min σ_3 R	228.27	min σ_3 R	228.27	min σ_4 R	228.27	min σ_5 R
	11.20	367.84	367.84	368.35	368.35	367.84	ro 1 L	ro 2 L	367.84	ro 2 L	367.84	ro 4 L	367.84	ro 6 L
	11.20	228.39	228.39	229.21	229.21	228.39	0.46	0.46	228.39	0.46	228.39	0.46	228.39	0.46
	11.20	228.39	228.39	229.21	229.21	228.39	ro 1 R	ro 2 R	228.39	ro 2 R	228.39	ro 4 R	228.39	ro 6 R
	11.20	228.39	228.39	229.21	229.21	228.39	0.46	0.46	228.39	0.46	228.39	0.46	228.39	0.46
	11.20	228.39	228.39	229.21	229.21	228.39			228.39		228.39		228.39	
	11.20	228.39	228.39	229.21	229.21	228.39			228.39		228.39		228.39	
	11.20	367.71	367.71	368.23	368.23	367.71			367.71		367.71		367.71	
	11.20	309.23	309.23	309.83	309.83	309.23			309.23		309.23		309.23	

**TEZA DE DOCTORAT – CAP.2. – TEHNICA DE PROIECTARE PENTRU ELEMENTELE PORTANTE
COMPLEXE**

11.20	11.20	309.23	309.83	309.83	309.83	309.23	309.23	309.23	309.23
11.20	11.20	309.23	309.83	309.83	309.83	309.23	309.23	309.23	309.23
11.20	11.20	309.23	309.83	309.83	309.83	309.23	309.23	309.23	309.23
11.20	11.20	309.23	309.83	309.83	309.83	309.23	309.23	309.23	309.23
11.20	11.20	169.67	170.77	170.77	170.77	169.67	169.67	169.67	169.67
11.20	11.20	309.10	309.71	309.71	309.71	309.10	309.10	309.10	309.10
11.20	11.20	309.10	309.71	309.71	309.71	309.10	309.10	309.10	309.10
11.20	11.20	309.10	309.71	309.71	309.71	309.10	309.10	309.10	309.10
11.20	11.20	309.10	309.71	309.71	309.71	309.10	309.10	309.10	309.10
11.20	11.20	309.10	309.71	309.71	309.71	309.10	309.10	309.10	309.10

Tabelul 2. 21.

SOLICITARI IPOTEZA H JOS

El.	ExtrSI	N	Qy	Qz	Mx	My	Mz
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
		kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
353	Nxl max	-28.61	3.45	-7.57	-0.01	-11.74	5.19
	Qyl max	-58.6	7.32	-11.31	-0.04	-35.87	10.72
	Qzl max	-33.11	3.73	-4.75	-0.03	-18.4	6.46
	Mxl max	-28.61	3.45	-7.57	-0.01	-11.74	5.19
	Myl max	-28.61	3.45	-7.57	-0.01	-11.74	5.19
	Mzl max	-60.36	7.16	-8.85	-0.05	-39.27	11.33
	Nxr max	59.25	-7.36	11.29	0.06	60.49	3.92
	Qyr max	28.84	-3.38	8.94	0.02	29.36	1.58
	Qzr max	54.72	-6.82	14.1	0.04	59.75	4.34
	Mxr max	59.25	-7.36	11.29	0.06	60.49	3.92
	Myr max	57.42	-7.31	13.83	0.04	62.27	4.65
	Mzr max	57.42	-7.31	13.83	0.04	62.27	4.65
	Nxl min	-60.41	7.11	-8.76	-0.06	-39.43	11.27
	Qyl min	-30.42	3.24	-5.02	-0.02	-15.31	5.74
	Qzl min	-55.91	6.83	-11.58	-0.04	-32.78	10
	Mxl min	-60.41	7.11	-8.76	-0.06	-39.43	11.27
	Myl min	-60.41	7.11	-8.76	-0.06	-39.43	11.27
	Mzl min	-28.65	3.4	-7.48	-0.01	-11.91	5.13
	Nxr min	27.42	-3.44	10.09	0.01	30.29	2.05
	Qyr min	57.84	-7.42	12.44	0.05	61.41	4.39
	Qzr min	31.95	-3.98	7.27	0.03	31.02	1.64
	Mxr min	27.42	-3.44	10.09	0.01	30.29	2.05
	Myr min	29.26	-3.49	7.55	0.02	28.51	1.32
	Mzr min	29.26	-3.49	7.55	0.02	28.51	1.32
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
367	Nxl max	-1237.43	1	8.78	0.46	-30.31	-8.27
	Qyl max	-1259.31	5.69	10.59	1.12	-33.63	-7.28
	Qzl max	-1599.77	-1.85	13.26	-0.84	-44.66	-13.34
	Mxl max	-1380.05	5.25	9.06	1.29	-33.06	-8.04
	Myl max	-1360.92	0.63	7.19	0.37	-29.48	-9.25
	Mzl max	-1257.94	5.65	10.62	1.25	-33.76	-7.18
	Nxr max	2596.32	6.56	-4.51	4.81	34.19	3
	Qyr max	2574.15	11.61	-3.02	5.47	37	-14.12
	Qzr max	2233.47	3.64	-0.65	3.51	35.34	8.67
	Mxr max	2453.41	11.18	-4.55	5.65	31.87	-13.27
	Myr max	2417.5	10.79	-0.86	4.96	38.16	-13.24
	Mzr max	1252.96	-6.46	-5.19	-1.12	4.27	29.87
	Nxl min	-2602.45	-6.89	10.2	-4.81	-61.54	-28.03

COMPLEXE

	Qyl min	-2580.58	-11.58	8.39	-5.47	-58.22	-29.02
	Qzl min	-2240.12	-4.05	5.72	-3.51	-47.19	-22.96
	Mxl min	-2459.84	-11.15	9.92	-5.65	-58.78	-28.26
	Myl min	-2478.97	-6.53	11.79	-4.72	-62.36	-27.05
	Mzl min	-2581.95	-11.55	8.36	-5.6	-58.09	-29.13
	Nxr min	1230.79	-1.41	-3.71	-0.46	7.07	12.74
	Qyr min	1252.96	-6.46	-5.19	-1.12	4.27	29.87
	Qzr min	1593.64	1.52	-7.57	0.84	5.93	7.08
	Mxr min	1373.7	-6.02	-3.66	-1.29	9.39	29.01
	Myr min	1409.61	-5.63	-7.35	-0.61	3.1	28.98
	Mzr min	2574.15	11.61	-3.02	5.47	37	-14.12
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
368	Nxl max	-1063.3	-5.82	-122.18	23.49	-53.41	-19.46
	Qyl max	-2153.28	7.97	-176.19	-0.03	-170.61	16.54
	Qzl max	-1168.53	0.15	-108.39	10.46	-79.95	-3.03
	Mxl max	-2151.16	-1.81	-177.94	23.89	-168.51	-11.2
	Myl max	-1196.32	-1.24	-155.13	12.69	-46.63	-6.58
	Mzl max	-2153.28	7.97	-176.19	-0.03	-170.61	16.54
	Nxr max	2151.41	-7.87	177.91	0.04	402.1	-6.07
	Qyr max	1061.46	5.63	123.9	-23.48	214.33	12.11
	Qzr max	2046.1	-2.06	191.6	-12.99	393.52	2.67
	Mxr max	1063.55	-3.86	122.14	0.44	214.13	-3.05
	Myr max	2150.21	-2.54	186.6	-13.05	405.94	2.33
	Mzr max	1061.46	5.63	123.9	-23.48	214.33	12.11
	Nxl min	-2153.67	7.88	-176.02	-0.04	-170.84	16.36
	Qyl min	-1063.69	-5.9	-122.01	23.48	-53.65	-19.64
	Qzl min	-2048.44	1.92	-189.81	12.99	-144.31	-0.07
	Mxl min	-1065.81	3.87	-120.26	-0.44	-55.74	8.1
	Myl min	-2020.65	3.3	-143.07	10.76	-177.62	3.48
	Mzl min	-1063.69	-5.9	-122.01	23.48	-53.65	-19.64
	Nxr min	1061.07	5.54	124.08	-23.49	214.31	12.03
	Qyr min	2151.02	-7.96	178.08	0.03	402.09	-6.14
	Qzr min	1166.38	-0.26	110.39	-10.46	222.89	3.29
	Mxr min	2148.93	1.54	179.84	-23.89	402.29	9.02
	Myr min	1062.27	0.21	115.38	-10.4	210.48	3.64
	Mzr min	2151.02	-7.96	178.08	0.03	402.09	-6.14
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
456	Nxl max	465.2	0.57	3.17	0	0	0
	Qyl max	227.36	0.87	3.17	0	0	0
	Qzl max	267.39	0.65	3.25	0	0	0
	Mxl max	227.36	0.87	3.17	0	0	0
	Myl max	227.36	0.87	3.17	0	0	0
	Mzl max	227.36	0.87	3.17	0	0	0
	Nxr max	-184.31	0.87	3.17	0	0	0
	Qyr max	-229.78	0.87	3.17	0	0	0
	Qzr max	-269.71	0.65	3.25	0	0	0
	Mxr max	-229.78	0.87	3.17	0	0	0

COMPLEXE

Myr max	-229.78	0.87	3.17	0	0	0	
Mzr max	-229.78	0.87	3.17	0	0	0	
Nxl min	181.89	0.87	3.17	0	0	0	
Qyl min	419.94	0.57	3.17	0	0	0	
Qzl min	379.91	0.8	3.1	0	0	0	
Mxl min	419.94	0.57	3.17	0	0	0	
Myl min	419.94	0.57	3.17	0	0	0	
Mzl min	419.94	0.57	3.17	0	0	0	
Nxr min	-468.17	0.57	3.17	0	0	0	
Qyr min	-422.69	0.57	3.17	0	0	0	
Qzr min	-382.76	0.8	3.1	0	0	0	
Mxr min	-422.69	0.57	3.17	0	0	0	
Myr min	-422.69	0.57	3.17	0	0	0	
Mzr min	-422.69	0.57	3.17	0	0	0	

457	Nxl max	-207.53	0.57	3.17	0	0	0
	Qyl max	-296.49	0.87	3.17	0	0	0
	Qzl max	-276.69	0.65	3.25	0	0	0
	Mxl max	-296.49	0.87	3.17	0	0	0
	Myl max	-296.49	0.87	3.17	0	0	0
	Mzl max	-296.49	0.87	3.17	0	0	0
	Nxr max	477.21	0.87	3.17	0	0	0
	Qyr max	294.06	0.87	3.17	0	0	0
	Qzr max	274.37	0.65	3.25	0	0	0
	Mxr max	294.06	0.87	3.17	0	0	0
	Myr max	294.06	0.87	3.17	0	0	0
	Mzr max	294.06	0.87	3.17	0	0	0
	Nxl min	-479.63	0.87	3.17	0	0	0
	Qyl min	-390.68	0.57	3.17	0	0	0
	Qzl min	-410.47	0.8	3.1	0	0	0
	Mxl min	-390.68	0.57	3.17	0	0	0

COMPLEXE

Myl min	-390.68	0.57	3.17	0	0	0
Mzl min	-390.68	0.57	3.17	0	0	0
Nxr min	204.78	0.57	3.17	0	0	0
Qyr min	387.93	0.57	3.17	0	0	0
Qzr min	407.62	0.8	3.1	0	0	0
Mxr min	387.93	0.57	3.17	0	0	0
Myr min	387.93	0.57	3.17	0	0	0
Mzr min	387.93	0.57	3.17	0	0	0

COMPLEXE

Tabelul 2.22.

EFORTURI UNITARE IPOTEZA H JOS

EI.	34.88	35.21	-66.98	99.30	90.20	116.53	25.89	-169.61	208.79	554.72	13.30	130.21
	59.44	60.75	-226.51	281.53	248.81	300.56	-42.29	max σ_3 R	516.56	max σ_4 R	112.76	max σ_6 R
	28.29	29.28	-114.10	146.51	124.18	155.03	-0.99	-184.02	285.68	422.98	42.35	595.95
	34.88	35.21	-66.98	99.30	90.20	116.53	25.89	min σ_3 L	208.79	min σ_4 L	13.30	min σ_6 L
	34.88	35.21	-66.98	99.30	90.20	116.53	25.89	-484.10	208.79	208.79	13.30	13.30
	51.78	53.42	-251.00	305.19	266.54	318.91	-57.19	min σ_3 R	551.63	min σ_4 R	127.85	min σ_6 R
	63.35	65.33	-403.96	452.78	418.60	466.71	-519.44	-374.20	422.98	208.24	70.63	260.15
	42.05	42.70	-196.17	219.66	209.25	231.78	-245.97	ro 2 L	211.45	ro 4 L	70.96	ro 6 L
	69.62	70.94	-402.02	444.24	419.71	460.92	-525.15	0.35	405.74	0.38	769.22	0.10
	63.35	65.33	-403.96	452.78	418.60	466.71	-519.44	ro 2 R	422.98	ro 4 R	70.63	ro 6 R
	69.12	70.44	-418.57	463.38	435.35	479.17	-549.36	0.43	420.79	0.49	95.95	0.44
	69.12	70.44	-418.57	463.38	435.35	479.17	-549.36	-374.20	420.79	420.79	95.95	95.95
	53.35	55.32	-252.14	306.33	268.53	320.96	-59.59	-484.10	554.72	554.72	130.21	130.21
	26.82	27.47	-92.68	124.16	103.67	132.97	8.50	-207.71	247.03	247.03	30.82	30.82
	59.94	61.25	-205.09	259.19	229.87	280.06	-32.80	-409.47	477.90	477.90	101.23	101.23
	53.35	55.32	-252.14	306.33	268.53	320.96	-59.59	-484.10	554.72	554.72	130.21	130.21
	53.35	55.32	-252.14	306.33	268.53	320.96	-59.59	-484.10	554.72	554.72	130.21	130.21
	34.48	34.81	-68.20	100.49	90.65	117.19	23.40	-169.84	208.95	208.95	15.72	15.72
	44.56	44.89	-204.16	224.85	218.26	237.92	-263.67	-186.45	208.24	208.24	85.46	85.46
	65.87	67.51	-411.86	457.92	427.37	472.61	-537.04	-371.68	419.71	419.71	85.07	85.07
	38.26	39.24	-206.02	233.33	216.41	243.03	-258.06	-196.29	225.22	225.22	86.99	86.99
	44.56	44.89	-204.16	224.85	218.26	237.92	-263.67	-186.45	208.24	208.24	85.46	85.46
	36.82	37.48	-189.54	214.26	199.98	223.88	-233.74	-184.02	210.43	210.43	60.15	60.15
	36.82	37.48	-189.54	214.26	199.98	223.88	-233.74	-184.02	210.43	210.43	60.15	60.15
---	367	9.26	575.51	827.26	575.74	827.42	411.97	769.88	685.15	1324.52	50.71	1885.68
	16.90	16.90	564.50	843.83	565.26	844.34	418.08	max σ_3 R	721.18	max σ_4 R	66.93	max σ_6 R
	14.48	14.48	743.73	1114.67	744.15	1114.95	481.42	1287.95	883.93	1621.42	1151.00	1508.76
	15.11	15.11	634.91	909.50	635.45	909.88	474.65	min σ_3 L	772.61	min σ_4 L	933.57	min σ_6 L
	7.35	7.35	650.27	895.12	650.39	895.21	468.91	411.97	734.60	685.15	919.79	850.71
	16.95	16.95	562.42	842.82	563.18	843.34	417.80	min σ_3 R	722.07	min σ_4 R	65.81	min σ_6 R
	14.76	14.76	1208.07	1492.05	1208.34	1492.27	1140.55	321.02	1448.70	359.51	108.76	787.34
	19.90	19.90	1040.09	1347.40	1040.66	1347.85	1287.95	ro 2 L	1621.42	ro 4 L	138.74	ro 6 L
	7.05	7.05	1066.20	1359.73	1066.27	1359.78	893.48	0.54	1211.99	0.52	185.57	0.45

COMPLEXE

20.85	20.85	1006.99	1271.70	1007.64	1272.21	1240.95	ro 1 R	975.29	ro 2 R	1528.19	ro 4 R	1262.53	ro 6 R
16.70	16.70	962.80	1279.75	963.23	1280.08	1193.99	0.25	928.92	0.60	1537.91	0.22	1272.85	0.52
13.04	13.04	874.53	910.00	874.82	910.28	321.02		919.02		359.51		957.51	
20.20	20.20	1309.62	1820.77	1310.09	1821.10	769.88		1331.04		1324.52		1885.68	
24.63	24.63	1320.64	1804.21	1321.33	1804.71	763.77		1344.75		1288.49		1869.48	
12.04	12.04	1141.41	1533.37	1141.60	1533.51	700.43		1160.09		1125.75		1585.40	
25.58	25.58	1250.27	1738.49	1251.06	1739.06	707.25		1273.02		1237.02		1802.79	
21.12	21.12	1234.92	1752.87	1235.46	1753.25	712.99		1254.53		1275.03		1816.57	
24.64	24.64	1322.81	1805.30	1323.50	1805.80	763.95		1347.14		1287.51		1870.69	
5.26	5.26	706.50	765.22	706.56	765.28	468.57		723.62		532.29		787.34	
13.04	13.04	874.53	910.00	874.82	910.28	321.02		919.02		359.51		957.51	
9.04	9.04	848.42	897.68	848.57	897.81	715.49		857.23		768.93		910.68	
11.25	11.25	907.59	985.58	907.80	985.77	368.16		948.94		452.79		1033.57	
13.65	13.65	951.78	977.52	952.07	977.81	415.13		995.31		443.07		1023.25	
19.90	19.90	1040.09	1347.40	1040.66	1347.85	1287.95		1005.26		1621.42		1338.74	
368	129.37	129.37	485.52	929.14	955.77	107.02	495.34	496.61	497.53	588.39	2033.01	977.98	1969.02
165.79	165.79	249.98	1667.05	380.73	1691.61	495.34	max σ_1 R	164.21	max σ_3 R	2033.01	max σ_4 R	1701.88	max σ_6 R
102.53	102.53	289.82	953.88	339.90	970.27	205.57	-391.80	266.23	-303.07	926.14	2970.90	986.81	2999.56
174.22	174.22	492.58	1892.21	577.66	1916.12	226.05	min σ_1 L	450.27	min σ_3 L	1744.79	min σ_4 L	1969.02	min σ_6 L
146.61	146.61	472.45	859.75	536.37	896.47	334.37	104.33	466.10	164.21	754.63	587.87	886.37	713.89
165.79	165.79	249.98	1667.05	380.73	1691.61	495.34	min σ_1 R	164.21	min σ_3 R	2033.01	min σ_4 R	1701.88	min σ_6 R
167.20	167.20	-623.66	2716.15	687.62	2731.54	-653.60	-806.78	-775.12	-775.98	2970.44	1386.20	2848.92	1477.05
130.66	130.66	-245.97	1534.24	334.24	1550.84	-545.52	ro 1 L	-303.07	ro 2 L	1386.20	ro 4 L	1628.64	ro 6 L
180.11	180.11	-567.73	2700.81	647.79	2718.77	-756.15	0.21	-702.70	0.33	2790.56	0.29	2844.01	0.36
113.18	113.18	-372.48	1406.07	420.92	1419.67	-391.80	ro 1 R	-452.86	ro 2 R	1538.11	ro 4 R	1477.05	ro 6 R
176.29	176.29	-569.07	2802.63	645.81	2819.21	-755.60	0.49	-708.96	0.39	2903.05	0.47	2949.70	0.49
130.66	130.66	-245.97	1534.24	334.24	1550.84	-545.52		-303.07		1386.20		1628.64	
165.54	165.54	250.75	1669.73	380.90	1694.17	492.70		165.17		2032.45		1704.92	
129.30	129.30	486.24	931.86	535.34	958.39	104.33		497.53		587.87		981.06	
178.35	178.35	446.40	1645.03	542.87	1673.78	394.10		395.51		1694.74		1696.14	
111.53	111.53	243.69	706.66	310.97	732.59	373.68		211.51		876.05		713.89	
137.24	137.24	263.82	1739.12	355.11	1755.29	265.35		195.68		1866.20		1796.53	
129.30	129.30	486.24	931.86	535.34	958.39	104.33		497.53		587.87		981.06	
130.71	130.71	-246.76	1533.28	334.89	1549.90	-544.82		-303.98		1386.71		1627.55	
167.46	167.46	-624.41	2715.31	688.48	2730.76	-653.06		-775.98		2970.90		2847.97	
104.43	104.43	-302.69	1548.61	352.62	1559.14	-442.27		-376.41		1566.59		1632.46	
175.58	175.58	-497.90	2843.48	583.43	2859.70	-806.78		-626.19		2818.98		2999.56	

COMPLEXE

108.76	108.76	-301.31	1446.92	355.35	1459.13	-442.97	-370.10	1454.04	1526.92
167.46	167.46	-624.41	2715.31	688.48	2730.76	-653.06	-775.98	2970.90	2847.97
456	10.58	10.58	-353.23	353.70	353.70	-353.23	-138.11	-353.23	-138.11
	10.88	10.88	-172.63	173.66	173.66	-172.63	max σ_3 R	-172.63	max σ_4 R
	10.91	10.91	-203.03	203.91	203.91	-203.03	-139.95	-203.03	-139.95
	10.88	10.88	-172.63	173.66	173.66	-172.63	min σ_3 L	-172.63	min σ_6 L
	10.88	10.88	-172.63	173.66	173.66	-172.63	-353.23	-172.63	-353.23
	10.88	10.88	-172.63	173.66	173.66	-172.63	min σ_3 R	-172.63	min σ_6 R
	10.88	10.88	-139.95	141.21	141.21	-139.95	-355.48	-139.95	-355.48
	10.88	10.88	-174.47	175.49	175.49	-174.47	ro 1 L	-174.47	ro 6 L
	10.91	10.91	-204.79	205.66	205.66	-204.79	0.39	-204.79	0.39
	10.88	10.88	-174.47	175.49	175.49	-174.47	ro 1 R	-174.47	ro 6 R
	10.88	10.88	-174.47	175.49	175.49	-174.47	0.39	-174.47	0.39
	10.88	10.88	-174.47	175.49	175.49	-174.47	-174.47	-174.47	-174.47
	10.88	10.88	-138.11	139.39	139.39	-138.11	-138.11	-138.11	-138.11
	10.58	10.58	-318.86	319.39	319.39	-318.86	-318.86	-318.86	-318.86
	10.59	10.59	-288.47	289.05	289.05	-288.47	-288.47	-288.47	-288.47
	10.58	10.58	-318.86	319.39	319.39	-318.86	-318.86	-318.86	-318.86
	10.58	10.58	-318.86	319.39	319.39	-318.86	-318.86	-318.86	-318.86
	10.58	10.58	-318.86	319.39	319.39	-318.86	-318.86	-318.86	-318.86
	10.58	10.58	-355.48	355.95	355.95	-355.48	-355.48	-355.48	-355.48
	10.58	10.58	-320.95	321.47	321.47	-320.95	-320.95	-320.95	-320.95
	10.59	10.59	-290.63	291.21	291.21	-290.63	-290.63	-290.63	-290.63
	10.58	10.58	-320.95	321.47	321.47	-320.95	-320.95	-320.95	-320.95
	10.58	10.58	-320.95	321.47	321.47	-320.95	-320.95	-320.95	-320.95
	10.58	10.58	-320.95	321.47	321.47	-320.95	-320.95	-320.95	-320.95
457	10.58	10.58	157.58	158.64	158.64	157.58	364.18	157.58	364.18
	10.88	10.88	225.13	225.91	225.91	225.13	maxsig3 R	225.13	maxsig6 R
	10.91	10.91	210.09	210.94	210.94	210.09	362.35	10.09	362.35
	10.88	10.88	225.13	225.91	225.91	225.13	minsig3 L	25.13	minsig6 L
	10.88	10.88	225.13	225.91	225.91	225.13	157.58	25.13	157.58
	10.88	10.88	225.13	225.91	225.91	225.13	minsig3 R	25.13	minsig6 R
	10.88	10.88	362.35	362.84	362.84	362.35	155.49	362.35	155.49
	10.88	10.88	223.28	224.07	224.07	223.28	ro 2 L	23.28	ro 6 L
	10.91	10.91	208.33	209.18	209.18	208.33	0.43	08.33	208.33
	10.88	10.88	223.28	224.07	224.07	223.28	ro 2 R	23.28	ro 6 R

**TEZA DE DOCTORAT – CAP.2. – TEHNICA DE PROIECTARE PENTRU ELEMENTELE PORTANTE
COMPLEXE**

10.88	10.88	223.28	223.28	224.07	223.28	0.43	223.28	0.43	223.28	0.43	223.28	0.43	223.28
10.88	10.88	223.28	223.28	224.07	223.28	0.43	223.28	0.43	223.28	0.43	223.28	0.43	223.28
10.88	10.88	364.18	364.18	364.67	364.18	0.43	364.18	0.43	364.18	0.43	364.18	0.43	364.18
10.58	10.58	296.64	296.64	297.21	296.64	0.43	296.64	0.43	296.64	0.43	296.64	0.43	296.64
10.59	10.59	311.67	311.67	312.21	311.67	0.43	311.67	0.43	311.67	0.43	311.67	0.43	311.67
10.58	10.58	296.64	296.64	297.21	296.64	0.43	296.64	0.43	296.64	0.43	296.64	0.43	296.64
10.58	10.58	296.64	296.64	297.21	296.64	0.43	296.64	0.43	296.64	0.43	296.64	0.43	296.64
10.58	10.58	155.49	155.49	156.57	155.49	0.43	155.49	0.43	155.49	0.43	155.49	0.43	155.49
10.58	10.58	294.56	294.56	295.12	294.56	0.43	294.56	0.43	294.56	0.43	294.56	0.43	294.56
10.59	10.59	309.51	309.51	310.05	309.51	0.43	309.51	0.43	309.51	0.43	309.51	0.43	309.51
10.58	10.58	294.56	294.56	295.12	294.56	0.43	294.56	0.43	294.56	0.43	294.56	0.43	294.56
10.58	10.58	294.56	294.56	295.12	294.56	0.43	294.56	0.43	294.56	0.43	294.56	0.43	294.56
10.58	10.58	294.56	294.56	295.12	294.56	0.43	294.56	0.43	294.56	0.43	294.56	0.43	294.56

2.4.2.4.2. Calculul la oboseală.

Din aceste calcule, pe baza coeficientului de asimetrie „ ρ ” și a normelor generale de calcul pentru utilaje mari din carierele de suprafață – BG 1986, „Grossgeräte in Tagebauen Berechnungsgrundlagen” și a catalogului la oboseală aferent, s-au efectuat verificările la oboseală ale elementelor construcției mai solicitate.

Calculul la oboseală s-a făcut având la bază normativul BG 60 și catalogul calculului de oboseală al utilajelor de suprafață din industria minieră.

Breviarul prezintă calculele efectuate numai pentru elementele cele mai solicitate la oboseală de la construcția nouă a capului elindei.

Pentru calcul la oboseală s-a luat în considerare ipoteza de încărcare H și coeficientul de asimetrie $ro = \chi = \frac{\min \sigma}{\max \sigma}$ reprezentând raportul efort unitar minim / efort unitar maxim precum și modul de îmbinare al elementelor între ele, conform liniilor constructive prezentate în catalogul calculului la oboseală.

Eforturile unitare σ sunt exprimate în [daN / cm²] .

$$ro = \chi = \frac{\min \sigma}{\max \sigma} \quad (2.18)$$

EL 353

L : (stânga)

pct.1

$$\min \sigma = 6,33 \quad ; \quad \max \sigma = -87,35$$

$$\chi = -0,07$$

Linie E1

$$zul\sigma_{D-} = \frac{2100}{1+1,414 \cdot 0,07} = 1910$$

$$zul\sigma_{D-} = 1910 > 542,3$$

pct.3

$$\min \sigma = -182,09 \quad ; \quad \max \sigma = -498,23$$

$$\chi = 0,37$$

$$zul\sigma_{D-} = \frac{2100}{1-0,37} = 3333$$

$$zul\sigma_{D-} = 2400 > 498,2$$

pct.4

$$\min \sigma = 204,8 \quad ; \quad \max \sigma = 548,93$$

$$\chi = 0,37$$

$$zul\sigma_{D+} = \frac{1400}{1-0,641 \cdot 0,37} = 1835,3$$

$$zul\sigma_{D+} = 1835,3 > 548,9$$

pct.6

$$\min \sigma = 16,4 \quad ; \quad \max \sigma = 138$$

$$\chi = 0,1$$

$$zul\sigma_{D+} = \frac{1400}{1-0,641 \cdot 0,1} = 1495,9$$

$$zul\sigma_{D+} = 1495,9 > 138$$

R : (dreapta)

pct.1

$$\min \sigma = -219,41 \quad ; \quad \max \sigma = -511,07$$

$$\chi = 0,43$$

Linie E1

$$zul\sigma_{D-} = \frac{2100}{1-0,43} = 3686$$

$$zul\sigma_{D-} = 2400 > 511,07$$

pct.3

$$\min \sigma = -151,3 \quad ; \quad \max \sigma = -329,7$$

$$\chi = 0,46$$

$$zul\sigma_{D-} = \frac{2100}{1-0,46} = 3888$$

$$zul\sigma_{D-} = 2400 > 329,7$$

pct.4

$$\min \sigma = 163,3 \quad ; \quad \max \sigma = 368,44$$

$$\chi = 0,44$$

$$zul\sigma_{D-} = \frac{1400}{1-0,641 \cdot 0,44} = 1949,96$$

$$zul\sigma_{D-} = 1949,96 > 368,4$$

pct.6

$$\min \sigma = 235 \quad ; \quad \max \sigma = 546,1$$

$$\chi = 0,4$$

$$zul\sigma_{D+} = \frac{1400}{1-0,641 \cdot 0,4} = 1882,7$$

$$zul\sigma_{D+} = 1882,7 > 546,1$$

2.4.2.4.3. Calculul îmbinărilor cu șuruburi.

Pe baza solicitărilor din elementele de legătură dintre construcția modernizată (nouă) și construcția existentă a brațului (forțe și momente) s-a făcut verificarea cu șuruburi IP de înaltă rezistență a îmbinărilor. S-a avut în vedere linia indicatoare în vigoare pentru îmbinări cu șuruburi de înaltă rezistență „Vorläufige Richtlinien für HV - Verbindungen“.

Pe baza eforturilor unitare maxime s-au ales solicitările care acționează cel mai defavorabil asupra îmbinărilor cu șuruburi cu care s-au făcut calculul de verificare al șuruburilor.

IPOTEZA H – SUS :

Bara 456 (46, 241)

(241)

N [kN]	Q _y [kN]	Q _z [kN]	M _x [kNm]	M _y [kNm]	M _z [kNm]
- 550.26	- 0.79	3.25	0	0	0

Bara 457 (146, 251)

(251)

N [kN]	Q _y [kN]	Q _z [kN]	M _x [kNm]	M _y [kNm]	M _z [kNm]
430.8	- 0.49	3.25	0	0	0

IPOTEZA H – MIJLOC :

Bara 456 (46, 241)

(241)

N [kN]	Q _y [kN]	Q _z [kN]	M _x [kNm]	M _y [kNm]	M _z [kNm]
- 546.31	- 0.15	3.5	0	0	0

Bara 457 (146, 251)

(251)

N [kN]	Q _y [kN]	Q _z [kN]	M _x [kNm]	M _y [kNm]	M _z [kNm]
484.44	0.15	3.5	0	0	0

IPOTEZA H – JOS :

Bara 456 (46, 241)

(241)

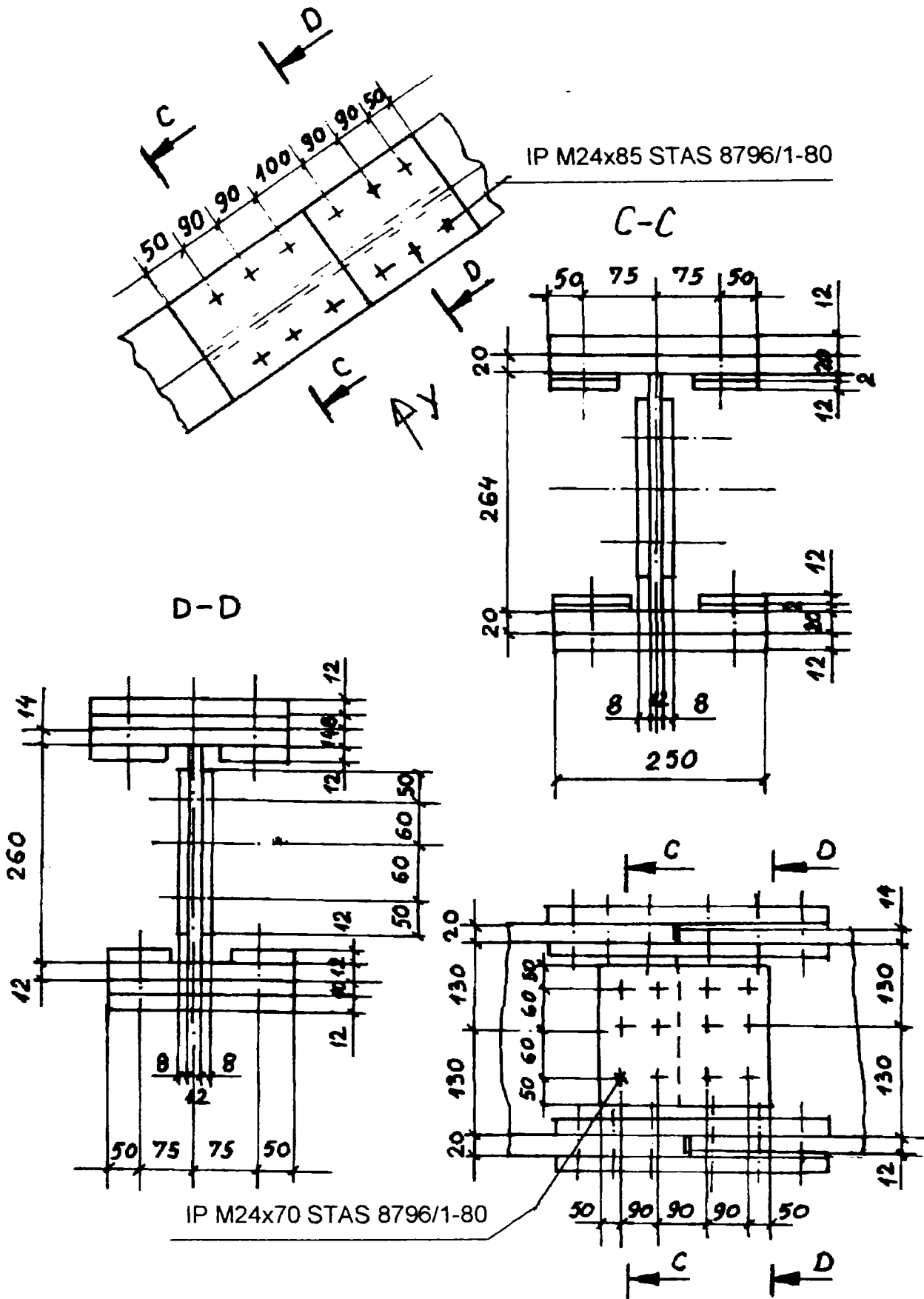
N [kN]	Q _y [kN]	Q _z [kN]	M _x [kNm]	M _y [kNm]	M _z [kNm]
- 468.17	0.57	3.17	0	0	0

Bara 457 (146, 251)

(251)

N [kN]	Q _y [kN]	Q _z [kN]	M _x [kNm]	M _y [kNm]	M _z [kNm]
477.21	- 0.87	3.17	0	0	0

Bara 456 și 457



Șuruburi M 24 :

$$\text{Zul N} = \frac{1}{\nu} \mu P_v \quad \text{Richtilien HV – Verbindungen}$$

Un șurub și o suprafață de frecare.

$$\text{Zul N} = \frac{1}{1,4} \times 0,6 \times 22100 = 9471,4 \text{ daN} \quad \nu = 1,4 \quad \mu = 0,6 \quad P_v = 22,1 \text{ t} = 22100$$

daN

Bara 456 TI Diagonala

IPOTEZA H – SUS :

$$N_x = -550,26 \text{ kN} = -55026 \text{ daN}$$

$$Q_y = -0,79 \text{ kN} = -79 \text{ daN}$$

$$Q_z = 3,25 \text{ kN} = 325 \text{ daN}$$

Șurub M 24: $n = 12$ tălpi + 4 inimi = 16 șuruburi

$$\frac{N}{n} = \frac{55026}{16} = 3439 \text{ daN} < \text{Zul N} = 9471,4 \text{ daN}$$

Pentru 1 șurub – un plan de frecare $\text{Zul N} = 9471,4 \text{ daN}$

Bara 457 TS Diagonala

IPOTEZA H – MIJLOC :

$$N_x = 484,44 \text{ kN} = 48444 \text{ daN}$$

$$Q_y = 0,15 \text{ kN} = 15 \text{ daN}$$

$$Q_z = 3,5 \text{ kN} = 350 \text{ daN}$$

Eforturile sunt mai mici decât în **Bara 456** și îmbinarea este aceeași.

2.5. Studiul de oboseală la rotorul port cupe

2.5.1. Modelarea geometrică

În calculul prezentat s-a urmărit starea de tensiune a corpului roții cu cupe având un cerc de tăiere de 11,5 m și 20 de cupe, cu ajutorul metodei elementelor finite. Materialul din care este confecționat rotorul port cupe este OL52.

Modelul rotorului port cupe se generează cu ajutorul unui model de bază parametrizat, la care prin definirea coordonatelor punctelor secțiunii radiale a elementelor de con, a grosimii circulare și a cinci unghiuri ale primului segment de roată ca parametrii, se construiește un model geometric și mai multe rețele – părți finite.

Din totalul de 20 de cupe, 5 se vor idealiza ca model grindă. Acestea se folosesc la transferul forțelor de excavare de la vârful dinților de colț a cupei la grinda circulară. Modelarea legăturii de la cupe la grinda circulară în model de bază parametrizat, permite ca prin alegerea potrivită a valorilor secțiunii să se determine descărcarea forțelor.

Cusăturile sudate sunt neglijate complet. Calculul cu metoda elementelor finite se execută cu programul **COSMOS/M, 2.5 versiunea iunie 1999**.

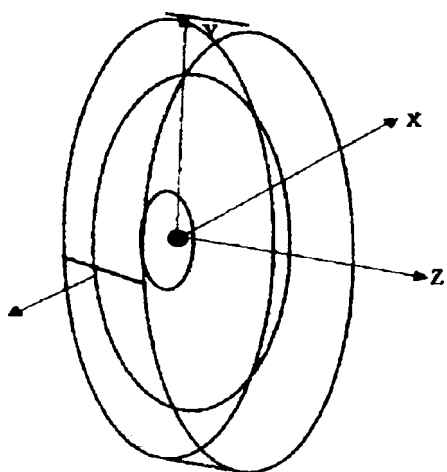


Fig 2.5.

Originea sistemului de coordonate (global) (fig. 1) se ia mijlocul roții cu cupe.

El este un sistem de coordonate rectangular în care : X, Y, Z

- X – în planul orizontal al roții cu cupe;
- Y – în planul vertical al roții cu cupe;
- Z – în mijlocul roții cu cupe, în sens pozitiv.

Coordonatele punctelor corpului rotorului s-au obținut pornind de la desenele de execuție ale rotorului urmărind fibra medie.

Unitățile de măsură utilizate sunt N, mm, iar în situația în care sunt folosite altele diferite, se face referire specială la acestea.

Coordonatele punctelor corpului rotorului (după fibra medie) sunt prezentate în tabelul 1 iar reprezentarea grafică a fibrei medii pe baza acestor puncte este dată în figura 2.5.

Parametrii grinzilor circulare sunt prezentați valoric în tabelul 2.23. și grafic în figura 2.24.

a) Parametrii pânzei conice

Tabelul 2.23.

PUNCTUL	X	Y = R	Z
1	0	60.0	-60.0
2	0	81.0	-60.0
3	0	102.6	-55.4
4	0	185.4	-25.3
5	0	234.8	-7.3
6	0	284.1	+10.7
7	0	333.4	+28.6
8	0	365.2	+6.30
9	0	397.0	-16.0
10	0	428.8	-38.2
20	0	460.6	-60.5

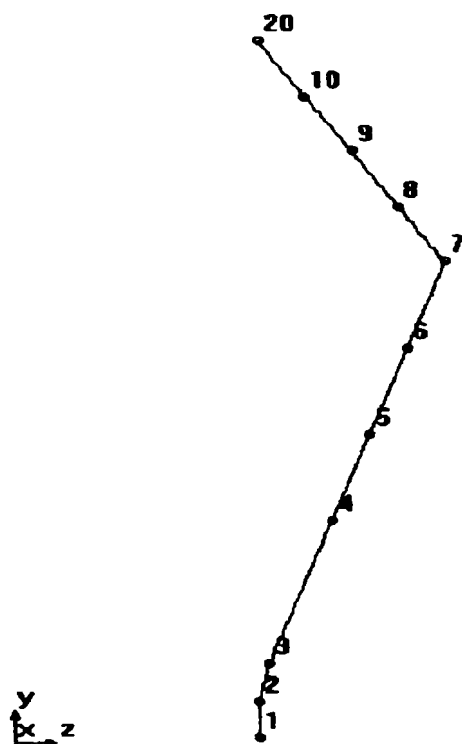


Fig. 2.6.

b) Parametrii grinzii inelare

Tabelul 2.24.

PUNCTUL	X	Y = R	Z
20	0	460.6	-60.5
21	0	460.6	-79.5
22	0	460.4	-79.5
23	0	460.4	-60.5
24	0	460.6	-57.5
25	0	460.4	-57.5
26	0	460.6	-52.5
27	0	460.4	-52.5
28	0	460.6	-42.5
29	0	460.6	0
30	0	460.6	+60.5

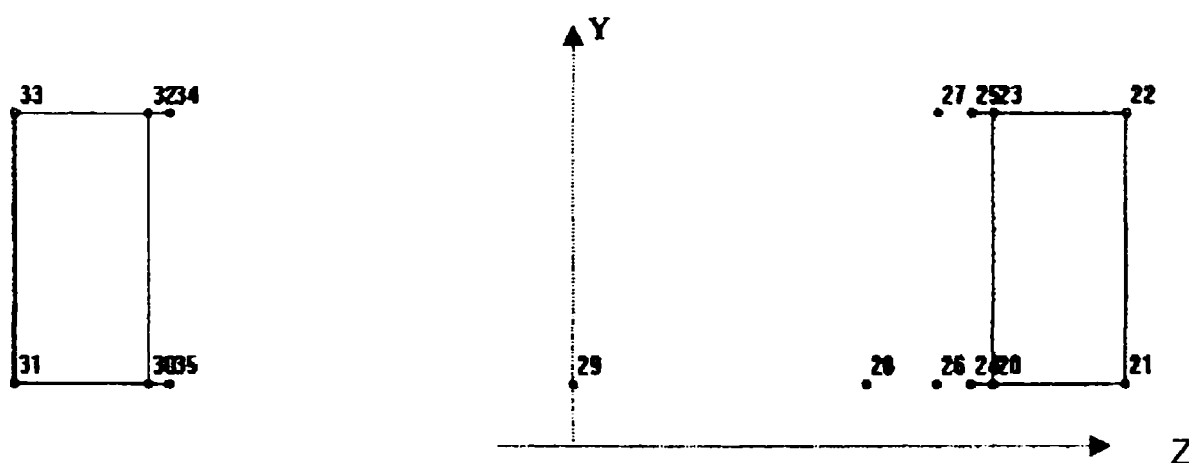


Fig. 2.7.

În figura 2.8. este modelat un sector de rotor fără grinda circulară și fără cupe, iar în figurile 2.9. și 2.10. sunt prezentate un sector de grindă și o cupă. Având în vedere că se urmărește, în special, starea de tensiune la rotor și mai puțin la cupe, acestea sunt reprezentate foarte simplificat prin niște elemente tip bară. Pornind de la aceste reprezentări, utilizând tehnicile programului COSMOS, se poate realiza o reprezentare a unui sector din rotorul port cupe (fig.2.11.) care prin regenerări repetate poate conduce la obținerea întregului rotor (fig.2.12.). Unghiurile primului sector (fig.2.11.) folosite în desenare sunt:

$$\alpha_1 = 5.462$$

$$\alpha_2 = 1.738$$

$$\alpha_3 = 1.738$$

$$\alpha_4 = 5.462$$

Rotorul se consideră ca fiind alcătuit din plăci (SHELL 4T, SHELL 4) iar cupele sunt puternic idealizate utilizându-se elemente tip bară (BEAM 3D).

În urma modelării geometrice s-au obținut :

2520 noduri , 2940 elemente

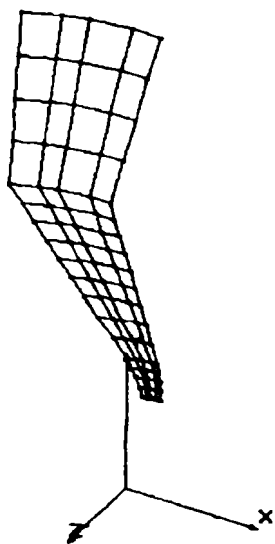


Fig. 2.8.

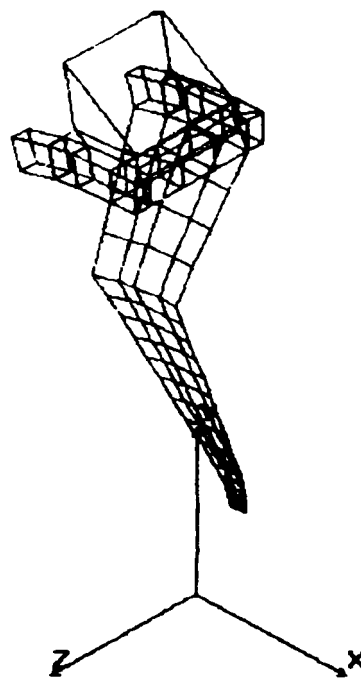


Fig2.11.

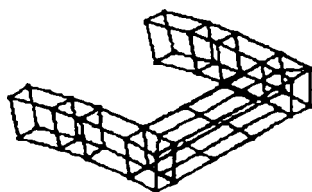


Fig. 2.9.

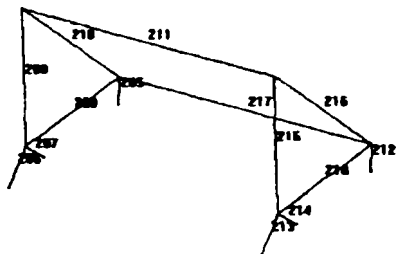


Fig.2.10.

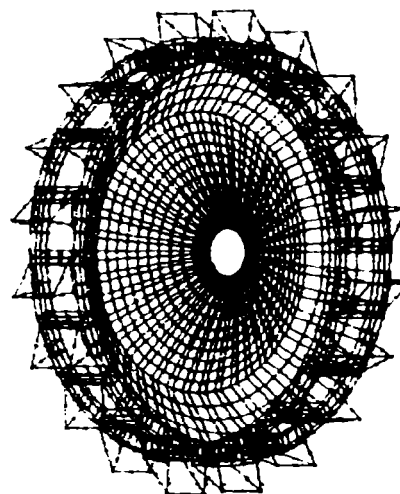


Fig. 2.12.

Proprietățile de material sunt aceleași pentru fiecare element, materialul utilizat fiind OL52. Prin urmare se va utiliza :

- modulul de elasticitate – $E = 2100000 \text{ daN/cm}^2$
- coeficientul lui Poisson – $\nu = 0.3$

Proprietățile fizice – grosimile plăcilor (mm) (RC) pentru elementele modelate prin SHELL4 sunt prezentate în tabelul 2.25.

Tabelul 2.25.

	Pânză conică interioară	Pânză conică interioară	Cupă
Pânză conică: - interioară - exterioară	22,18	18	- -

2.5.2 ÎNCĂRCĂRILE UTILIZATE ÎN CALCULUL STĂRII DE TENSIUNE

În condițiile de încărcare se ia în considerare influența :

- Greutății proprii a rotorului port cupe;
- Greutății încărcării cu murdărie;
- Greutății încărcării utile (umpluturii);
- Componentelor forței de excavare în direcția tangențială, radială și laterală.

Valorile acestor încărcări sunt date în tabelul 1.

Tabelul 2.26.

ÎNCĂRCĂRI	VALORI
GREUTATE PROPRIE - rotor cu 20 cupe	$E = 424 \text{ kN}$
MURDĂRIRE ROTORULUI	$V = 115 \text{ kN}$
GREUTATE UTILĂ – cupe umplute	$N = 50 \text{ kN}$
FORȚA DE TĂIERE (încărcare obișnuită) - TANGENȚIALĂ - LATERALĂ - RADIALĂ	$U = 190 \text{ kN}$ $S = 50 \text{ kN}$ $R = 57 \text{ kN}$
FORȚA DE TĂIERE (încărcare excepțională) - TANGENȚIALĂ - LATERALĂ - RADIALĂ	$UU = 320 \text{ kN}$ $SS = 70 \text{ kN}$ $RR = 96 \text{ kN}$

Repartiția forțelor de tăiere se consideră pe cinci din douăzeci de cupe în raport de: 1/10-3/10-3/10-2/10-1/10.

În continuare sunt prezentate 14 cazuri de încărcare din care 8 sunt obișnuite iar 6 sunt excepționale:

Cazul 1:

Greutatea utilă a roții cu 20 de cupe este $E = 42400$ daN și reprezintă primul caz de încărcare.

Cazul 2 :

Greutatea utilă a cupelor umplute este de 5 t și este repartizată la 7 cupe:
 $F_y = - 5000/7 = - 714.3$ daN.

Se ține cont de asemenea, că excavarea se poate realiza cu ambele colțuri ale cupei astfel încât forța corespunzătoare acestei încărcări este distribuită în mod egal la cele două noduri din colțurile cupelor astfel încât forța pe direcția y în nod este de $- 714.3/2 = - 357.15$ daN .

Greutatea murdării se consideră ca fiind 0.27 din greutatea utilă a rotorului cu cupe:

$$V = 0.27 \times 42400 = 11448 \text{ t}$$

Cazul 3 :

Forța de tăiere tangențială obișnuită este așa cum s-a prezentat în tabelul 1 ca fiind $U_{dr} = 19000$ daN repartizată la 5 cupe (fig.2.13.) după cum urmează:

- $1/10 \times 19000 = 1900$ daN
 - $3/10 \times 19000 = 5700$ daN
 - $3/10 \times 19000 = 5700$ daN
 - $2/10 \times 19000 = 3800$ daN
 - $1/10 \times 19000 = 1900$ daN
- TOTAL 19000daN**

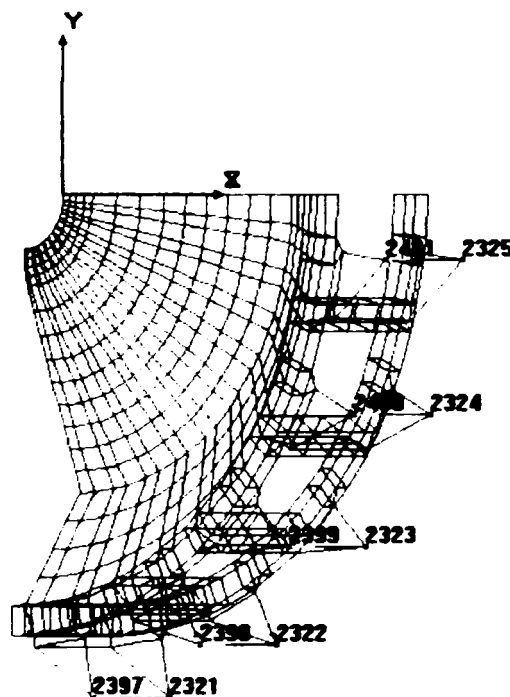


Fig. 2.13.

Repartizarea pe noduri a acestor forțe precum și valorile lor descompuse după x și y sunt următoarele :

NODUL	Ux (daN)	Uy (daN)
2397	- 1866	- 356
2398	- 3330	- 1831
2399	- 3902	- 4155
2400	- 2428	- 5157
2401	- 238	- 1885
TOTAL	- 11764	- 13384

Cazul 4 :

Forța radială de săpare obișnuită $R_{dr} = 5700$ daN este repartizată la 5 cupe după cum urmează:

- $1/10 \times 5700 = 570$ daN
- $3/10 \times 5700 = 1710$ daN
- $3/10 \times 5700 = 1710$ daN
- $2/10 \times 5700 = 1140$ daN
- $1/10 \times 5700 = 570$ daN
- TOTAL 5700 daN**

Repartizarea pe noduri a acestor forțe precum și valorile lor descompuse după x și y sunt următoarele:

NODUL	Rx (daN)	Ry (daN)
2397	- 107	560
2398	- 549	999
2399	- 1247	1170
2400	- 1547	729
2401	- 565	75
TOTAL	- 4015	3533

Cazul 5 :

Forța de săpare laterală obișnuită $S_{dr} = 5000$ daN are următoarea repartizare pe cele 5 cupe:

- $1/10 \times 5000 = 500$ daN
- $3/10 \times 5000 = 1500$ daN
- $3/10 \times 5000 = 1500$ daN
- $2/10 \times 5000 = 1000$ daN
- $1/10 \times 5000 = 500$ daN
- TOTAL 5000 daN**

Repartizarea pe noduri a acestor forțe este prezentată mai jos:

Nodul	Sz (daN)
2397	500
2398	1500
2399	1500
2400	1000
2401	500
TOTAL	5000

În continuare sunt reprezentate cazurile în care îndepărtarea materialului în bancul de lucru se face în direcție opusă decât situațiile prezentate la cazurile 3, 4, 5. Astfel valorile încărcărilor vor fi aceleași dar semnele, în anumite situații, vor fi schimbate. În mod obișnuit, excavatorul taie materialul într-o direcție o perioadă de timp iar apoi își modifică direcția, încărcările fiind aceleași, semnul fiind schimbat.

Cazul 6 :

Forța de tăiere tangențială obișnuită $U_{stg} = 19000$ daN se repartizează la 5 cupe, după cum urmează:

- $1/10 \times 19000 = 1900$ daN
- $3/10 \times 19000 = 5700$ daN
- $3/10 \times 19000 = 5700$ daN
- $2/10 \times 19000 = 3800$ daN
- $1/10 \times 19000 = 1900$ daN
- TOTAL 19000daN**

Repartiția pe noduri se realizează în nodurile paralele (fig.2.5.10) cazului 3, încărcările fiind aceleași.

NODUL	Ux (daN)	Uy (daN)
2321	- 1866	- 356
2322	- 3330	- 1831
2323	- 3902	- 4155
2324	- 2428	- 5157
2325	- 238	- 1885
TOTAL	- 11764	- 13384

Cazul 7 :

Forța de săpare obișnuită $R_{stg} = 5700$ daN este repartizată la 5 cupe după cum urmează:

- $1/10 \times 5700 = 570$ daN
- $3/10 \times 5700 = 1710$ daN
- $3/10 \times 5700 = 1710$ daN
- $2/10 \times 5700 = 1140$ daN
- $1/10 \times 5700 = 570$ daN
- TOTAL 5700 daN**

Repartizarea pe noduri a acestor forțe precum și valorile lor descompuse după x și y sunt identice cu cazul 4, numai nodurile de aplicare sunt altele (cele paralele):

NODUL	Rx (daN)	Ry (daN)
2321	- 107	560
2322	- 549	999
2323	- 1247	1170
2424	- 1547	729
2425	- 565	75
TOTAL	- 4015	3533

Cazul 8 :

Forța de săpare laterală obișnuită $S_{stg} = 5000$ daN are următoarea repartizare pe cele 5 cupe:

- 1/10x5000 =	500 daN
- 3/10x5000 =	1500 daN
- 3/10x5000 =	1500 daN
- 2/10x5000 =	1000 daN
- 1/10x5000 =	500 daN
TOTAL	5000 daN

Repartizarea pe noduri a acestor forțe este identică cu cea din cazul 5, nodurile fiind diferite (cele paralele), valorile însă fiind cu semn schimbat:

Nodul	Sz (daN)
2321	- 500
2322	- 1500
2323	- 1500
2424	- 1000
2425	- 500
TOTAL	- 5000

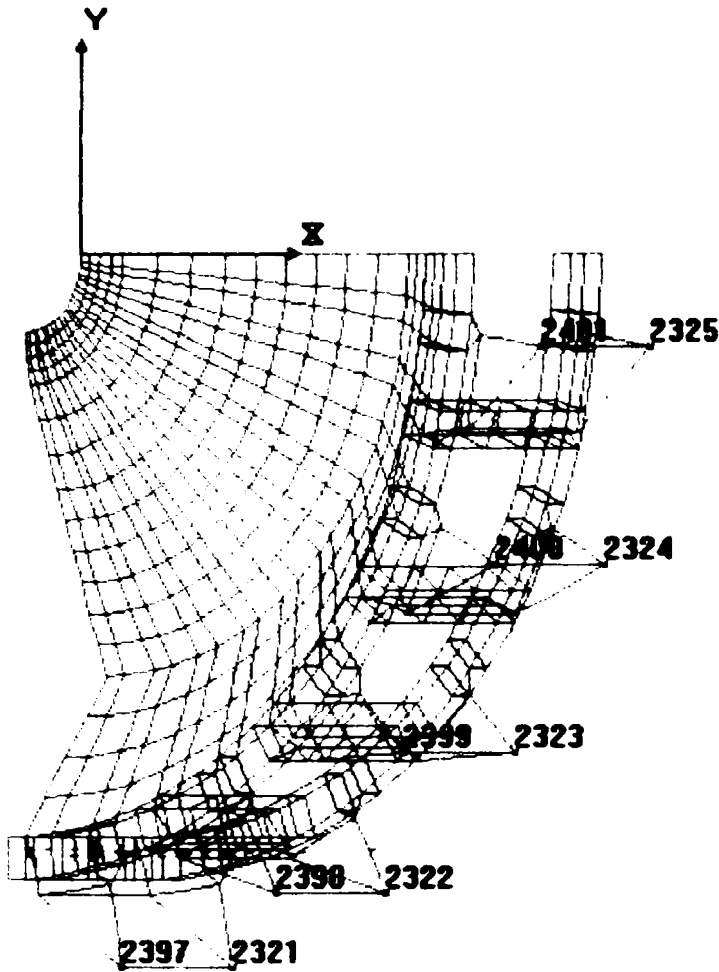


Fig. 2.14.

Cazul 9 :

Forța de tăiere tangențială excepțională UU_{dr} ce apare numai în cazurile speciale, are următoarele valori:

- $1/10 \times 32000 = 3200$ daN
- $3/10 \times 32000 = 9600$ daN
- $3/10 \times 32000 = 9600$ daN
- $2/10 \times 32000 = 6400$ daN
- $1/10 \times 32000 = 3200$ daN
- TOTAL 32000 daN**

Repartizarea pe noduri a acestor forțe precum și valorile lor descompuse după x și y sunt următoarele:

NODUL	Ux (daN)	Uy (daN)
2397	- 3143	- 600
2398	- 5608	- 3084
2399	- 6572	- 6998
2400	- 4089	- 8685
2401	- 401	- 3175
TOTAL	- 19813	- 22542

Cazul 10 :

Forța radială de săpare excepțională $RR_{dr} = 7000$ daN are următoarea distribuție pe cupe:

- 1/10x7000 =	700 daN
- 3/10x7000 =	2100 daN
- 3/10x7000 =	2100 daN
- 2/10x7000 =	1400 daN
- 1/10x7000 =	700 daN
TOTAL	7000 daN

Repartizarea pe noduri a acestor forțe precum și valorile lor descompuse după x și y sunt următoarele:

NODUL	Rx (daN)	Ry (daN)
2397	-180	943
2398	- 925	1683
2399	- 2100	1971
2400	- 2605	1228
2401	- 952	126
TOTAL	- 6762	5951

Cazul 11 :

Forța de săpare laterală excepțională $SS_{dr} = 9600$ daN se repartizează pe cele 5 cupe după cum urmează:

- 1/10x9600 =	960 daN
- 3/10x9600 =	2880 daN
- 3/10x9600 =	2880 daN
- 2/10x9600 =	1920 daN
- 1/10x9600 =	960 daN
TOTAL	9600 daN

Repartizarea pe noduri a acestor forțe este prezentată mai jos:

Nodul	SSz (daN)
2397	960
2398	2880
2399	2880
2400	1920
2401	960
TOTAL	9600

Cazul 12 :

Forța de tăiere tangențială excepțională UU_{stg} considerată pentru situația excavării în sens invers, are următoarele valori:

- 1/10x32000 = 3200 daN
- 3/10x32000 = 9600 daN
- 3/10x32000 = 9600 daN
- 2/10x32000 = 6400 daN
- 1/10x32000 = 3200 daN
TOTAL 32000 daN

Repartizarea pe noduri (paralele nodurilor din cazul 9) a acestor forțe precum și valorile lor descompuse după x și y sunt următoarele:

NODUL	Ux (daN)	Uy (daN)
2321	- 3143	- 600
2322	- 5608	- 3084
2323	- 6572	- 6998
2324	- 4089	- 8685
2325	- 401	- 3175
TOTAL	- 19813	- 22542

Cazul 13 :

Forța radială de săpare excepțională $RR_{stg} = 7000$ daN are următoarea distribuție pe cupe:

- 1/10x7000 = 700 daN
- 3/10x7000 = 2100 daN
- 3/10x7000 = 2100 daN
- 2/10x7000 = 1400 daN
- 1/10x7000 = 700 daN
TOTAL 7000 daN

Repartizarea pe noduri (cele paralele nodurilor din cazul 10) a acestor forțe precum și valorile lor descompuse după x și y sunt următoarele:

NODUL	Rx (daN)	Ry (daN)
2321	-180	943
2322	- 925	1683
2323	- 2100	1971
2324	- 2605	1228
2325	- 952	126
TOTAL	- 6762	5951

Cazul 14 :

Forța de săpare laterală excepțională $SS_{stg} = 9600$ daN se repartizează pe cele 5 cupe după cum urmează:

- $1/10 \times 9600 = 960$ daN
- $3/10 \times 9600 = 2880$ daN
- $3/10 \times 9600 = 2880$ daN
- $2/10 \times 9600 = 1920$ daN
- $1/10 \times 9600 = 960$ daN
- TOTAL 9600 daN**

Repartizarea pe noduri (paralele nodurilor din cazul 11) a acestor forțe este prezentată mai jos:

Nodul	SSz (daN)
2397	960
2398	2880
2399	2880
2400	1920
2401	960
TOTAL	9600

Încărcările principale pe rotorul port cupe sunt introduse individual așa cum este prezentat în tabelul 2.27.

În continuare, sunt prezentate câteva variante de combinații de cazuri de încărcare ce pot apărea efectiv în procesul de excavare cu rotor port cupe. Ele sunt numerotate de la 60 în sus după cum urmează:

- Lc61 = 1.27Lc1+Lc2+Lc3+Lc4+Lc5**
- Lc62 = 1.27Lc1+Lc2+Lc6+Lc7+Lc8**
- Lc63 = 1.27Lc1+Lc2+Lc9+Lc10+Lc11**
- Lc64 = 1.27Lc1+Lc2+Lc12+Lc13+Lc14**

Ținând cont de faptul că frecvența de apariție a cazurilor Lc9, Lc10, Lc11, Lc12, Lc13, Lc14 este redusă datorită faptului că reprezintă încărcări excepționale, ele nu sunt luate în considerare în analiza stării de oboseală a rotorului.

Tabelul 2.27.

CAZURI DE ÎNCĂRCARE	Valori (kN)
Lc1	E = 424
Lc2	V = 115
Lc3	$U_{dr} = 190$
Lc4	$R_{dr} = 57$
Lc5	$S_{dr} = 50$
Lc6	$U_{stg} = 190$
Lc7	$R_{stg} = 57$
Lc8	$S_{stg} = 50$
Lc9	$UU_{dr} = 320$
Lc10	$RR_{dr} = 70$
Lc11	$SS_{dr} = 96$
Lc12	$UU_{stg} = 320$
Lc13	$RR_{stg} = 70$
Lc14	$SS_{stg} = 96$

2.5.2. Interpretarea rezultatelor obținute în urma analizei statice

Cazurile de încărcare Lc 61 și Lc 62 sunt niște combinații de cazuri ce țin cont atât de greutatea proprie a rotorului, a murdăriei, a cupelor încărcate, respectiv de forțele tangențiale, radiale și laterale într-un sens și celălalt de tăiere a materialului în banc.

În figura 2.15a, pentru cazul de încărcare Lc 61, s-a reprezentat grafic influența tensiunii normale (1st principal) σ_1 – pe partea de sus (sus) a roții, tensiunile variând de la $\sigma_{1max} = 200,07 \text{ daN/cm}^2$ la $\sigma_{1min} = 165,3 \text{ daN/cm}^2$. Valorile maxime pe roată (zona roșie) apar în:

- în zona cupelor (ex. nodul 2305) – aceste valori sunt neglijate datorită modelării puternic idealizate ale cupelor;
- zona de trecere de la prima placă prinsă pe arbore la prima zonă conică (fig. 2.15b);
- zona de trecere între cele două porțiuni conice (fig. 2.15a), iar valorile minime (zona albastră) apar în special în zona de trecere de la o porțiune conică la alta (fig. 2.15c). În aceste ultime două figuri apar câteva noduri în care se obțin valori limită, necesare pentru alegerea locațiilor la studiul de oboseală și anume pentru zona de maxim —39, 558, 651, 708, iar pentru cea de minim —1134, 1172, 1060, 1079, 1135, 1173, etc.

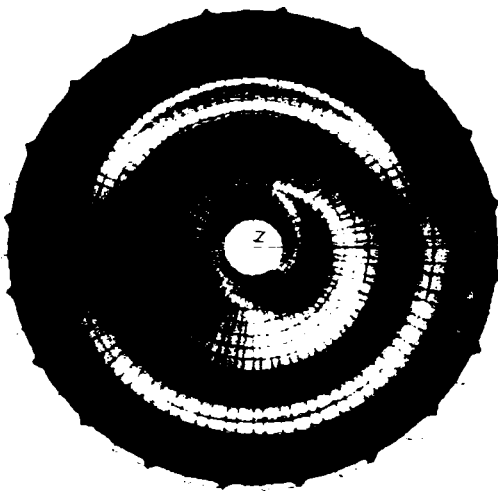


Fig 2.15a

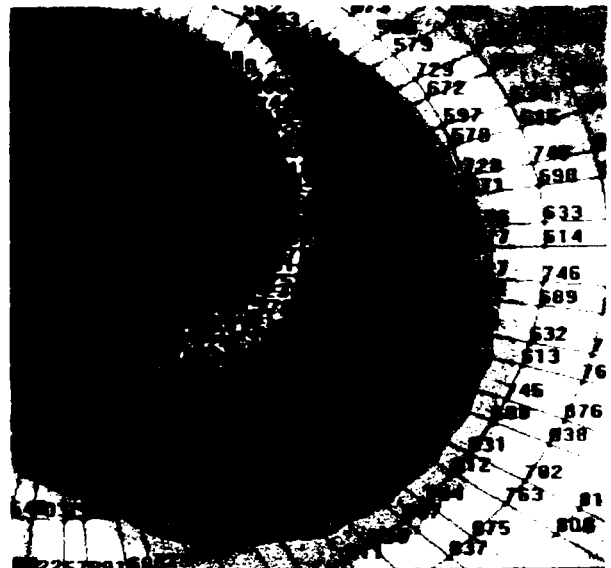


Fig. 2.15b

În anexa 20 sunt redată câteva valori ale tensiunii σ_1 în nodurile cele mai solicitate pe ambele fețe ale rotorului (sus, jos).



Fig. 2.15 c

În fig. 2.16, pentru cazul de încărcare Lc 61 este prezentată influența tensiunii normale σ_1 pe patrea cealaltă a rotorului (jos). Pentru această situație valorile limită ale tensiunilor sunt $\sigma_{1max} = 430,49 \text{ daN/cm}^2$ (în nodurile 2305 și 2304 la cupe) și $\sigma_{1min} = -100,28 \text{ daN/cm}^2$. Valorile maxime apar tot în zona cupelor, rezultatele nefiind concludente datorită motivelor prezentate. Pe rotor valorile maxime sunt în jur de $\sigma_{1max} = 235,00 \text{ daN/cm}^2$. Valorile minime (zona albastru închis) apar în aproximativ aceleași zone ca și în cazul anterior (anexa 20 – listare rezultate COSMOS).

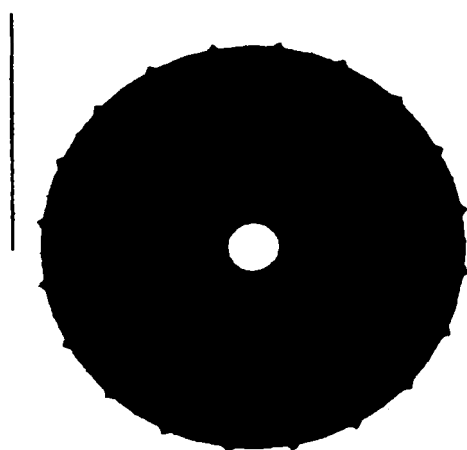


Fig. 2.16



Fig. 2.17

Figura 2.17 este de asemenea corespunzătoare cazului de încărcare Lc 61 și reprezintă influența tensiunilor **VON MISSIS** pe o față a rotorului (sus). Valoarea maximă ($347,26 \text{ daN/cm}^2$) apare la cupe și din motivele prezentate este neglijată. La rotor tensiunile sunt sub valoarea de $303,85 \text{ daN/cm}^2$. În această situație zonele critice apar tot la trecerea de la prima placă la prima zonă conică, respectiv cu cele din figurile 2.15b, 2.15c și sunt prezentate în anexa 20.

Figura 2.18 prezintă tot situația influenței tensiunilor **VON MISSIS** asupra rotorului diferența constând în faptul că în acest caz fața rotorului aflată în studiu este diferită (jos). Valorile maxime apar la cupe (420 daN/cm^2) iar la rotor tensiunile scad sub valoarea de $262,81 \text{ daN/cm}^2$. Nodurile în care apar aceste valori limită sunt extrase din rezultatele obținute cu ajutorul programului COSMOS și prezentate în anexa 20.

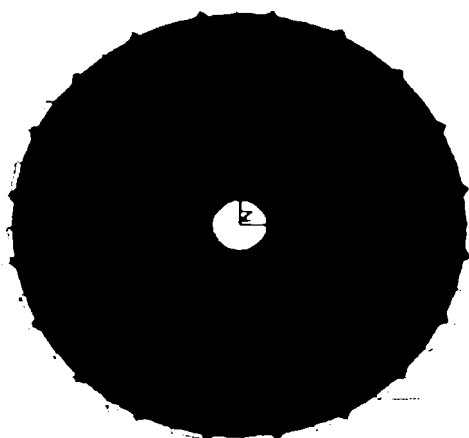


Fig. 2.18.

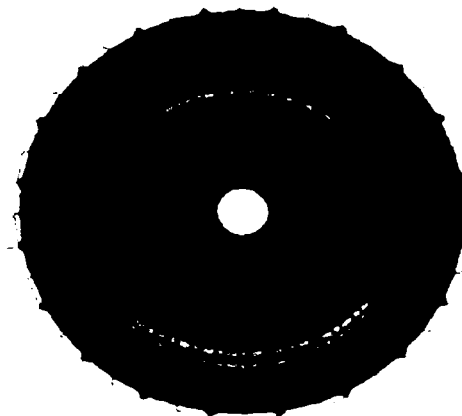


Fig. 2.19.a

Pentru cazul de încărcare Lc 61 mai este prezentată și influența tensiunilor normale pe direcțiile x și y (σ_x și σ_y), pe ambele fețe ale rotorului. Figura 2.19.a prezintă influența tensiunilor normale pe direcția x- σ_x - pe o față a rotorului (sus). Tensiunea maximă ($\sigma_x = 194,7 \text{ daN/cm}^2$) apare în zona cupelor , iar la rotor valorile scad sub $\sigma_x = 147,91 \text{ daN/cm}^2$. Zonele de maxim (cu roșu) și de minim (cu albastru) sunt localizate în aceleași părți ale rotorului ca și până acum, fig. 2.19.b prezintă clar câteva din nodurile unde acestea apar, de ex. : 1247, 1266, 1210, 1229 respectiv 1172,1060,1079,1135. Valori maxime de tensiune pot fi observate în figura 2.19.a și în porțiunea rotorului pe care am considerat-o ca fiind zona de prindere a rotorului pe arbore. Ca și în cazurile anterioare sunt prezentate și câteva valori extreme de tensiune, în nodurile corespunzătoare (anexa 20).



Fig. 2.19.b

Figura 2.20. este tot o reprezentare a influenței tensiunilor normale pe direcția x asupra rotorului, dar se consideră cealaltă parte a acestuia (jos).

Valoarea maximă ($\sigma_x = 194,7 \text{ daN/cm}^2$) a tensiunii este atinsă în zona cupelor, iar valorile minime peste $\sigma_x = -196,3 \text{ daN/cm}^2$ sunt întâlnite în zona de prindere a rotorului pe arbore precum și în zonele de trecere de la o porțiune conică la alta. Noduri în care apar situațiile extreme sunt și ele extrase din rezultatele obținute pe calculator și pot fi de asemenea urmărite în anexa 20.

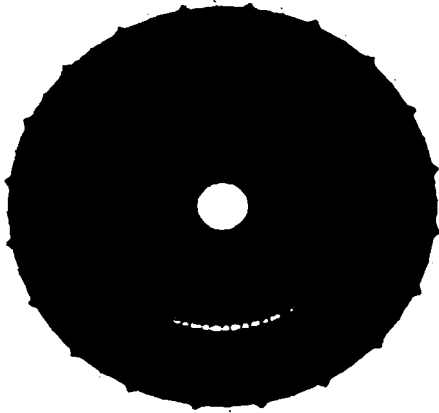


Fig. 2.20.

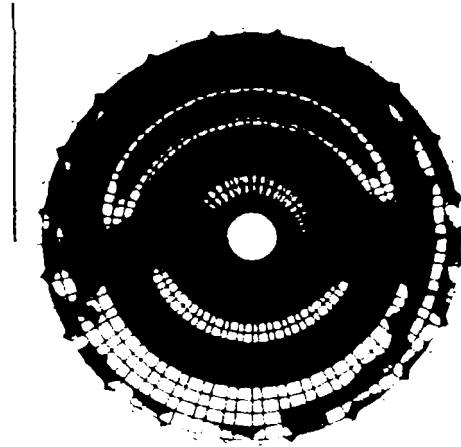


Fig. 2.21.a

Figura 2.21.a prezintă influența tensiunilor normale pe direcția y pe prima față a rotorului (sus) în cazul de încărcare Lc 61, iar 2.21.b și 2.21.c sunt detalii ale zonelor mai puternic solicitate. După cum se vede solicitările maxime apar în zona de trecere de la un con la altul. Tensiunea maximă – $\sigma_y = 154,96 \text{ daN/cm}^2$ se dezvoltă în jurul nodurilor 62, 60, 58, 1201, iar cea minimă $\sigma_y = -267,57 \text{ daN/cm}^2$ în jurul nodurilor 1153, 1191, 1097, 1116. Valorile extreme exacte ale tensiunilor precum și nodurile în care apar sunt cuprinse în anexa 21.

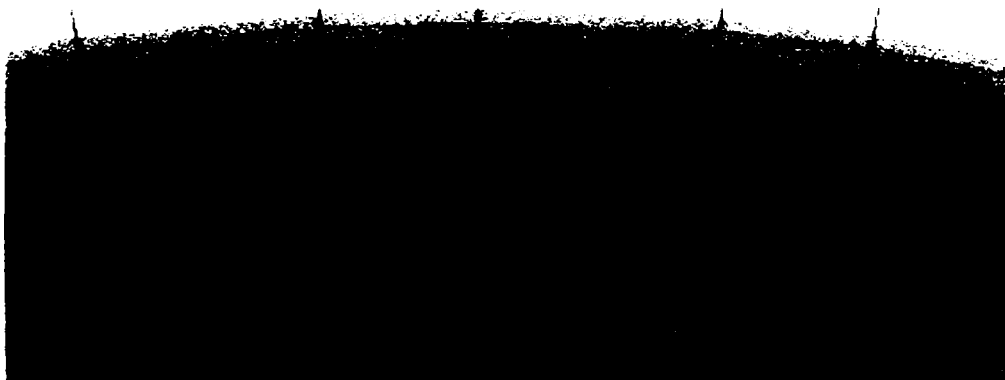


Fig. 2.21.b



Fig. 2.21.c

Figura 2.22.a este tot o reprezentare a tensiunilor normale pe direcția y dar studiul se face pe cealaltă parte a rotorului (jos). Zona de maxim ($\sigma_y = 165,18 \text{ daN/cm}^2$) – fig. 2.22.b – se situează aproximativ în același loc ca și în situația anterioară, nodurile în principal afectate sunt 70, 64, 62, 60, 58, iar zona de minim ($\sigma_y = -294,48 \text{ daN/cm}^2$) – 1191, 1097, 1116, 1154, 1098, etc.. În acest caz o altă zonă sollicitată este și cea considerată de prindere a rotorului pe arbore. Anexa 21 cuprinde și câteva valori extreme de tensiune împreună cu nodurile cores unzătoare acestora.

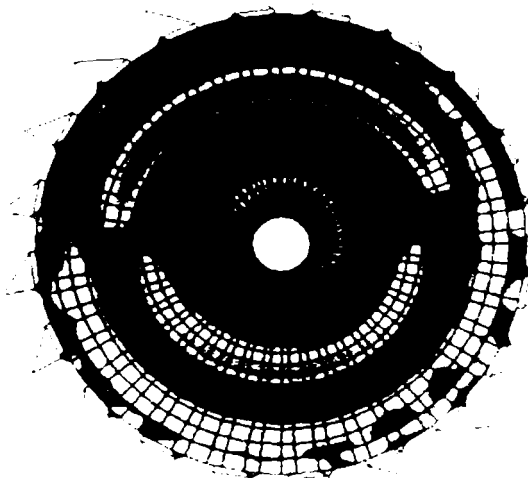


Fig. 2.22. a

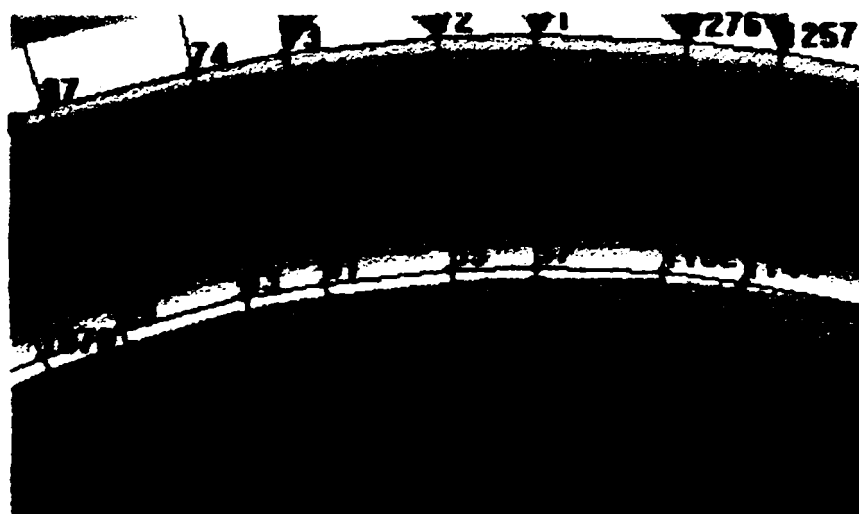


Fig. 2.22. b



Fig. 2.22. c

Figurile 2.23.a și 2.23.b reprezintă deformația echivalentă pe prima față a rotorului în situația cazului de încărcare Lc 61. Valoarea maximă a deformației este 0,0001685 cm și apare în zona cupelor rezultat și din datele listate prin programul COSMOS (anexa 22). La rotor deformația este sub 0,00012638 cm .

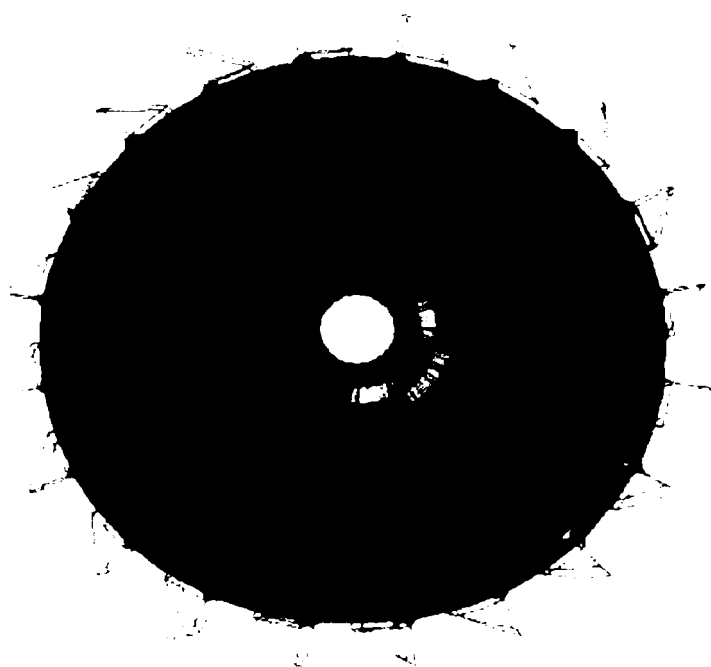


Fig. 2.23. a



Fig. 2.23. b

În continuare este abordat cazul de încărcare Lc62 în diferite situații. Pentru început ca și la cazul anterior de încărcare se consideră influența tensiunilor principale σ_1 pe prima față a rotorului luată în calcul (sus) –fig. 2.24. a.b. Valoarea minimă atinsă este de $\sigma_{1min} = - 69,478 \text{ daN/cm}^2$. Tensiuni cu valori medii se întâlnesc în zona de trecere de la o porțiune conică la alta. Anexa 22 cuprinde informații suplimentare referitoare la valorile extreme de tensiune respectiv nodurile în care acestea apar.

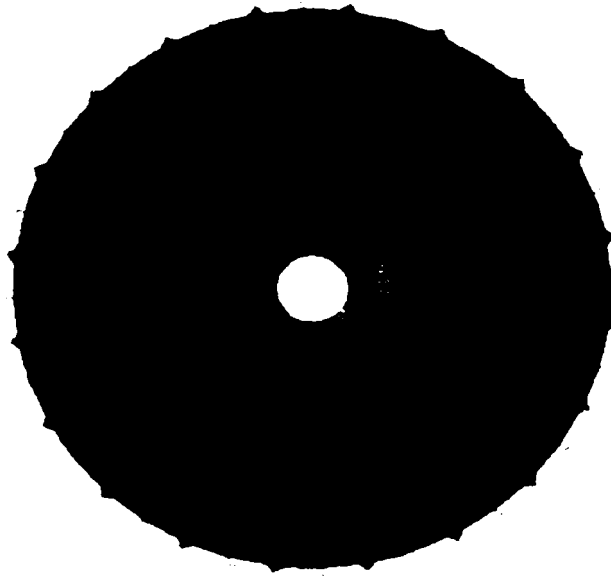


Fig. 2.24.a

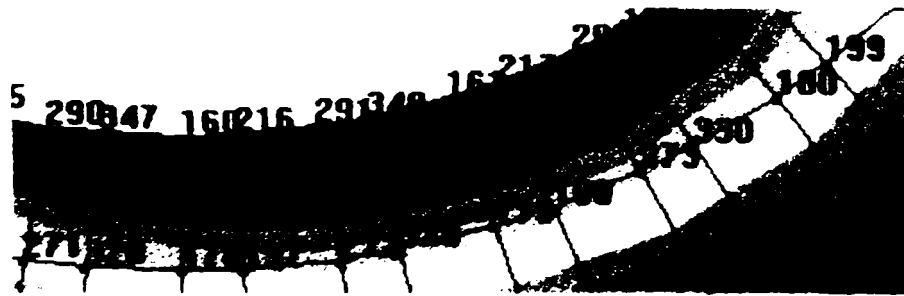


Fig. 2.24.b

Figura 2.25. este o reprezentare a influenței lui σ_1 a aceluiași caz de încărcare dar fața rotorului aflată în studiu este schimbată (jos). Valoarea maximă a lui σ_1 atinge valoarea de $395,59 \text{ daN/cm}^2$. Această valoare apare în zona de prindere a rotorului unde așa cum este prezentat și în anexa 23 se găsesc nodurile 1,4,7 etc. Valoarea minimă de tensiune atinsă este de $-41,23 \text{ daN/cm}^2$.

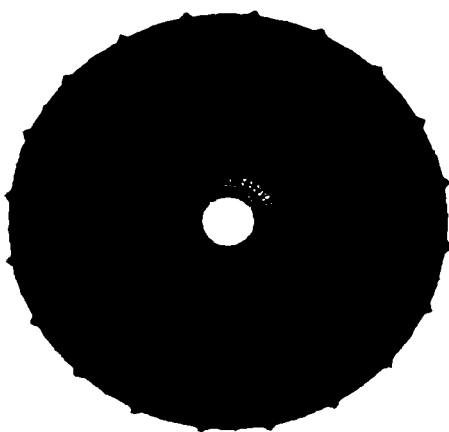


Fig. 2.25.

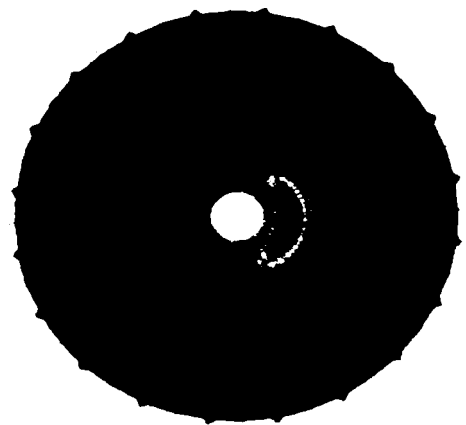


Fig. 2.26.

Figura 2.26. tratează cazul **VON MISSES** pe fața de sus (sus) valoarea maximă ($408,600 \text{ daN/cm}^2$) se atinge la zona de trecere de la placa mai groasă la prima porțiune conică, în jurul nodurilor 540,651,558,539, etc. Figura 2.27.a reprezintă cazul **VON MISSES** pe cealaltă parte a rotorului (jos) la care valoarea maximă atinsă este de $409,240 \text{ daN/cm}^2$. Porțiunea de roată colorată în roșu subliniază apariția tensiunilor de valori mai mari, iar pe măsură ce se trece la galben, verde, bleu și în fine albastru acestea scad către 0.

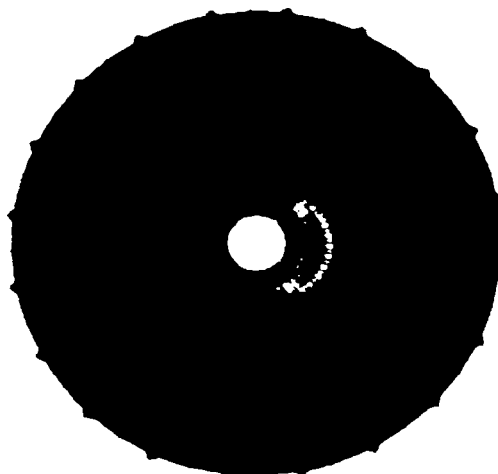


Fig.2.27.a

Figura 2.27.b este un detaliu al zonelor cu tensiuni mai mari pentru situația prezentată mai sus. După cum se vede zona de prindere a rotorului pe arbore este de asemenea afectată de existența unor valori mai ridicate de tensiune.

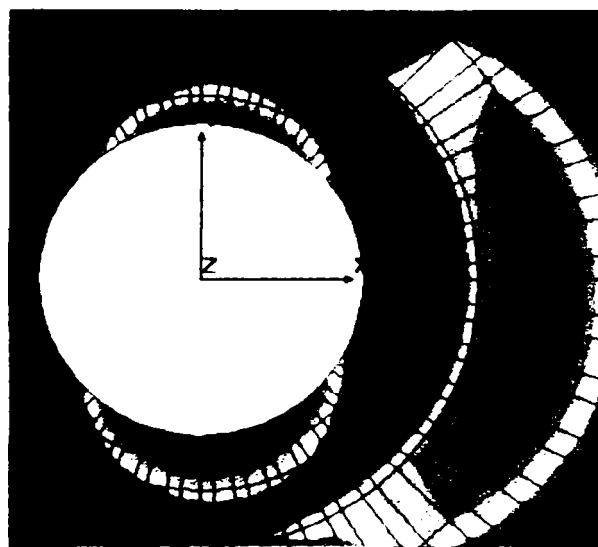


Fig. 2.27.b

Figura 2.28. este o reprezentare a influenței tensiunilor normale pe direcția y la care valorile limită sunt:

$$\sigma_{y\max} = 143.57 \text{ daN/cm}^2$$
$$\sigma_{y\min} = -156.33 \text{ daN/cm}^2$$

După cum se vede zonele mai solicitate sunt cele la trecerea dintre cele două conuri, respectiv la cupe.

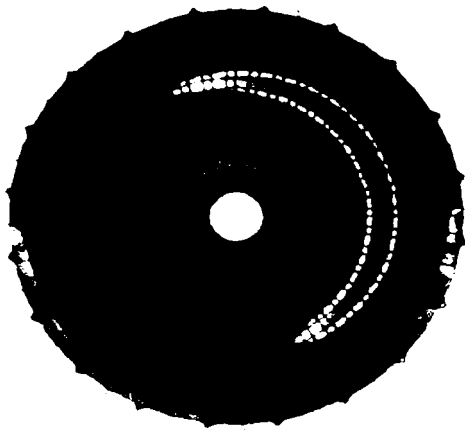


Fig. 2.28.

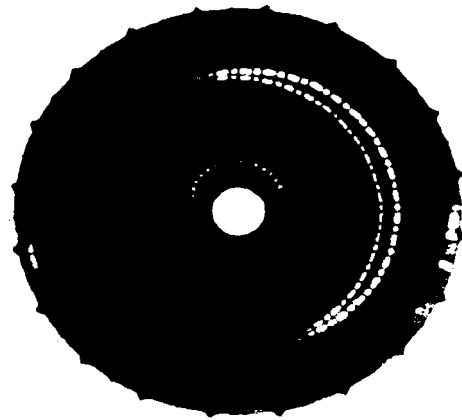


Fig. 2.29.

În situația în care se ia în studiu cealaltă parte a rotorului (jos) se obțin valori limită cum sunt:

$$\sigma_{y\max} = 182.58 \text{ daN/cm}^2$$
$$\sigma_{y\min} = - 208.53 \text{ daN/cm}^2$$

Se vede foarte clar din fig. 2.29. că zonele unde tensiunile normale pe direcția y iau valori limită sunt zone situate în prima placă a rotorului, în apropierea arborelui de care se fixează rotorul, precum și la zona de graniță între cele două conuri și în apropierea unei cupe. Anexa 23 cuprinde informații suplimentare la nodurile în care sunt înregistrate valori extreme de tensiune, noduri situate în porțiunile de rotor amintite mai sus.

Figura 2.30.a reprezintă deformațiile echivalente pe rotor în cazul de încărcare Lc62. Figura 2.30.b este un detaliu al zonei în care deformațiile sunt maxime $\epsilon_{\text{echiv.}} = 0.000201290 \text{ cm}$. Figura 2.30.c este rotorul privit din alt plan, deformația acestuia fiind reprezentată exagerat pentru a fi fenomenul mai vizibil. În anexa 23 sunt evidențiate nodurile în care deformațiile se apropie de valorile limită atât pentru o față cât și pentru cealaltă a rotorului.

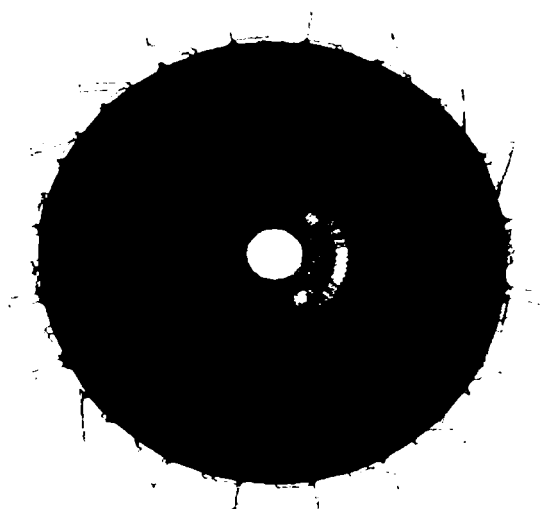


Fig. 2.30.a

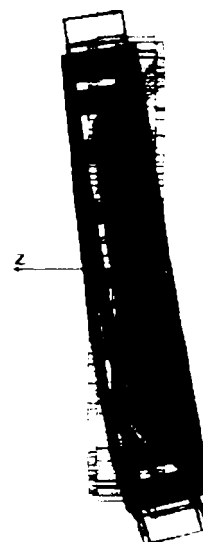


Fig. 2.30. c

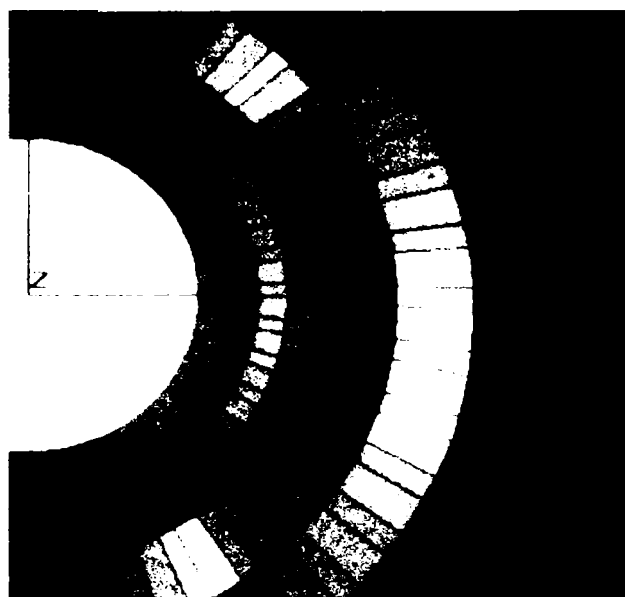


Fig. 2.30.b

Pentru combinațiile Lc61 și Lc62 situațiile sunt similare și anume zonele limită de tensiune sunt zonele de la cupe aflate în bancul de material, zonele de pe rotor din apropierea arborelui de care este fixat acesta, inelul de sudură între placa groasă și primul con, respectiv dintre cele două porțiuni conice. Nodurile puternic solicitate de la cupe sunt neglijate datorită ipotezei simplificate de modelare a acestora.

Combinațiile de cazuri de încărcare Lc63 și Lc64, așa cum s-a mai spus, apar numai în situațiile excepționale de mediu de lucru dur cu implicații puternice asupra tensiunilor pe rotor. În continuare, pentru cazul Lc63 sunt evidențiate reprezentările grafice ale influenței tensiunilor.

- **VON MISES** – fig.2.31.a (sus) și fig. 2.31.b (jos)



Fig. 2.31.a

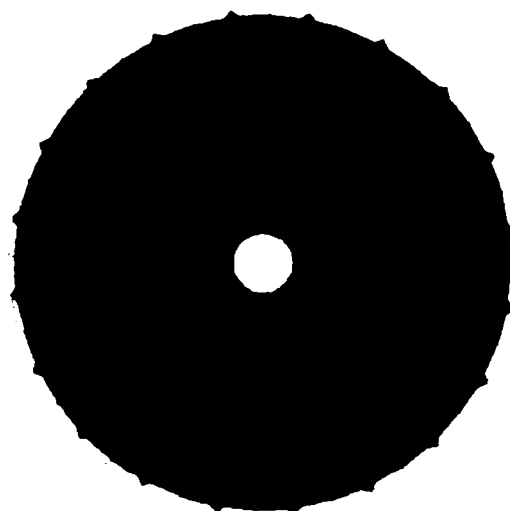


Fig. 2.31.b

- Normale la axa $x - \sigma_x$ – fig. 2.32.a (sus) și fig. 2.32.b (jos)

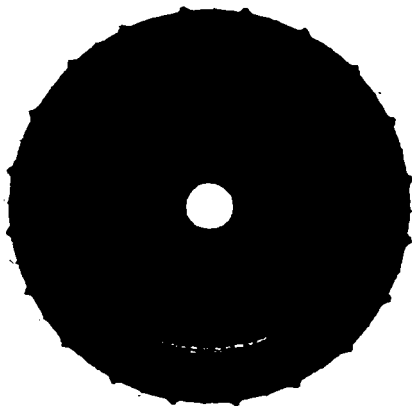


Fig. 2.32.a

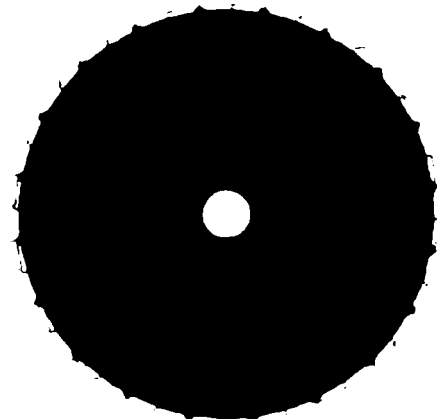


Fig. 2.32.b

- Principale σ_1 – fig. 2.33.a (sus) și fig. 2.33.b (jos)

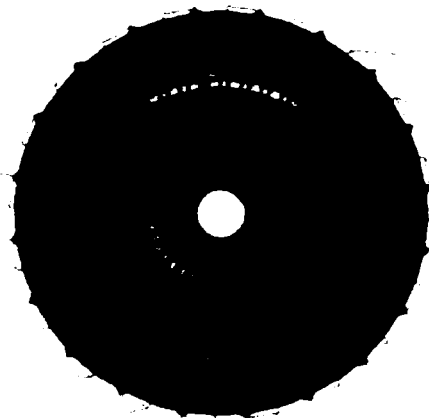


Fig. 2.33.a

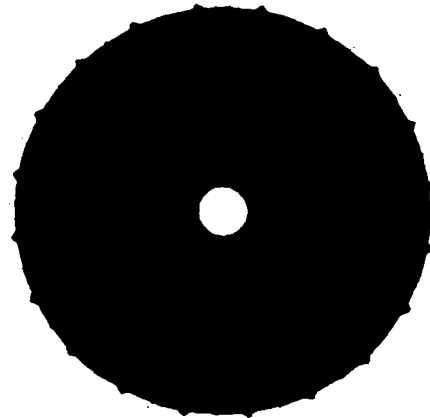


Fig. 2.33.b

În anexa 24 sunt date valorile maxime și minime de tensiune în nodurile corespunzătoare, rezultate sintetizate în tabelul de mai jos (tabelul 2.28).

Prin analiza imaginilor și a rezultatelor obținute pe-o parte și pe alta a rotorului, se poate concluziona că zonele de pe rotor mai puternic solicitate se suprapun cu cele obținute pentru cazurile obișnuite de încărcare Lc61 și Lc62, adică sunt localizate în zona cupelor (nodul 2305), în zona de trecere de la placa groasă la prima porțiune conică (nodul 344) respectiv la cea de trecere de la o porțiune conică la alta (nodurile: 1079, 1115).

Tabelul 2.28.

TENSIUNI	Prima față a rotorului (sus)				A doua față a rotorului (jos)			
	maxim		minim		maxim		minim	
	Valoare (daN/cm ²)	nod	Valoare (daN/cm ²)	Nod	Valoare (daN/cm ²)	nod	Valoare (daN/cm ²)	nod
VON MISES	523,21	2305	0	-	642,952	2305	0	-
σ_1	318,395	2305	- 209,075	1079	652,875	2305	-131,133	1115
σ_x	312,884	2305	-230,688	1079	623,338	2305	-220,684	344

Pentru combinația de încărcări Lc64 influența tensiunilor pe rotor sunt evidențiate grafic în figurile care urmează:

- VON MISES - fig. 2.34.a (sus) și fig. 2.34.b (jos)

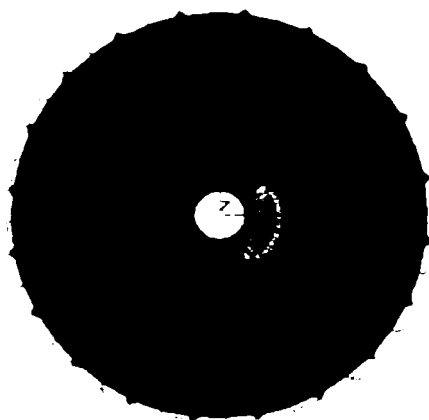


Fig. 2.34. a

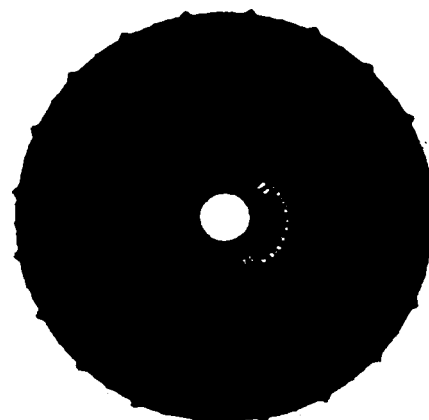


Fig. 2.34. b

- Normale la axa x – σ_x – fig. 2.35.a (sus) și fig. 2.35.b (jos)

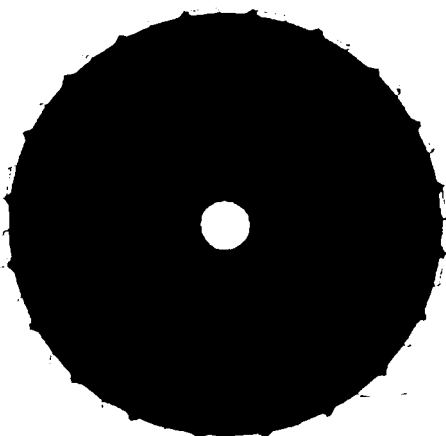


Fig. 2.35.a

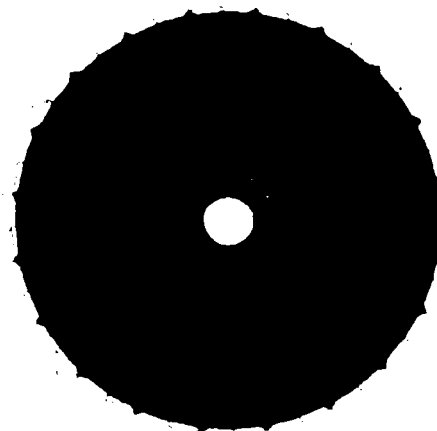


Fig. 2.35.b

- Principale σ_1 – fig. 2.36.a (sus) și fig. 2.36.b (jos)

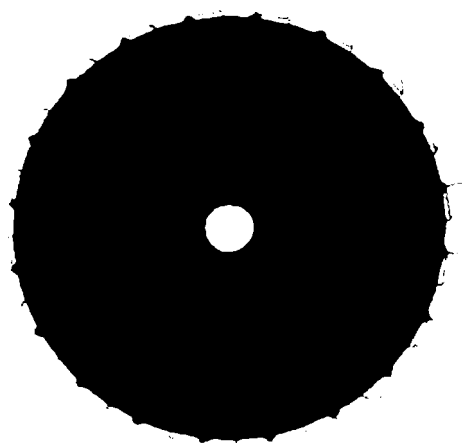


Fig. 2.36.a

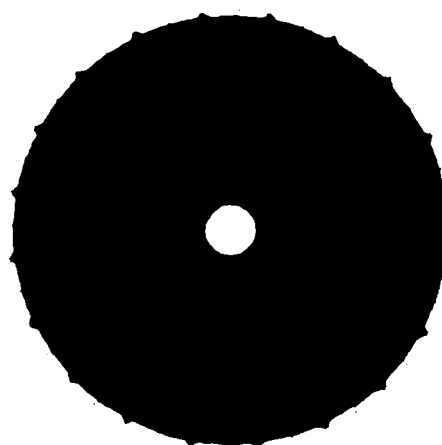


Fig. 2.36. b

Tabelul 2.29 sintetizează valorile maxime și minime de tensiune cu nodurile corespunzătoare, anexa 24 cuprinzând însă și alte valori limită de tensiune.

Tabelul 2.29.

TENSIUNI	Prima față a rotorului (sus)				A doua față a rotorului (jos)			
	maxim		Minim		Maxim		Minim	
	Valoare (daN/cm ²)	nod	Valoare (daN/cm ²)	Nod	Valoare (daN/cm ²)	Nod	Valoare (daN/cm ²)	Nod
VON MISES	619,208	2267	0	-	518,357	216	0	-
σ_1	640,817	2267	- 116,155	1720	489,446	300	-54,569	1572
σ_x	614,895	2267	354,194	357	473,494	300	-546,491	347

După cum se observă din figurile 2.34., 2.35. , 2.36., respectiv din anexa 25 se poate spune că, solicitările mari apar tot în zonele inelelor de sudură dintre placa groasă și primul con, dintre cele două conuri și bineînțeles la cupe. De asemenea se poate observa influența majoră pe care o au tensiunile σ_x asupra primei plăci a rotorului prin intermediul căreia acesta este prins pe arbore.

În continuare sunt date reprezentările grafice ale deformațiilor și deplasărilor pentru cele două cazuri speciale de încărcare. Figurile 2.37.a și 2.37.b constituie imaginea deformațiilor echivalente pe rotor din față și din lateral, în cazul de încărcare Lc63. Valoarea maximă a deformației echivalente se înregistrează în nodul 2051 (la cupe) și are valoarea de 0,000227856 cm (anexa 24). Valori ridicate de deformație sunt înregistrate și pe cele două inele de sudură amintite mai înainte.

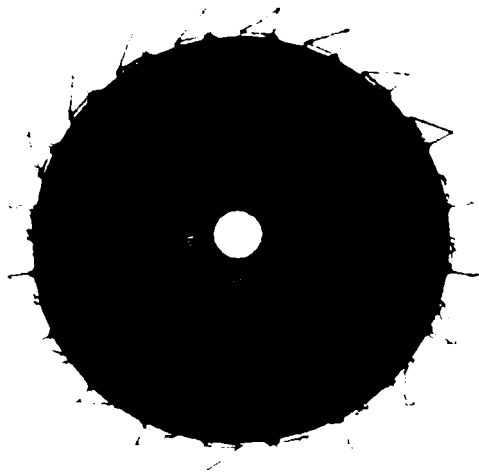


Fig. 2.37.a



Fig. 2.37.b

Figurile 2.38.a și 2.38.b reprezintă deformațiile echivalente pe rotor în cazul special de încărcare Lc 64.

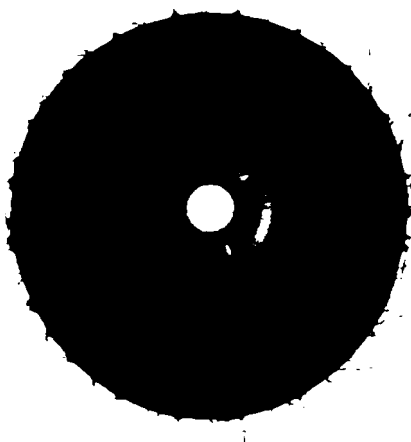


Fig. 2.38.a

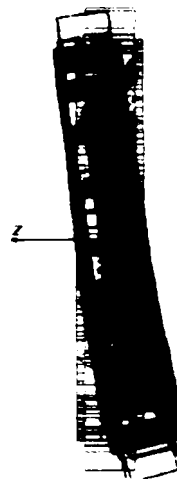


Fig. 2.38.b

Deformația maximă echivalentă se înregistrează în nodul 2081 având valorile de 0,000260402 cm (sus) și 0,000231795 cm (jos). Nodul 2081 se află de asemenea în zona cupelor, dar rezultate apropiate se întâlnesc și la primul inel de sudură dintre placa grosă și primul con.

O analiză a deplasărilor pe rotor conduc la valori mari ale acestora în special în cazurile excepționale de săpare.

- **Cazul Lc61** – deplasări rezultante fig. 2.39 a, fig. 2.39.b, valoarea maximă de 0,419801 cm se obține în nodul 2399 (la cupe), iar valori apropiate de maxim (anexa 22) sunt înregistrate în zona cupelor angrenate în procesul de săpare (porțiunea galben- verde)

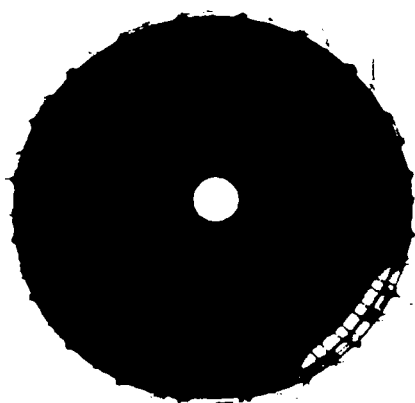


Fig. 2.39. a

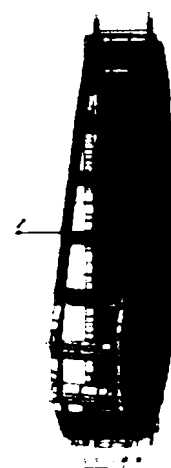


Fig. 2.39. b

- Cazul Lc61 - deplasări pe direcția z fig. 2.40.a, fig. 2.40.b, valoarea maximă de **0,394399 cm** se înregistrează în nodul **2399** situat de asemenea la cupe și după cum se vede din figurile de mai jos, zona în care deplasările sunt cele mai mari (anexa 22) se conturează în jurul cupelor aflate în bancul de material (porțiunea roșie - galbenă).

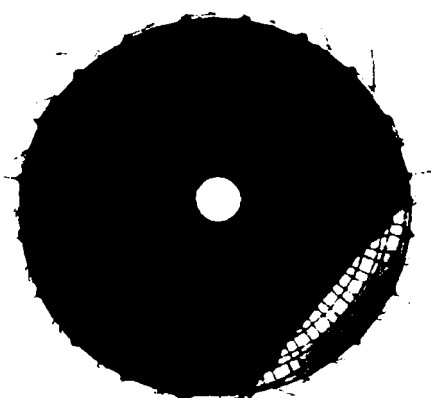


Fig. 2.40.a



Fig. 2.40.b

- Cazul Lc 62 - - deplasări rezultante fig. 2.41.a, fig. 2.41.b, valoarea maximă de **0,637133 cm** se întâlnește în nodul **2322** tot la cupe situat, iar valori apropiate (zona roșie), (anexa 23) se conturează tot în apropierea cupelor angrenate în procesul de săpare.

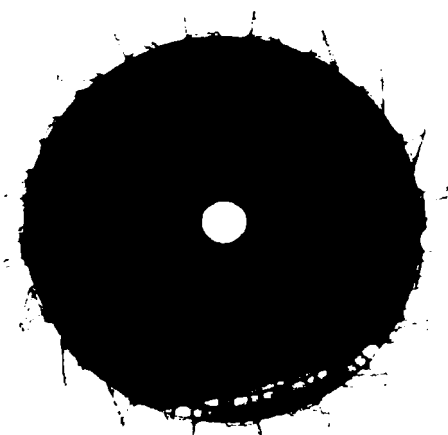


Fig. 2.41. a



Fig. 2.41.b

- **Cazul Lc 62** – deplasări pe direcția z – fig. 2.42.a, fig. 2.42.b, ating valoarea maximă $-0,595791$ cm în zona albastră (zona primelor cupe ce intră în procesul prelevării materialului din bancul) unde deplasările au valori negative (anexa 23). Nodul de maxim este tot 2322.

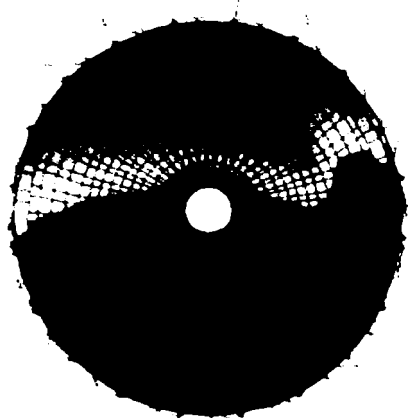


Fig. 2.42. a

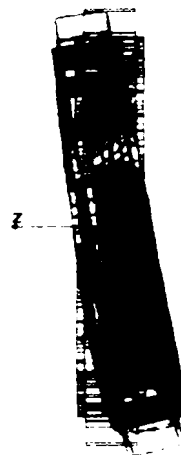


Fig. 2.42. b

- **Cazul Lc 63** - deplasări rezultate - fig. 2.43.a, fig. 2.43.b, deplasări ce ating valoarea maximă de $-0,60944$ cm în nodul 2399 nod a cărui poziție a fost amintită și la cazul de încărcare Lc61. Și în acest caz valorile maxime absolute a deplasărilor rezultate pe roată sunt întâlnite tot în porțiunea de jos a acesteia în apropierea primelor cupe ce intră în material. Valori apropiate de maxim sunt date în anexa 24.

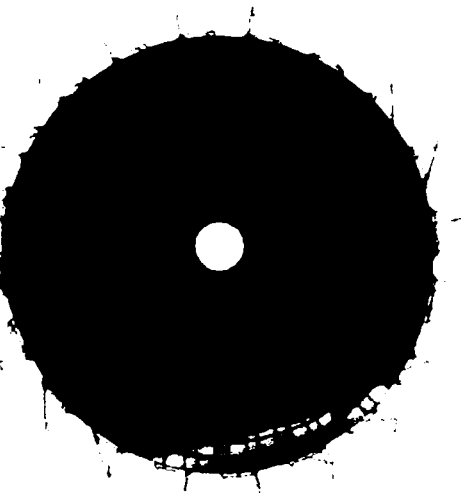


Fig. 2.43.a



Fig. 2.43.b

- **Cazul Lc63** – deplasări pe direcția z – fig. 2.44.a, fig. 2.44.b – nodul 2399 este și aici nodul în care deplasările ating valoarea maximă de $0,573506$ cm . Valori apropiate (anexa 24) sunt reprezentate cu roșu și după cum se observă din figurile de mai jos sunt situate tot în zona de excavare.

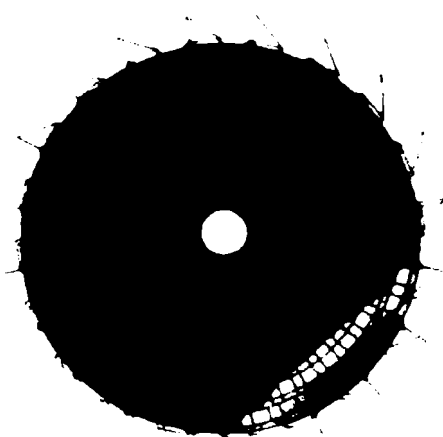


Fig. 2.44.a



Fig. 2.44.b

- **Cazul Lc64** - deplasări rezultante – fig. 2.45.a, fig. 2.45.b, nodul 2321 este nodul în care deplasările rezultante sunt maxime atingând în acest caz valoarea de $0,839891 \text{ cm}$, zona în care acestea au valori apropiat (anexa 24) este tot în partea de jos a roții (porțiunea roșie).

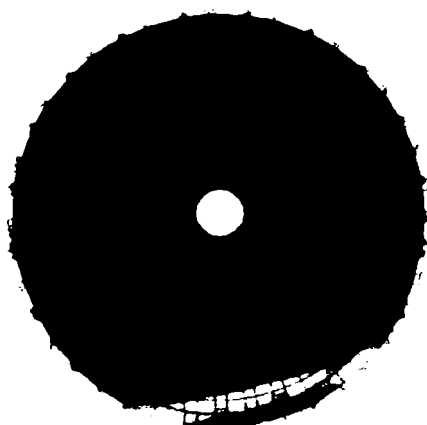


Fig. 2.45.a



Fig. 2.45. b

- **Cazul Lc64** - deplasări pe direcția z – fig. 2.46.a, fig. 2.46.b, valoarea maximă de $-0,7901 \text{ cm}$ se înregistrează tot în nodul 2321, iar valori apropiate de maxim (anexa 24) sunt înregistrate în porțiunea de roată unde primele cupe intră în procesul de excavare.

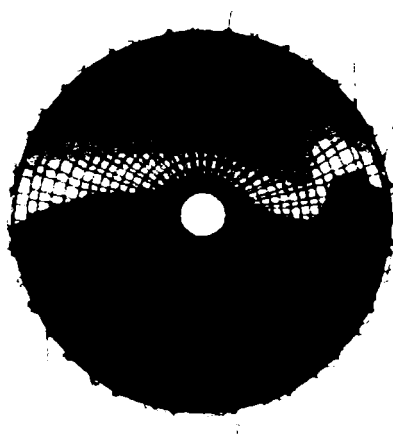


Fig. 2.46.a



Fig. 2.46. b

În urma analizei deplasărilor efectuate pentru cele 4 cazuri considerate Lc61, Lc62, Lc63, Lc64, combinații obținute din cele 14 cazuri de bază de la care s-a pornit studiul, se poate spune că în fiecare situație valorile maxime (pozitive sau negative) s-au înregistrat la cupe (nodurile 2399, 2322, 2321) iar valori apropiate de maxim sunt întâlnite în partea de jos a rotorului, după cum s-a spus, în porțiunea învecinată cu cupele aflate în procesul de excavare.

Un calcul de oboseală complementar pornește de la premiza că în zonele examinate apar microfisuri ce sunt localizate în :

- apropierea zonei de prindere a rotorului pe arbore,
- zona de trecere de la o porțiune conică la alta,
- zona de trecere de la placa groasă la prima porțiune conică,
- zona cupelor,

2.6. Concluzii

- standardul de proiectare STAS 8290 - 83 nu se aplică la proiectarea utilajelor grele mobile din cauza unor diferențe de calcul datorate specificului de lucru al acestora.
- acțiunile permanente, temporare și excepționale se combină în funcție de condițiile de exploatare a U.G.M., rezultând grupări de acțiuni care în funcție de frecvența și intensitatea lor acționează pe toată durata de viață.
- rezistența în exploatare a unui anumit element depinde de tipul materialului de bază, de forma constructivă și de calitatea îmbinărilor sudate.
- construcția metalică a U.G.M. este astfel dimensionată încât toate elementele componente trebuie să preia solicitările statice și dinamice ce apar în exploatare în vederea asigurării siguranței în funcționare pe lungi perioade de timp.
- durata de viață a utilajelor grele mobile este influențată de o serie de factori ce afectează caracteristicile structurale, mecanice, de rezistență la coroziune, atât a materialelor de bază cât și a îmbinărilor sudate.
- metoda elementului finit a stat la baza studiului stării de tensiune a corpului roții cu cupe din dotarea excavatorului pentru extracția cărbunelui de suprafață.
- analiza rezultatelor și a imaginilor grafice obținute arată că zonele de pe rotor cele mai puternic încărcate sunt în nodurile Lc61 și Lc62 adică în zonele de trecere de la placa groasă la prima porțiune coinică .
- tensiunile și deformațiile în rotor nu prezintă valori ce pot conduce la o deteriorare imediată a rotorului, valorile lor fiind foarte mici, drept pentru care durata de viață a acestuia poate fi estimată ca fiind de cel puțin 20 de ani.

CAP.3. CARACTERIZAREA MATERIALELOR FOLOSITE LA FABRICAREA CONSTRUCȚILOR PORTANTE LA U.G.M.

3.1 Caracteristicile structurale și mecanice ale oțelurilor elementelor portante:

Problemele de coroziune, generate de practica industrială au în ultimele decenii semnificații majore, datorită sistemului de dezvoltare a industriei care solicită materiale anticorozive pentru o mare diversitate de medii și condiții de exploatare.

Coroziunea structurilor metalice din industria minieră, apreciată prin prisma pierderilor anuale cauzate economiei depășește pierderile cauzate de calamitățile naturale, nu atât prin pierderea de metal erodat, cât prin scoaterea din funcțiune a unor structuri portante datorită avarilor care le fac neoperaționale.

Alegerea corectă a oțelurilor din care se construiesc componentele utilajelor miniere trebuie să se bazeze în primul rând pe cunoașterea comportamentului lor în condiții de mediu. În al doilea rând, la această alegere trebuie luate în considerare și modificările structurale suferite de materiale datorită prelucrărilor mecanice și termice ce pot induce tensiuni interne la un nivel greu de determinat. Din acest punct de vedere îmbinările sudate ale construcției utilajelor miniere reprezintă zona cea mai vulnerabilă pentru atacul coroziv al mediului de lucru.

Astfel se impune în afară garantării caracteristicilor mecanice ale îmbinărilor sudate și asigurarea fiabilității construcției prin stipularea unor valori adecvate ale rezistenței la coroziune.

Literatura de specialitate din domeniu, oferă numeroase lucrări care abordează în majoritate cazuri concret, practice de coroziune a îmbinărilor sudate fără o tratare sistematică a acestora. Rezultatele acestor studii s-au concretizat în realizarea unui studiu corespunzător prin procedeele cunoscute, dar nu au epuizat soluționarea problemelor de coroziune a zonelor îmbinărilor sudate atât de complexe prin multitudinea de factori ce le condiționează. Astfel s-a ivit necesitatea studierii mai amănunțite a oțelurilor specifice construcțiilor utilajelor grele mobile din punct de vedere al rezistenței la coroziune, oferind proiectantului date necesare alegerii celei mai potrivite variante de oțel (nealiat,aliat), a tehnologiei de sudare și a tratamentelor termice. Deasemenea, îmbunătățirea metodelor de evaluare a tendinței la coroziune (rezistența la coroziune) precum și diversificarea acestora și alinierea la recomandările standardizării internaționale, reprezintă o altă modalitate de a îmbunătăți proiectarea, verificarea și realizarea construcției din oțeluri a unor utilaje miniere.

O atenție specială s-a acordat metodelor electrochimice folosite în studiul coroziunii generale, prezentându-se atât bazele teoretice ale fenomenului cât și metodele cunoscute din literatura de specialitate(standardizate sau nu)în diferite țări.

3.1.1 Oțeluri pentru construcții cu destinație specială

Aceste oțeluri se utilizează la construcția structurilor metalice în variante sudate sau nesudate și exploatate la temperaturi cuprinse între -50°C și +50°C. Ele trebuie să satisfacă trei cerințe importante:

- să fie ieftine pentru a nu scumpi structura;
- să aibă caracteristici mecanice cât mai ridicate pentru a se realiza structuri ușoare;

- să se sudeze bine cu procedee relativ simple și de mare productivitate.

Compozițional ele se împart în Comunitatea Europeană în două mari categorii:

- oțeluri nealiate cu conținuturi reduse în carbon;
- oțeluri aliate cu elemente (Mn, Ni, Cr, Mo etc.) care să favorizeze creșterea caracteristicilor mecanice de rezistență fără a se diminua puternic cele de ductibilitate și tenacitate.

Oțelurile nealiate cu conținutul în carbon limitat la 0,20...0,22 % și deci cu o structură de echilibru formată dintr-o matrice feritică și din cantități de până la 25% perlită dispusă la intersecția unor grăunți feritici (Fig.3.1. , 3.2.)

Compoziția chimică, domeniul de utilizare ale unora din oțelurile nealiate mai des folosite sunt înserate în tabelul 3.1.

Tabelul 3.1.

Marca oțelului	Clasa de calitate	D°	Compoziția chimică în procente							Domeniul de utilizare
			C. max	Mn.max	Si.max	P. max	S. max	Al.min		
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
OL37 STAS 500/1,2 -89	1	n	0,20	0,80	0,07	0,06	0,06	-	● elemente portante pentru construcții metalice în variantă sudată și nesudată (utilaje miniere, poduri rulante, macarale, lanțuri de tracțiune, plasa , etc.)	
		s	0,20	0,80	0,17	0,06	0,06	-		
		k	0,20	0,80	0,40	0,06	0,06	-		
	2	n	0,18	0,80	0,07	0,05	0,05	-		
		s	0,18	0,80	0,17	0,05	0,05	-		
	3	k	0,18	0,80	0,40	0,05	0,05	-		
		K	0,17	0,80	0,40	0,45	0,45	-		
	4	Kf	0,17	0,80	0,40	0,45	0,45	-		
		kf	0,17	0,80	0,40	0,40	0,40	0,020		

continuare tabelul 3.1.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
OL44 STAS 500/1,2-89	2	k	0,20	1,10	0,50	0,050	0,050	-	<ul style="list-style-type: none"> elemente portante la construcții sudate și nesudate supuse unor sollicitări mecanice relativ ridicate
	3	k	0,20	1,10	0,50	0,045	0,045	-	
		kf	0,20	1,10	0,50	0,045	0,045	0,020	
	4	kf	0,20	1,10	0,50	0,040	0,040	0,020	
OL52 STAS 500/1,2 -89	2	k	0,20	1,60	0,50	0,50	0,50	-	<ul style="list-style-type: none"> elemente portante la construcțiile sudate și nesudate supuse unor sollicitări mecanice relativ ridicate
	3	k	0,20	1,60	0,50	0,045	0,045	0,020	
		kf	0,20	1,60	0,50	0,045	0,045	0,020	
	4	kf	0,18	1,60	0,50	0,040	0,040	0,020	

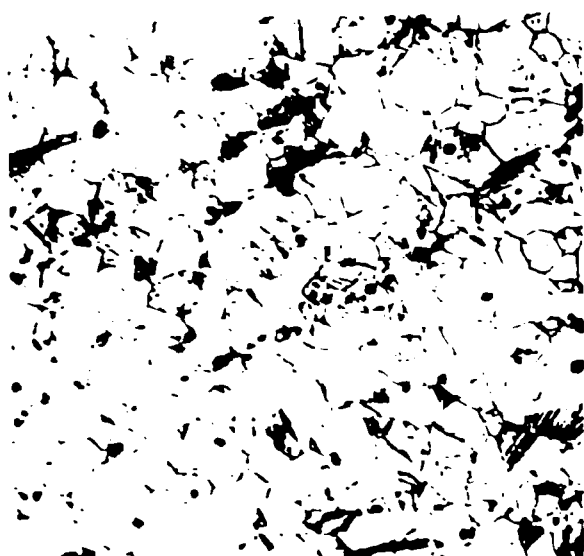


Fig.3.1. Oțel OL37
(Nital2%,100%)



Fig3.2. Oțel OL52.2k
(Nital2%,100%)

D *- grad de dezoxidare (n - necalmat; s - semicalmat)
(k - calmat; kf - calmat dublu)

Caracteristicile mecanice de rezistență și de deformabilitate ale oțelurilor OL37, OL44 și OL52 sunt înserate în tabelul 3.2.

Tabelul 3.2.

Marca oțelului	Clasa de calitate	Caracteristici mecanice				
		Limite de curgere $R_{p0,2min}$ (N/mm ²)			Rezistența la rupere R_m (N/mm ²)	Alungirea la rupere $A_5 min$ (%)
		Grosimea produsului în mm				
		≤16	17...40	41...100	≤ 100	≤ 100
0	1	2	3	4	5	6
OL37	1	240	230	210	360...440	25
	2	240	230	210	360...440	25
	3	240	230	210	360...440	26
	4	240	230	210	360...440	26
OL44	2	280	270	250	430...540	22
	3	280	270	250	430...540	25
	4	280	270	250	430...540	25
OL52	2	350	340	330	510...630	21
	3	350	340	330	510...630	22
	4	350	340	330	510...630	22

Caracteristicile de tenacitate și de îndoire ale principalelor mărci de oțeluri cu destinație generală funcție de grosimea materialului sunt înserate în tabelul 3.3 .

Tabelul 3.3.

Marca de oțel	Clasa de calitate	Reziliența KCU ₂ valori minime (J/cm ²)		Energia de rupere KV (valori minime) (J)		Diametrul dornului de îndoire la 180°	
				°C	KV		
		Diametrul sau grosimea produsului a[mm]					
		a≤16	a>16	-	-	a≤16	a>16
0	1	2	3	4	5	6	7
OL37	1	-	-	-	-	1,0a	1,5a
	2	69	59	+20°C	27	1,0a	1,5a
	3	-	-	0°C	27	1,0a	1,5a
	4	-	-	-20°C	27	1,0a	1,5a
OL44	2	59	59	+20°C	27	2,0a	2,5a
	3	-	-	0°C	27	2,0a	2,5a
	4	-	-	-20°C	27	2,0a	2,5a
OL52	2	59	59	+20°C	27	2,5a	3,0a
	3	-	-	0°C	27	2,5a	3,0a
	4	-	-	-20°C	27	2,5a	3,0a

La oțelurile pentru îmbinări sudate folosite frecvent în țările Comunității Europene principalele caracteristici mecanice sunt înserate în tabelul 3. 4 .

$$CE = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Cu + Ni)/15 [\%] - \text{carbon echivalent} \quad (3.1)$$

La oțelurile din tabelul 3.4.se garantează conținutul de sulf și fosfor sub valoarea de 0,035%, conținutul de carbon la valoarea maximă și valoarea minimă a carbonului echivalent determinat cu relația (3.1a) a Institutului Internațional de Sudură (I I S) cu sediul la Paris (Franța).

Tabelul 3.4.

EN 10027	EU 2572	DIN 17100	Tip oțel	%C max.	CE [±] min %	Caracteristici mecanice				
						Rp0,2 N/mm ²	Rm N/mm ²	A %	Energia de rupere, KV[J]	
									temperatura [°C]	val _{min}
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
S185	Fe310-0	St 33	BS	-	-	min. 175	min. 290	min. 18	-	-
S235 JR	Fe360 B	St37.2	BS	0,2 0	0,3 5	175 . 235	320 . 360	21 . 26	+20	27
S235 JRG1	Fe360 B-FU	USt 37.2	BS	0,2 0	0,3 5				+20	
S235 JRG2	Fe360 B-FN	RSt 37.2	BS	0,2 0	0,3 5				+20	
S235 JO	Fe360 C	St 37- 3U	QS	0,1 7	0,3 5				0	
S235 J2G3	Fe360 D-1	St 37- 3N	QS	0,1 7	0,3 5				-20	
S235 J2G4	Fe360 D-2	-	QS	0,1 7	0,3 5				-20	
S275 JR	Fe430 B	St 44-2	BS	0,2 2	0,4 0	205 . 275	380 . 430	17 . 22	+20	27
S275 JO	Fe430 C	St 44- 3U	QS	0,1 8	0,4 0				0	
S275 J2G3	Fe430 D-1	St 4-3N	QS	0,1 8	0,4 0				-20	
S275 J2G4	Fe430 D-2	-	QS	0,1 8	0,4 0				-20	
S355 JR	Fe510B	-	BS	0,2 4	0,4 5	275 . 355	450 . 510	17 . 22	+20	27
S355 JO	Fe510C	St 52- 3N	QS	0,2 2	0,4 5				0	
S355 J2G3	Fe510 D-1	St 52- 3N	QS	0,2 2	0,4 5				-20	
S355 K2G4	Fe510 D-2	-	QS	0,2 2	0,4 5				-20	
S355 K2G3	Fe510 D-D1	-	QS	0,2 2	0,4 5				-20	
S355 K2G4	Fe510 D-D2	-	QS	0,2 2	0,4 5				-20	

Continuarea tabelului 3.4.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
E295	Fe490-2	St50-2	BS	-	-	225 ...295	440 ...490	15 ...20	-	-
E335	Fe590-2	St60-2	BS	-	-	255 ...335	540 ...590	11 ...16	-	-
E360	Fe690-2	St70-2	BS	-	-	285 ...360	640 ...690	7 ...11	-	-

BS - oțel de construcții (de bază)

QS - oțel de calitate

3.1.2 Oțeluri cu rezistență mărită la coroziunea atmosferică:

În vederea reducerii pierderilor de material datorate coroziunii atmosferice s-au elaborat oțeluri speciale din clasa de calitate „RC” numite patinabile. În țara noastră s-au adoptat două oțeluri RCA37 și RCB52 a căror compoziție chimică, forme de livrare, sunt înserate în tabelul 3. 5.

Principalele domenii de utilizare ale acestor oțeluri sunt:

- la oțelul RCA 37
 - elemente de construcții metalice cu rezistență la coroziune atmosferică (stâlpi, vagoane, macarale, structuri portante etc.)
- la oțelul RCB 52
 - elemente de construcție metalice puternic solicitate cu rezistență mare la coroziunea atmosferică (stâlpi și coloane, macarale de mare capacitate, elemente portante ce lucrează în mediu minier, recipiente sub presiune din componența unor, elemente de structură la galeriile miniere etc.)

Se menționează că depășirea cu max.0,50% a limitei coeficientului de Cr și Cu nu constituie motiv de rebut.

Structurile acestor oțeluri sunt ferito-perlitice de granulație ≈ 7 SRISO 643-93 (figurile 3.3., 3.4.)



Fig. 3.3. Oțel RCA 37
(Nital 3%, 100:1)



Fig. 3.4. Oțel RCB 52
(Nital 3%, 100:1)

Tabelul 3.5.

Marca de oțel	Clasa de calitate	Forme de livrare	Compoziția chimică în %										
			C _{max}	Mn _{max}	Si	P _{max}	S _{max}	Cu	Cr	Al _{min}	N _{2max}	V	
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
RCA 37 STAS 500/1...3 - 89	1; 1a; 1b; 2; 3 .	<ul style="list-style-type: none"> • produse plate laminate la cald • produse laminate la cald • profile formate la rece 	0,120	0,450	0,120 ... 0,350	0,035 0,040	0,300 ... 0,600	0,500 ... 0,800	0,020	0,019	-		
RCB 52 STAS 500/1...3 - 89	2; 3; 4.	<ul style="list-style-type: none"> • produse laminate la cald • profile laminate la cald • profile formate la rece 	0,200	1,200	max. 0,600	0,040	0,045	0,300 ... 0,600	0,500 ... 0,800	0,020	0,019	max. 0,12	

Duritatea oțelurilor în starea de livrare este cuprinsă între 130 și 165 HB (oțel RCA 37) și între 145 și 185 HB (oțel RCB 52).

Principalele caracteristici mecanice ale celor două oțeluri sunt înserate în tabelul 3.6.

Tabelul 3.6.

Marca oțelului	Clasa de calitate	Rp _{0,2} min N/mm ²	R _m N/mm ²	A _{min} %	KCU ₂ la +20°C J/cm ²	Energia de rupere		Diametrul dornului de îndoire la rece la 180°[mm]
						Tempe- ratura,°C	KV _{min} J	
0	1	2	3	4	5	6	7	8
RCA37	1,1a,1b	240	360... 440	-	-	-	-	2,0.a
	2	240	360... 440	25	min 69	+20	27	2,0.a
	3	240	360... 440	26	-	0	27	2,0.a
RCB52	2	350	510... 610	20	min. 69	+20	27	2,5.a
	3	350	510... 610	21	-	0	27	2,5.a
	4	350	510... 610	22	-	-20	27	2,5.a

„a” este grosimea produsului în mm .

Elementele de aliere (Cr,V) formează treptat pe suprafața materialului o peliculă compactă și aderentă de oxizi care împiedică contactul direct al acestuia cu mediul natural și tot odată asigură o protecție electrochimică prin încetinirea vitezei reacțiilor de coroziune anodică. În figura 3.5. se prezintă variația pierderilor în grosime și în masă a unor produse din oțeluri patinabile în stare neprotejată și pentru două condiții de mediu (atmosferic minier și atmosferic urban).

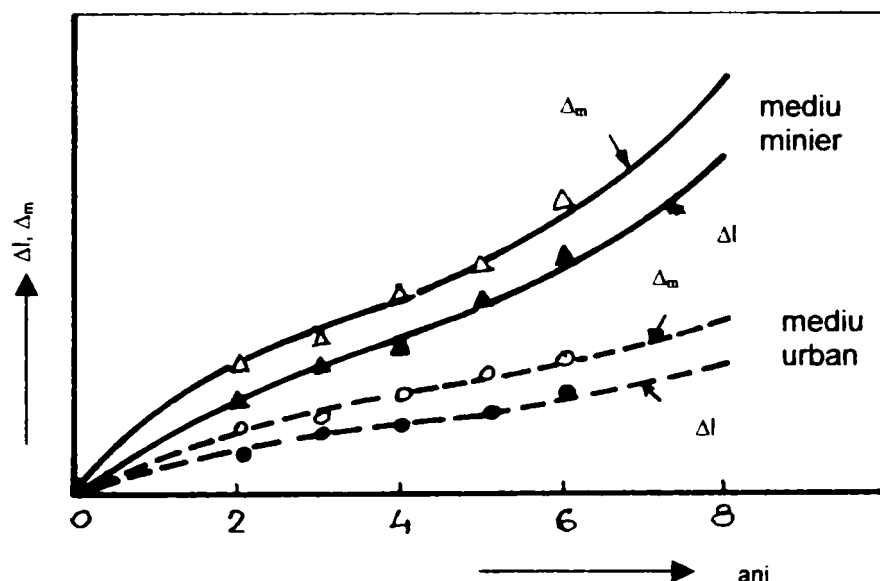


Fig 3.5. Variația $\Delta l, \Delta m = f(\text{mediu})$

Analizând diagramele din figura 3.5. se observă o pierdere mai mare de material la oțelurile patinabile ce lucrează în mediul minier începând cu anul 5 de funcționare față de pierderea de material al oțelurilor ce lucrează în mediu urban.

Caracteristicile mecanice și tehnologice ale acestor oțeluri sunt similare cu cele ale oțelurilor pentru construcții cu destinație generală echivalente din punct de vedere al claselor de rezistență mecanică și de comportare la sudare. Datorită alierii, ele au conținut în carbon echivalent mai mare decât oțelurile cu destinație generală, motiv pentru care sunt mai sensibile la fisurare și deci necesită o temperatură mai ridicată de preîncălzire în vederea sudării în fabrici și pe șantiere a componentelor utilajelor miniere.

Totodată prezența elementelor de aliere impune utilizarea fluxurilor cu caracter bazic în cazul sudării automate și a electrozilor cu înveliș bazic la sudarea manuală. În vederea asigurării autoprotecției îmbinărilor sudate împotriva coroziunii atmosferice la nivelul metalului de bază, în țara noastră s-a elaborat electrodul „Corten” slab aliat cu Cr, Cu, Ni și care are un conținut mai scăzut în carbon comparativ cu electrozi obișnuiți din aceeași clasă de rezistență tocmai cu scopul evitării fenomenelor de fisurare.

3.1.3 Oțeluri cu granulație fină:

Aceste oțeluri se caracterizează printr-un conținut scăzut în carbon și sunt aliate cu elemente care favorizează creșterea caracteristicilor de rezistență mecanică fără o dimensionare puternică a celor de ductibilitate și tenacitate. Ele fac parte din grupa oțelurilor cu grăunte foarte fin, deoarece prezintă în compoziția chimică mici cantități de Al, V, Ti, Nb care formează nituri, carburi, oxizi, carbonituri ce se depun sub formă de pelicule disperse pe limitele de grăunți și în masa de bază (ferito -perlitică) (fig. 3.6.)

Granulația are punctaje cuprinse între 8 și 10 conform SR ISO 643-93.

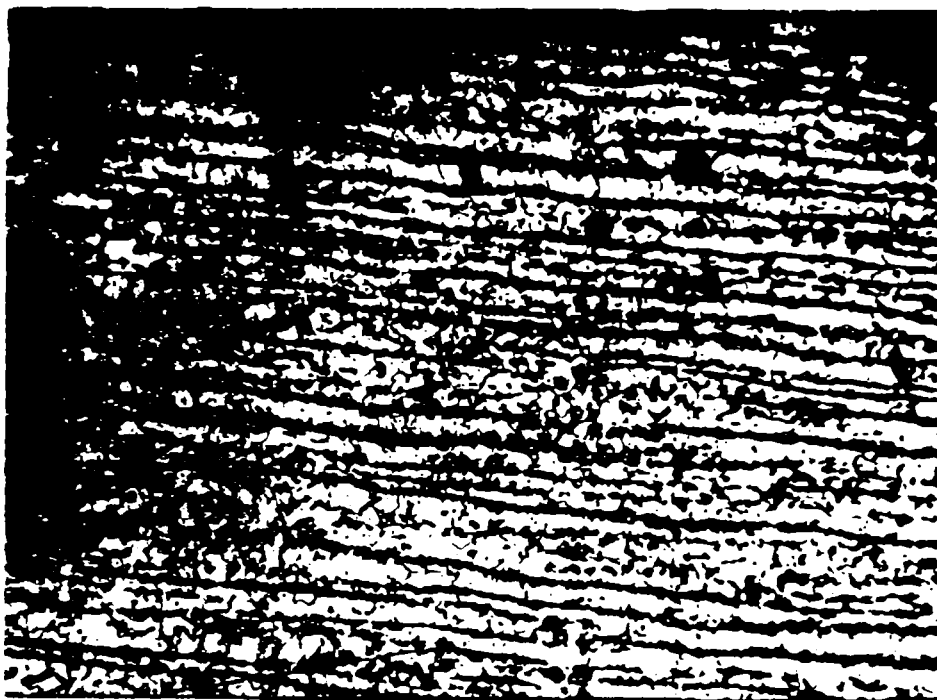


Fig. 3.6. Oțel OCS 55
(Atac Nital 2%,100x)

În tabelul 3.7. se arată compoziția chimică a principalelor oțeluri cu granulație fină folosite în construcția unor componente ale utilajelor miniere (de suprafață , în subteran)

Tabelul 3.7.

Marca de oțel	Compoziția chimică în procente									
	C _{max}	Mn	Si _{max}	P _{max}	S _{max}	V	Ni _{max}	Al _{min}	Nb _{min}	Ti _{min}
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
OCS 44	0,22	0,75... 1,15	0,50	0,045	0,054	min. 0,050	0,30	0,015	0,02	-
OCS 52	0,20	1,05... 1,65	0,50	0,035	0,035	min. 0,050	0,70	0,015	0,02	-
OCS 55	0,22	1,05... 1,70	0,40	0,030	0,030	min. 0,050	0,70	0,020	0,02	0,005
OCS 58	0,21	1,05... 1,70	0,50	0,040	0,040	max. 0,18	0,80	-	-	-

Domeniile de utilizare și formele de livrare ale oțelurilor cu granulație fină sunt înserate în tabelul 3.8.

Tabelul 3.8.

Marca de oțel	Domeniul de utilizare	Forme de livrare
0	1	2
OCS 44	Elemente portante pentru construcții sudate sau îmbinate prin alte procedee, supus la solicitări mecanice relativ ridicate și care trebuie să prezinte o rezistență mare la rupere fragilă.	produse plate, laminate la cald semifabricate pentru forjare
OCS 52	Elemente portante pentru construcții sudate sau îmbinate prin alte procedee, puternic solicitate și rezistență mare la rupere fragilă.	produse plate, laminate la cald semifabricate pentru forjare
OCS 55	Elemente portante pentru construcții sudate puternic solicitate și cu rezistență mare la sudate puternic solicitate și cu rezistență mare la rupere fragilă (căi de rulare, la macarale grele, poduri rulante, stâlpi de susținere galerii metalice, tiranți pt. excavatoare ,etc.)	produse plate, laminate la cald semifabricate pentru forjare • produse tubulare

continuarea tabelului 3.8.

0	1	2
OCS 58	Elemente portante pentru construcții metalice sudate puternic solicitate și cu rezistență mare la rupere fragilă (structuri portante pentru mașini de ridicat, de haldat, șasiu, vagonete, căi de rulare în subteran etc.)	produse plate, laminare la cald semifabricate pentru forjare produse tubulare

Caracteristicile mecanice și tehnologice ale oțelurilor cu granulație fină analizate sunt trecute în tabelul 3.9, iar caracteristicile de tenacitate pentru diferite temperaturi de încercare sunt prezentate în tabelul 3.10

Tabelul 3.9.

Marca de oțel	Rp _{0,2 min} (N/mm ²)			R _m (N/mm ²)	A _{min} (%)	Diametrul dornului pentru îndoire la rece [mm]	
	Grosimea tablei s [mm]						
	S≤16	16<S≤40	S>40	S≤100	8<S<25	S≤16	S>16
0	1	2	3	4	5	6	7
OCS 44	285	255	215	430...540	23	2,0.s	2,5.s
OCS 52	355	334	315	540...610	20	2,5.s	3.s
OCS 55	420	410	365	540...680	19	3.s	3,5.s
OCS 58	460	450	400	570...730	19	-	-

Tabelul 3.10.

Marca de oțel	Clasa de calitate	Energia de rupere minimă, KV [J] la temperatura de :					Reziliența minimă KCV ₂ la +20°C [J/cm ²]	
		0°C	-20°C	-30°C	-40°C	-50°C	Stare de livrare	Stare îmbătrânire
0	1	2	3	4	5	6	7	8
OCS44	5	40	35	28	-	-	60	35
	6	48	40	35	28	-	60	35
OCS52	5	40	35	28	-	-	60	35
	6	48	40	35	28	-	60	35
	7	55	48	40	35	28	60	35
OCS55 și OCS58	3	28	-	-	-	-	70	40
	4	35	28	-	-	-	70	40
	5	40	35	28	-	-	70	40

Duritatea oțelurilor au valoarea cuprinsă între :

- la oțelul OCS44 143 - 160 HB
- la oțelul OCS 52 162 - 190 HB
- la oțelul OCS 55 162 - 199 HB
- la oțelul OCS 58 171 - 219 HB

Valorile de duritate sunt pentru starea de livrare .

O problemă dificilă care apare la sudarea acestor oțeluri este asigurarea unei tenacități ridicate la temperaturi scăzute în sudură și în zonele influențate termic de ciclurile de sudare ;deoarece aceste oțeluri sudate trebuie să asigure o rezistență bună la coroziune pe lungi perioade de timp .La sudare se folosesc materiale de adaos care conțin elemente de aliere ca nichel sau molibden ce coboară punctul de fragilitate la rece. După sudare ,îmbinările sudate se vor supune de regulă unui tratament termic de detensionare (local sau general) executat la o temperatură cuprinsă între 560...620 °C cu o durată de minim 30 minute cu răcirii lente. Atât aceste oțeluri cât și îmbinările sudate ale acestora sunt sensibile fenomenului de fragilizare la coroziune fisurantă sub tensiune, fapt ce impune aplicarea după sudare a unor tratamente termice post sudare.

3.2 Materialele de adaos pentru constructii sudate la U.G.M.

Alegerea materialului de adaos are în vedere asigurarea în îmbinarea sudată a unor caracteristici mecanice de rezistență cel puțin egale cu cele ale materialului de bază și o omogenitate chimică acceptată din punct de vedere compozițional. În tabelul 3.11. se înscriu criteriile generale care stau la baza alegerii corecte ale materialelor de adaos.

Tabel 3.11.

Etapa	Definirea criteriilor de alegere	Utilizare	Cerința
0	1	2	3
I	• domeniul de utilizare	construcții industriale, material	Pentru ce?
	• tipul sau grupa materialului de bază	rulant, recipientii,etc.	
II	• marca și caracteristicile materialului de baza	OL37;OCS 55; R 44 etc.	Pentru ce?
III	• particularitățile specifice ale îmbinărilor sudate	structuri din table cu grosimea peste 25 mm etc.	Ce fel de îmbinări?
IV	• condiții impuse în respectarea structurilor sudate	produsele ce lucrează la temperaturi scăzute, eforturi de oboseală ciclică alternantă	Ce se impune
V	• condiții în care se execută lucrarea	se sudează în timp de iarnă, în poziții, în condiții de șantier etc.	Unde?
VI	• nivelul de calificare al sudorilor și dotarea cu echipament de sudare	sudarea manuală cu transformatoare , sudarea automată și sudarea cu dispozitive de poziționare	Cum? Cu cine? Cu ce?
VII	• randament de depunere la sudare	electrozi de mare randament	Cu cât?

În afară de aceste criterii generale se are în vedere și compatibilitatea dintre metalul de bază (MB) și materialul de adaos (MA), prin care se înțelege proprietatea unui material de adaos ca un cuplu cu un anumit oțel (în anumite condiții de sudare) să realizeze o îmbinare sudată care să corespundă caracteristicilor tehnice cerute. Verificările trebuie să asigure:

- corelarea compozițiilor chimice dintre MA și MB
- corelarea caracteristicilor mecanice dintre MA și MB
- tendința de fisurare a MA pe un oțel de referință
- corespondența dintre caracteristicile structurale ale zonelor îmbinărilor sudate și materialelor de bază.

3.3. Defecte și metode de remaniere a lor la elementele portante

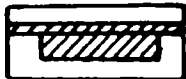
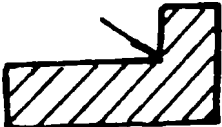
3.3.1 La materialele de bază (stare turnată și deformată plastic)

Prin defecte ale pieselor se înțeleg abaterile de la desen sau de la condițiile tehnice care caracterizează piesele respective. Defectele la materialele de bază pot fi consecințe ale unor cauze singulare fie a unor cauze multiple, complexe care acționează cumulativ, fiecare dintre acestea fiind la rândul lor funcție de un număr de variabile specifice. Defecte cu aspecte exterioare deosebite pot avea una sau mai multe cauze comune.

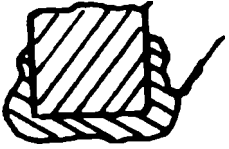




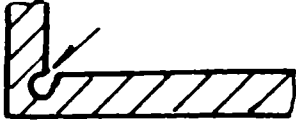

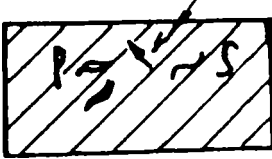

Pe plan mondial se utilizează tot mai des clasificarea defectelor bazată pe descrierea fizică a lor și nu pe cauzele acestora. Acest sistem permite identificarea defectului fie prin observarea directă a materialului cu defecte, fie printr-o descriere precisă a defectului folosind criteriul formei aspectului, localizării și dimensiunile acestora.

În tabelul 3.12. se prezintă clasificarea defectelor cu descrierea pe scurt a defectului.


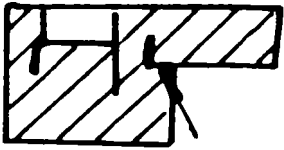
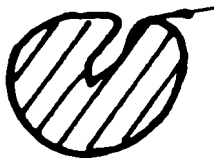

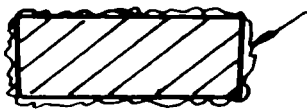
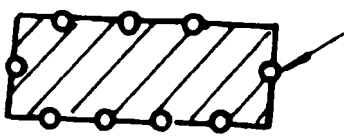
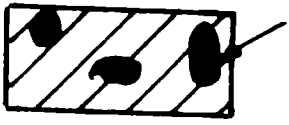
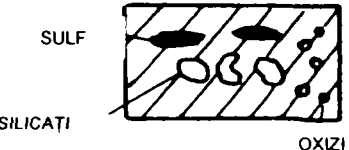
Tabelul 3.12.

Simbol	Denumirea defectului	Descrierea defectului	Prezentarea schematică a defectului
0	1	2	3
A1	Bavură groasă la planul de separație	Bavură groasă atașată de piesa turnată în planul de separație	
A2	Bavură de colț	Excrscent e s t e care împarte unghiul interior în două părți	

Continuarea tabelului 3.12.

0	1	2	3
B1	Umflătură interioară sau exterioră	Exces de metal pe suprafețe interioare sau exterioare ale materialului	
C1	Cruste de suprafață	Excrescențe metalice având forme de plăcuțe cu suprafețe rugoase	
D1	Creastă	Excrescență având forma de vână pe suprafața materialului	
E1	Sufluri	Goluri rotunjite cu dimensiuni variabile, izolate sau grupate, neregulate pe toate părțile materialului	
E2	Sufluri superficiale	Goluri de diferite dimensiuni, izolate sau grupate neregulat pe toate părțile materialului.	
E3	Sufluri de colț	Goluri de suprafață în unghiurile interioare ale materialului mergând adesea în profunzime.	
F1	Retacură exterioră	Gol în formă de pălnă, parțial acoperit cu dendrite.	
F2	Retasuri dispersate	Mici goluri înguste având forma de fisuri ce apar pe fețe sau de-a lungul muchilor în general numai după prelucrare.	
G1	Ruptură la rece	Aspect de ruptură normală uneori cu urme marginale de turtire.	

Continuarea tabelului 3.12.

0	1	2	3
G2	Ruptură la cald	Suprafață ruptă oxidată în întregime sau în jurul muchilor.	
G3	Crăpături la cald	Discontinuitate de formă neregulată, apărută la temperaturi ridicate în zone sensibile cu tensiuni, suprafața este oxidată	
G4	Crăpătură de tratament termic	Ruptură după solicitarea completă apărută în timpul tratamentului termic (suprafața este oxidată).	
G5	Crăpătura intercristalină	Rețea de fisuri pe toată secțiunea transversală.	
H1	Arsură	Oxizi aderenți după aplicarea unor cicluri termice.	
H2	Exfoliere	Exfoliere a straturilor paralele la suprafață după aplicarea unor cicluri termice.	
I1	Incluziuni de zgură sau fondanți	Incluziunile nemetalice a căror aspect arată că provin din zguri de topire	
I2	Incluziuni	Incluziuni de oxizi, de sulf, de silicați, de nitruri diferite și de dimensiuni diferite	

O problemă importantă care se pune este aceea de a lega existența obiectivă a defectelor prezentate în tabelul 3.3.1 de necesitatea depistării lor. Se poate discuta concret despre anumite defecte numai atunci când le identificăm, le cunoaștem poziția, numărul lor și dimensiunile. Din acest motiv se consideră util de a lega întotdeauna aprecierile cu privire la defecte de considerațiile cu privire la

metodele de control utilizate și severitatea efectuării acestora. Cu cât vor fi mai sensibile metodele de control, cu cât vor fi găsite mai multe defecte și se va micșora riscul ca anumite defecte importante să treacă neobservate.

La analizarea defectelor, țelul către care se tinde este de a corela mărimea și numărul defectelor cu rezistența mecanică admisă ($R_{p0,2}$, R_m) aleasă pentru construcția elementelor portante ale U.G.M.-urilor. Aceasta presupune un volum mare de cercetare în scopul comportării în exploatare a U.G.M.-urilor.

Nu orice defect trebuie privit ca ceva inadmisibil. Gradul de acceptare este un compromis economic între cerințele de calitate și productivitatea muncii. Astfel în cazul unor defecte, pe lângă considerentul tehnic, considerentul economic vor dicta dacă la depistarea defectelor acestora vor fi remediate sau nu.

3.3.2 La îmbinări sudate se întâlnesc o serie de defecte cauzate atât de nerespectarea tehnologiilor de sudare cât și din cauze privind modul de răcire a materialului topit. Principalele defecte ale îmbinărilor sudate sunt:

a.) *Fisuri și microfisuri* ce reprezintă discontinuități bidimensionale apărute după răcire sub acțiunea tensiunilor termice sau sub acțiunea unor ansamble de eforturi, sau în timpul exploatării funcționale. Tipurile lor sunt ilustrate în figura 3.7.

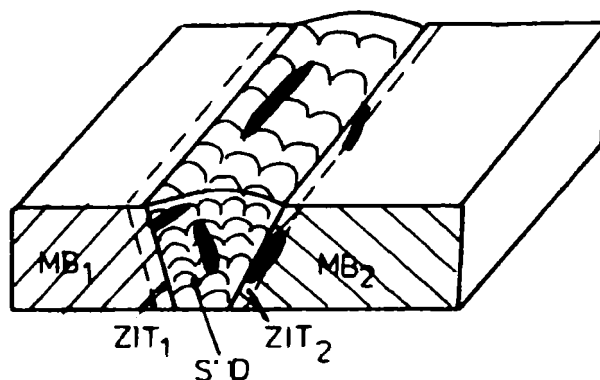


Figura 3.7. Tipuri de fisuri

b.) *Golurile sau porii* sunt mici discontinuități circulare localizate în sudură; se datoresc interacțiunii dintre lichid -metal din zona sudată prin reținerea inițială a bulelor de aer sau gaz și eliberarea lor la răcire rapidă. Golurile izolate nu afectează caracteristicile mecanice ale îmbinării sudate, dar odată cu creșterea mărimii lor se micșorează sensibil rezistența la oboseală dar nu sub limita impusă . Aspectul lor este prezentat în figura 3.8.

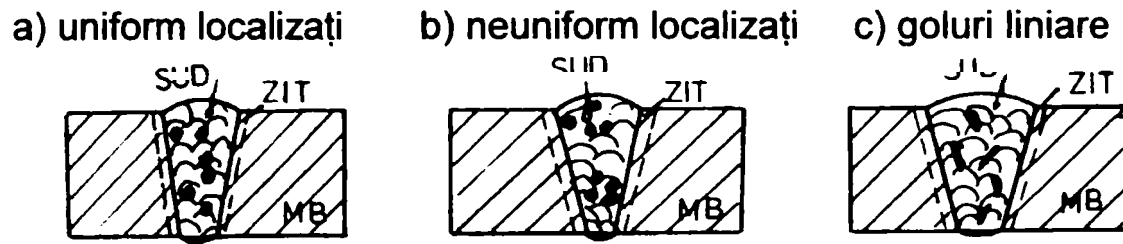


Fig. 3.8. Tipuri de goluri

c) *Incluziunile solide* sunt particule solide nedizolvate în sudura cu compoziția chimică diferită de a metalului lichid al sudurii (figura 3.9.)

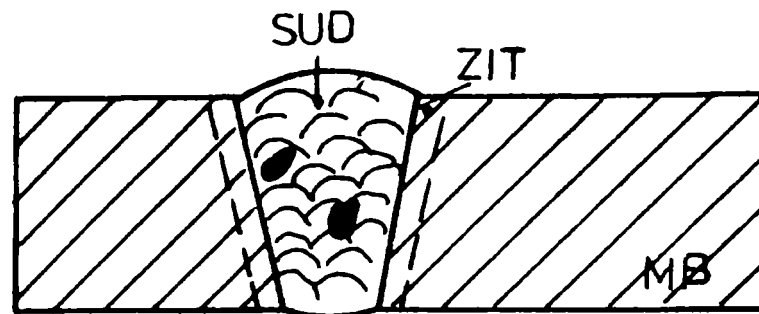


Figura 3.9. Incluziuni solide

Apariția incluziunilor solide este determinată de calitatea metalului de adaos folosit (electrod sau sârmă de sudare). Incluziunile solide de mari dimensiuni reduc rezistența la rupere a îmbinărilor sudate devenind concentratori puternici de tensiune.

d.) *Lipsa de pătrundere* apare la suduri ca un spațiu neumplut cu sudură (figura 3.10.).

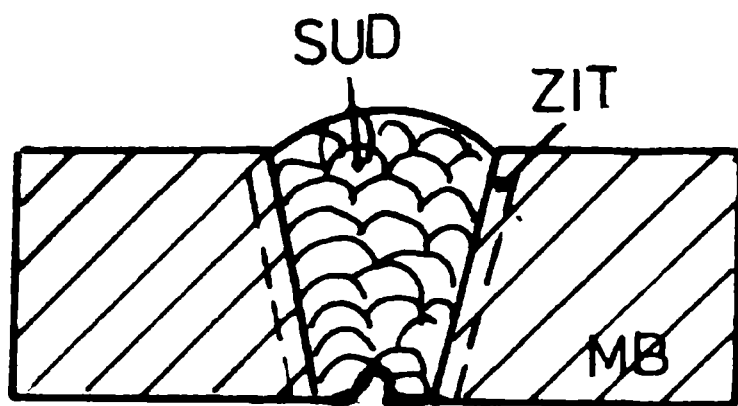


Figura 3.10. Lipsa de pătrundere

Existența acestui defect reduce secțiunea de rezistență a îmbinării sudate, valoarea reducerii depinde de mărimea acestui defect.

e.) *Lipsa de topire* apare ca un loc liber între metalul topit (sudura) și materialul de bază (figura 3.11.).

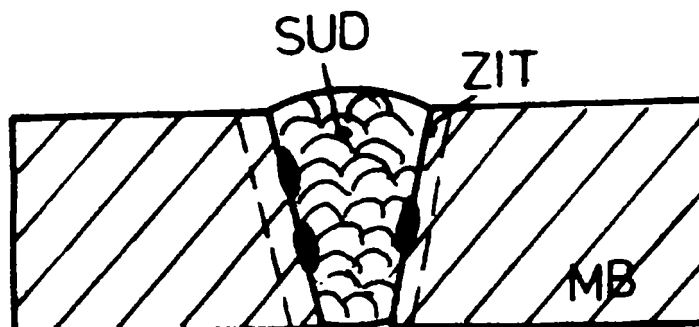


Figura 3.11. Lipsa de topire

Acest defect se detectează cu dificultate, dar în anumite secțiuni studiate cu control ultrasonic sau cu raze X, prin metoda metalografică în secțiune transversală se poate pune în evidență.

f.) *Structurile aciculare* (tip Widmanstätten) nedorite apar ca urmare a ciclurilor termice de la sudare aplicate și a răcirii rapide permițând transformarea austenitei în ferită cu dezvoltarea formei aciculare (figura 3.12.)



Figura 3.12. Structura Widdmanstätten (Atac Nital 2%, 500X)

Apariția acestor structuri în sudură și în ZIT conduce la fragilizări locale în zonele în care ele se dezvoltă accentuat.

În figurile 3.13. ...3.17. se prezintă o serie de defecte determinate prin analize metalografice

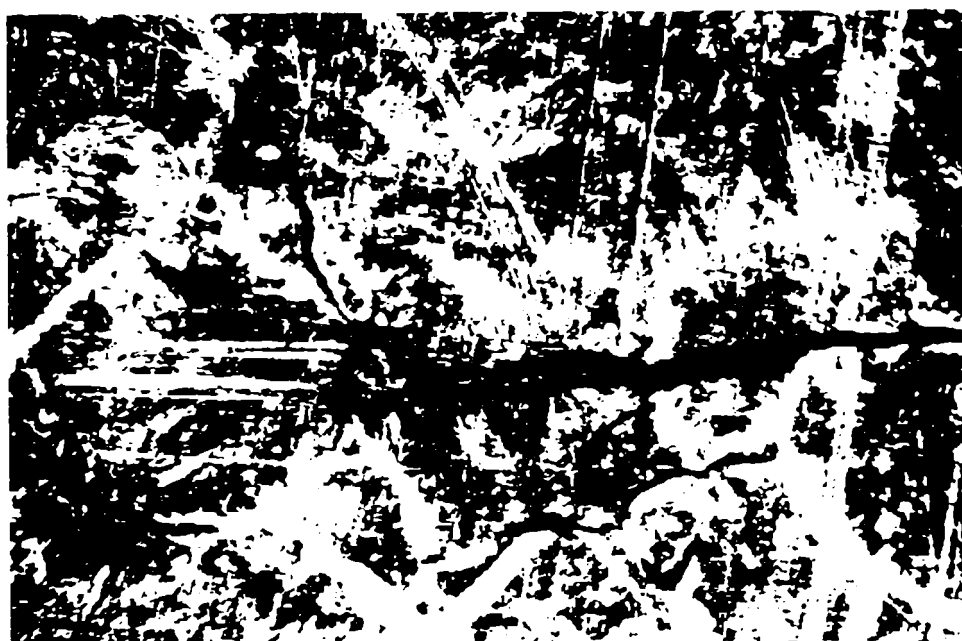


Fig. 3.13. Fisuri în sudura și în ZIT [100:1]

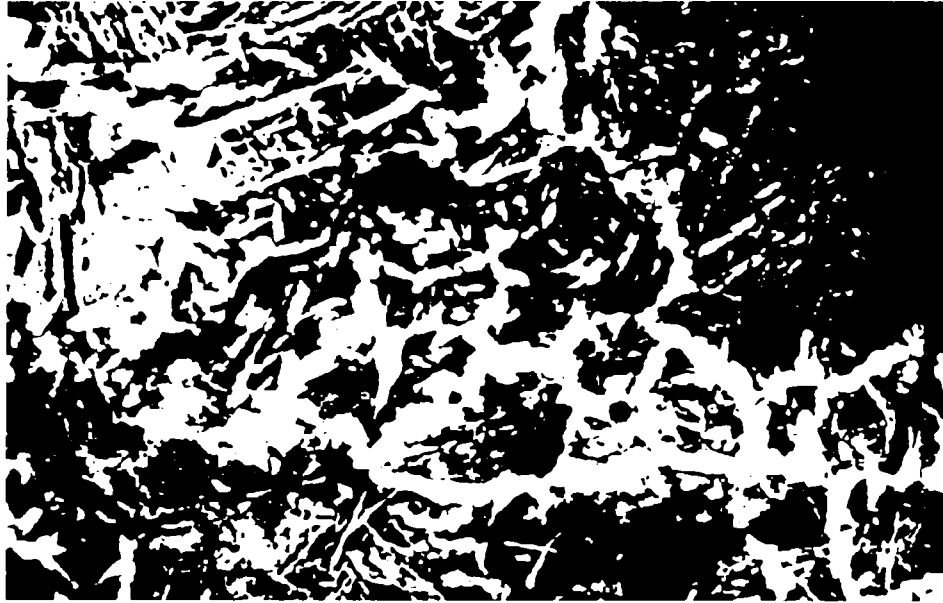


Fig. 3.14. Fisuri și lipsă de pătrundere [100:1]



Fig.3.15. Fisuri în ZIT [500:1]

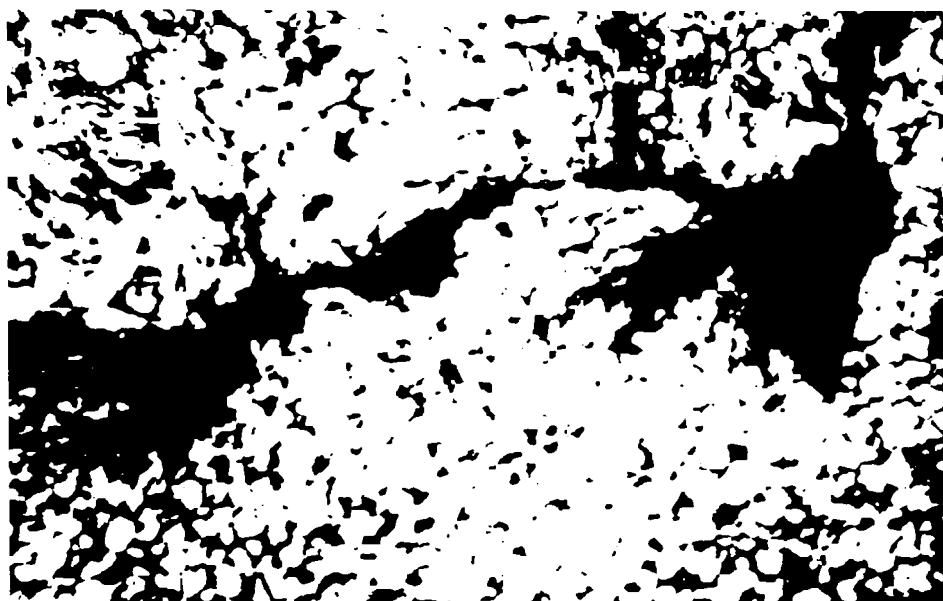


Fig. 3.16. Fisură în sudură [100:1]



Fig.3.17. Incluziuni solide și goluri fine și fisuri [100:1]

3.3.3 Remedierea defectelor materialelor elementelor portante.

Multitudinea factorilor care determină apariția defectelor materiale (turnate, laminate, forjate, sudate) cât și marea varietate a acestora, a condus la necesitatea organizării atente a operațiilor de remanieră a defectelor în atelierul special amenajat și legat organic de întregul ansamblu al procesului de fabricație. Din punct de vedere al metodelor de remanieră, cât și a defectelor remediabile se poate face o împărțire în 4 grupe (tabelul 3.13.).

Tabelul 3.13.

Grupe	Denumirea defectelor	Metode de remanieră
0	1	2
I	defecte de suprafață	vopsire, metalizare, sudare
II	defecte de neetanșeitățe	ștemuire, impregnare, sudare
III	defecte importante	sudare, încărcare, metalizare
IV	defecte de structură	tratament termic de corectare

Din tabelul 3.13. se observă că principala metodă de remanieră a celor mai multe defecte ale pieselor elementelor portante este sudarea. Reușita remanierii prin sudură este condiționată în primul rând de pregătirea zonei ce urmează a fi reparată, pregătire care consta în curățirea de produse auxiliare (nisip,zgură,etc.) prin procedee manuale (cu dalta) sau mecanice (cu polizorul) până când metalul rămâne curat și sănătos.

În tabelul 3.14.se indică orientativ condițiile de remaniere prin sudare a principalelor oțeluri folosite în construcția elementelor portante.

Tabelul 3.14.

Calitatea oțelului	Sudabilitate	Temperatura de preîncălzire °C	Temperatura tratamentului termic post sudare °C	Observații
0	1	2	3	4
<ul style="list-style-type: none"> • oțel nealiat cu <math><0,3\%C</math> și <math>0,5\%Mn</math> • oțel aliat cu <math>0,15\%C</math> 	Bună	-	-	Oțelurile cu grosimi mai mari de 50 mm se preîncălzesc la cca. $100^{\circ}C$ (grupa I de preîncălzire)
• oțel nealiat cu $0,3..0,5\%C$	Mijlocie	150...200	600...620	Nu se acceptă fisuri
<ul style="list-style-type: none"> • oțel nealiat cu <math>0,5\%C</math> • oțel aliat cu <math>0,2\%C</math> și suma elementelor de aliere sub 3% 	Slabă	350...420	600...650	Nu se acceptă fisuri
• oțel aliat austenitic cu $12...14\%Mn$	Slabă	-	-	Electrozii conțin : $4...4,5\%Ni$, $11...13\%Mn$ și $0,6...1,0\%C$

* aprecieri ale autorului

3.4 Studiul fragilizării structurale a materialelor din componența roții cu cupe

În procesul de fabricație roata cu cupe a excavatorului ERC 1400 este căptușită cu plăci metalice placate cu aliaje dure care asigură cupei o rezistență la uzură sporită. Fixarea plăcilor metalice se realizează prin șuruburi ce străbat grosimea roții cu cupe, a căror găuri se fac cu șabloane ce se plasează în zonele stabilite. Accidental aceste șabloane s-au fixat cu șuruburi de prindere (hefturi), pe suprafața roții după înlăturarea șabloanelor (polizarea sudurilor de prindere) s-au menținut un număr de aproximativ 3600 ore influențate de ciclurile termice de sudare.

Prezența acestor zone numeroase conduc la apariția fenomenelor de fragilizare structurală; am considerat necesar să cercetez aceste fenomene pentru a vedea dacă influența acestor fenomene nu pune în pericol construcția în timpul exploatării.

Roata cu cupe este formată din mai multe segmente circulare care se sudează Din două segmente cu suduri de prindere s-au prelevat probe și epruvete pentru efectuarea analizelor structurale, compoziționale și pentru încercări mecanice.

3.4.1. Analiza compoziției chimice a materialului celor două segmente este prezentată în tabelul 3.15.

Tabelul 3.15.

Marcajul probei	Compoziția chimică în procente							
	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo
0	1	2	3	4	5	6	7	8
Segment 1	0,197	1,230	0,240	0,032	0,013	0,023	0,200	0,010
Segment 2	0,176	1,310	0,200	0,026	0,010	0,014	0,190	0,010
OL 52 4.k STAS 500/2- 80	max. 0,220	max. 1,650	max. 0,500	max. 0,055	max. 0,055	max. 0,300	max. 0,300	-

Oțelul segmentelor 1 și 2 se încadrează compozițional în clasa oțelurilor nealiate marca OL52.4.k STAS 500/2-80.

3.4.2. Analiza metalografică a zonelor caracteristice sudurilor de prindere a relevat aspectele:

3.4.2.1. Analiza macroscopică:

Analiza macroscopică pune în evidență configurația sudurilor de prindere în care nu s-au observat defecte de sudare (Fig.3.18. ... 3.21.)



Fig.3.18. Macrostructură segment 1 (M I)



Fig. 3.19. Macrostructură segment 1 (M1)



Fig. 3.20 Macrostructură segment 2 (M2)



Fig. 3.21. Macrostructură segment 2 (M2.2)

Proba MI a fost supusă întinderii la 90° , în sudura de prindere nu s-au observat fisuri.

Probele M1, M2 și M2.2 s-au prelevat din zona calibrată a epruvetelor de tracțiune plată la care ruperea s-a produs în metodele de bază la valori ale lui R_m cuprinse între 520 și 540 M Pa ; în sudurile de prindere analizate nu s-au observat fisuri.

3.4.2.2 Analiza microscopică și încercările de duritate .

Analiza microscopică pune în evidență structurile :

- la oțelul segmentului 1 (proba MI)
- în metalul de bază (MB) structuri ferito - perlitice în șiruri de granulație 7-8 conform SR. ISO 643-93 (Fig.3.22.) cu duritate cuprinsă între 183 și 192 HV5

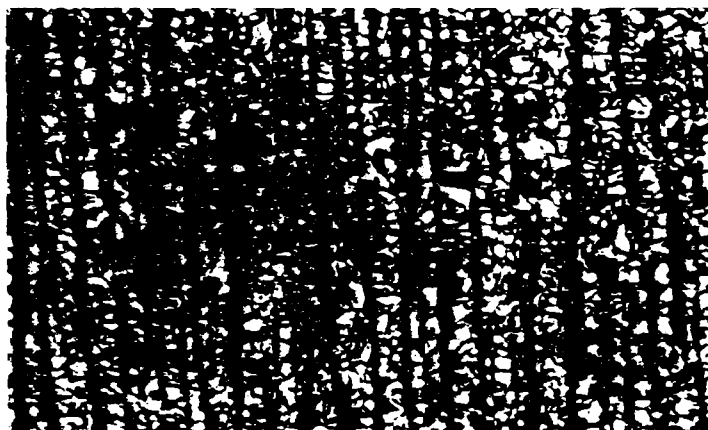


Fig.3.22. Proba MI, MB [Atac Nital 2%, 100:1]

- în zona influențată termic (ZIT) structuri dure bainito - martensitice fără microfisuri (Fig. 3.23.) a căror duritate nu depășește valoarea de 435 HV5.



Fig.3.23. Proba MI , ZIT [Atac Nital 2% , 100:1]

- în sudură (SUD) structuri bainito - perlitice cu ferită cu duritatea cuprinsă între 336 și 349 HV5 (Fig. 3.24.) ; nu s-au observat microfisuri .



Fig 3.24. Proba MI SUD [Atac Nital 2% , 100:1]

- la oțelul segmentului 2 (proba M2).
- în MB o structură normală ferito-perlitică cu granulație punctaj ~ 7 (SR ISO 643 - 93) (Fig 3.25.) cu duritatea maximă de 219 HV5.

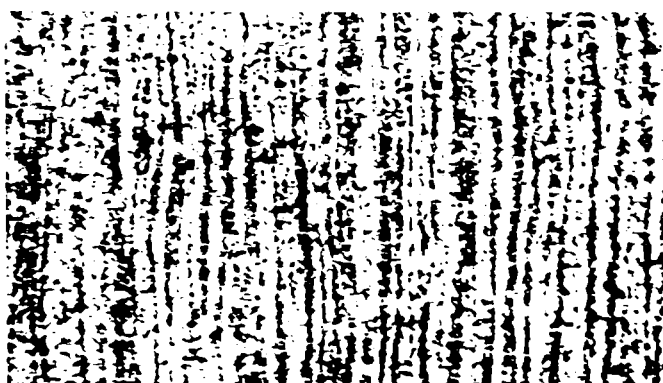


Fig. 3.25. Proba M2 ,MB [Atac Nital 2%, 100X]

- în ZIT structuri dure de tip martensito - bainitic cu duritatea cuprinsă între 386 și 407 HV5 (Fig. 3.26.) ;nu s-au observat microfisuri.

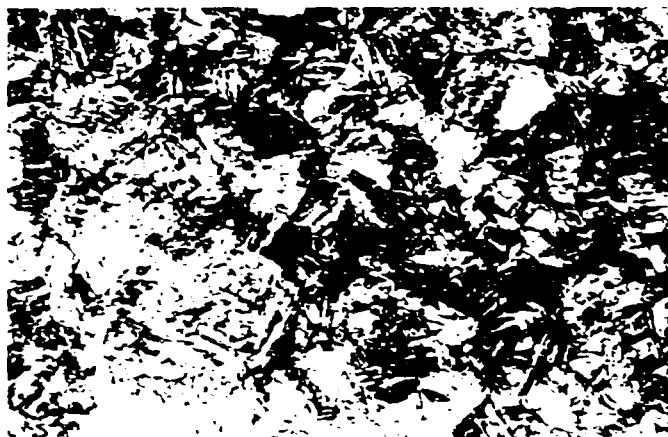


Fig.3.26. Proba M2 , ZIT [Atac Nital 2%,100:1]

- în SUD structuri bainitice cu perlită și ferită fără microfisuri (Fig. 3.27.) cu duritatea maximă de 376 HV5.

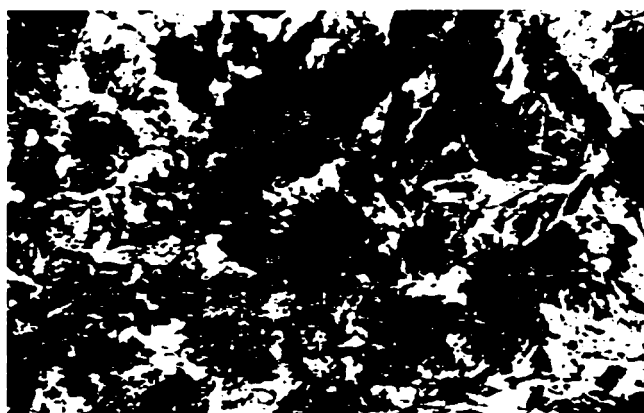


Fig.3.27. Proba M2,SUD [Atac ,Nital 2%,100:1]

Prezența în ZIT și SUD a structurilor dure martensito - bainitice duce la apariția în aceste zone a fenomenelor de fragilizare structurală ,drept pentru care se impune aplicarea unor tratamente termice post - sudare a căror influențe benefice asupra structurii nu trebuie să ducă la scăderea drastică a caracteristicilor mecanice a oțelurilor segmentelor analizate. În această situație din experiența proprie am propus analizarea a trei variante de tratament termic de detensionare și anume :

- *varianta TT1* : încălzire la $580^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$, menținute la această temperatură 3 ore și răcire lentă în cuptor ;vitezele de încălzire și răcire nu depășesc $50^{\circ}\text{C}/\text{h}$.
- *varianta TT2* :, încălzire cu $50^{\circ}\text{C}/\text{h}$ la $580^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$,menținere 5 ore și răcire în cuptor cu max. $50^{\circ}\text{C}/\text{h}$.
- *varianta TT3* : încălzire cu max. $50^{\circ}\text{C}/\text{h}$ la $580^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$, menținere 8 ore și răcire lentă în cuptor cu $50^{\circ}\text{C}/\text{h}$.

Analiza microscopică și încercările de duritate HV5 efectuate pe probele cu suduri de prindere au relevat structurile :

- În varianta TT1

- la metalele de bază structuri normale *ferito - perlitice* de punctaj ~7 conform SR ISO 643 - 93 (Fig.3.28.a și b) cu duritatea maximă de 216 HV5 , nu s-au observat microfisuri.



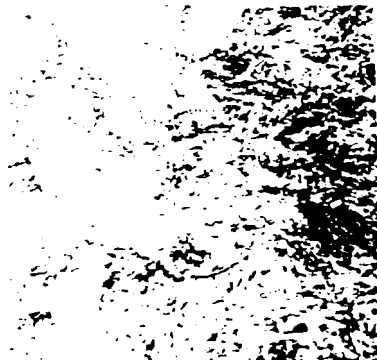
a.) Segment 1



b.) Segment 2

Fig.3.28. Microstructuri MB - TT1[Atac Nital 2%, 100: 1]

- în ZIT structuri *perlito - ferite* cu zone de bainită superioară a căror duritate variază între 341 și 348 HV5 (Fig.3.29. a și b) ;nu au apărut microfisuri.



a.) Segment 1



b.) Segment 2

Fig.3.29. Microstructuri ZIT - TT1[Atac Nital 2%, 100: 1]

- în SUD, structuri perlitice cu ferită puțin aciculară, cu dendritele alungite pe direcția fluxului termic (Fig.3.30. a și b) nu s-au observat defecte de sudare.



a.) Segment 1



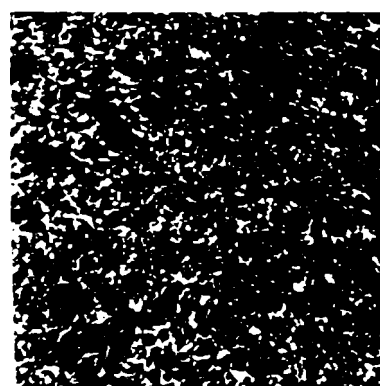
b.) Segment 2

Fig.3.30. Microstructuri SUD - TT1[Atac Nital 2%,100x]

- În varianta TT2 la oțelurile segmentelor 1 și 2
- în ZIT și SUD structuri perlitice cu ferită și zone restrânse cu bainită superioară (Fig. 3.31 a, b, c, d) a căror durități sunt cuprinse între :
- 277 și 289 HV5 la SUD
- 305 și 307 la ZIT



a.) Segment 1-ZIT



b.) Segment 2- ZIT



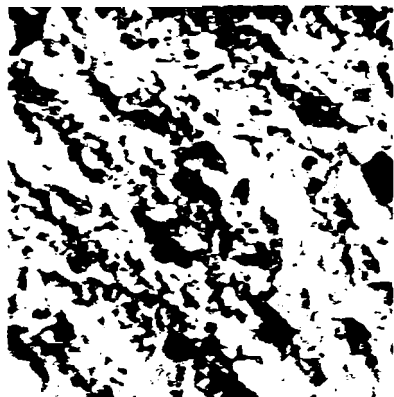
c.) Segment 1-SUD



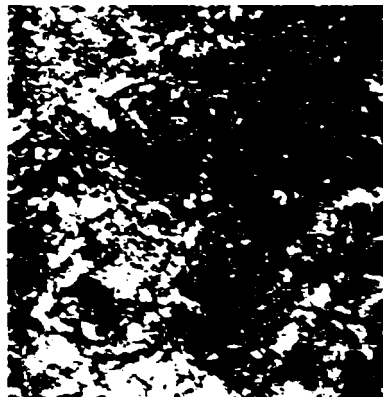
d.) Segment 2- SUD

Fig.3.31. Microstructuri în varianta TT2[Atac Nital 2%,100: 1]

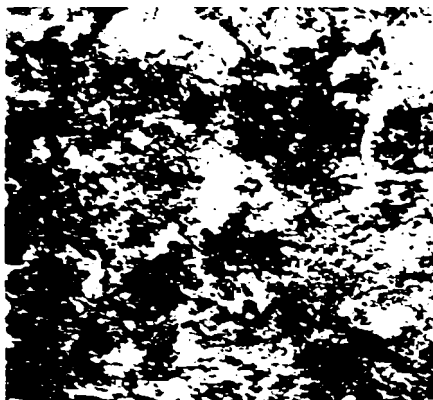
- În zonele caracteristice sudurilor de prindere supuse tratamentului termic de detensionare în varianta TT2 nu s-au observat microfisuri .
- În varianta TT3 la oțelurile segmentelor 1 și 2.
- În SUD și ZIT structuri perlito - feritice cu bainită superioară cvasiuniform răspândită
(fig. 3.32. a,b,c,d)



a.) Segment 1-SUD



b.) Segment 1- ZIT



c.) Segment 2-SUD



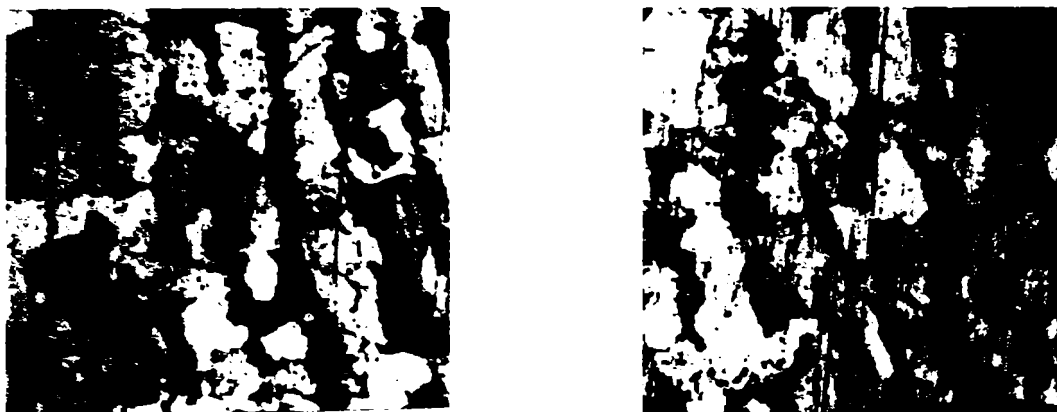
d.) Segment 2- ZIT

Fig.3.32. Microstructuri în varianta TT3 [Atac Nital 2%,100: 1]

Duritatea acestor structuri variază între :

- 252 și 271 la suduri
- 280 și 291 la zonele influențate termic

În variantele TT2 și TT3 structurile metalelor de bază sunt ferito - perlitice în șiruri de punctaj 7-8 conform SR ISO 643-93 (Fig. 3.33. a,b) a căror duritate maximă nu depășește valoarea de 210 HV5; aceste tipuri de structuri se întâlnesc atât la oțelul segmentului 1 cât și oțelul segmentului 2.



a.) Segment 1-TT2

b.) Segment 2- TT2

Fig.3.33. Microstructură MB [Atac Nital 2%,100: 1]

3.4.3 Încercările la tracțiune conform SREN 10002/95.

Încercările la tracțiune efectuate pe epruvete cilindrice la temperatura mediului ambiant conform STAS 6300 -81 pe o instalație ZD 10/90 clasa I de precizie relevă rezultatele înserate în tabelul 3.16.

Tabelul 3.16.

Marcajul probei	Tip segment	Caracteristicile mecanice				
		R_{eH} [Mpa]	R_m [Mpa]	A_5 [%]	Z [%]	R_{eH}/R_m
0	1	2	3	4	5	6
Varianta NT (netratată)						
1.1	1	395	570	27	68	0,692
1.2		392	573	26	69	0,684
1.3		397	580	26	70	0,684
Varianta TT1						
1.4	1	375	550	32	70	0,681
1.5		378	555	30	71	0,681
1.6		377	552	30	70	0,682
Varianta TT2						
1.7	1	360	543	31	73	0,662
1.8		359	541	31	71	0,663
1.9		351	537	31	69	0,653
Varianta TT3						
1.10	1	344	527	32	73	0,652
1.11		349	520	32	71	0,671
1.12		345	528	31	73	0,654
Varianta NT (netratată)						
2.1	2	383	560	26	67	0,683
2.2		390	570	26	68	0,684
2.3		398	583	25	67	0,674

Continuarea tabelului 3.16.

0	1	2	3	4	5	6
Varianta TT1						
2.4	2	372	545	30	69	0,682
2.5		370	543	31	72	0,681
2.6		372	540	30	71	0,688
Varianta TT2						
2.7	2	362	532	31	73	0,680
2.8		362	540	32	72	0,670
2.9		364	540	32	72	0,674
Varianta TT3						
2.10	2	341	518	33	74	0,658
2.11		342	520	32	74	0,657
2.12		348	522	33	73	0,666
Oțel OL52 STAS 500/2 - 80		min.340	510...630	min.21	-	min.0,492

Factorul de scădere a caracteristicilor mecanice de rezistență se determină cu relația :

$$FSCM = [(CM_{NT} - CM_{TT}) / CM_{NT}] \times 100 \quad [\%] \quad (3.2.)$$

în care :

CM_{NT} - este caracteristica mecanică maximă în varianta netratată

CM_{TT} - este caracteristica mecanică maximă în varianta de tratament termic post – sudare

Când factorul FSCM are valoare negativă se produce o creștere a caracteristicii ,iar când el are o valoare pozitivă se observă o scădere a caracteristicii. Valorile obținute pentru FSCM la oțelurile segmentilor 1 și 2 sunt date în tabelul 3.17 .

Tabelul 3.17.

Varianta de tratament	Factorul FSCM în procente			
	Segmentul 1		Segmentul 2	
	pentru $R_{p0,2}$	pentru R_m	pentru $R_{p0,2}$	pentru R_m
0	1	2	3	4
TT1	4,78	4,30	6,53	6,51
TT2	9,31	6,30	8,54	7,34
TT3	12,09	8,96	12,56	11,14

Analizând valorile caracteristicilor mecanice obținute (Tabelul 3.16.) și cele ale factorului FSCM (Tabelul 3.17.)se poate afirma :

- caracteristicile mecanice de rezistență (R_{eH} , R_m) atât la segmentul 1 cât și la segmentul 2 scad la aplicarea tratamentelor termice în variantele TT1,TT2,TT3 dar ele sunt încă superioare valorilor impuse de STAS 500/2-80 pentru oțelul OL52.
- toate variantele caracteristice de deformabilitate (A , Z) determinate la oțelurile segmentelor 1 și 2 în variantele TT1,TT2,TT3 sunt superioare celor impuse de STAS 500/2 - 80 pentru oțelul OL52.
- factorul FSCM prezintă valorile maxime atât la segmentul 1 cât și la segmentul 2 în varianta TT3 ;variația acestui factor funcție de timpul de menținere al tratamentelor termice post - sudare este arătată în Figurile 3.34. și 3.35 .

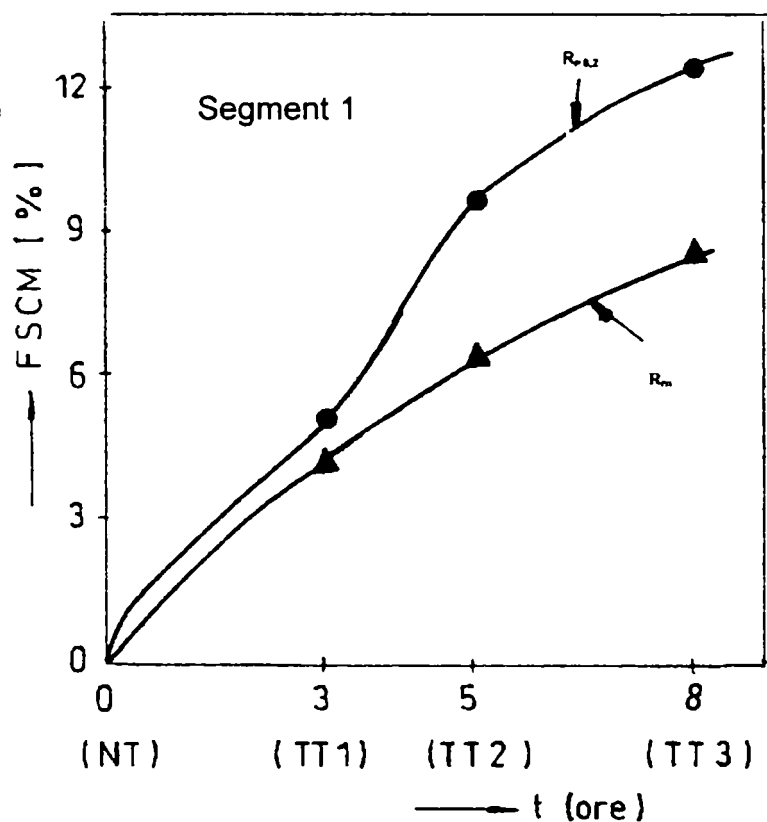


Fig. 3.34. Variația FSCM = f (t) la oțelul segmentului 1

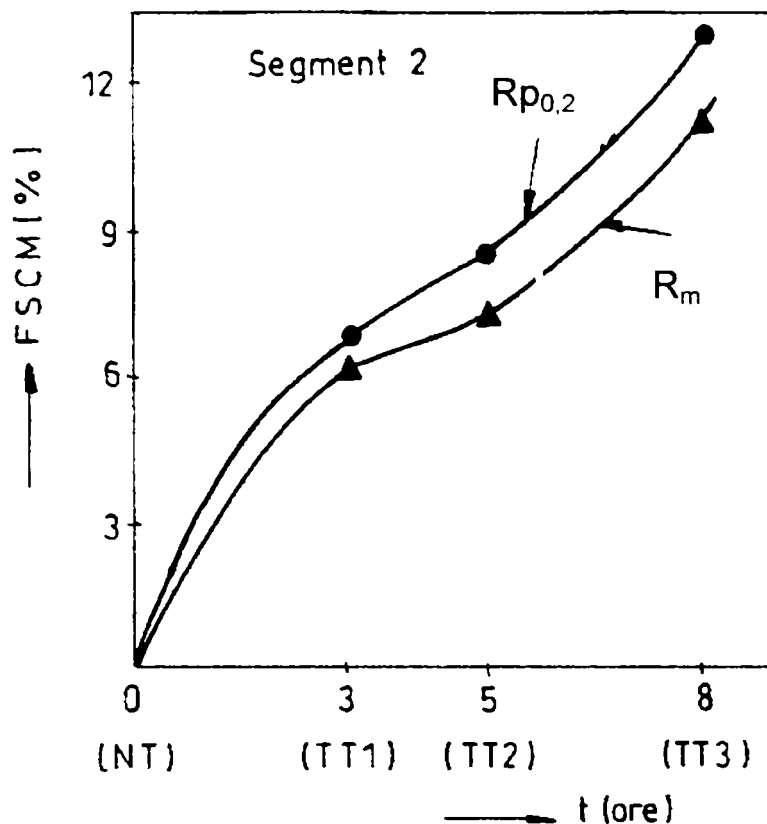


Fig. 3.35. Variația FSCM = f (t) la oțelul segmentului 2

Pe măsura creșterii timpului de menținere la temperatura de 580°C se produc scăderi ale caracteristicilor mecanice de rezistență (R_{eH} , R_m) cele mai mari fiind de 12,56% la oțelul segmentului 2 pentru limita de curgere superioară (R_{eH}) în varianta TT3.

3.4.4 Încercările la încovoiere prin șoc conform SR.EN 10045/1 - 93 și analizele microfotografice.

Încercările la încovoiere prin șoc s-au executat pe epruvete 10x10x55mm cu creștătură „V” pe un ciocan pendul Charpy clasa I de precizie rezultatele experimentale obținute sunt redate în tabelul 3.19 .

Tabelul 3.19.

Marcajul epruvetei	Varianta	Temperatura de încercare	Energia de rupere KV [J]	CR [%]	Marcajul epruvetei	Varianta	Temperatura de încercare	Energia de rupere KV [J]	CR [%]
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.1.1	NT	+20°C	100	34	2.1.1	NT	+20C	99	33
1.1.2			105	30	2.1.2			98	35
1.1.3			108	24	2.1.3			96	36
1.1.4		0°C	71	41	2.1.4		0°C	68	43
1.1.5			72	40	2.1.5			69	42
1.1.6			69	40	2.1.6			68	43
1.1.7		-20°C	35	58	2.1.7		-20°C	37	61
1.1.8			36	60	2.1.8			36	59
1.1.9			32	61	2.1.9			37	60
1.2.	TT1	+20°C	90	27	2.2.1	TT1	+20C	88	39
1.2.			88	32	2.2.2			87	38
1.2.			90	33	2.2.3			90	37
1.2.		0°C	61	44	2.2.4		0°C	57	47
1.2.			60	43	2.2.5			58	48
1.2.			60	42	2.2.6			52	43
1.2.7		-20°C	30	60	2.2.7		-20°C	29	61
1.2.8			29	59	2.2.8			29	60
1.2.9			30	60	2.2.9			32	57
1.3.1	TT2	+20°C	71	41	2.3.1	TT2	+20C	65	43
1.3.2			70	40	2.3.2			67	44
1.3.3			65	44	2.3.3			66	43
1.3.4		0°C	52	49	2.3.4		0°C	49	52
1.3.5			49	50	2.3.5			47	50
1.3.6			48	51	2.3.6			48	49
1.3.7		-20°C	29	70	2.3.7		-20°C	30	69
1.3.8			28	72	2.3.8			29	70
1.3.9			29	70	2.3.9			28	71
1.4.1	TT3	+20°C	58	43	2.4.1	TT3	+20C	50	40
1.4.2			57	42	2.4.2			50	41
1.4.3			55	41	2.4.3			52	40
1.4.4		0°C	40	57	2.4.4		0°C	39	56
1.4.5			42	56	2.4.5			37	60
1.4.6			40	55	2.4.6			38	56
1.4.7		-20°C	27	73	2.4.7		-20°C	27	73
1.4.8			28	71	2.4.8			28	73
1.4.9			27	72	2.4.9			28	72

Variația energiei minime de rupere KV funcție de temperaturile de încercare (T) la variantele analizate eate prezentată în figurile 3.25. și 3.26. .

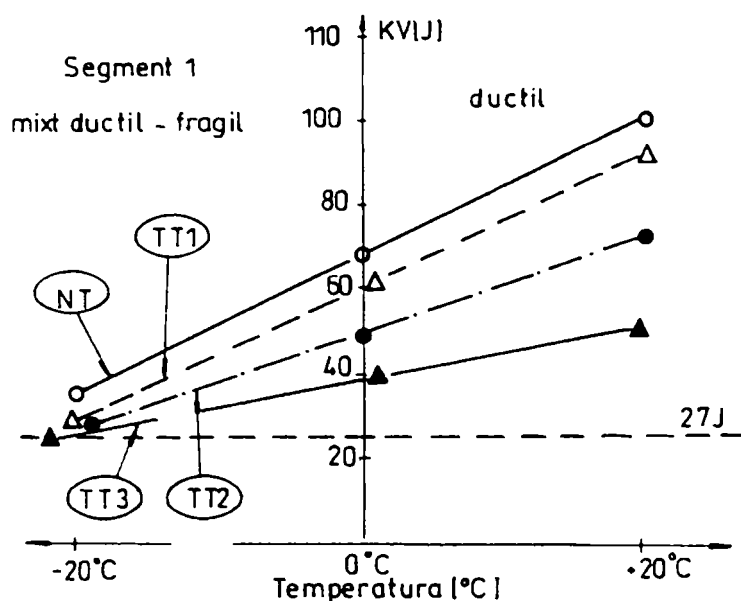


Fig.3.25 Variația KV = f (T) la valorile segmentului 1

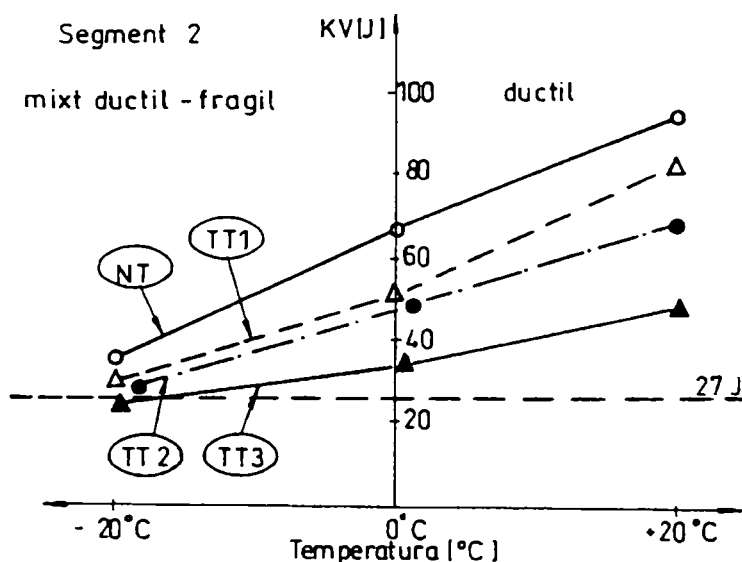


Fig.3.26. Variația KV = f (T) la valorile segmentului 2

La oțelurile segmentelor 1 și 2 valorile energiilor minime de rupere au tendința de scădere în stările NT → TT1 → TT2 → TT3 la toate temperaturile de încercare (0°C -20°C) dar nu sub valoarea de 27J impusă pentru oțelul de clasă OL52 , ruperile epruvetelor determinate prin analiza microfotografică fiind :

- ductile în domeniul 0°C +20°C (Figurile 3.27. , 3.28.)
- mixte ductil - fragil în domeniul 0°C -20°C (Figurile 3.29. , 3.30.)

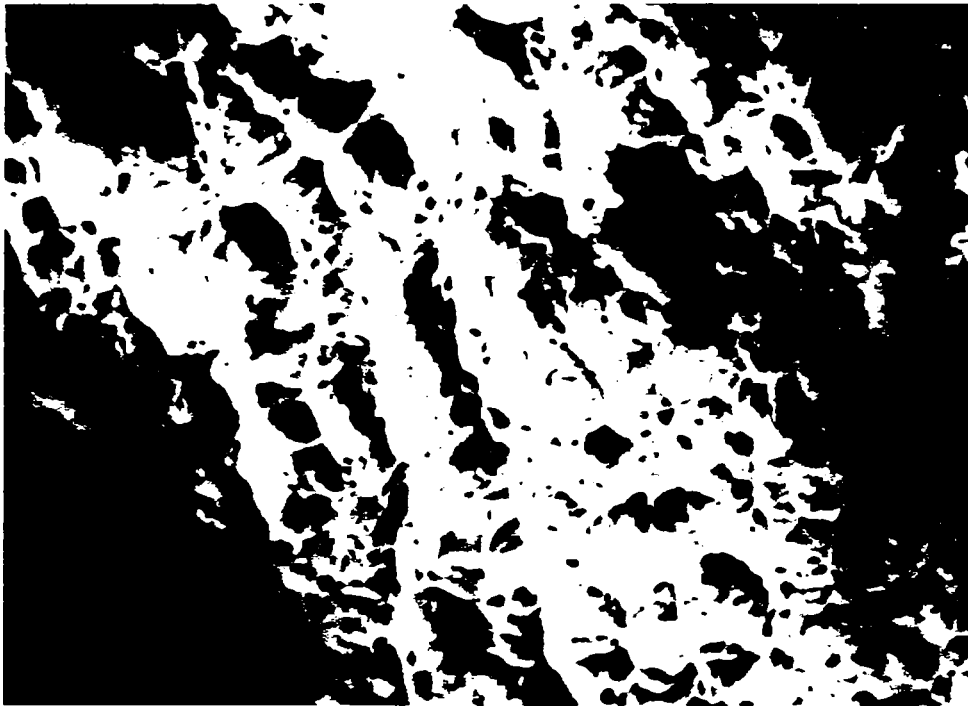


Fig.3.27. Epruveta 1.4.6 [5000x]

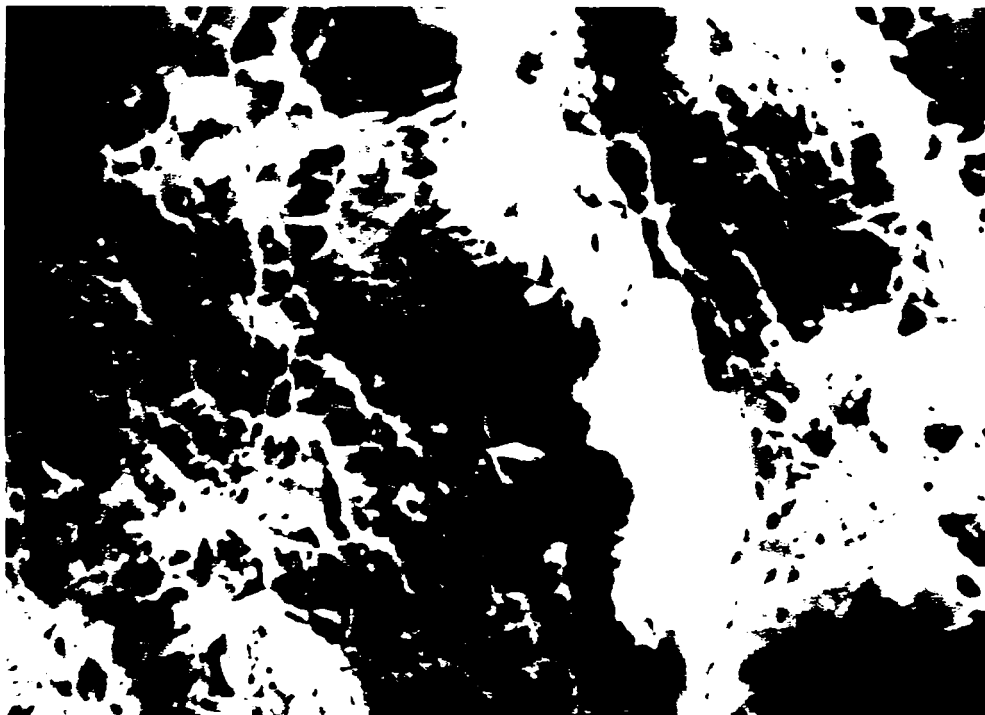


Fig.28. Epruveta 2.4.5 [5000x]

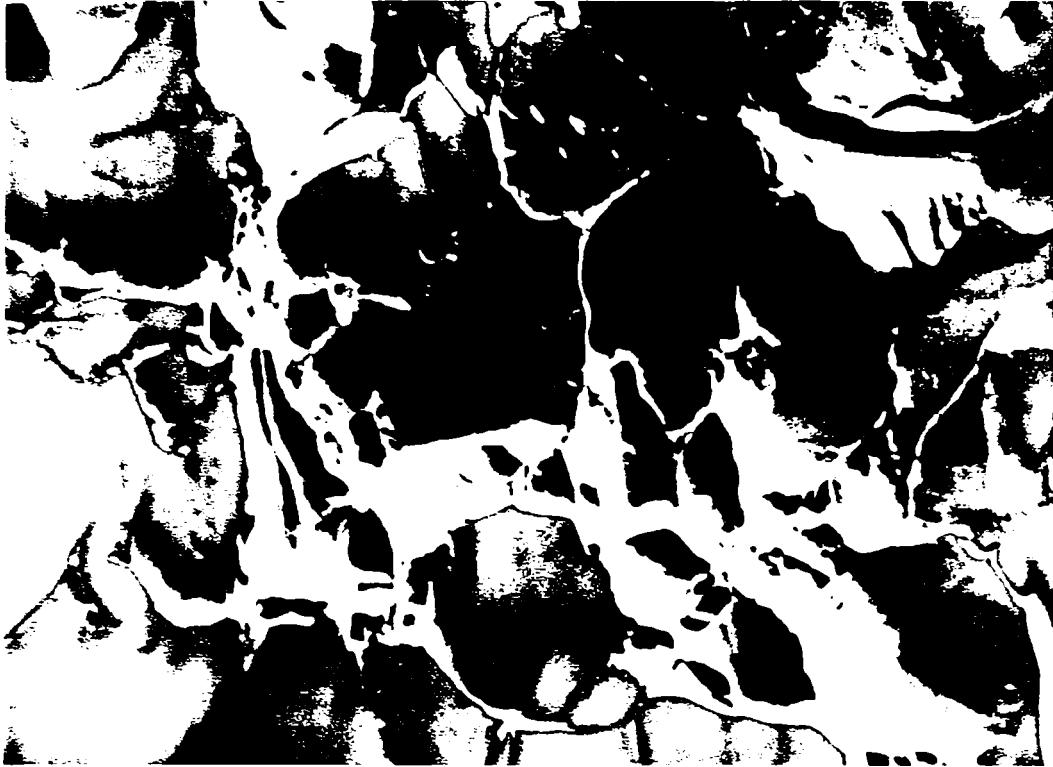


Fig.3.29. Epruveta 1.4.9 [10.000x]

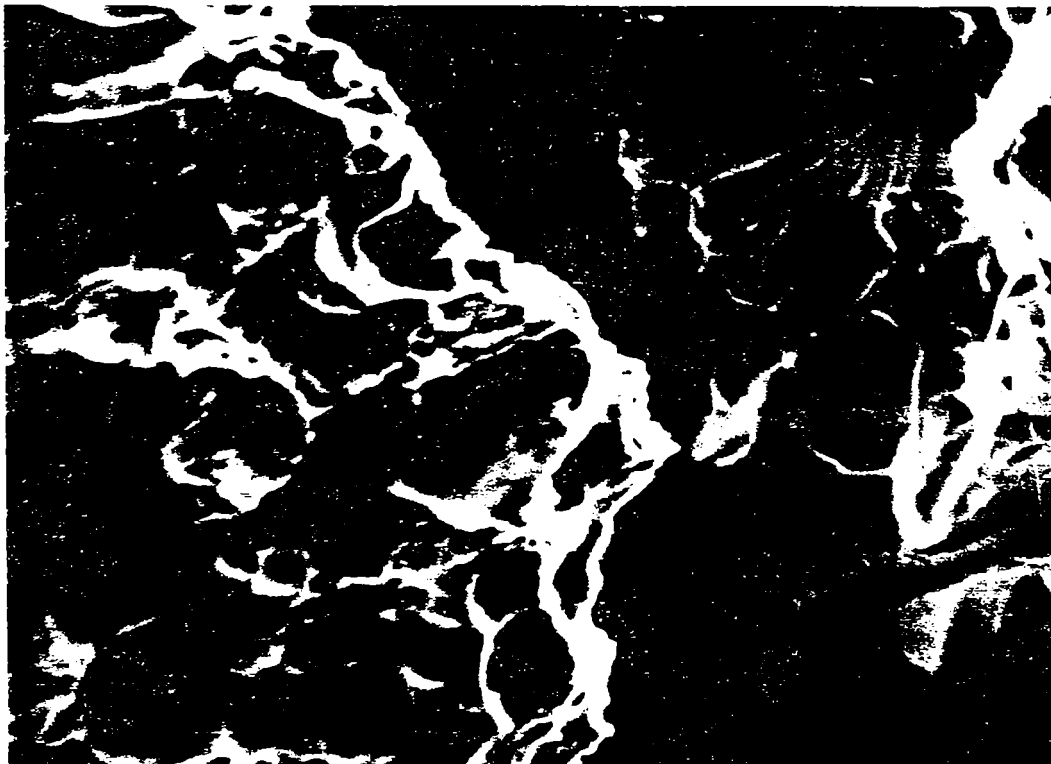


Fig.3.30. Epruveta 2.4.7 [10.000x]

3.5. CONCLUZII

- Criteriile de selecție a materialelor metalice din construcția unor utilaje grele stau la baza alegerii judicioase a unor materiale (oțeluri în special) care să asigure în stare normală și sudată caracteristicile structurale și mecanice impuse.
- Defectele analizate (la materialele de bază și la îmbinările sudate) permit stabilirea clasificării pe baza descrierii fizice ale lor , lucru ce atestă atât prezența lor prin observarea directă cât și prin descrierea precisă folosind criteriile formei, aspectului, localizării și dimensiunile acestora.
- Oțelurile cuprinse în norma DIN 1624 sunt de tipul C - Mn , se simbolizează cu St0 ...St4 , fiind obținute prin laminare la rece. Ele se corelează în general cu oțelurile cuprinse în STAS 9485 - 80.
- Oțelurile cuprinse în norma DIN 1624 partea 2-a sunt nealiat .Ele fac parte din clasa C - Mn (St37 , St42.2 , St50.2 , St60.2 , St70.2) fiind obținute prin laminare la rece . Ele au în general o corespondență cu oțelurile cuprinse în STAS 9724 - 90.
- Oțelurile sudabile folosite în Comunitatea Europeană pentru construcția U.G.M. acoperă clasa oțelurilor nealiat cât și clasa oțelurilor aliate. În general aceste oțeluri se pot asimila cu cele indigene.

CAP. 4. CERCETĂRI ASUPRA COROZIUNII ELEMENTELOR PORTANTE ALE U.G.M.

4.1 Fenomene de coroziune:

Coroziunea este efectul distructiv al mediului asupra unui metal care reacționează cu acesta chimic sau electrochimic.

Activitatea industrială umană a extras din scoarța terestră zăcămintele minerale ce conțin compuși metalici și nemetalici ce erau într-o stare termodinamic stabilă.

Tendința materialelor de a trece în stare ionizată (coroziunea) diferă mult de la un metal la altul și se poate caracteriza energetic prin variația entalpiei libere ce însoțește procesul notată cu ΔG .

În condiții atmosferice, în prezența oxigenului și a umidității apare fenomenul de coroziune.

Metalele nobile (aur, platina, iridiul) sunt termodinamic stabile, având variația entalpiei libere:

$$\Delta G > 0 \quad (4.1.)$$

Există metale care au entalpia liberă a reacției de ionizare pozitivă numai pe absența oxigenului și în condițiile de descărcare a ionilor de hidrogen H^+ . Acestea sunt metale seminobile (Cu, Ag, Hg) care se găsesc în natură atât în stare elementară cât și combinate.

Majoritatea metalelor și aliajelor se caracterizează prin:

$$\Delta G < 0 \quad (4.2.)$$

și se găsesc în natură numai în starea combinată. Din punctul de vedere al mecanismului se disting:

- coroziunea electrochimică, care cuprinde toate interacțiunile metalului cu mediul când au loc și schimburi de sarcini electrice;
- coroziunea chimică specifică interacțiunilor metal-mediu în care nu apar evidente schimburile de sarcini electrice dintre acestea, ele au loc la nivelul straturilor electronice ale atomilor.

Coroziunea corespunde ionizării unui metal cu stabilirea unui echilibru între metal-ionii-electronii disponibilizați, astfel:



sau generalizând, este un proces de oxido-reducere cu reacții electrochimice conjugate de tipul:



în care:

- Ox este forma oxidată a metalului
- Red este forma redusă a metalului

Teoria potențialului mixt, formulată de Wagner și Traud, care constituie baza unitară a interpretării electrochimice a coroziunii, separă reacțiile de oxidare și de reducere ale coroziunii și postulează că viteză totală a tuturor reacțiilor de reducere sunt egale la suprafața de corodare. Reacțiile de oxidare sunt anodice, deoarece

ele au loc în zonele anodice pe metalul ce se corodează sau la anod în celula electrochimică, pot fi reprezentate prin reacția:



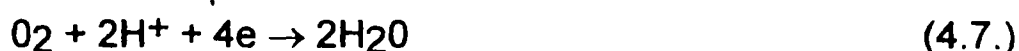
Aceasta este reacția generalizată a coroziunii, reacție care deplasează atomul de metal prin oxidarea lui la ionul său. În reacția (4.5.) numărul de electroni produși este egal cu valența ionului metalic produs.

Teoria potențialului mixt propune ca toți electronii generați prin reacții anodice să fie consumați prin reacții catodice corespunzătoare. Reacțiile de reducere sunt cunoscute ca reacții catodice, deoarece ele au loc în zonele catodice ale metalului ce se corodează sau la catodul celulei electrochimice. Cele mai cunoscute reacții catodice consumatoare de electroni întâlnite la coroziunea în mediul apos sunt următoarele:

1. reducerea ionilor de hidrogen:



2. reducerea oxigenului în soluții acide:



3. reducerea oxigenului în soluții bazice sau neutre:



4. reducerea ionului metalic:



5. reducerea ionului metalic la metal, adică depunerea metalului în stare elementară la catod:



În timpul procesului de coroziune operează cel puțin una din reacțiile catodice numite și reacții de depolarizare Potențialul mixt, denumit și potențialul de coroziune

" ϵ_{corr} " este potențialul la care viteza totală a reacțiilor anodice este egală cu viteza totală a tuturor reacțiilor catodice. La potențialul " ϵ_{corr} " curentul extern măsurabil este zero, respectiv curenții parțiali anodici și catodici sunt egali ca mărime, iar coroziunea se produce la densitatea curentului de coroziune:

$$i(\text{m}) - i(\text{red}) - i(\text{ox}) = 0 \quad (4.11.)$$

$$i_{\text{corr}} = i(\text{ox}) \quad (4.12.)$$

Astfel „ i_{corr} ” este densitatea curentului de oxidare și reprezintă o măsură a vitezei de coroziune.

Interfața metal/electrolit se manifestă prin proprietăți caracteristice de electrod generate de interacțiuni soldate cu modificări locale specifice. Aceste interacțiuni cauzează transformări calitative ale suprafeței metalului (oxid semiconductor, strat pasiv etc) și ale stratului de electrolit adiacent (variație de concentrație). În vederea reflectării caracterului complex al interacțiunilor chimice și electrice s-a introdus

noțiunea de potențial electrochimic care este potențialul de echilibru al unei reacții electrochimice dat de relația lui Nernst:

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_{10} + \frac{RT}{2F} \log [\text{Me}^{2+}] \quad (4.13.)$$

în care:

ε_1 - este potențialul reversibil

ε_{10} - este potențialul standard redox al reacției (se ia din tabelele pentru metale și ionii lor)

R - este constanta gazelor perfecte (Reynolds) și are valoarea de 8,314 J/mol.k

T - este temperatura sistemului în grade K

2 - este valența ionului Me^{2+}

F - numărul lui Faraday (96.500 coulombi)

Astfel, potențialul este tensiunea electrică de electrod (-) a unui electrod prin a cărui interfață trece un curent exterior (-) și diferă de potențialul electrodului respectiv când acesta nu este străbătut de un curent exterior.

Curentul exterior care trece prin electrod poate fi impus (-) când electrodul face parte dintr-o celulă de electroliză (-) sau autoimpus, când electrodul face parte dintr-un element galvanic. Diferența dintre potențialul unui electrod " i " la un curent exterior oarecare și

potențialul electrodului la curent exterior zero " ε_0 " este tensiunea electrică de polarizare „ ε_p ”. Astfel:

$$\varepsilon_p = \varepsilon_1 - \varepsilon_0 \quad (4.14.)$$

când $\varepsilon_0 = \varepsilon_{rev}$ (potențialul reversibil dat de Nerst) relația (4.2.14) devine:

$$\eta = \varepsilon_1 - \varepsilon_{rev} \quad (4.15.)$$

în care „ η ” se numește supratensiune.

Dacă, avem un electrod Fe/Fe⁺² în absența unui curent exterior, pe el se va stabili echilibrul:



Având viteze egale pentru cele două procese opuse, iar potențialul său va fi „ ε ” reversibil (dat de relația lui Nernst).

Deoarece în electrochimie este mai convenabil să se exprime viteza unor reacții în curenți (dat fiind că trecerea unor particule încărcate este echivalentă unui curent), rezultă că pentru un electrod aflat la " ε_{rev} " avem:

$$i_+ = i_- = i_0 \quad (4.17.)$$

în care:

„ i_+ ” - este curentul anodic parțial (numai reacția de oxidare)

„ i_- ” - este curentul catodic parțial (numai reacția de reducere)

„ i_0 ” - este curentul "de schimb" ce exprimă viteza celor două procese (oxidare, reducere) parțiale la " ε_{rev} ”

Dacă în soluția cu ionii Fe^{2+} se introduce un electrod de platină, realizând deci electrodul Pt/Fe^{2+} , potențialul său în absența curentului exterior nu va mai avea o valoare reversibilă " ϵ_{rev} " ci o valoare oarecare " ϵ_0 " ca urmare a instituirii unor echilibre diferite de exemplu " OH^-/O ", etc).

Deplasarea potențialului față de " ϵ_{rev} " fiind însoțită de trecerea unui curent electric exterior, arată că viteza celor doua procese ale echilibrului (4.16.) nu mai sunt egale, adică:

$$i_+ \neq i_- \quad (4.18.)$$

iar curentul exterior va avea relația:

$$i = i_+ + i_- \quad (4.19.)$$

Se observa că pentru " $\epsilon_i > \epsilon_{rev}$ " va fi mai accentuat procesul anodic iar cel catodic frânat adică:

$$|i_+| > |i_-| \text{ și } i > 0 \quad (4.20.)$$

Dacă avem " $\epsilon_i > \epsilon_{rev}$ " se va accentua procesul catodic, iar cel anodic se va frâna, respectiv:

$$|i_+| < |i_-| \text{ și } i < 0 \quad (4.21.)$$

Astfel rezultă că supratensiunea " η " și curentul exterior " i " au întotdeauna același semn. Reprezentarea grafică a curbei ce reprezintă dependența $i=f(\eta)$ se numește curba de polarizare și din forma acesteia se pot trage concluzii referitoare la cinetica reacțiilor de electrod, respectiv la dependența vitezei acestor reacții de potențialul electrodului, de temperatură, de concentrația ionilor electroreactivi.

Cauza apariției supratensiunii, adică a faptului că pentru a trece un curent exterior, potențialul " $\epsilon(i)$ " se deplasează de la valoarea sa de echilibru.

Într-un proces cu electrod real, supratensiunea globală măsurată poate fi suma mai multor tipuri de supratensiune (de transport, de reacție, de transfer, de sarcină etc). Relațiile „ $i - \eta$ ” nu pot fi deduse decât în cazul unor supratensiuni pure. În general, la densități de curent mici, respectiv la valori ale potențialului apropiate de echilibru (ϵ_{rev}) procesul va fi controlat de etapa de transfer de sarcină, fiind valabile relațiile care guvernează supratensiunea de acest tip.

La densități mari de curent, respectiv la potențiale situate departe de " ϵ_{rev} ", etapa determinantă va fi în general transportul de substanță care nu va mai reuși să asigure aportul mare de substanțe cerut, instituindu-se controlul supratensiunii de transport.

Dependența " $i - \eta$ " (curent/potențial) adică forma de polarizare, va fi determinată de relațiile care guvernează supratensiunea predominantă.

La sistemul redox ($Ox + e \leftrightarrow Red$) densitățile de curent parțiale, anodică și catodică sunt:

$$i_+ = k_+ \times C_{red} \times e^{dZF\epsilon/RT} = I_0 \times e^{(\alpha zF/RT) \eta} \quad (4.22.)$$

$$i_- = k_- \times C_{ox} \times e^{-[(1-\alpha)zF\epsilon/RT]} = -I_0 \times e^{-[(1-\alpha)zF/RT] \eta} \quad (4.23.)$$

În care:

ϵ - este potențialul electrodului polarizat

η - este supratensiunea

α - este factorul de transfer ($1-\alpha = \beta$)

i - este curentul de schimb

Densitatea de curent exterioară (totală) care străbate electrodul va fi egală cu suma algebrică a densităților parțiale. Relațiile (4.22.) și (4.23.) nu sunt accesibile experimental ci doar densitatea de curent totală ($i = i_+ + i_-$). Se poate obține câteva puncte de reper pe curbele curenților parțiali ,dacă în relațiile (4.22.) și (4.23.) se dau valori limită și anume:

când " $\varepsilon \rightarrow \infty$ " și " $\eta \rightarrow \infty$ " rezultă ca și " $i_+ \rightarrow \infty$ "

când " $\eta = 0$ ", adică pentru situația când potențialul electrodului se afla la valoarea sa de echilibru ($\varepsilon = \varepsilon_{rev}$) avem " $|i_+| = |i_-| = i$ " și " $i = 0$ ".

Reprezentarea schematică a dependenței curenților parțiali de potențial este redată de curbele punctate din figura 4.1.

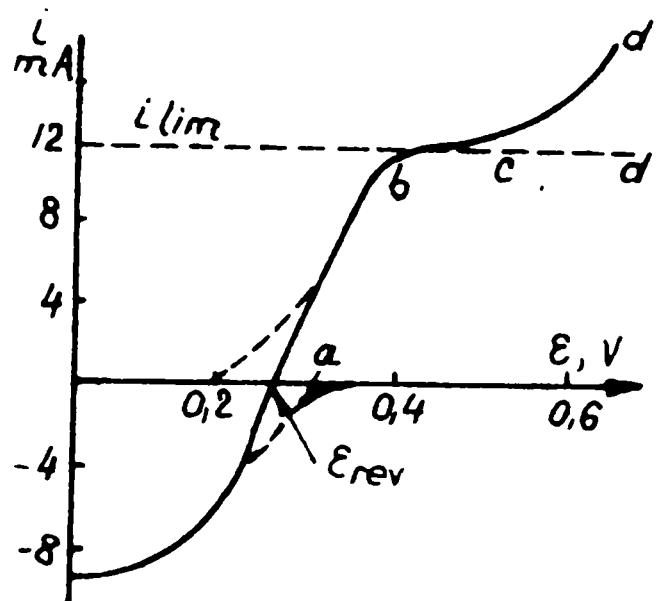


Fig 4.1. Dependenta „ i ” = $f(v)$

Curba din fig.4.1. reprezintă de fapt curba anodică ce descrie procesul ionizării " $Me \rightarrow Me^{2+} + 2e$ " și cea catodică procesul reducerii ionilor la catod prin acceptare de electroni.

Curba plină din figura 4.1. (pe porțiunea a-b) reprezintă suma curbelor parțiale (anodică și catodică), adică variația curentului exterior. Ea este accesibilă experimental și reprezintă curba de polarizare. Din relațiile (4.22) și (4.23) rezultă că la deplasarea potențialului " $\varepsilon \rightarrow +\infty$ " și " $i \rightarrow \infty$ " iar pentru " $\varepsilon \rightarrow -\infty$ " și " $i \rightarrow -\infty$ ", lucru care de fapt nu se întâmplă în realitate. Astfel la valori mari de densități de curent devine predominantă supratensiunea de transport. În cazul în care transportul de masă este etapa determinantă a întregului proces, densitatea de curent este funcție de coeficientul de difuzie, grosimea stratului de difuzie, gradientul de concentrație al ionului care reacționează la electrod față de interiorul soluției, este:

$$|i| = zxFxD / tx\delta (C_0 - C) \quad (4.24)$$

în care:

D - este coeficientul de difuzie,

t - este numărul de transport al celorlalți ioni, cu excepția ionului care reacționează la electrod,

C - este concentrația speciei ionice reactante lângă electrod,

C₀ - este concentrația speciei ionice reactante în interiorul soluției.

În condiții staționare(D, δ,t sunt constante) relația (4.24.) devine:

$$|i| = K(C_0 - C) \quad (4.25.)$$

Pornind de la relația de definiție a supratensiunii " $\eta = \epsilon_l - \epsilon_{red}$ " și ținând cont de relația (4.25.) rezultă următoarea relație între supratensiunea de transport " η " potențialul " ϵ " și densitatea de curent " $|i|$ ".

$$|\eta| = \epsilon_l - \epsilon_{red} = (RT / zF) \ln [kC_0 / kC_0 - |i|] \quad (4.26.)$$

când $|i| = KC_0$, $|\eta| \rightarrow \infty$ și $|\epsilon| \rightarrow \infty$ iar $C=0$, adică toți ionii ajung lângă electrod și se descarcă. În condițiile date nu putem obține pe baza desfășurării reacției de electrod considerate, un curent "mai mare decât $i=KC_0$, denumit și curent limită " i_{lim} "(la porțiunea bcd din figura 4.2.1.). Astfel avem:

$$|i_{lim}| = (zFD / t\delta) C_0 \quad (4.27.)$$

Practic însă, la atingerea unui anumit potențial (punctul "c") începe descărcare unui alt ion, iar variația curentului în funcție de potențial se face după ramura "cd" a curbei din fig.4.1.

Pe suprafața construcției metalice sudate sau nituite a utilajelor miniere au loc procese de coroziune de tip "redox" adică un proces anodic de oxidare și unul catodic de reducere simultane ce au aceeași viteză de coroziune exprimată în curent $|i_+| = |i_-|$, deci același potențial mixt, " ϵ_c "(fig. 4.2).

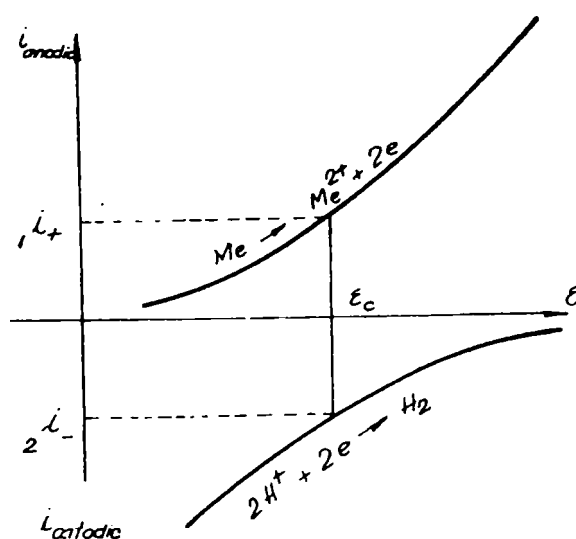


Fig 4.2. Variația I+ ,I- funcție de ε

Din fig. 4.2. se observă dependența (invers proporțională) curentului (viteza de coroziune) de polarizarea proceselor anodice și catodice. S-a considerat că

mediul coroziv este atmosfera încărcată cu praf de cărbune în condiții de umiditate producând coroziunea atmosferică, electrolitul format pe suprafața metalului este un strat foarte subțire mai mult sau mai puțin conductibil. Influența pH-ului (concentrația ionilor de hidrogen) asupra vitezei de coroziune a oțelului supus coroziunii atmosferice specifică atmosferei încărcate chimic*cu praf de cărbune, fum etc) este arătată în fig.4.3.

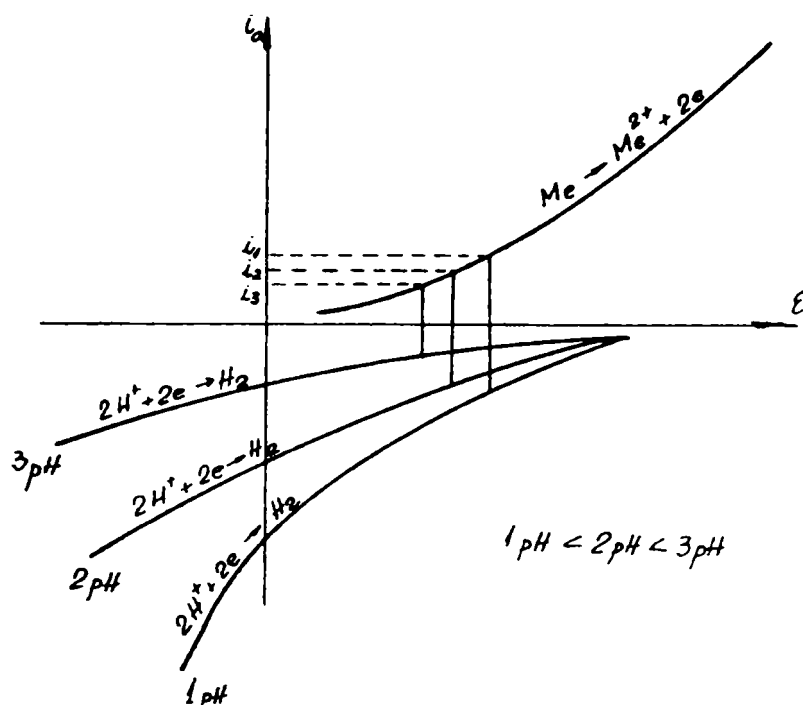


Fig. 4.3. Variația $I_a = f(\epsilon)$ pentru diferite valori ale pH-ului

Din figura 4.3. se observă că dacă pH-ul crește (prin scăderea activității ionului de hidrogen) crește polarizarea procesului de reducere a ionului de hidrogen, respectiv scade și viteza de coroziune a oțelului.

4.2. Tipuri specifice de coroziune și evaluarea tendinței la coroziune

4.2.1 Coroziunea generală (uniformă)

Prin "coroziune generală" este definit atacul coroziv care decurge relativ uniform pe întreaga suprafață a unei construcții metalice în general, provocând subțierea acesteia (micșorarea grosimii) până la apariția fisurării metalelor sau a îmbinărilor sudate. Coroziunea generală are loc deoarece metalul se află într-o stare activă, formarea unui strat pasiv la oțelurile carbon și slab aliate specifice utilajelor miniere, fiind dificil de realizat, se respectă o legitate, aceea a creșterii liniare a pierderilor în greutate a materialului metalic în unitatea de timp (zi, luni, ani).

Coroziunea generală depinde de compoziția chimică a oțelului, de natura și concentrația mediului chimic (acid sau alcalin) de temperatura, de raportul volumului mediului față de suprafața metalică, de rugozitatea suprafeței, de procedeul de sudare, tratament termic post/sudare etc. Avariile construcțiilor metalice ale utilajelor miniere datorate coroziunii generale sunt mai puțin probabile datorită existenței posibilităților de a fi prevăzute teste de verificare a rezistenței la coroziune a metalelor și îmbinărilor sudate.

4.2.2. Coroziunea localizată în puncte "pitting"

Pittingul este o forma a coroziunii localizate care produce găuri (pitts) pe suprafața metalului cu efect distructiv în timp, până la perforarea grosimii materialului sau a îmbinărilor sudate. Data fiind importanța acestei forme de coroziune, s-au emis diferite teorii care să explice apariția găurii pe suprafața corodată. O explicație cinetică pierderii pasivității suprafeței este absorbită competitivă între ionii de clor și oxigen, o alta explicație termodinamică consideră că potențialul de pitting este cel la care ionii de clor sunt în echilibru cu oxidul format.

Propagarea găurilor implică dizolvarea metalului și menținerea unui înalt grad de aciditate în fundul găurii (fig.4.4.).

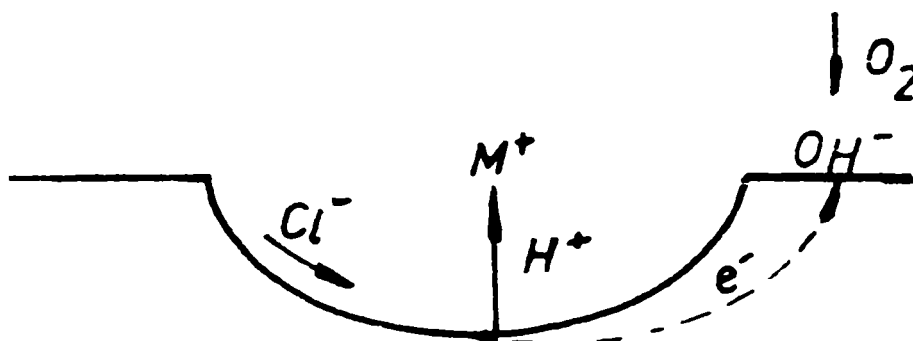
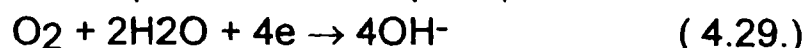


Fig.4.4. Mecanismul de formare a pittingului

Într-o soluție specifică mediului atmosferic minier, (umiditate combinată cu clor și praf de cărbune) propagarea găurii decurge prin dizolvarea anodică a metalului în fundul găurii de tip:

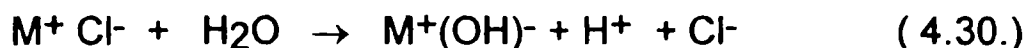


Relația (4.28.) este echilibrată de reacția catodică a suprafeței adiacente:



Concentrația crescută a ionilor de metal în fundul găurii este rezultatul migrării ionilor de clor (Cl^-) pentru menținerea neutralității.

Clorura de metal formată "M⁺Cl⁻" este hidrolizată de apă la hidroxid și acid liber astfel:



Valoarea pH/ului în fundul găurii datorită formării acidului liber(H⁺ + Cl⁻) este de 1,3 ...1,5 în timp ce pH-ul soluției va rămâne neutru.

Gradul de finisare a suprafeței metalice influențează apariția pittingului în așa măsură, încât comparând tendința la pitting a unor oțeluri slab aliate cu diferite grade de finisare a suprafeței obținute sunt satisfăcătoare. Efectul finisării suprafeței asupra potențialului de pitting al unui oțel nealiat C-Mn este ilustrat în figura 4.5.

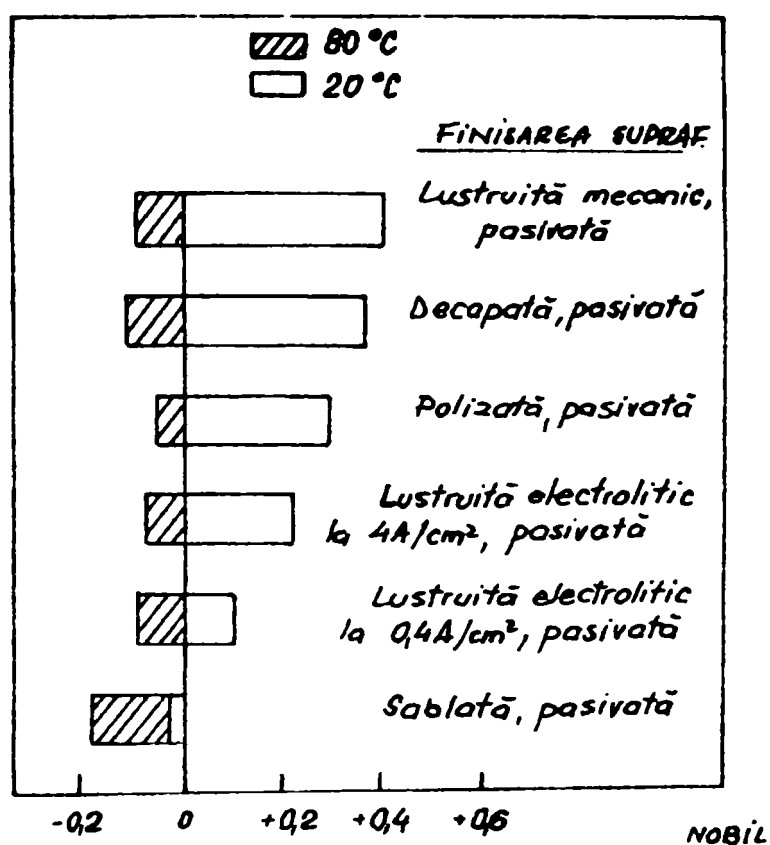


Fig.4.5. Variația potențialului de pitting la defectele operațiilor de prelucrare mecanică

Pasivizarea în acest caz se referă la curățirea suprafeței cu soluție 20% acid azotic (dizolvarea incluziunilor nemetalice cu superficiale pe bază de sulf etc) urmată de neutralizarea efectului acidului cu umezirea prin hidroxid de sodiu. La componentele utilajelor miniere din oțel C-Mn ce lucrează la temperaturi ridicate (max.350°C) pot să apară o serie de pittinguri, numărul lor funcție de temperatura de serviciu este prezentată în curba din figura 4.6 .

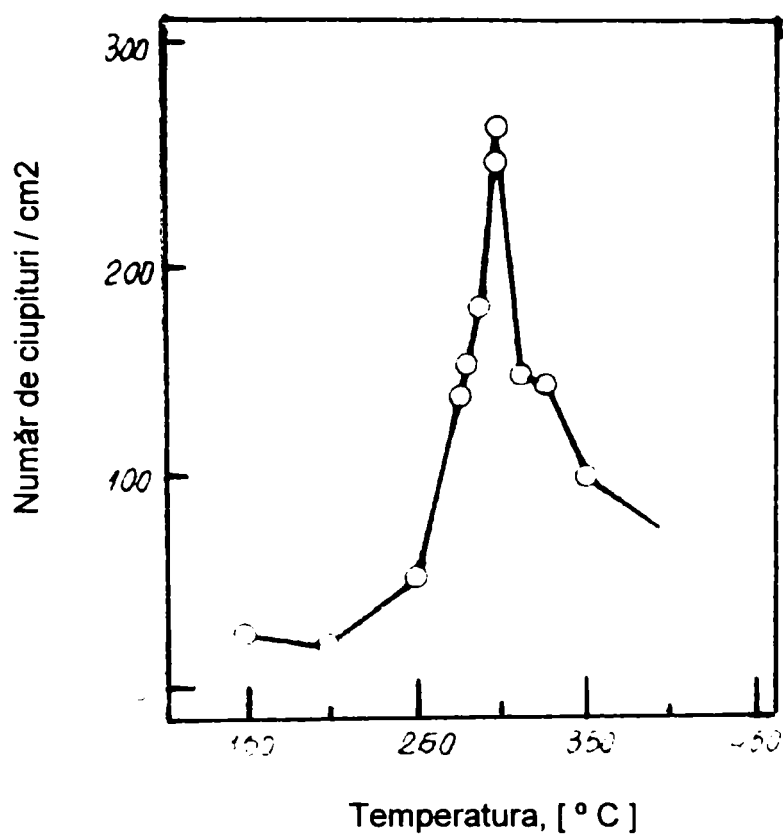


Fig.4.6. Dependența nr. ciupituri = f (Temperatură)

Apariția unui maxim de 250 ciupituri/cm² la temperatura de serviciu de 300°C se datorează scăderii rezistenței la pitting a oxidului de fier format în timpul funcționării componente la această temperatură.

4.2.3. Coroziunea în crevasă

Coroziunea în crevasă este o formă a coroziunii localizate care poate să apară în interiorul crevaselor (găurilor) sau pe suprafețe protejate unde soluția corozivă stagnează (este bine localizată în timp și în spațiu) (la interfețele metal-metal, metal-nemetal, bolțuri, nituri, îmbinări sudate metal-metal, scaune de valvă etc. Datorită faptului că poate distruge integritatea unei construcții metalice în varianta sudată sau nesudată, coroziunea localizată în crevasă este deosebit de îngrijorătoare mai ales în mediul minier și marin.

Mecanismul apariției coroziunii în crevasă la oțelurile nealiate C-Mn este similar cu cel de apariție a pittingului (fig.4.7.) etapa cu etapa.

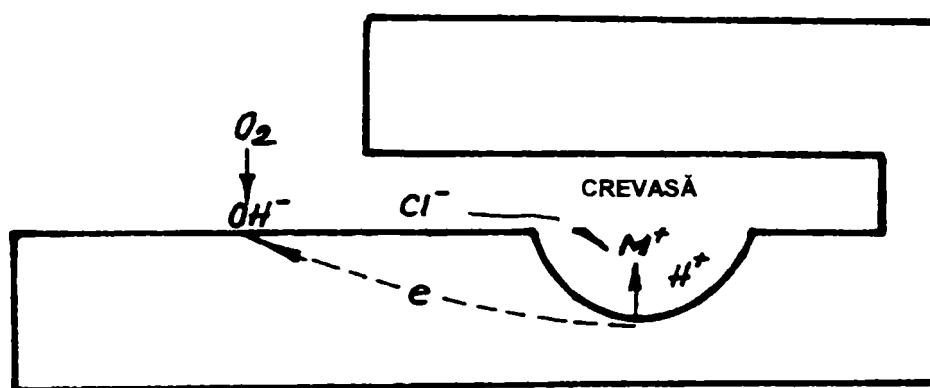
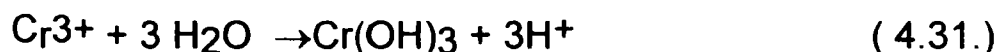


Fig 4.7. Modul de apariție a coroziunii în crevasă

Identificând prin metodele chimiei analitice natura ionilor prezenți în crevase naturale ale oțelului C-Mn cu crevase în vederea stabilirii reacțiilor de hidroliză responsabile de creșterea acidității și comparând rezultatele analitice cu reacțiile de hidroliză termodinamic posibile ale fazelor și constituenților din oțelurile sudabile s-a ajuns la concluzia că acidificarea interiorului crevasei este probabil datorată de hidroliza ionilor cronici:



ionii de Fe^{+3} fiind găsiți analitic în cantități mici. Acest lucru s-a demonstrat practic prin găsirea aceluiași acid și în crevasele cromului pur.

4.2.4. Coroziunea fisurantă sub tensiune

Coroziunea fisurantă sub tensiune este denumirea generică a atacului coroziv care provoacă ruperea structurilor metalice (sudate sau nesudate) sub tensiune prin propagarea fisurilor în timpul serviciului în atmosfera corozivă. Ca aspect secțiunea ruperii este fragilă (fig.4.8.) cu toate că ruperea apare în materiale metalice cu ductilitate mare.



Fig.4.8. Rupere fragilă la o îmbinare sudată [8000x]

Condițiile de apariție a coroziunii fisurante sunt:

- prezența tensiunii de întindere (reziduală, aplicată, sau ambele)
- prezența unui agent coroziv specific

Fisurile se formează și se propagă perpendicular pe direcția de aplicare a tensiunii de întindere la nivele de tensiune mult mai joase decât cele necesare ruperii materialului sau îmbinării în absența mediului coroziv. La scară microscopică fisura care străbate grăunții poartă numele de *microfisură transgranulară* iar cea care urmărește limitele de grăunți - *microfisura intergranulară*. Când coroziunea fisurantă progresează până la adâncimea la care secțiunea de material care susține sarcina remanentă atinge limita sa de rupere în aer, materialul se separă prin rupere normală la suprasarcină printr-o coalescență cu micropori în materiale ductile. Suprafețele ruperii materialelor prin coroziune fisurantă sub tensiune au aspect caracteristic cu ondulații, spectre de râuri și coalescență de micropori legați între ei sau liberi.

Mecanismele sugerate de cercetători au fost clasificate după procesul specific considerat de propagarea fisurii datorate coroziunii fisurante. Unanim se recunosc două procese specifice diferite fundamentale:

- procesul de îndepărtare a materialului de la vârful fisurii.
- procesul de separare a materialului de la vârful fisurii.

Aceste procese specifice stau la baza clasificării mecanismelor coroziunii fisurante și anume:

- mecanisme de dizolvare :
 - ruperea filmului când fisura se propagă prin dizolvare locală a metalului în vârful fisurii, datorită împiedicării pasivizării prin deformări plastice locale
 - dizolvarea accelerată prin tensiune când fisura se propaga prin dizolvarea anodica localizată, fenomen accelerat de deformările plastice locale
- mecanisme mecanice :
 - fragilizare prin hidrogen datorată hidrogenului acumulat în interiorul metalului în regiunea fisurii acest lucru duce la o slăbire locală prin formarea unui gol sau scăderea forței de coeziune, fisura se propagă prin ruperea în regiunile slăbite, cu rezistența mecanică scăzută.
 - absorbția: ionii activi superficiali se absorb și interacționează cu legăturile tensionate din vârful fisurii ducând la scăderea rezistenței legăturilor și propagarea fisurii.
- mecanisme mixte
 - apariția zonelor fragile datorate aglomerării microfisurilor la vârful fisurii
 - modelul tunel: fisura se propagă prin ciupituri adânci sau tunele legate între ele, în final ea face să apară pe suprafața de rupere zone ductile puternic deformate plastic.

4.2.5. Coroziunea îmbinărilor sudate

Termenul de "fragilizare prin hidrogen" definește fisurarea în medii în care acest proces este facilitat de pătrunderea hidrogenului în metalul de bază sau în sudură, fisurarea prin hidrogen sulfurat este o fragilizare cu hidrogen, ionul S^{2-} acționează cu ionul de hidrogen, combinare la hidrogen sulfurat favorizează intrarea în metal a hidrogenului.

La oțelurile C-Mn folosite în construcțiile portante sudate limitele recomandate pentru duritatea maximă a zonei influențate termic (ZIT) funcție de conținutul în hidrogen sunt date în tabelul 4.1.

Astfel în zonele influențate termic ale oțelurilor C-Mn duritatea maximă crește odată cu scăderea conținutului de hidrogen din sudură.

Principalii factori care influențează apariția coroziunii la îmbinările sudate specifice sunt:

- compoziția chimică și structurile metalelor de bază și de adaus
- starea metalurgică a metalului de bază înainte de sudare (prelucrări mecanice, tratamente termice etc)
- procedeul de sudare (WIG, MIG, arc-metal cu gaz protector. arc imersat)
- parametrii de sudare (energia de sudare, viteza de sudare etc)
- compoziția și viteza de curgere a gazelor protectoare
- grosimea materialelor de sudat și geometria sudurii

Diferențele de compoziție chimică și de structură dintre sudura (cusătura) și metalul de bază specific construcțiilor sudate ale utilajelor miniere, fac posibilă apariția de cupluri galvanice (teoria potențialului mixt) și zonele cu caracter anodic

vor fi atacate. În consecință, pentru evitarea formării unei suduri cu caracter anodic trebuie să se obțină o sudură cel puțin cu aceeași compoziție chimică și structurală ca și metalul de bază.

Sudura cu caracter anodic poate apărea și din cauza stratului de oxizi cu caracteristici de compactitate aderența, și rezistența chimică diferită față de metalul de bază.

Dacă condiția minimă de identitate a compoziției chimice între sudura și metalul de bază este asigurată, în zona influențată termic (domeniul temperaturilor înalte) modificările structurale sunt cele mai puternice, implicând înregistrarea unei căderi de potențial.

Calitatea îmbinării sudate se poate deci aprecia funcție de mărimea acestei căderi de potențial, care pentru o cusătură (sudură) cu minimă susceptibilitate la coroziune trebuie să fie minimă.

Tabelul 4.1.

Hidrogen în sudură		Duritatea maximă HV5 în ZIT					
Cantitativ	Calitativ	Îmbinare cap la cap			Îmbinare în colț		
		Normal	Pătrundere completă	Construcții mari	Normal	Pătrundere completă	Construcții mari
0	1	2	3	4	5	6	7
H > 20ml / 100g	mare	350	300	220	350	350	300
10 < H ≤ 20ml/100g	medie	375	350	250	375	400	350
5 < H ≤ 10ml/100g	mică	400	375	300	400	450	375
H < 5 ml / 100g	foarte mică	450	400	350	450	500	400

Stabilirea formei potențialului local în zona sudurii prin măsurători și trasarea curbei de polarizare $I = f(\varepsilon)$ constituie un mod rapid de apreciere a comportării la coroziune a zonelor caracteristice îmbinărilor sudate (MB – material bază, SUD - sudură, ZIT – zonă temperatură înaltă). În figura 4.9. se prezintă curbele locale de potențial (posibile) funcție de distanța de la centrul sudurii spre zona influențată termic.

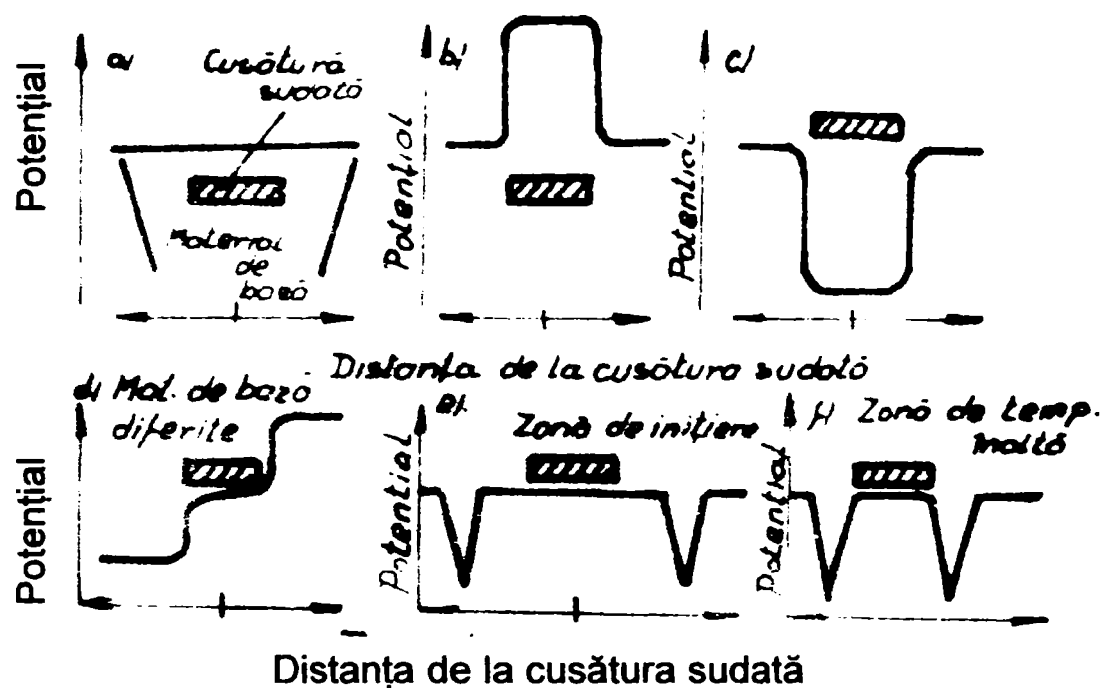


Fig. 4.9. Variația potențialului funcție de distanță

Analizând curbele din figura 4.9. se pot preciza situațiile:

- nu există deosebiri între MB, SUD și ZIT (situație ideală)
- SUD este mai aliată ca MB
- MB este mai aliat ca SUD
- MB sunt diferite între ele și formează o îmbinare eterogenă
- MB prezintă distinct sub zona de transformări incomplete (ca subzonă a ZIT-ului nealiat).
- MB prezintă distinct subzona de supraîncălzire (ca subzona a ZIT-ului nealiat).

O dizolvare locală puternică a zonei anodice apare în cazul variantelor cu domenii anodice strâns limitate de vecinătatea catodică foarte întinsă (fig.4.9.c; 4.9.e; 4.9.f) în timp ce la celelalte cazuri viteza de coroziune locală este neglijată. Ca îmbinările sudate eterogene (din două metale diferite) rezistența la coroziune este asigurată dacă potențialul sudurii se plasează între potențialele celor două metale (fig.4.9.d). Ciclurile termice de la sudarea oțelurilor specifice conduc la

transformări structurale importante în ZIT (în special în subzonele de supraîncălzire și transformări incomplete) făcând ca ZIT-ul să fie vulnerabil la fenomene de coroziune.

Principalele metode de încercare la coroziune a metalelor, aliajelor și îmbinărilor sudate unanim acceptate de normele de coroziune sunt:

- încercări de laborator
- încercări în condiții de mediu natural
- încercări în condițiile industriale de exploatare

Încercările de laborator se efectuează în condiții care imită condițiile de exploatare, respectiv în condițiile în care se produce un proces de coroziune. Ele în general sunt de scurtă durată și dau rezultate comparabile numai în cazul alegerii corespunzătoare și a determinării precise a următoarelor condiții de încercare:

- proprietățile probelor ;
- amplasarea probelor ;
- caracteristicile mediului ;
- presiunea și viteza relativă de deplasare a mediului .

a) Încercările de laborator accelerate sunt în majoritatea cazurilor încercări utilizate pentru compararea reciprocă a rezistenței oțelurilor specifice la coroziune. Accelerarea coroziunii se realizează :

- în mediu lichid, prin mărirea vitezei de mișcare a mediului coroziv, modificările compoziției chimice a mediului (dacă factorul determinant este depolarizarea catodică prin oxigen, se saturează continuu mediul cu oxigen) creșterea temperaturii mediului, polarizarea anodică, etc.
- în condiții atmosferice, prin creșterea temperaturii până la valoarea maximă care se poate întâlni în condiții naturale, creșterea umidității, creșterea concentrației gazelor corozive (exp.bioxid de sulf, hidrogen sulfurat, clor, etc), creșterea dozei de radiații ultraviolete simultan cu limitarea dozei de radiații infraroșii pentru preîntâmpinarea supraîncălzirii probelor, etc.

b) Încercările în condiții naturale, respectiv în condițiile de exploatare sunt de regulă încercări de lungă durată efectuate direct în mediul coroziv dat:

- condiții naturale (ape naturale, ape marine, atmosfera industrială, etc)
- în lichide de transport și de depozitare, etc
- în metale topite, etc
- în condiții concrete din anumite instalații industriale
- în diferite medii corozive gazoase sau lichide la temperaturi și presiuni diferite, etc.

La încercările de laborator mediul coroziv trebuie să corespundă condițiilor în care va lucra sau a lucrat materialul, încercat. Pe toată durata încercării se vor păstra aceleași condiții de încercare. Se va controla continuu :

- compoziția chimică și starea fizică a mediului în timpul încercării (temperatura și presiunea)
- viteza de mișcare a mediului coroziv față de epruvetele de încercare sau periodicitatea schimbării mediului
- raportul dintre volumul mediului coroziv și suprafața epruvetelor expuse. Se recomandă un raport, volum soluție față de suprafața metalică expusă de minim 20 ml/cm².
- sarcina mecanică (statică sau dinamică) la care este supusă epruveta în timpul încercării.

La oțelurile nealiate C-Mn din construcția sudată a utilajelor grele mobile condițiile de încercare sunt:

- soluția de atac pentru decapare este formată din:
 - SnCl₂.....20 ml
 - SbCl.....20 ml
 - HCl conc.....10 ml
 - apă.....50 ml
- soluția de atac pentru încercarea la coroziune este specifică atmosferei de lucru.

Probele de încercat se vor preleva atât din oțeluri cât și din îmbinări sudate, ele trebuie să aibă suprafața totală de expunere de min. 20 cm². În general se adoptă epruvetele cu dimensiunile 50 x 20 x 5 mm în număr de minim 3 bucăți.

La încercările de coroziune ale metalelor și îmbinărilor sudate cinetica procesului de coroziune se stabilește prin determinarea variației vitezei de coroziune la diferite intervale de timp, ținând seama de faptul că în majoritatea cazurilor viteza de coroziune este diferită în perioadele inițiale (de început) și respectiv finale ale încercării. După un anumit timp această viteză de coroziune se stabilizează și depinde liniar de timp. La aprecierea rezistenței la coroziune a îmbinărilor sudate și a materialelor se ia în considerare această viteză de coroziune.

La stabilirea vitezei de coroziune funcție de timp, epruvetele de încercat la care se presupune un proces rapid și uniform de coroziune, se controlează la începutul intervalului după:

- 2, 4, 8 și 24 ore
- 2, 4, 8 și 16 zile
- 1 și 3 luni
- după fiecare 3.....12 luni

În laborator la oțelurile și îmbinările sudate ce au un proces mai lent de coroziune (garantat de producător) controlul probelor se face din 24 ore în 24 ore timp de 4 zile (cicluri de 24 ore). Curba de dependența vitezelor de coroziune funcție de timp de construiește pe baza a cel puțin trei determinări la perioade diferite de timp.

La aprecierea rezultatelor încercării de coroziune se determină modificarea caracteristicii alese (masa, grosimea, caracteristicile mecanice, etc)

Metoda de apreciere a încercării se alege în funcție de cerințele materialului sau îmbinării sudate. Astfel se pot utiliza unul sau mai multe moduri de apreciere (pierderea în greutate, adâncimea coroziunii locale, structura stratului superficial, caracteristicile mecanice, etc).

Rezultatele încercării privind rezistența la coroziune se apreciază prin:
modificarea valorii masei și a dimensiunilor epruvetei
modificarea dimensiunilor epruvetelor la coroziunea uniformă
extinderea și distribuția coroziunii neuniforme
modificarea structurii
modificarea caracteristicilor mecanice
modificarea aspectului suprafeței

Pierderea de masă a metalelor se determină prin cântărire sau măsurarea dimensiunilor probelor înainte și după încercare, îndepărtând produșii de coroziune. Probele mai mici de 200 grame se cântăresc cu o precizie de $\pm 0,5$ mg, iar probele cu masa mai mare cu o precizie de ± 10 mg. Lungimea și lățimea probelor date (materiale de baza, îmbinări sudate) se măsoară cu o precizie de $\pm 0,01$ mm. La aprecierea prin măsurare a dimensiunilor epruvetelor de încercare, rugozitatea suprafeței lor nu trebuie să depășească valoarea medie de $3,2 \mu\text{m}$. După încercare, probele se decapează cu soluția prevăzută și se păstrează în până la cântărire și măsurare.

Pierderile de material provocate de o *coroziune uniformă* se exprimă astfel:

- prin modificarea dimensiunilor epruvetelor măsurate în mm.
- prin pierderea de masă în g/m^2

Pe baza pierderilor de masă și a duratei de menținere în cursul încercării se determină viteza de coroziune ce se exprimă prin mărimile:

- viteza de coroziune prin modificarea dimensiunilor în mm/an
- viteza de coroziune prin pierderea de masă în $\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{zi}$

În cazul *coroziunii neuniforme* (locale, pete, plăgi, etc) aprecierea se face prin determinarea adâncimii focarului de coroziune după îndepărtarea produșilor de coroziune. Se vor determina pe șlefuiți metalografice adâncimea celor mai profunde puncte (pitting) de coroziune și adâncimea celorlalte puncte din care rezulta o medie. La caracterizarea gradului de neuniformitate al coroziunii se determină coeficientul de neuniformitate "c" cu valoarea:

$$C_n = g_m / \Delta S \text{ în } \text{mm}/\text{g m}^{-2} \quad (4.32.)$$

în care:

g_m este adâncimea medie a punctelor de coroziune (mm)

ΔS este pierderea de masă (g/m^2 sau g/mm^2) calculată ca în cazul coroziunii uniforme.

Coroziunea în puncte se apreciază prin mărimea și numărul zonelor corodate după îndepărtarea produșilor de coroziune. Aprecierea se face pe suprafețe supuse încercării la coroziune cu dimensiunile corespunzătoare unei suprafețe de cel puțin 50 cm^2 . Suprafața de apreciere se împarte în pătrate cu latura de 5 mm. Se calculează numărul total (N) de pătrate cu latura de 5mm și numărul (n) de pătrate care conțin una sau mai multe zone de coroziune localizate. Pătratele zonelor marginale sunt considerate pătrate întregi dacă suprafața lor depășește jumătate din suprafața unui pătrat de $5 \times 5 \text{ mm}$, pătratele din zonele marginale cu suprafețe mai mici decât jumătate din suprafața unui pătrat de $5 \times 5 \text{ mm}$, nu se iau în considerație. La coroziunea punctiformă pe granițele a mai multor pătrate aceasta se ia în calcul pentru un singur pătrat. În cazul prezenței coroziunii locale (plăgi, pete) care afectează mai multe pătrate sunt considerate toate pătratele afectate de coroziune, dacă aceasta ocupă mai mult de 50% din suprafața fiecărui pătrat și respectiv, sunt considerate jumătate din numărul pătratelor afectate de coroziune, dacă aceasta ocupa mai puțin de 50% din suprafața fiecărui pătrat.

Examinarea rezultatelor se face astfel:

- distribuția (frecvența) "f" coroziunii neuniforme pe suprafața examinată

$$f = n/N \times 100 \quad [\%] \quad (4.33.)$$

gradul de deteriorare (G.1 și G.2) prin coroziune neconformă se determină în procente de suprafața cu degradare maximă pe diferite pătrate cu latura de 5 mm din totalul pătratelor unde s-a produs fenomenul de coroziune și respectiv în procente de suprafața cu degradare medie din totalul pătratelor unde s-a produs fenomenul de coroziune localizată.

$$G_1 = n_{\max} / N \quad \text{și} \quad G_2 = n_{\text{med}} / N \quad [\%] \quad (4.34.)$$

unde:

n_{\max} - nr. de pătrate maxim cu coroziune

n_{med} - nr. de pătrate medii cu coroziune

N - nr. total de pătrate

Aprecierea coroziunii prin modificarea caracteristicilor mecanice se face prin determinarea gradului de degradare prin coroziune al materialului metalic sau a îmbinării sudate prin compararea caracteristicilor mecanice la epruvetele care nu au fost expuse mediului coroziv (martor) cu caracteristicile mecanice ale epruvetelor din același material după încercarea lor la coroziune. Tipul de încercare mecanică se alege funcție de tipul de coroziune, luându-se în considerare următoarele:

- coroziunea neuniformă (intergranulară punctiformă, coroziunea selectivă, etc) influențează în cea mai mare măsură reziliența materialului și se apreciază pe

baza mărimii deformației plastice și a energiei de rupere. Gradul de coroziune se caracterizează prin micșorarea unghiului de îndoire, scăderea energiei de rupere, micșorarea alungirii, etc.

- a coroziunea care determină modificarea structurii materialului de bază sau îmbinării sudate se modifică și caracteristicile mecanice ale acestora. Gradul de coroziune se caracterizează prin modificarea rezistenței la rupere, a limitei de curgere, a alungirii și găturii la rupere.

În cazul în care este necesară o analiză mai aprofundată a influenței coroziunii, aprecierea se face prin metode metalografice. Prin analiza metalografică a coroziunii se determină modificarea structurii în urma procesului de coroziune. Dacă sub acțiunea mediului coroziv are loc o modificare sensibilă a structurii materialelor (metal de bază, îmbinări sudate) inițial se încearcă o probă în aceleași condiții, dar protejate împotriva mediului coroziv. Se folosesc cel puțin trei probe metalografice, suprafețele examinate trebuie să fie perpendiculare pe suprafața corodată. Adâncimea maximă a coroziunii probelor se determină prin diferența de grosime a materialului din zonele necorodate și corodate. Simultan se determină și adâncimea medie a coroziunii.

Cu ajutorul analizei metalografice se determină tipul, forma și distribuția atacului coroziv. Diferite tipuri de degradare prin coroziune pot să fie specifice unui anumit tip de coroziune. Dacă la examinarea unei probe metalografice nu sunt date sau, respectiv se obțin rezultate contradictorii, se face o nouă examinare a probei respective în alte zone (minim trei).

Aprecierea coroziunii prin modificarea aspectului suprafeței se face vizual sau prin metode optice. Se admite aprecierea coroziunii și prin alte metode speciale cu condiția să se poată stabili o corelație între acești parametri și viteza de coroziune.

Dacă pe suprafața probei supusă încercării apar adâncituri sau umflături se măsoară dimensiunile acestor defecte și se determina valoarea procentuală de răspândire a acestora pe întreaga suprafață. Orice aspect al modificării suprafeței inițiale după testarea fenomenului de coroziune atestă o susceptibilitate a materialului sau îmbinării sudate la acest fenomen nedorit.

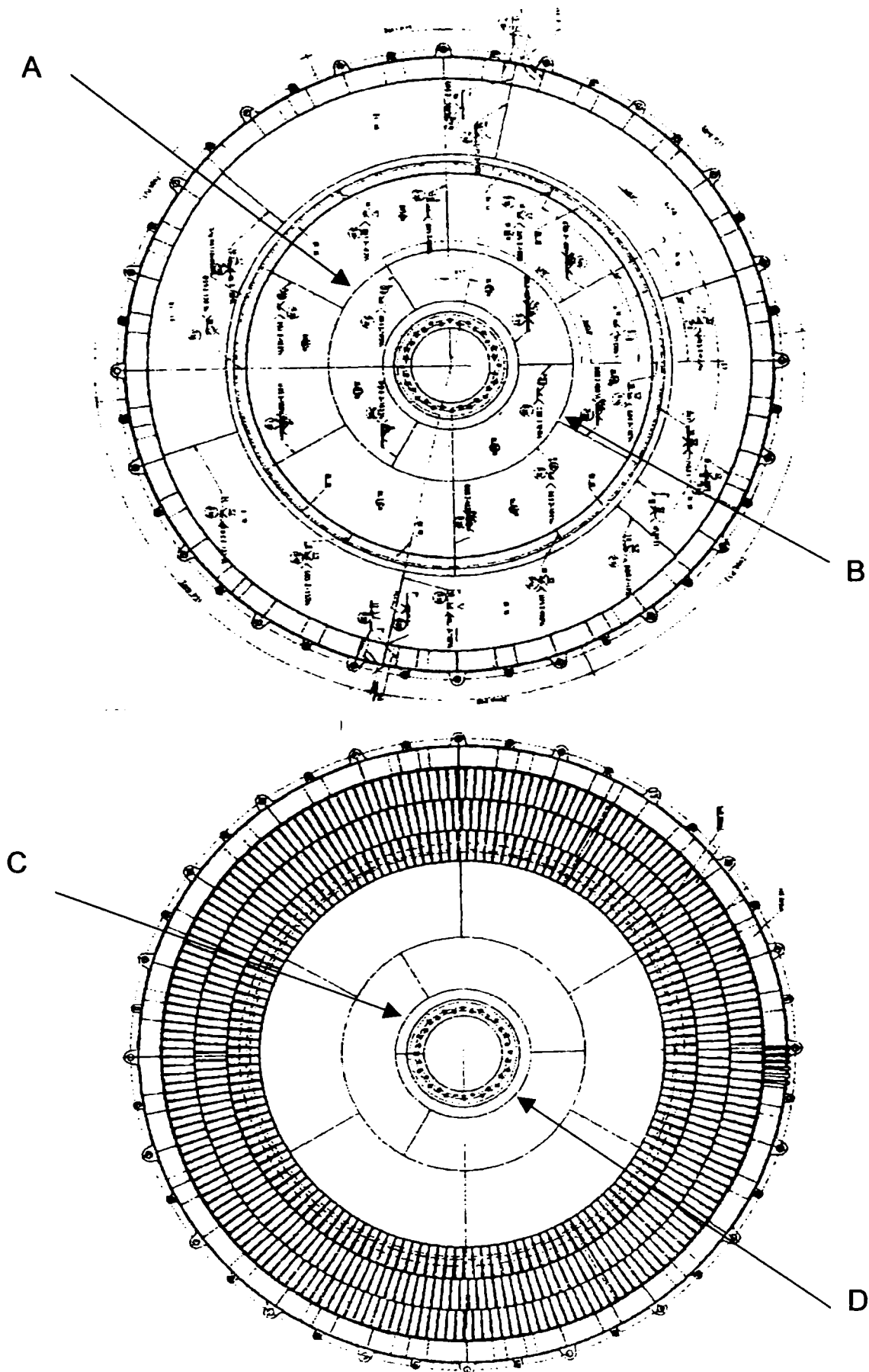
4.3. Cercetări privind rezistența la coroziune ale unor zone din corpul roții cu cupe

4.3.1. Prelevări probe:

Determinarea rezistenței la coroziune atmosferică a oțelului nealiat C-Mn folosit în construcțiile utilajelor grele mobile s-a efectuat conform ASTM D 2688-93.

Probele pentru experimentări au fost prelevate conform schemei de prelevare, atât din îmbinările sudate automat la structura portantă a unui excavator cât și din îmbinările sudate cu fascicule concentrate, astfel:

- probele A,B,C,D din îmbinări sudate cap la cap
- probele E,F din îmbinări sudate cu fascicul de electroni specifice unor componente speciale de acționare.



Schema de prelevare a probelor

Dimensiunile probelor, și duritatea maximă ale oțelurilor analizate sunt înserate în tabelul 4.2.

Tabelul 4.2.

Marcajul probei	Dimensiuni a x b x g [mm]	Suprafața totală S[cm ²]	Greutatea inițială Gi[gf]	Duritatea maximă HV5		
				Metal de bază	Zonă influențată termic	Sudură
0	1	2	3	4	5	6
A	72,3x17,8x2,9	15,4823	28,9260	160	174	210
B	72,2x17,4x2,8	15,0716	28,8894	169	227	277
C	77,3x18,8x3,0	17,4154	32,7978	180	244	251
D	77,2x19,1x2,9	17,5379	32,8614	175	214	227
E	73,1x24,8x3,2	19,7160	44,9620	169	407	321
F	73x25,1x3,0	21,2941	40,0000	148	251	240

4.3.2. Încercări de laborator :

În zonele caracteristice îmbinărilor sudate s-au relevat structurile:

În metalele de bază la toate probele o structură ferito-perlitică de granulație 7-8 conform SRISO 643-93 ; nu s-au observat microfisuri sau defecte de fabricație (fig.4.10.)

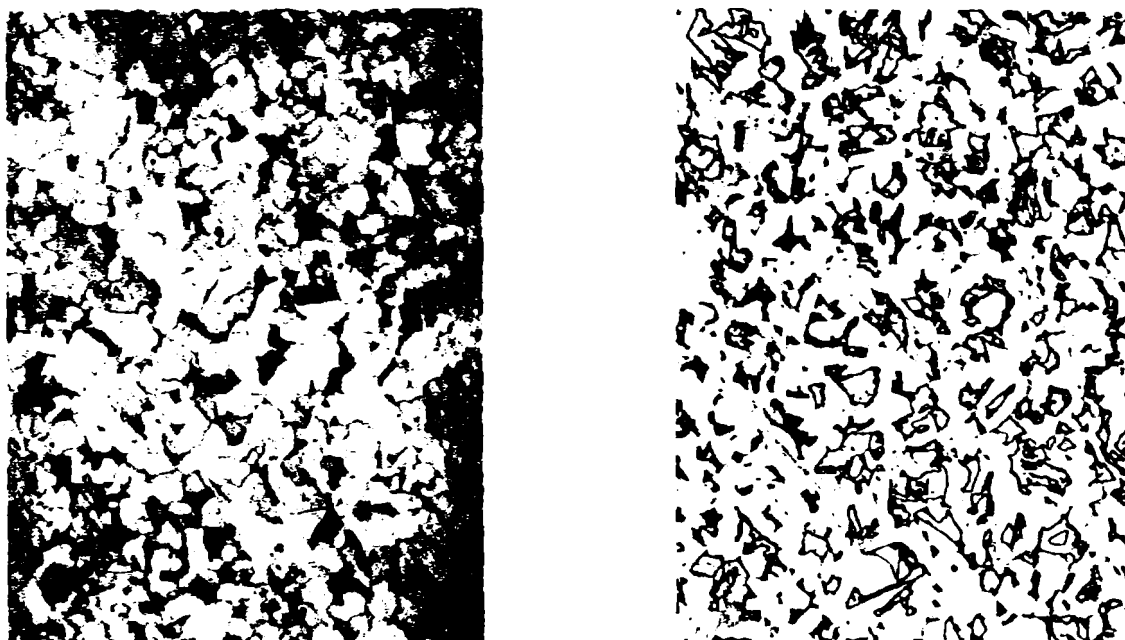


Fig. 4.10. Microstructuri metode de bază [100:1]

- în suduri structuri specifice procedeeleor de sudare și anume :

-la probele A,B,C,D structuri ferito -perlitice dentritice, fără defecte de sudare (fig.4.11.)

-la proba E o structură bainitică cu ferită și perlită (Fig.4.12.)

-la proba F o structură fină sorbitică specifică unui tratament termic post - sudare de detensionare (Fig. 4.13.) aplicat îmbinărilor sudate.



Fig.4.11. Proba A [100:1]



Fig.4.12. Proba E [100:1]

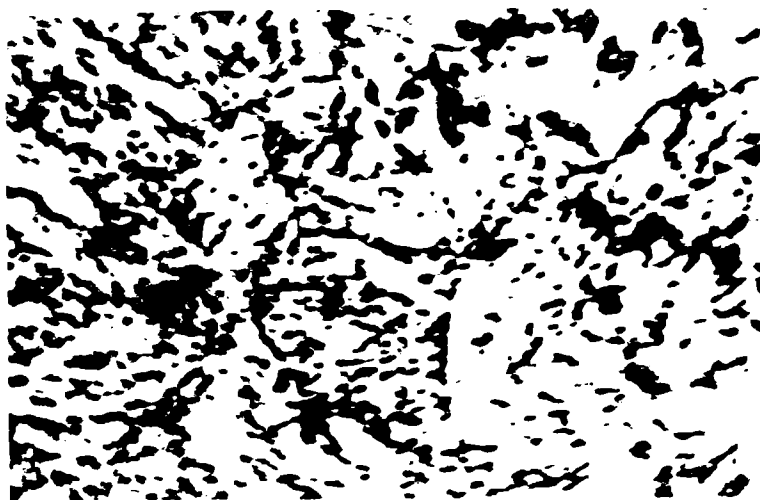


Fig.4.13. Proba F [500:1]

- în zonele influențate termic de ciclurile de sudare s-au observat structurile:
 - ferito-perlitice cu ferita aciculară și în rețea, granulație de punctaj 5-6 (fig. 4.14.) la probele A, B, C, D.

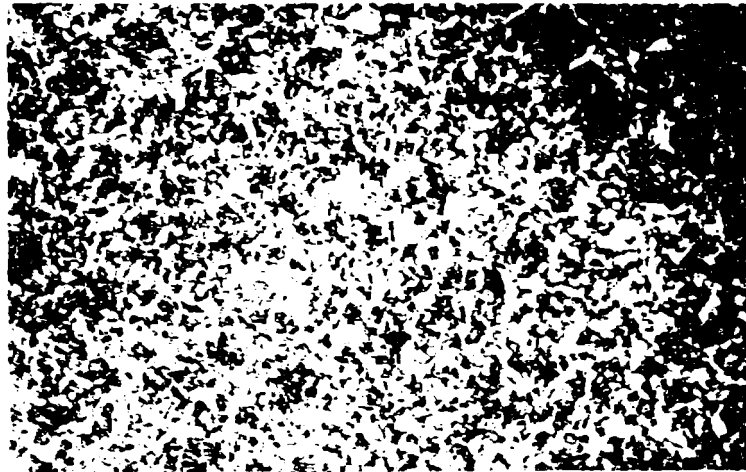


Fig.4.14. Proba A [100:1]

- martensită și bainită superioară, granulație groabă (fig. 4.15.); nu se observă m.crof.suri.

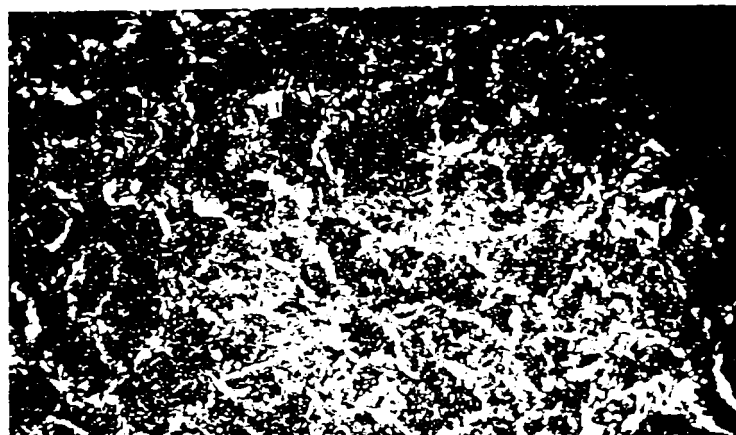


Fig.4.15. Proba E [100:1]

- sorbită fină cu perlită, granulație fină 6 -7ASTM (fig. 4.16); nu se observă microfisuri

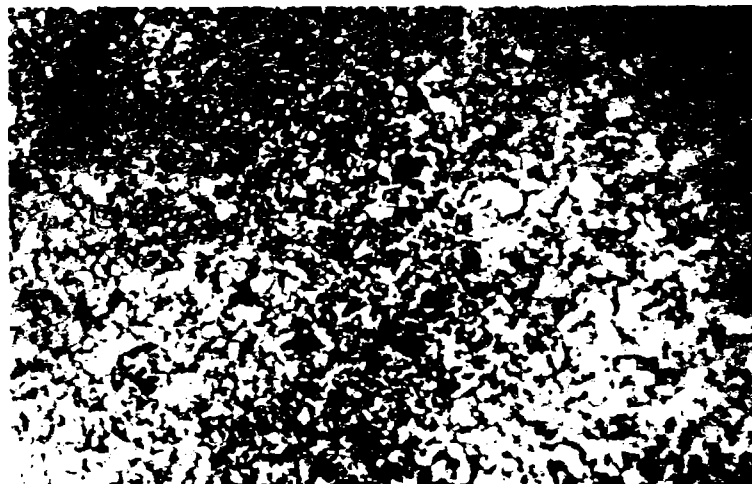


Fig.4.16. Proba F [100:1]

Probele pregătite metalografic pe secțiune au fost supuse testului de coroziune conf. ASTM D2688-93 prin fierbere într-o soluție apoasă de 10% NaCl cu amestec de SiO₂ (nisip),folosindu-se trei cicluri de 48 ore .

Rezultatele experimentale obținute pe probele supuse încercării la coroziune sunt inserate în tabelul 4.3.

Viteza de coroziune, Px s-a calculat cu relația :

$$Px = [H \cdot (W1 - W2) / W1] \cdot x \cdot 1,825 \cdot 10^2 \quad (4.35.)$$

în care :

Px - este viteza de coroziune în mm/an

H - este grosimea inițială a probei în mm

W1- este greutatea inițială a probei în mg

W2- este greutatea finală a probei în mg

D - este timpul de expunere a probei în soluția corozivă ,zile

x - este indicele corespunzător duratei de expunere (se scrie transformat în ore)

Tabelul 4.3.

Marcajul probei	Greutatea [gf]				Viteza de coroziune, P[mm/an]		
	inițială W1	W2 (după 48 ore)	W2 (după 96 ore)	W2 (după 144 ore)	P48	P96	P144
0	1	2	3	4	5	6	7
A	28,9260	28,9201	28,9103	28,9031	0,052	0,057	0,051
B	28,8894	28,8819	28,8724	28,8635	0,066	0,074	0,075
C	32,7978	32,7896	32,7817	32,7742	0,068	0,067	0,066
D	32,8614	32,8545	32,8435	32,8360	0,055	0,072	0,068
E	44,9620	44,9510	44,9368	44,9300	0,071	0,082	0,072
F	40,000	39,9808	39,9618	39,9493	0,131	0,130	0,116

La probele A,B,C,D viteza de coroziune variază între :

- 0,052 la 0,068 mm/an la un timp de încercare de 48 ore.
- 0,057 la 0,077 mm/an la un timp de încercare de 96 ore.
- 0,051 la 0,075 mm/an la un timp de încercare de 144 ore.

La probele E,F viteza de coroziune variază între :

- 0,071...0,131 mm/an la un timp de încercare de 48 ore.
- 0,082...0,130 mm/an la un timp de încercare de 96 ore.
- 0,072...0,116 mm/an la un timp de încercare de 144 ore.

Cele mai mari valori ale vitezelor de coroziune se întâlnesc la proba „ F ” cu structuri dure în sudură și în zonele influențate termic ,atestând o rezistență scăzută la coroziune generală a îmbinărilor sudate cu fascicule de electroni supuse unor tratamente termice post-sudare de tip revenire (detensionare termică).

Aspectul microscopic al zonelor caracteristice probei A supusă încercării la coroziune timp de 14 ore este prezentat în figurile 4.17., 4.18. , 4.19 .

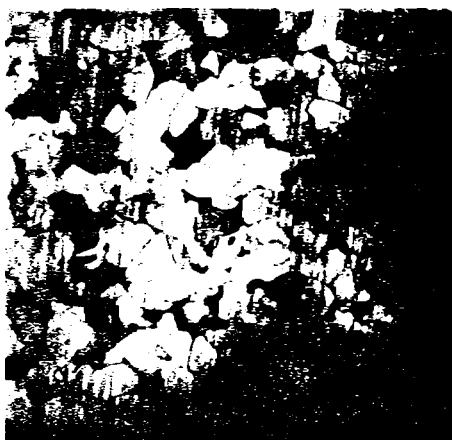


Fig.4.17. Metal de bază [100:1]

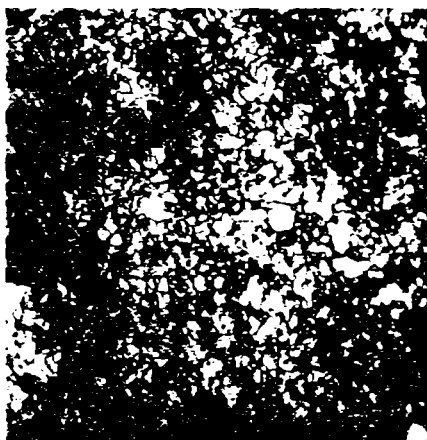


Fig.4.18. Sudura [100:1]

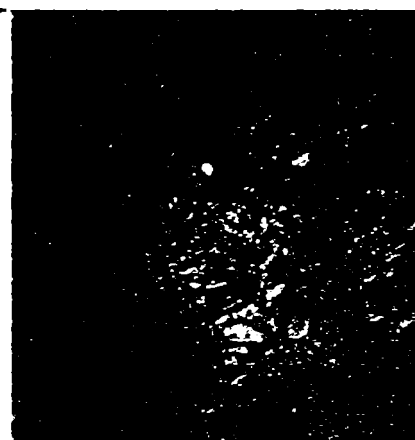


Fig.4.19. Zonă influențată termic [100:1]

Se observă o degradare cu fisuri de coroziune în toate zonele ,mai puternic în sudură și metalul de bază.

Adâncimile de coroziune determinate pe grosimea materialelor de bază au valorile trecute în tabelul 4.4.

Tabelul 4.4.

Marcajul probei	Adâncimea de coroziune [mm]					
	a48		a96		a144	
	Valoarea minimă	Valoarea maximă	Valoarea minimă	Valoarea maximă	Valoarea minimă	Valoarea maximă
0	1	2	3	4	5	6
A	0,020	0,022	0,023	0,025	0,025	0,026
B	0,018	0,020	0,022	0,024	0,022	0,024
C	0,019	0,021	0,020	0,022	0,021	0,025
D	0,020	0,022	0,021	0,023	0,23	0,025
E	0,022	0,025	0,023	0,028	0,025	0,030
F	0,052	0,062	0,055	0,065	0,060	0,062

Din tabelul 4.4. se observă o creștere ridicată a adâncimii de coroziune la proba F la valori duble față de valorile adâncimii de coroziune a materialelor de bază de la probele A ... E, lucru ce se corelează și cu valorile ridicate ale vitezelor de coroziune determinate la timpii de încercare de 48, 96 și 144 ore.

4.4.Concluzii

- Cercetarea proprie semnalează tipurile de coroziune la care sunt supuse metalele care compun roata cu cupe în exploatarea excavatoarelor.
- Analiza rezultatelor experimentale efectuate pe probe fizice prelevate din corpul roții cu cupe evidențiază evoluția coroziunilor.
- Rezultatele experimentale definesc condițiile de apariție a coroziunilor și permit determinarea măsurilor de protecție anticorozivă.
- Literatura de specialitate din domeniu, oferă numeroase lucrări care abordează în majoritatea cazurilor probleme concrete, practice de coroziune a oțelurilor și a îmbinărilor sudate, fără o tratare sistematică a acestora.
- Alegerea corectă a oțelurilor (nealiat, aliat) din care se construiesc componentele utilajelor miniere, trebuie să se bazeze în primul rând pe cunoașterea comportării lor în condițiile de mediu respectiv viteza lor de coroziune în acel mediu.
- Teoria potențialului mixt constituie baza unitară a interpretării electrochimice a coroziunii, ea separă relațiile de oxidare și reducere ale coroziunii și postulează că vitezele reacțiilor chimice de la suprafața metalului sunt egale.
- Gradul de finisare a suprafeței metalice, nivelul ciclurilor termice de la sudare influențează apariția "pittingului" la unele oțeluri nealiat și aliat din construcția utilajelor miniere.
- Diferențele de compoziție chimică și de structură dintre sudură și metalele de bază ce formează îmbinările sudate specifice construcției utilajelor miniere, fac posibilă apariția de cupluri galvanice, iar zonele cu caracter anodic vor fi atacate. Sudura cu caracter anodic poate apărea și din cauza stratului de oxizi cu caracteristici de compactitate, aderența și rezistența chimică diferită față de metalele de baza.
- Vitezele de coroziune determinate pe probe prelevate din îmbinările sudate specifice utilajelor miniere au valori cuprinse între 0,052 mm/an și 0,130 mm/an, ele fiind în concordanță cu structurile zonelor caracteristice și cu adâncimile de coroziune determinate.

CAP. 5. CALITATEA ȘI COMPORTAREA ÎN EXPLOATARE A ELEMENTELOR U.G.M.

5.1. Principalele tipuri de defecte ce apar în exploatare

Un produs corect proiectat, corect construit, minuțios controlat și judicios utilizat nu trebuie să prezinte defectări în funcționare. experiența a arătat totuși că și cele mai bune utilaje, în condițiile celei mai corecte exploatare a lor, nu exclud în întregime posibilitatea întreruperilor în funcționare.

Încetarea capacității unui produs de a îndeplini funcția cerută poartă denumirea de *cădere sau defectare*.

Defectările se clasifică după mai multe criterii astfel:

a) Din punct de vedere al cauzei:

- defectări datorită utilizării improprii, care se produc ca urmare a aplicării unor solicitări ce depășesc limitele specificate;
- defectări datorită unor deficiențe inerente, dependente de structura constructivă;
- defectări datorită uzurii, care prezintă o probabilitate mai ridicată de apariție pe măsura trecerii timpului;

b) Din punct de vedere al caracterului apariției:

- defectare bruscă - nu poate fi anticipată printr-o observație anterioară;
- defectare progresivă - nu poate fi anticipată printr-o observație anterioară;

c) Din punct de vedere al intensității de manifestare:

- defectare parțială, care conduce la neîndeplinirea numai a unora din funcțiunile de bază ale produsului;
- defectare totală, care cauzează neîndeplinirea funcției cerute;
- defectare intermitentă, cădere limitată la o anumită perioadă de timp, după care produsul își recapătă capacitatea de bună funcționare;
- defectare de degradare, care este progresivă și parțială, conducând în timp la o cădere totală;

d) Din punct de vedere al rangului:

- defectare primară, care nu este cauzată direct sau indirect de căderea altei componente sau produs;
- defectare secundară, generată de o cădere anterioară, fiind rezultatul propagării în lanț a unor suprasolicitări;

e) Din punct de vedere al efectelor, clasificarea defectărilor se face în următoarele categorii:

- majore;
- minore.

5.2 Fiabilitatea produselor complexe (utilaje grele mobile)

Problemele privind fiabilitatea care vor fi tratate sunt asemănătoare din mai multe puncte de vedere pentru orice dispozitiv tehnic. Din acest motiv pentru *produsele complexe* se utilizează termenul generalizator de “*sisteme tehnice*” sau simplu “*sisteme*”, iar pentru părțile componente ale sistemelor termenul de “*elemente*”.

Se înțelege prin *element* o parte componentă a sistemului, sistem divizat într-un număr mai mare sau mai mic de elemente în funcție de necesitățile de calcul, împărțire efectuată astfel încât elementul să-și păstreze totuși capacitatea îndeplinirii unor funcții în cadrul sistemului.

Această împărțire are un caracter convențional, deoarece elementele unui sistem o dată precizate pot fi din nou împărțite în elemente de rangul al doilea, etc.

Cele mai adesea vom denumi produsele complexe ca “*sisteme tehnice*” (UGM) iar părțile sistemului “*subansamble*”, “*blocuri*”, diviziunea de rangul cel mai mic fiind “*componenta*”.

Produsele în raport cu care se apreciază probabilitatea bunei funcționări sunt produse complexe, cu tendința permanentă de creștere a gradului de complexitate. De pildă, mașinile-unelte moderne sunt atât de complexe, încât pot fi considerate sisteme de producție. Cu atât mai justificată și necesară este considerarea ca sistem a instalațiilor complexe (U.G.M.), a liniilor de fabricație, a liniilor automate și a agregatelor de producție moderne. Din această proprietate a produselor complexe, de a fi adevărate sisteme, decurge cerința metodologică de a aborda sistemic problema fiabilității. Acest mod de cercetare, în fond, înseamnă că studiul fiabilității trebuie să îmbrățișeze toate aspectele, conexiunile, cauzele, factorii, efectele problemei.

Astfel, “*viața*” produsului trebuie considerată ca un proces descris cu ajutorul unei bucle cibernetice de autoreglare. Proiectarea, omologarea, asimilarea, producerea, exploatarea, întreținerea produsului sunt privite ca niște generatoare de informații despre fiabilitatea produsului, care - după o prelucrare și interpretarea adecvată - servesc la fundamentarea deciziilor de ridicare a performanțelor în fiecare stadiu al ciclului de viață (fig.5.1.)

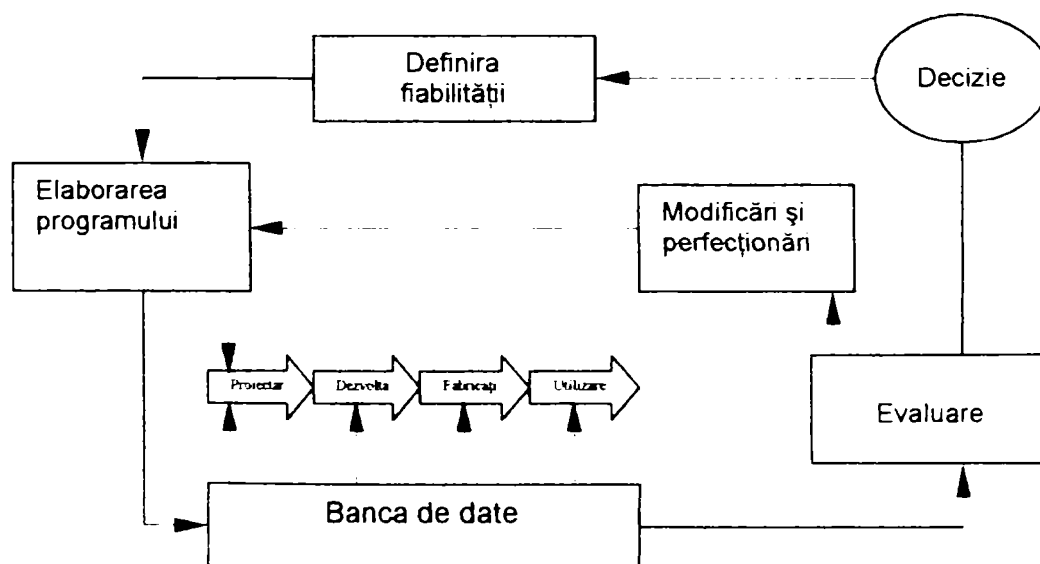


Fig. 5.1. Legătura dintre fiabilitate și stadiile realizării produselor

Abordarea ca sistem complex a produsului complex înseamnă necesitatea comparării permanente a "ieșirilor" cu "intrările" adică a performanțelor realizate cu resursele utilizate pentru atingerea lor, a efectelor economice ale unui grad de fiabilitate sporit cu cheltuielile integrale (directe și indirecte) făcute pentru realizarea acestuia. Tratarea sistematică mai înseamnă că produsul nostru este văzut ca sistem cu structură complexă compus din numeroase elemente (subansambluri, detalii, etc.) componente între care există conexiuni și interdependențe diverse și multiple. Buna funcționare a produsului complex este rezultanta bunei funcționări a tuturor subansamblurilor componente. mai departe, și subansamblurile, la rândul lor, se compun din blocuri ș.a.m.d. până ce la acest produs se identifică piesele, reperatele, etc. care au, într-adevăr, valoare operațională în gestiunea fiabilității.

5.3 Baza de date privind concepția și proiectarea U.G.M.

Se va crea o bază de date pentru U.G.M. existente în țară care să permită identificarea proiectelor după care s-au executat, beneficiarii la care se află în funcționare, data expirării duratei de viață precum și menționarea evenimentelor deosebite apărute în exploatarea acestora și care au cerut intervenția proiectantului sau a producătorului.

Exploatarea bazei de date va urmări, în principal, stabilirea producției privind necesarul de piese de schimb în scopul măririi duratei de exploatare a utilajelor respective și va ține evidența tuturor U.G.M., a stării lor tehnice și va oferi informații precise referitoare la necesitatea reproiectării, a reparațiilor, a fiabilității utilajelor urmărite și ansamblelor componente ale acestora.

Evidența în cadrul bazei de date și anumite evenimente deosebite ivite în perioada de exploatare a utilajelor, se va oferi posibilitatea tragerii unor concluzii care să conducă la îmbunătățirea activității de proiectare și execuție în vederea măririi duratei de viață a utilajelor a căror durată de viață a expirat, se va semnala necesitatea execuției de verificări pentru disponibilizarea exploatării acestora.

Pentru stabilirea *schemei generale* se folosește tehnica " *analizei celulare* ". Această tehnică este o tehnică de analiză complexă care permite abordarea " *top-down* " a sistemului - obiect ce se dorește a fi realizat. Analiza se efectuează în trei etape (sau trepte), după cum urmează :

1. structura sistemului din punct de vedere organizatoric
2. structura sistemului din punct de vedere funcțional
3. analiza fluxului informațiilor vehiculate în sistem.

Pornind de la analiza datelor în determinarea cerințelor de informații pe fiecare nivel, s-a descompus în părți componente ansamblul date primare - bază de date - concluzii, obținându-se în final schema generală a bazei de date care este prezentată în fig.5.2.



Fig.5.2. Schema generală

Analizând schema generală se obțin imagini analitice descriptive, detaliate ale sistemului în ansamblu și ale sistemului informațional - decizional în particular, atât ca organizare cât și ca funcționare. Odată fixate aceste imagini și făcând observația că prin noțiunea de "bază de date" se subînțelege de obicei două mari părți, programele de gestiune ale bazei de date și respectiv, baza de date propriu-zisă, se procedează la o altă analiză.

Într-o primă etapă, comună celor două mari componente amintite anterior, programe și fișiere de date, se utilizează o tehnică de analiză cunoscută sub numele de "metoda interogatoriului". Din răspunsurile primite se va contura conținutul bazei de date.

Într-o a doua etapă se trece la aprofundarea celor stabilite anterior prin metoda interogatoriului. Se folosește în acest scop tehnica de proiectare elaborată de M. A. Jackson. Această tehnică servește la proiectarea și reprezentarea structurii funcționale și a structurii colecțiilor de date dintr-o bază de date. Principiul său de bază este acela că proiectarea pomește de la analiza datelor iar structura funcțională se obține din structura colecției de date.

Procesul se desfășoară în trei pași:

1. determinarea structurii datelor (structurarea grupurilor " logice " de date de intrare și de ieșire identificate)
2. determinarea componentelor funcționale (structura funcțiilor de prelucrare corespunzător structurii datelor)
3. determinarea operațiilor elementare de prelucrare și a secvenței de prelucrare.

Obligatoriu ,programele care se vor elabora, vor trebui să îndeplinească următoarele funcții de bază:

- *funcția de descriere* - care va permite descrierea datelor, a relațiilor dintre date, a controalelor de acces la baza de date.

- *funcția de manipulare* - care va permite căutarea, extragerea, adăugarea, modificarea, suprimarea, crearea datelor în cadrul bazelor de date.

- *funcția de utilizare* - care va permite comunicarea între utilizator și program, respectiv între utilizator și datele cuprinse în bază.

Pentru claritate, prezentăm în continuare ,succesiunea obligatorie a operațiunilor de bază care vor fi efectuate de pachetul de programe :

- emiterea cererii de citire a unei date
- tratarea cererii și obținerea descrierii datei respective
- consultarea structurii logice globale
- determinarea tipului logic al datei respective
- examinarea descrierii fizice a bazei de date în raport cu cererea făcută
- determinarea înregistrării fizice
- lansarea comenzilor de căutare a înregistrării către sistemul de operare
- căutarea de către sistemul de operare a înregistrării fizice
- transferarea înregistrării fizice în bufferele rezervate de programe
- compararea logică a cererii emise cumdatele obținute în buffere
- tratarea erorilor ce pot să apară .

Cunoscute și sub numele de " *date primare* " sau " *date de intrare* ", intrările reprezintă datele care urmează să fie prelucrate și evident sunt necesare la crearea bazei de date.

În cazul de față .aceste intrări sunt obținute din trei locuri distincte.

Proiectantul va furniza date referitoare la simbolul proiectului care a stat la baza execuției unui utilaj și componența mecanismelor principale ale utilajului respectiv (codurile subansamblelor folosite)

Constructorul utilajului va furniza date referitoare la numărul de utilaje executate pe baza proiectului primit și beneficiarii utilajelor executate.

Beneficiarul utilajului va furniza date referitoare la utilajul pe care îl are în exploatare : data intrării în funcțiune, durata de viață ,locul de funcționare, gradul (sau spectrul)de încărcare ,etc.

Anterior am prezentat înlănțuirea logică a bazei de date, observându-se că datele din bază sunt interconectate. Este evident, că scopul final al exploatării bazei de date este dat de cerințele utilizatorului, manifestate la interogarea bazei de date putându-se obține diverse răspunsuri, informații sau soluții.

Câteva exemple de utilizare a bazei de date se prezintă în continuare :

- *cunoscând simbolul unui proiect, se poate afla :*
 - câți beneficiari au în exploatare utilajul respectiv
 - ce subansamble are în componență
 - ce evenimente deosebite s-au întâlnit la acest tip de utilaj, la un anumit beneficiar sau la toți beneficiarii
- *cunoscând codul unui subansamblu se poate afla:*
 - în câte simboluri de proiect a fost folosit
 - câte evenimente deosebite a suferit într-o perioadă dată
 - câți beneficiari exploatează acest subansamblu
- *se pot obține informații diverse :*
 - dacă există utilaje cu durata de viață expirată
 - lista beneficiarilor care utilizează proiecte executate
 - totalul evenimentelor deosebite dintr-o anumită perioadă, grupate pe categorii (uzură, defecțiuni de material, diverse).

5.4 Controlul în exploatare a UGM.

Controlul în exploatare a U.G.M.-urilor se realizează prin :

5.4.1 Analize și constatări la documentația de execuție:

- a) analizarea documentației puse la dispoziție de beneficiar și interpretarea acesteia;
- b) verificarea corectitudinii prelucrării documentației KRUPP și dacă documentația de execuție prelucrată asigură același grad de securitate și durată de funcționare ca și cea originală KRUPP, în condițiile de exploatare reală și în regim de temperaturi scăzute de -200C (-250C).

Se vor verifica:

- alegerea materialelor din punct de vedere al caracteristicilor mecanice, statice și dinamice la temperatura mediului ambiant normală și la -200C;
- alegerea materialului dimensional;
- echivalarea corectă a claselor de calitate ale sudurilor (DIN - STAS);

- echivalarea metodelor de control a construcției sudate și dacă controalele prevăzute de proiectul românesc satisfac prescripțiile de control conținute în proiectul KRUPP;

c). analiza metodei de dimensionare și a ipotezelor de încărcare pe baza conceptelor moderne de proiectare. situații de echilibru static și dinamic.

5.4.2. Încercări distructive pentru determinarea caracteristicilor de material și calității sudurilor:

a) stabilirea materialelor structurii de rezistență a utilajului, analiza compoziției chimice, încercări mecanice inclusiv rezistență, la temperatura de 200°C și la -200°C. Executarea probelor metalografice și interpretarea lor;

b) verificarea îmbinărilor sudate, calitatea sudurilor și a zonelor influențate termic.

Determinarea structurii metalografice și de duritate;

c) încercări la oboseală ale metalelor din construcția utilajului.

Determinarea gradului de îmbătrânire a materialului din construcția metalică de rezistență și rezistența la îmbătrânire a acestuia;

d) prelucrarea rezultatelor și prezentarea concluziilor privind materialele folosite în construcția metalică a excavatorului și calității sudurilor, raportat la prevederile documentației românești și KRUPP.

5.4.3. Analiza tensiunilor și deformațiilor în structura de rezistență a utilajului în regim static și dinamic.

a) stabilirea cazurilor critice.

b) analiza rezultatelor măsurărilor de la punctul B. și confruntarea lor cu cele din documentația românească și documentația KRUPP cât și cu prescripțiile de construcție ale utilajelor de carieră din Germania, valabile la data proiectării utilajului;

c) determinarea locului geometric al centrului de greutate al utilajului, pentru diferite situații de echilibru static și dinamic;

d) analiza detaliilor structurale (îmbinări sudate, îmbinări demontabile, zone de concentrări de tensiune, zone corodate sau fisurate), în vederea determinării corecte a stării de tensiune și deformație în zonele critice, cu luarea în considerare a efectului temperaturii;

e) concluzii, având în vedere calitatea reală a construcției metalice, influența temperaturii scăzute (-200C), tendința de îmbătrânire a materialelor și tensiunile în regim static și dinamic.

5.4.4. Urmărirea „la zi ”a situațiilor U.G.M. -urilor privind durata de viață în funcționare, plasarea lor, condițiile de lucru, etc.

În tabelele 5.1 ... 5.4. se prezintă o serie de situații a unor U.G.M. aflate în funcționare în industria minieră.

Tabelul 5.1.

SITUATIA
EXCAVATOARELOR CU ROTOR DE TIP 1400 . 30/7

		EXCAVATORUL	CARIERA	NR. FABRICATIE	FURNIZOR	GRADUL DE INTEGRARE		ANUL P.I.F.	VIRSTA [ANI]
						GREUTATE	VALORIC		
1	KRUPP 3 buc.	SRS 1400-01	GARLA	1237-1239	KRUPP			1969	27
2		SRS 1400-01	TISMANA I	1240-1242	KRUPP			1969	27
3		SRS 1400-02	TISMANA I	1243-1245	KRUPP			1971	25
4	ETAPA I 4 buc.	SRS 1400-01	JILT SUD	1	COOPERARE	55.1	41.4	1978	18
5		SRS 1400-01	ROVINARI EST	2	COOPERARE	55.1	41.4	1977	19
6		SRS 1400-01	PESTEANA SUD	3	COOPERARE	55.1	41.4	1978	18
7	ETAPA II 5 buc.	SRS 1400-02	ROVINARI EST	4	COOPERARE	55.1	41.4	1979	17
8		SRS 1400-02	PESTEANA SUD	5	COOPERARE	83.9	71.7	1979	17
9		SRS 1400-01	PESTEANA NORD	6	COOPERARE	83.9	71.7	1980	16
10		SRS 1400-01	TISMANA II	7	COOPERARE	83.9	71.7	1980	16
11		SRS 1400-02	PESTEANA NORD	8	COOPERARE	83.9	71.7	1982	14
12	ETAPA III 15 buc.	SRS 1400-02	JILT SUD	9	COOPERARE	83.9	71.7	1981	15
13		SRS 1400-03	JILT SUD	10	COOPERARE	87.5	76.7	1982	14
14		SRS 1400-03	PESTEANA NORD	11	COOPERARE	87.5	76.7	1982	14
15		SRS 1400-03	ROVINARI EST	12	COOPERARE	87.5	76.7	1982	14
16		SRS 1400-06	ROSIA	13	COOPERARE	87.5	76.7	1982	14
17		SRS 1400-01	OLTET	14	COOPERARE	87.5	76.7	1983	13
18		SRS 1400-02	OLTET	15	COOPERARE	87.5	76.7	1985	11
19		SRS 1400-04	ROSIA	16	COOPERARE	87.5	76.7	1979	17
20		SRS 1400-04	JILT SUD	17	COOPERARE	87.5	76.7	1982	14
21		SRS 1400-02	GARLA	18	COOPERARE	87.5	76.7	1983	13
22		SRS 1400-05	JILT SUD	19	COOPERARE	87.5	76.7	1983	13
23		SRS 1400-04	PESTEANA NORD	20	COOPERARE	87.5	76.7	1984	12
24		SRS 1400-06	JILT SUD	21	COOPERARE	87.5	76.7	1984	12
25		SRS 1400-07	JILT NORD	22	COOPERARE	87.5	76.7	1984	12
26		SRS 1400-01	ROSIUTA	23	COOPERARE	87.5	76.7	1985	11
27	SRS 1400-02	ROSIUTA	24	COOPERARE	87.5	76.7	1986	10	
28	ETAPA IV 31 buc.	SRS 1400-01	HUSNICIOARA	25	INTERN	100	100	1985	11
29		SRS 1400-02	HUSNICIOARA	26	INTERN	100	100	1986	10
30		SRS 1400-09	ROSIA	27	INTERN	100	100	1985	11
31		SRS 1400-03	PESTEANA SUD	29	INTERN	100	100	1986	10
32		SRS 1400-01	PANGA	30	INTERN	100	100	1986	10
33		SRS 1400-04	TISMANA I	31	INTERN	100	100	1986	10
34		SRS 1400-01	URDARI	32	INTERN	100	100	1987	9
35		SRS 1400-11	ROSIA	33	INTERN	100	100	1986	10
36		SRS 1400-03	HUSNICIOARA	34	INTERN	100	100	1988	8
37		SRS 1400-02	URDARI	35	INTERN	100	100	1988	8
38		SRS 1400-02	PANGA	36	INTERN	100	100	1988	8
39		SRS 1400-05	TISMANA II	37	INTERN	100	100	1987	9
40		SRS 1400-12	JILT SUD	38	INTERN	100	100	1988	8
41		SRS 1400-01	RUGET	39	INTERN	100	100	1989	7
42		SRS 1400-03	PANGA	40	INTERN	100	100	1989	7
43		SRS 1400-05	HUSNICIOARA	41	INTERN	100	100	1989	7
44		SRS 1400-04	ROSIUTA	42	INTERN	100	100	1988	8
45		SRS 1400-13	JILT SUD	43	INTERN	100	100	1989	7
46		SRS 1400-03	PINOASA	44	INTERN	100	100	1988	8
47		SRS 1400-03	URDARI	45	INTERN	100	100	1989	7
48		SRS 1400-14	JILT NORD	46	INTERN	100	100	1989	7
49		SRS 1400-05	ROSIUTA	47	INTERN	100	100	1990	6
50		SRS 1400-05	PESTEANA NORD	48	INTERN	100	100	1991	5
51		SRS 1400-01	BUSTUCHIN	49	INTERN	100	100	1994	2
52		SRS 1400-06	HUSNICIOARA	50	INTERN	100	100	1991	5
53		SRS 1400-04	PINOASA	51	INTERN	100	100	1991	5
54		SRS 1400-15	JILT SUD	52	INTERN	100	100	1992	4
55		SRS 1400-08	LUPOAIA	54	INTERN	100	100	1993	3
56		SRS 1400-03	RUGET	56	INTERN	100	100	1994	2
57		SRS 1400-06	ROSIUTA	57	INTERN	100	100	1994	2
58		SRS 1400-07	PINOASA	53	INTERN	100	100	1995	1

Situția excavatoarelor de Tip 2000.30/7 și 1300.26/3,5

Tabelul 5. 2.

Nr. crt.	Excavatorul	Cariera	Nr. Fabricație	Furnizor	Anul P.I. F	Vârsta [Ani]
0	1	2	3	4	5	6
Tip 2000						
1	SRs2000-01	Roșia	466	Lauchhammer-Werk TAKRAF	1973	23
2	SRs2000-02	Roșia	467	Lauchhammer-Werk TAKRAF	1974	22
3	SRs2000-03	Roșia	468	Lauchhammer-Werk TAKRAF	1975	21
4	SRs2000-04	Rovinari Est	469	Lauchhammer-Werk TAKRAF	1977	19
Tip 1300						
1	SRs1300-01	Lupoaia	513	Lauchhammer-Werk TAKRAF	1976	20
2	SRs1300-02	Lupoaia	514	Lauchhammer-Werk TAKRAF	1977	19
3	SRs1300-03	Lupoaia	19003	Georgi-Dimitroff-Magdeburg TAKRAF	1978	18
4	SRs1300-04	Lupoaia	19004	Georgi-Dimitroff-Magdeburg TAKRAF	1979	17
5	SRs1300-05	Lupoaia	19005	Georgi-Dimitroff-Magdeburg TAKRAF	1980	16
6	SRs1300-02	Tismana II	19010	Georgi-Dimitroff-Magdeburg TAKRAF	1981	15
7	SRs1300-03	Tismana I	19011	Georgi-Dimitroff-Magdeburg TAKRAF	1979	17
8	SRs1300-05	Roșia	19012	Georgi-Dimitroff-Magdeburg TAKRAF	1981	15

Situația excavatoarelor de tip SRS 470.15/3,5

Tabelul 5. 3.

Nr.	Excavatorul	Cariera	Nr. fabricație	Furnizor	Anul	Vârsta
					P.I.F	[Ani]
0	1	2	3	4	5	6
1	SRS 470-01	Ciani (Gârla)	355	TAKRAF	1967	29
2	SRS 470-02	Ciani (Gârla)	383	TAKRAF	1967	29
3	SRS 470-03	Tismana II	10001	U.M.TIMIȘOARA	1982	14
4	SRS 470-03	Roșiuta	10002	U.M.TIMIȘOARA	1983	13
5	SRS 470-06	Lupoaia	10003	U.M.TIMIȘOARA	1982	14
6	SRS 470-01	Berbești Vest	10004	U.M.TIMIȘOARA	1984	12
7	SRS 470-07	Roșiuta	10005	U.M.TIMIȘOARA	1984	12
8	SRS 470-02	Berbești Vest	10006	U.M.TIMIȘOARA	1985	11
9	SRS 470-08	Roșiuta	10007	U.M.TIMIȘOARA	1985	11
10	SRS 470-09	Jilț Nord	10008	U.M.TIMIȘOARA	1985	11
11	SRS 470-08	Jilț Nord	10009	U.M.TIMIȘOARA	1985	11
12	SRS 470-07	Lupoaia	10010	U.M.TIMIȘOARA	1985	11
13	SRS 470-04	Urdari	10011	U.M.TIMIȘOARA	1985	11
14	SRS 470-03	Oltet	10012	U.M.TIMIȘOARA	1986	10
15	SRS 470-01	Pinoasa	10014	U.M.TIMIȘOARA	1987	9
16	SRS 470-10	Jilț Sud	10015	U.M.TIMIȘOARA	1987	9
17	SRS 470-10	Roșia	10016	U.M.TIMIȘOARA	1986	10
18	SRS 470-05	Tismana I	10017	U.M.TIMIȘOARA	1987	9
19	SRS 470-04	Hușnicioara	10018	U.M.TIMIȘOARA	1987	9
20	SRS 470-03	Berbești Vest	10019	U.M.TIMIȘOARA	1987	9
21	SRS 470-11	Jilț Nord	10020	U.M.TIMIȘOARA	1987	9
22	SRS 470-02	Pinoasa	10021	U.M.TIMIȘOARA	1988	8
23	SRS 470-04	Oltet	10022	U.M.TIMIȘOARA	1989	7
24	SRS 470-02	Ruget	10023	U.M.TIMIȘOARA	1990	6
25	SRS 470-05	Pinoasa	10024	U.M.TIMIȘOARA	1992	4
26	SRS 470-03	Gârla	10025	U.M.TIMIȘOARA	1994	2
27	SRS 470-16	Jilț Nord	10026	U.M.TIMIȘOARA	1992	4
28	SRS 470-06	Pinoasa	10027	U.M.TIMIȘOARA	1994	2

Obs: Excavatorul SRS 470-01 Nr.355 din cariera Gârla-EM Rovinari oprit pentru casare

Tabelul 5.4.

SITUATIA
PUNERILOR IN FUNCTIUNE A MASINILOR DE HALDAT

Nr. Cr.	TIP ABZETER	CARIERA	NR. FABRICATIE	FURNIZOR	ANUL P.I.F.	VIRSTA [ANI]
1	2500 . 50 - 02	CICANI	254	TAKRAF - KOTHEN	1967	29
2	4400 . 60 - 01	GARLA	13210 - 13211	TAKRAF - KOTHEN	1969	27
3	4400 . 60 - 01	TISMANA II	13206 - 13209	TAKRAF - KOTHEN	1969	27
4	4400 . 60 - 03	ROVINARI EST	13206 - 13207	TAKRAF - KOTHEN	1969	27
5	12500 . 95 - 01	ROSIA	14101	TAKRAF - KOTHEN	1973	23
6	12500 . 95 - 02	ROSIA	14102	TAKRAF - KOTHEN	1975	21
7	6300 . 95 - 02	TISMANA I	14318	TAKRAF - KOTHEN	1976	20
8	6300 . 95 - 01	LUPOAIA	14304 - 14305	TAKRAF - KOTHEN	1976	20
9	4400 . 95 - 01	TISMANA I	12312	TAKRAF - KOTHEN	1976	20
10	6500 . 60 - 01	ROVINARI EST	1324	KRUPP	1977	19
11	6300 . 95 - 02	LUPOAIA	14306 - 14307	TAKRAF - KOTHEN	1978	18
12	6500 . 60 - 01	JILT SUD	1323	KRUPP	1978	18
13	6500 . 90 - 02	URDARI	1406 - 1408	KRUPP	1978	18
14	6500 . 90 - 02	ROVINARI EST	1403 - 1405	KRUPP	1979	17
15	6500 . 90 - 03	TISMANA II	1409 - 1411	KRUPP	1980	16
16	6500 . 90 - 01	PESTEANA NORD	9	COOPERARE	1980	16
17	6300 . 95 - 03	ROSIA	14319	TAKRAF - KOTHEN	1981	15
18	6500 . 90 - 02	JILT NORD	7	COOPERARE	1982	14
19	6500 . 90 - 02	PESTEANA NORD	13	COOPERARE	1982	14
20	6500 . 90 - 03	GARLA	11	COOPERARE	1982	14
21	6500 . 90 - 03	JILT SUD	10	COOPERARE	1983	13
22	6500 . 90 - 01	OLTET	8	COOPERARE	1983	13
23	6500 . 90 - 04	ROSIA	15	COOPERARE	1985	11
24	6500 . 90 - 01	ROSIUTA	12	COOPERARE	1985	11
25	6500 . 90 - 01	HUSNICIOARA	14	COOPERARE	1985	11
26	6500 . 90 - 01	PESTEANA SUD	16	INTERN	1986	10
27	6500 . 90 - 03	TISMANA I	19	INTERN	1986	10
28	6500 . 90 - 01	URDARI	22	INTERN	1986	10
29	6500 . 90 - 04	JILT SUD	24	INTERN	1986	10
30	6500 . 90 - 01	PANGA	18	INTERN	1986	10
31	6500 . 90 - 05	JILT NORD	23	INTERN	1988	8
32	6500 . 90 - 01	PINOASA	20	INTERN	1988	8
33	4400 . 170 - 03	LUPOAIA	15400/15401	TAKRAF - KOTHEN	1988	8
34	6500 . 90 - 02	ROSIUTA	27	INTERN	1988	8
35	6500 . 90 - 02	HUSNICIOARA	21	INTERN	1988	8
36	6500 . 90 - 01	RUGET	25	INTERN	1989	7
37	4400 . 120 - 02	PESTEANA SUD	(2*)	U.M.TIMISOARA	1989	7
38	6500 . 90 - 02	PANGA	26	INTERN	1989	7
39	4400 . 170 - 04	PESTEANA NORD	(1)	COOPERARE	1990	6
40	6500 . 90 - 03	ROSIUTA	29	INTERN	1991	5
41	6500 . 90 - 02	PINOASA	30	INTERN	1991	5
42	4400 . 170 - 03	HUSNICIOARA	(2)	COOPERARE	1992	4
43	6500 . 90 - 02	OLTET	32	INTERN	1992	4
44	4400 . 170 - 03	URDARI	(3)	COOPERARE	1993	3
45	6500 . 90 - 04	LUPOAIA	34	INTERN	1994	2
46	6500 . 90 - 06	JILT SUD	35	INTERN	1994	2
47	6500 . 90 - 01	BUSTUCHIN	33	INTERN	1994	2
48	4400 . 170 - 02	TISMANA II	(4)	COOPERARE	1994	2

5.5. Expertizarea siguranței în exploatare a structurii portante

Existența unor utilaje cu durată de viață expirată, sau în perioada ultimă de viață, precum și costul ridicat al investițiilor pentru înlocuirea acestora, face rațională reabilitarea acestora în vederea prelungirii duratei de viață. Reabilitarea presupune verificarea siguranței în funcționare, bazată pe o expertizare pertinentă a rezistenței efective, constatată prin investigații specifice. Din acest punct de vedere, constatarea caracteristicilor mecanice efective ale materialelor, la perioada de serviciu considerată, oferă posibilitatea aprecierii rezervei de viață, cu o siguranță acceptabilă și rațională. Față de durata de viață proiectată există factori care contribuie la extinderea ei, precum și factori care conduc la reducerea acesteia. În fig.5.3.se prezintă factorii de influență asupra duratei de viață estimată de proiectant. Se observă că în general coeficienții de siguranță (numiți și de necunoaștere), ipotezele "acoperitoare", caracteristicile minimale utilizate și severitatea controlului prevăzut de proiectant constituie "rezerve" prin care expertiza are posibilitatea de a prelungi durata de viață. Factorii cauzati de exploatarea nerațională, lipsa mentenanței sau aplicarea sporadică a acesteia, evenimentele neprevăzute și degradarea materialului, sunt tot atâtea cauze care contribuie la reducerea duratei de viață, estimată prin proiect.

Degradările care afectează funcționalitatea utilajelor pot fi în general următoarele:

- uzura suprafețelor active;
- deformațiile remanente ale elementelor;
- fisuri neadmise la elemente mecanice;
- oboseală oligo- și policiclică a materialelor;
- coroziunea datorată mediului ambiant.

Toate aceste degradări pot fi diagnosticate prin metode adecvate, dar un control trebuie să fie în același timp eficient și economic. Din acest motiv logigrama prezentată în fig.5.4. utilizează investigații limitate și orientate conform probabilității de apariție și propagare a degradărilor.

Evaluarea stării de tensiune se efectuează de regulă cu un program automat, având în vedere dificultățile calculului. Analiza fiabilistă a structurii urmărește în principal stabilirea conlucrării elementelor în serie sau paralel (redundant) în vederea selectării elementelor critice care condiționează căderea funcționării sistemului. În același scop se utilizează și estimarea tensiunilor remanente datorate proceselor tehnologice (în principal sudurii) și banca de date care cuprinde cazuistica avariilor întocmită după

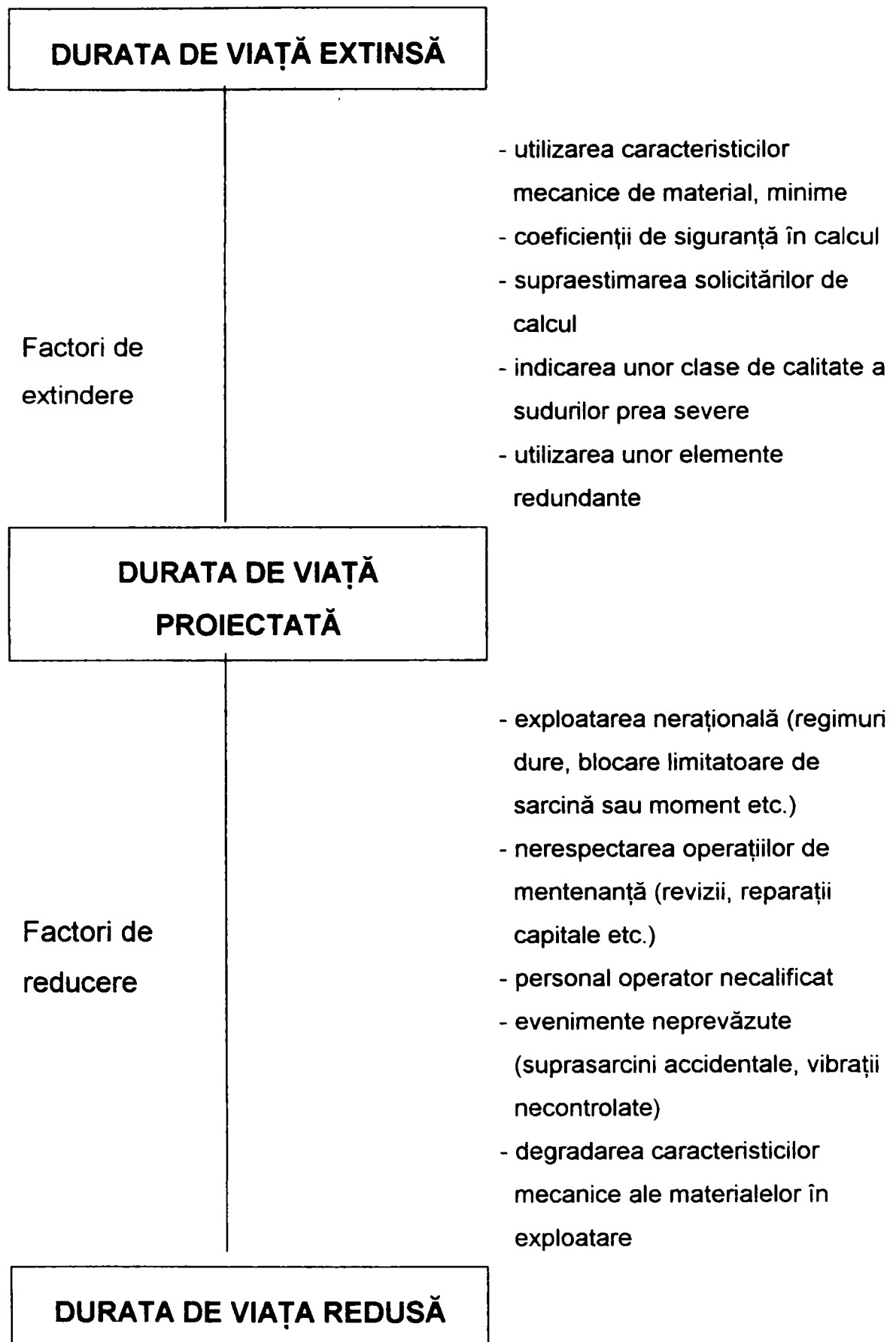


Figura 5.3.

FACTORII DE INFLUENȚĂ ASUPRA DURATEI DE VIAȚĂ

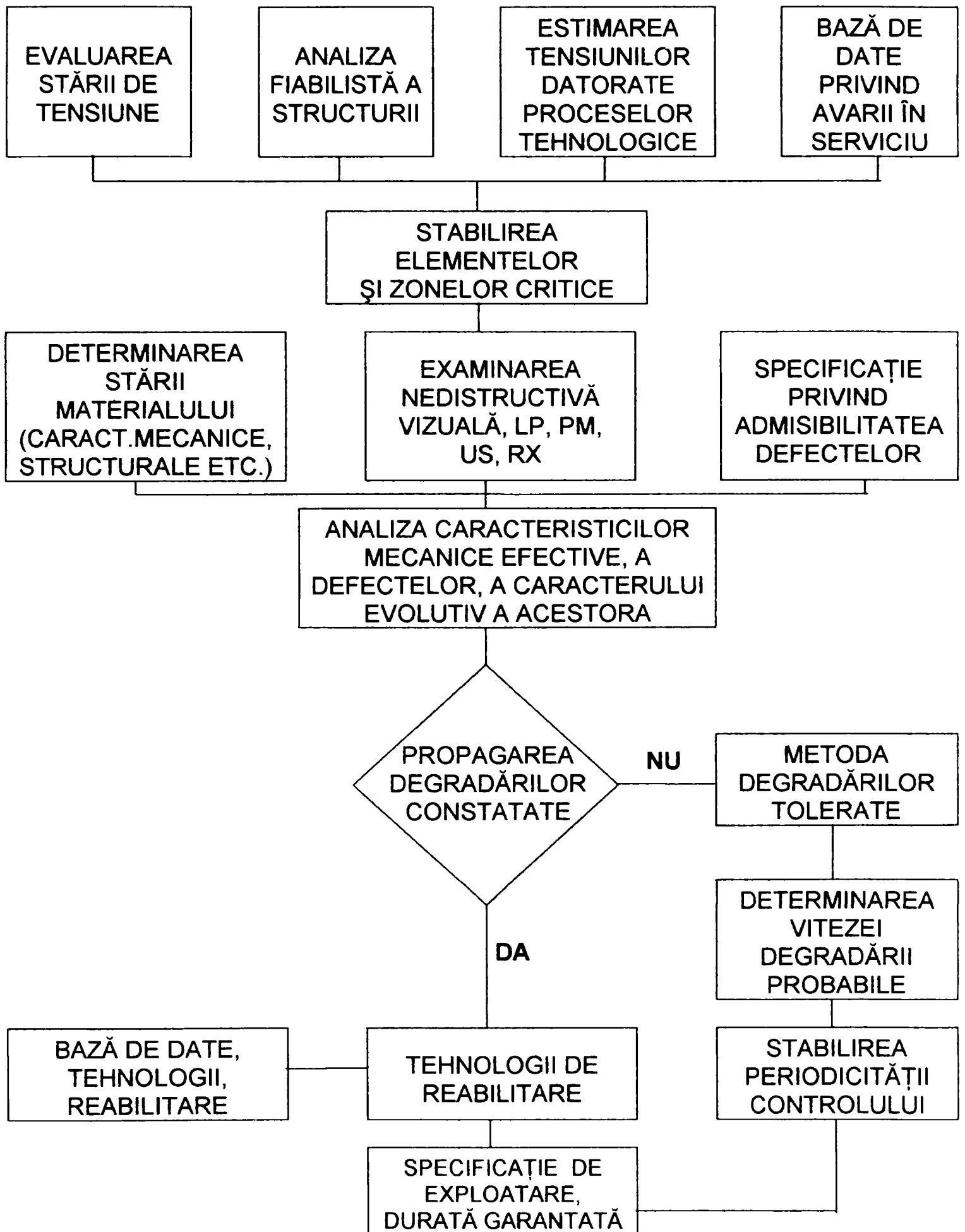


Figura 5.4. LOGIGRAMA EXPERTIZĂRII

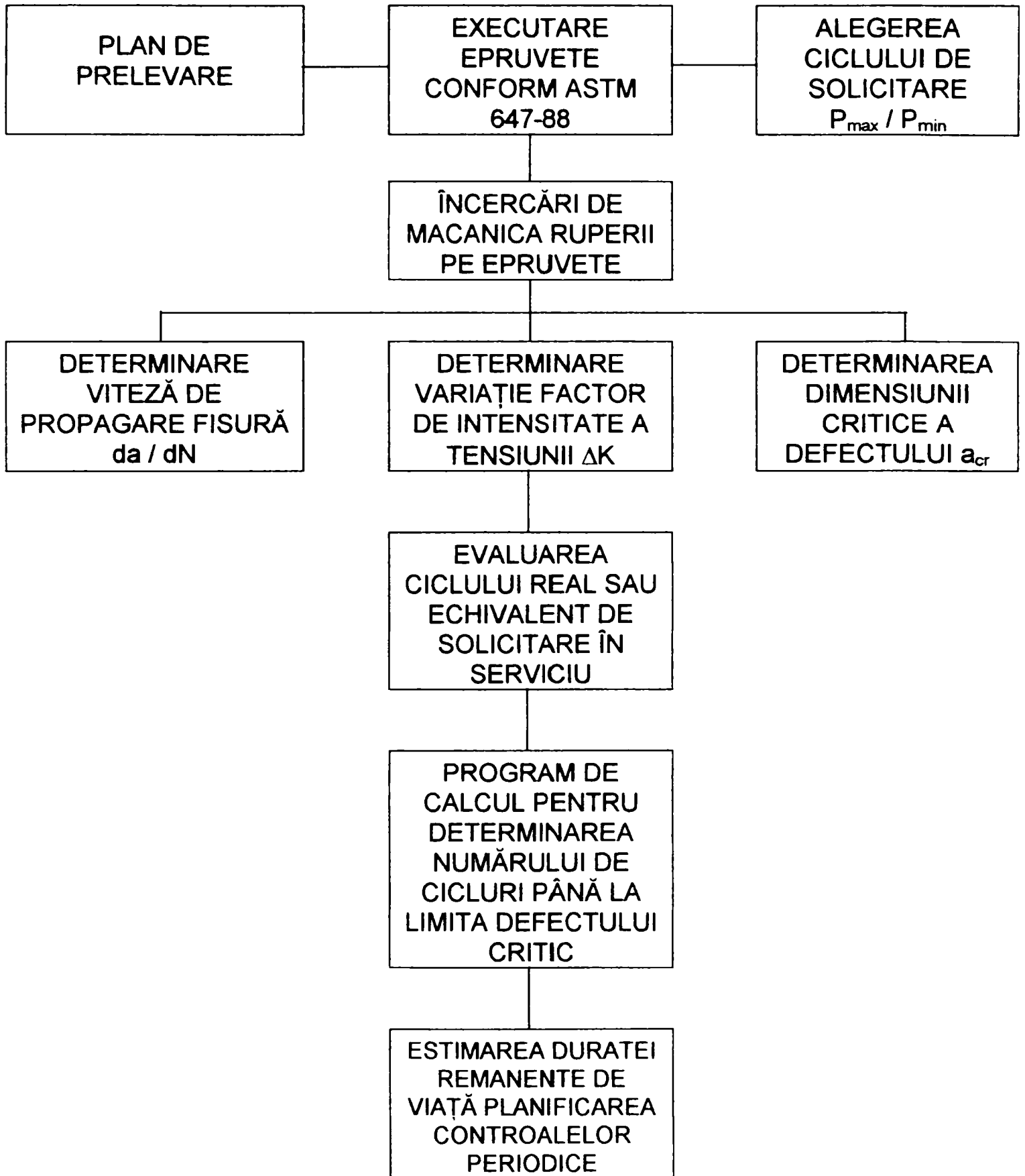


Figura 5.5.

LOGIGRAMA METODEI DEGRADĂRILOR TOLERATE

Toate aceste operații permit expertului, în final, stabilirea elementelor, zonelor și punctelor critice. În cazul programului european de cercetare BITE s-a creat astfel un sistem expert denumit "RAMIRO" care oferă un model de gândire al experților. Stabilirea elementelor critice are în acest fel următoarele referințe:

- cazuistica avariilor;
- literatura de specialitate;
- reglementări și standarde;
- calcule de referință;
- documentația de execuție;
- date privind încercări, analize, examinări.

Odată stabilite elementele, zonele și punctele critice, se procedează la controlul acestora în proporție de 100%, vizual, cu lichide penetrante, cu pulberi magnetice, cu ultrasunete și cu radiații penetrante. Metodele sunt în general complementare, astfel pentru defecte de suprafață se vor utiliza combinat LP + PM, iar pentru defecte interioare US + RX.

Interpretarea rezultatelor reprezintă o problemă în sine. Dacă la fabricație, referențialele dau limite acceptate de defecte, în cazul expertizelor problema devine mult mai complexă. În general personalitatea expertului joacă aici un rol principal. Astfel defectele trebuie apreciate în funcție de potențialul lor de propagare, în funcție de evoluția lor în timp. Dacă la o grosime de perete degradată prin coroziune, admisibilitatea este relativ simplă (există limite în standarde sau documentația de execuție), în cazul defectelor de tip fisură, problema devine tot mai dificilă. Din acest motiv se consideră că mecanica ruperii poate furniza informații pertinente privind caracterul evolutiv al defectelor denumite generic "plane". Se știe că propagarea clasică a unei fisuri într-o placă plană începe de regulă la un unghi de 45° față de direcția de solicitare continuă, perpendicular pe direcția de solicitare și sfârșește la ieșire tot cu un unghi de 45° față de direcția de solicitare.

Metoda degradărilor tolerate, care are la bază conceptele mecanicii ruperii, aplicată la structuri de rezistență, prezintă o serie întreagă de avantaje față de metoda durabilității garantate, prin faptul că operează cu parametrii determinați experimental pe material în stare efectivă, la momentul expertizei. Ea permite de asemenea monitorizarea unor structuri în vederea evitării unor operații de mentenanță nejustificate și asigură utilizarea rațională în deplină siguranță. În fig.5.5. se prezintă logigrama metodei gedradărilor tolerate. Conform ASTM 647-88 se aleg epruvete (de regulă de tracțiune) și ciclul de solicitare P_{max} / P_{min} periodic, cu variație sinusoidală și amplitudine constantă pentru a produce la vârful fisurii o solicitare de oboseală cu tensiuni de aceeași formă. Modul de deformare este deschiderea fisurii (modul I). Sarcina de încercare P_{max} se alege astfel ca solicitarea materialului la vârful creștăturii să fie preponderent elastică.

Pentru estimarea durabilității elementelor constructive se postulează existența unui defect de tip fisură și se aplică relația lui Paris, în care valorile C și m sunt cele determinate experimental sau calculate cu relații empirice, iar variația ΔK se calculează în funcție de geometria elementului cu defect existent presupus.

În cazul general durabilitatea elementelor conținând defecte, se exprimă prin numărul de cicluri N, aplicate pentru ca o fisură, având măsura inițială a_0 să tindă la dimensiunea critică (admisibilă) a_{cr} :

$$dN = \frac{da}{C \cdot (\Delta K)^m} \quad (5.1.)$$

de unde

$$N = \int_{a_0}^{a_c} \frac{da}{C \cdot (\Delta K)^m} \quad [\text{cicluri}] \quad (5.2.)$$

Pe baza duratei până la dimensiunea critică a defectului, calculată cu ciclul real de solicitare și în ipoteza existenței unei fisuri inițiale, se stabilește periodicitatea controlului nedistructiv în zonele critice. Astfel construcția este ținută în permanență sub control.

În cazul în care la controlul nedistructiv se evidențiază defecte neadmise, conform aprecierii expertului cu caracter evolutiv, se aplică tehnologii de reabilitare (sudare, eclisare etc.) după o tehnologie selectată din banca de date aferentă. Această bancă de date se reactualizează permanent de către tehnologii de specialitate.

Odată expertiza încheiată, se elaborează o specificație de exploatare însoțită de perioada de garanție și termenele de reexpertizare aferente. Stabilirea duratei remanente are la bază un calcul bazat pe mecanica ruperii, cu parametrii de material obținuți efectiv prin încercări. Calculul fiind laborios se aplică un program pe calculator. Datele obținute se extrapolează pe construcția reală ținând cont de spectrul real și durata activă de folosire a utilajului.

În continuare se prezintă o metodologie de estimare a durabilității unui element portant, în care după o anumită perioadă de funcționare apare o fisură, bazată pe conceptele mecanicii ruperii materialelor.

Studiul a fost efectuat pe un tirant al unui excavator care a funcționat 12 ani. Tirantul executat din St 52-3, a avut compoziția chimică conform tabelului 5.5.

Tabelul 5. 5.

Compoziția chimică	C [%]	Si [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	Al [%]	N [%]	Fe [%]
St 52-3	0,173	0,572	1,770	0,075	0,024	0,015	-	rest

Pentru a stabili în ce măsură caracteristicile mecanice ale materialului s-au modificat în decursul acestei perioade s-au debitat din tirant o serie de epruvete pe care s-au determinat noile caracteristici ale materialului (tabelul 5.6.).

Tabelul 5.6.

Materialul	Rezistența la rupere Rm [MPa]	Limita de curgere Re [MPa]	Alungirea la rupere A [%]	Gâtuirea la rupere Z [%]
St 52-3 neutilizat	590	410	27	66
St 52-3 utilizat	567	434	20	57

Prelucrarea statistică a datelor experimentale obținute pe un număr mare de epruvete a permis o comparație între caracteristicile mecanice și de deformabilitate ale materialului utilizat și a celui neutilizat. S-a evidențiat astfel că în urma exploatării materialul s-a durificat, micșorându-se în același timp caracteristicile de deformabilitate (A, Z).

Pentru aprecierea comportării la oboseală a oțelului St 52-3 s-au executat epruvete din materialul de bază precum și epruvete sudate, care au fost supuse unor cicluri variabile de solicitare.

Încercările s-au efectuat pe un pulsator de 100 tf, pentru cicluri oscilante pozitive la solicitări de tracțiune, acționat hidraulic.

La toate solicitările s-a păstrat constantă valoarea tensiunii minime $\sigma_{\min} = 73,6$ MPa, deoarece, conform ciclului de solicitare al tirantului, această valoare a tensiunii corespunde greutateii proprii susținute de tirant.

Rezultatele obținute pentru încercările la oboseală sunt prezentate în tabelul 5.7.

Tabelul 5.7.

Epruvete folosite	σ_{\min} [MPa]	σ_{\max} [MPa]	$R_s = \sigma_{\min}/\sigma_{\max}$	N [cicluri până la rupere]
Material de bază	73,6	99,3	0,74	93.000.000
	73,6	130,0	0,566	56.000.000
	73,6	147,2	0,5	45.000.000
	73,6	157,3	0,468	8.237.000
	73,6	200,0	0,368	6.381.000
	73,6	245,3	0,3	3.162.000
	73,6	283,0	0,26	508.000
Îmbinări sudate	73,6	283,0	0,26	2.286.000
	73,6	400,0	0,184	93.000

Aprecierea tenacității materialului s-a făcut pe baza factorului de intensitate al tensiunii K_I .

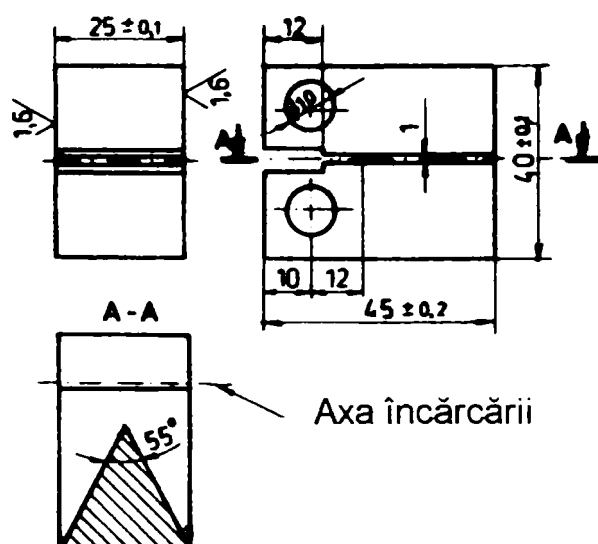


Figura 5.6. Epruveta Chevron

Valoarea critică a factorului de intensitate al tensiunii s-a obținut prin încercări pe epruvete de tip Chevron (fig.5.6.). Determinarea tenacității la rupere pe epruvete Chevron prezintă câteva avantaje notabile față de metoda K_{IC} de determinare a tenacității la rupere. Dintre acestea cele mai importante sunt respectarea stării plane de deformare pe epruvete de dimensiuni mult mai mici față de metoda K_{IC} , datorită formei epruvetei; aceste epruvete nu necesită o prefisurare prin oboseală; cost redus față de metoda K_{IC} .

Prin această încercare, tenacitatea la rupere pe epruvete Chevron, K_{IV} , s-a determinat cu relația:

$$K_{IV} = A \cdot \frac{F_{\max}}{B^{3/2}} \quad [\text{N/mm}^{3/2}] \quad (5.3.)$$

unde: $A = 22,0$ un coeficient în funcție de tipul epruvetei

F_{\max} - forța maximă din înregistrarea forței de deplasare

B - grosimea epruvetei

Valoarea medie obținută în urma încercării unui număr de 6 epruvete este $K_{IC} = 3375 \text{ [N/mm}^{3/2}\text{]}$.

Cercetările experimentale au dovedit că variația factorului de intensitate a tensiunii $\Delta K_{IC} = K_{I\max} - K_{I\min}$ și viteza de propagare a fisurii de oboseală da/dN pot fi corelate pe baza legii lui Paris:

$$\frac{da}{dN} = C \cdot \Delta K_I^n \quad [\text{mm/ciclu}] \quad (5.4.)$$

Pentru coeficientul de asimetrie a ciclului $R_s = 0,5$ s-au obținut coeficienții:

$$C = 3,92 \cdot 10^{-10} \text{ mm}^{2,5}/\text{nr.ciclu} \text{ și } n = 2,82.$$

Întrucât spectrul de solicitare al tirantului în anumite regimuri se caracterizează prin coeficient de asimetrie $R_s \neq 0,5$ în calcule s-a utilizat o formă corectată a relației (5.4.), care să țină cont de coeficientul de asimetrie al ciclului:

$$\frac{da}{dN} = C \cdot \frac{\Delta K_I^n}{\sqrt{1 - R_s}} \quad (5.5.)$$

Calculul factorului de intensitate a tensiunii K_I s-a făcut cu relația:

$$K_{I\max, \min} = \sigma_{\max, \min} \cdot \sqrt{\pi \cdot a} \cdot f(a/b) \quad (5.6.)$$

unde: $\sigma_{\max, \min}$ - tensiunea maximă respectiv minimă [MPa],

a - lungimea fisurii [mm],

$f(a/b)$ - un coeficient ce ține seama de modul de dispunere al fisurii.

Pentru studiul durabilității tirantului au fost considerate trei ipoteze de calcul în funcție de modul de dispunere a fisurii de oboseală.

A) Tirantul cu fisură centrală (fig.5.7.) pentru care :

$$f(a/b) = \sqrt{\frac{2b}{\pi \cdot a} \cdot \text{tg} \frac{\pi \cdot a}{2b}} \quad (5.7.)$$

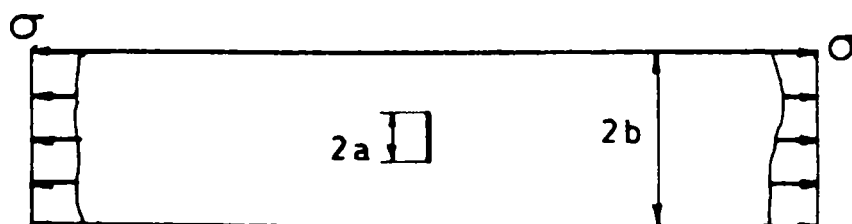


Figura 5.7. Tirant cu fisură centrală

B) Tirantul cu fisură laterală (fig.5.8.), pentru care:

$$f(a/b) = 1,12 - 0,231 \cdot \left(\frac{a}{b}\right) + 10,55 \cdot \left(\frac{a}{b}\right)^2 - 21,72 \cdot \left(\frac{a}{b}\right)^3 + 30,39 \cdot \left(\frac{a}{b}\right)^4 \quad (5.8.)$$

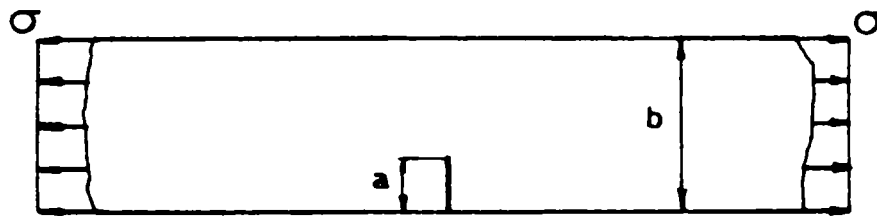


Figura 5.8. Tirant cu fisură laterală

C) Tirantul cu fisuri laterale (fig.5.9.), pentru care:

$$f(a/b) = 1,12 + 0,43 \cdot \left(\frac{a}{b}\right) - 4,78 \cdot \left(\frac{a}{b}\right)^2 + 15,44 \cdot \left(\frac{a}{b}\right)^3 \quad (5.9.)$$

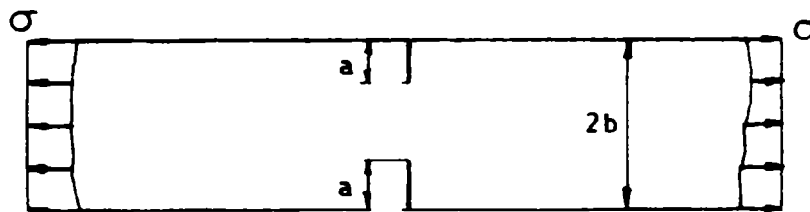


Figura 5.9. Tirant cu fisuri laterale

Studiul propagării prin oboseală a fisurilor s-a realizat cu ajutorul unui program de calcul specializat. Programul este scris în QBASIC și a fost rulat pe un calculator PC 486. Datele de intrare în program sunt: tensiunile maximă σ_{max} și minimă σ_{min} , modul de dispunere al fisurii, lățimea tirantului "b", lungimea fisurii "a", coeficienții "C" și "n" și factorul critic de intensitate a tensiunii K_{IC} . Programul calculează funcțiile $f(a/b)$, factorii de intensitate a tensiunii inițiali $K_{imax,ini}$ și $K_{imin,ini}$, variația inițială a factorului de intensitate al tensiunii $\Delta K_{l,ini}$, iar apoi prin iterații, valorile factorilor de intensitate a tensiunii, variației factorilor de intensitate ai tensiunii, numărul de cicluri N pentru o creștere a fisurii "da" impusă. Programul se oprește în momentul în care fisura de oboseală a străbătut întreaga lățime a tirantului "b" sau când factorul de intensitate a tensiunii maxime $K_{imax,fin}$ a atins valoarea tenacității la rupere K_{IC} . Datele de ieșire din program sunt factorii de intensitate ai tensiunii finali $K_{imax,fin}$ și $K_{imin,fin}$, variația finală a factorului de intensitate al tensiunii $\Delta K_{l,fin}$, lungimea fisurii la care s-a atins tenacitatea la rupere a_{fin} și numărul de cicluri N la care s-a atins tenacitatea de rupere. De asemenea programul trasează variația lungimii fisurii în funcție de factorul maxim de intensitate al tensiunii $a = f(K_{imax})$, respectiv variația lungimii fisurii în funcție de numărul total de cicluri $a = f(N)$.

Rezultatele obținute pentru câteva rulări, considerându-se pentru fiecare din cele trei tipuri de dispunere (A, B și C) a fisurii patru lungimi diferite ale fisurii inițiale (2, 5, 10 și 15 mm) sunt prezentate în tabelul 5.5.

Tabelul 5.5.

Tip fisură	a_0 mm	$f(a/b)_{min}$ -	$K_{imax,ini}$ $N/mm^{3/2}$	$K_{imin,ini}$ $N/mm^{3/2}$	$\Delta K_{i,ini}$ $N/mm^{3/2}$	$f(a/b)_f$ -	$K_{imax,fin}$ $N/mm^{3/2}$	$K_{imin,fin}$ $N/mm^{3/2}$	$\Delta K_{i,fin}$ $N/mm^{3/2}$	a_f mm	Nr. cicluri de rupere
A	2	1,0000	176,02	130,45	45,55	1,767	3375,01	2501,52	873,49	117,79	54809,5
A	5	1,0001	278,33	206,29	72,03	1,767	3375,01	2501,52	873,49	117,79	34056,4
A	10	1,0006	393,78	291,86	101,91	1,767	3375,01	2501,52	873,49	117,79	22774,7
A	15	1,0013	482,62	357,71	124,91	1,767	3375,01	2501,52	873,49	117,79	17521,6
B	2	1,1189	278,51	206,43	72,08	1,866	3375,26	2501,70	873,55	105,64	27006,4
B	5	1,1190	440,38	326,41	113,98	1,866	3375,26	2501,70	873,56	105,94	15596,1
B	10	1,1232	625,18	436,37	161,80	1,866	3375,26	2501,70	873,56	105,94	9422,3
B	15	1,1323	771,85	572,08	199,76	1,866	3375,25	2501,70	873,56	105,94	6591,5
C	2	1,1220	197,59	146,37	51,11	1,713	3375,35	2320,29	873,57	125,23	40535,7
C	5	1,1221	312,25	231,43	80,81	1,713	3375,35	2320,30	873,57	125,23	25533,3
C	10	1,1222	441,63	327,33	114,30	1,713	3375,35	2320,29	873,57	125,23	17373,7
C	15	1,1223	540,98	400,97	140,01	1,713	3375,35	2320,29	873,57	125,23	13569,6

În figura 5.10. se prezintă variația numărului de cicluri până la rupere în funcție de lungimea inițială a fisurii pentru cele trei cazuri considerate.

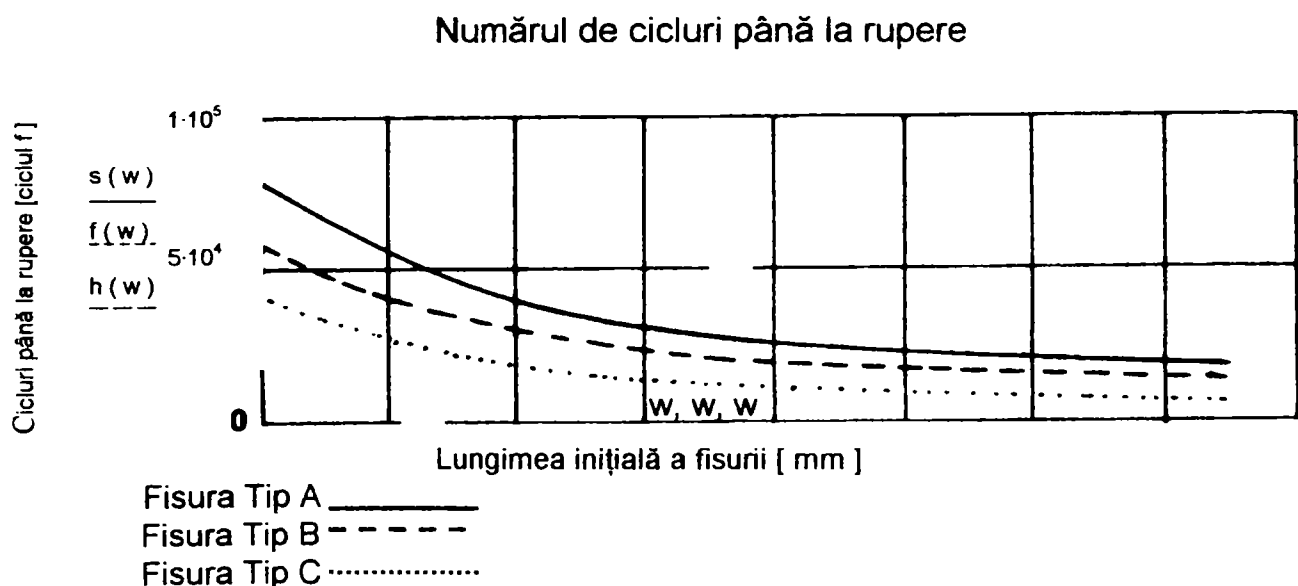


Figura 5.10. Variația numărului de cicluri până la rupere în funcție de lungimea inițială a fisurii

Pe baza analizei efectuate asupra tirantului excavatorului se poate concluziona:

- analizând cele trei cazuri studiate, se remarcă, că indiferent de lungimea inițială a fisurii pentru un anumit mod de dispunere a acesteia, lungimea critică a fisurii de la care se produce ruperea instabilă este aceeași.
- cea mai defavorabilă situație corespunde apariției în tirant a unei fisuri laterale (figura 5.7.).
- se observă că apariția unor fisuri în tirant diminuează considerabil durata de viață în comparație cu numărul de cicluri până la rupere obținut prin încărcările de oboseală, în care se include și perioada de incubație a fisurii.
- se recomandă efectuarea unor investigații nedestructive pe tirant după un anumit număr de cicluri, care împreună cu metodologia prezentată, să poată furniza informații privind durabilitatea tirantului.

5.6. Metodologia de analiză a stării de oboseală a structurilor portante ale instalațiilor de ridicat din componența U.G.M. cu durata de viață depășită

La ora actuală din cele cca. 100 de excavatoare cu roată cu cupe din dotarea exploatărilor miniere din bazinul carbonifer Oltenia, 40% au durata de funcționare normală de 12 ani depășită, iar cca. 10% au peste 20 de ani de funcționare.

Începând din anul 1996 PROMPT S.A. Timișoara, în calitate de proiectant de asemenea utilaje, a primit nenumărate solicitări, din partea Combinatului Minier Oltenia, de expertizare a stării tehnice a unor excavatoare cu rotor puse în funcțiune în perioada 1967 - 1969, în vederea stabilirii rezervei de viață.

Bazându-se pe experiența acumulată de laboratorul de încercări în expertizarea podurilor rulante, începând din anul 1995, în preocupările PROMPT S.A. s-a aflat și elaborarea unor metodologii de expertizare a utilajelor din carierele de lignit și depozitele de cărbune, pentru determinarea rezervei de viață, activitate coordonată personal.

Necesitatea elaborării unor metodologii este importantă atât din punctul de vedere al siguranței în exploatare cât și din punctul de vedere al avantajelor economice care rezultă din prelungirea duratei de funcționare.

Până în prezent nu se cunoaște existența în țară sau în străinătate a unor norme sau metodologii specifice privind expertizarea situației tehnice a utilajelor destinate manipulării cărbunelui în centralele termoelectrice și excavării lui la suprafață, care au durata de funcționare normală depășită.

Mecanismele și instalația electrică ale acestor utilaje putând fi înlocuite la nevoie, rolul hotărâtor în stabilirea posibilității de utilizare în continuare, peste durata normală de funcționare, îl are construcția metalică. O importanță deosebită în cazul expertizării construcției metalice, în general, o are verificarea la oboseală. În ceea ce privește analiza stării tehnice a elementelor de construcție metalică în general și în particular pentru poduri de cale ferată și rutiere, există o serie de standarde și norme. Norma europeană EUROCODE - EN V 1993-1-1, pentru calculul și verificarea elementelor de construcție metalică, conține la capitolul 9 o metodă de verificare la oboseală, atât la proiectare cât și pentru elementele aflate

în exploatare. În cadrul PROMPT Timișoara a fost elaborată, pe baza normei EUROCODE - EN V 1993-1-1, o metodologie de analiză a stării de oboseală a structurilor portante ale instalațiilor de ridicat cu durată de viață depășită. Principiul care stă la baza acestei metodologii este principiul cumulării defectării, elaborat la Palmgreen - Miner.

Rezistența la oboseală sub sarcini de exploatare este rezistența la oboseală a unui element de construcție metalică în condiții apropiate de cele reale, ținând seama de:

- succesiunea neregulată a ciclurilor de solicitare, de mărimi și frecvențe diferite (spectrul de solicitare);
- valorile maxime ale eforturilor;
- eforturile unitare admisibile la oboseală.

În mod obișnuit, variația solicitării într-un element de construcție metalică este de tipul celei prezentate în figura 5.11.

Pentru a lua în considerare solicitările cu amplitudine variabilă, Palmgreen - Miner au propus principiul cumulării defectărilor.

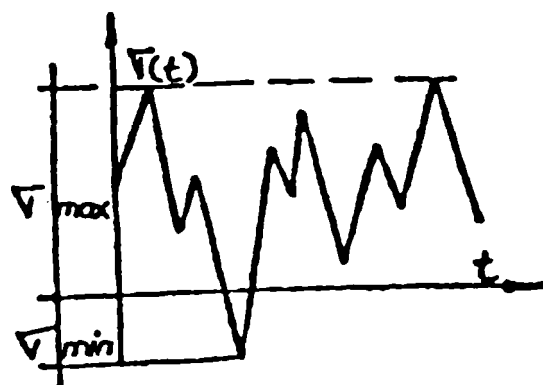


Figura 5.11. Variația solicitării

Conform acestui principiu, dacă o epruvetă solicitată la nivelul $\Delta\sigma_1$ se rupe după N_1 cicluri (conform curbei de oboseală Wöhler), adică atunci când defectarea este totală, înseamnă că la un număr redus de repetări ale solicitării $n_1 < N_1$, defectarea se produce doar în proporție de n_1 / N_1 .

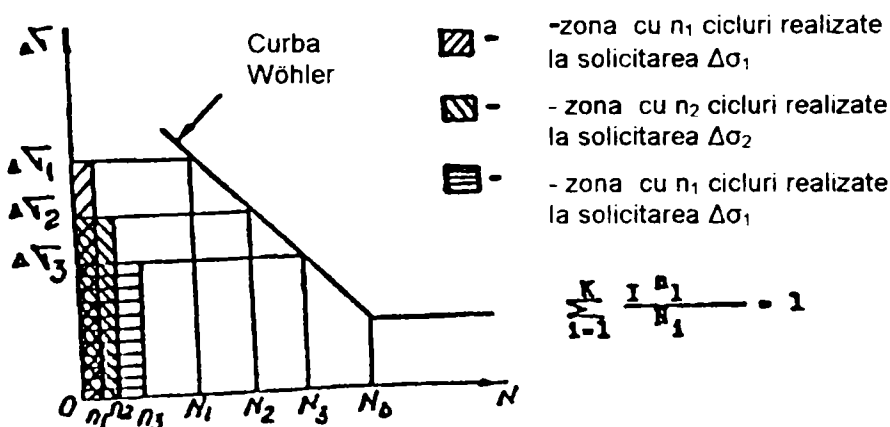


Figura 5.12. Curba Wöhler

Solicitând apoi epruveta la un alt nivel $\Delta\sigma_2 < \Delta\sigma_1$ un număr $n_2 < N_2$ ori, N_2 fiind numărul de cicluri la care se produce defectarea totală la nivelul $\Delta\sigma_2$ se va adăuga defectarea n_2 / N_2 .

Cumulând linear defectările produse la diferite nivele $\Delta\tau_1$ de solicitări repetate de n_i ori, ruperea se va produce atunci când defectarea este totală, adică atunci când:

$$\sum \frac{n_i}{N_i} = \frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} + \dots + \frac{n_i}{N_i} = 1 \quad (5.10.)$$

Dacă $\sum \frac{n_i}{N_i} > 1$, defectarea nu este totală și elementul mai poate funcționa.

Printre metodele de expertizare nedistructivă utilizate cu succes în decursul anilor se cuvine să amintim și măsurătorile extensiometrice.

Utilizate cu preponderență la stabilirea solicitărilor în regim static și dinamic în construcția metalică a podurilor rulante, a macaralelor și automacaralelor, ele au început să fie utilizate și la expertizarea mașinilor de scos din depozitele de cărbune și la excavatoare.

Este vorba de măsurătorile efectuate la mașina de stivuit de 1200 t/h din cadrul C.E.T.TURCENI, precum și la remedierea tumului excavatorului ERc 1400 de la cariera RUGET - BUSTUCHIN din cadrul C.N.L.Oltenia.

Se preconizează utilizarea măsurătorilor electro-extensiometrice și la repararea excavatorului SRS 1300 de la cariera TISMANA II precum și la determinarea solicitărilor reale, în regim static și dinamic, ale excavatorului ERc 1400.

Un fenomen care are efecte perturbatoare asupra bunei funcționări a utilajelor din carierele de cărbune, îl reprezintă oscilațiile și vibrațiile ce apar la suprastructură.

Aceste utilaje fiind foarte slab amortizate intern, orice perturbație, chiar de nivel inferior, poate produce efecte rezonante de elongații și eforturi dinamice mari.

Principalele surse de perturbații sunt:

- procesul de excavare;
- transportoarele cu bandă;
- mecanismul de ridicare braț;
- mecanismele de deplasare;
- tensionarea diferită a cablurilor de antrenare.

În scopul pregătirii unor investigații experimentale de măsurători de vibrații, respectiv pentru alegerea punctelor de măsurare este recomandabil să se elaboreze un model dinamic.

Este indicat ca modelul să conțină cât mai puțin coordonate independente $q_i(t)$ cu care se poate aproxima mișcarea vibratorie a structurii. Cea mai ușoară metodă de determinare a ecuațiilor diferențiale de mișcare a unei structuri, este ecuația lui Lagrange:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial \mathcal{E}_c}{\partial \dot{q}} - \frac{\partial \mathcal{E}_c}{\partial q} + \frac{\partial \mathcal{E}_p}{\partial q} + \frac{\partial \mathcal{E}_d}{\partial q} = (Q) \quad (5.11.)$$

unde: \mathcal{E}_c – energia cinetică a întregii structuri

\mathcal{E}_p – energia potențială înmagazinată în structură

E_d – energia de disipare a vibrațiilor

Pentru un model dinamic simplificat, în care se urmăresc numai mișcările vibratorii corespunzătoare primelor moduri naturale de vibrații ale ansamblului utilajului, se poate considera că structurile au o comportare de corp rigid. Singura substructură care trebuie să fie considerată parțial deformabilă este cea a rulmentului de rotire, unde solicitările locale sunt de nivele mari. Zona rulmentului poate fi aproximată cu o articulație sferică împiedicată elastic la mișcări de balans ale suprastructurii.

În cadrul expertizelor tehnice realizate de PROMPT S.A. s-au utilizat cu preponderență următoarele metode de control nedistructiv:

- controale vizuale și cu lupa a materialului și cordoanelor de sudură în zonele puternic solicitate ale construcțiilor metalice și ale mecanismelor;
- determinarea grosimii tablelor cu ultrasunete în zonele puternic corodate ale construcției metalice;
- verificarea materialului prin: control cu lichide penetrante, control cu pulberi magnetice, control ultrasonic;
- verificarea îmbinărilor sudate prin control US și cu lichide penetrante.

Aceste metode de control s-au utilizat la experimentarea mașinilor de scos din depozit de la C.E.T.TURCENI și la excavatorul cu rotor SRS 1300 de la E.M. Rovinari.

Corespunzător nivelului actual de informații deținute referitor la expertizarea unui utilaj, un program cadru trebuie să cuprindă următoarele etape de lucru:

- a) faza preliminară de adunare de date (constatare la fața locului, întocmirea fișei utilajului etc.);
 - b) analiza datelor preliminare;
 - c) stabilirea metodei de verificare la oboseală;
 - d) verificarea structurii de rezistență;
 - e) măsurători "IN SITU"
 - măsurători electrotensometrice în regim static și dinamic
 - măsurători de vibrații
 - determinarea poziției centrului de greutate
 - f) determinarea calității materialelor structurii de rezistență (compoziție chimică, încercări mecanice);
 - g) concluzii privind structura de rezistență a utilajului.
- În cazul în care starea tehnică a structurii de rezistență permite utilizarea în continuare, expertiza continuă cu:
- h) expertizarea instalației electrice de acționare și automatizare;
 - l) expertizarea mecanismelor și instalațiilor auxiliare (ungere, aer comprimat);
 - j) concluzii generale și recomandări.

5.7. Concluzii

- Un produs complex de tipul U.G.M. corect proiectat și construit, minuțios controlat și judicios utilizat, nu trebuie să prezinte defectări în funcționare, dar din practica inginerească nu se exclude în întregime posibilitatea întreruperilor în funcționare.
- Exploatarea bazei de date privind concepția și proiectarea U.G.M. va urmări, în principal, stabilirea producției pieselor de schimb în scopul măririi duratei de exploatare a acestor utilaje.
- Controlul în exploatare a U.G.M. se realizează prin:
 - analize și constatări la documentația de execuție;
 - controlul construcției metalice și al elementelor portante;
 - măsurări “in situ”;
 - încercări distructive pentru determinarea calității materialelor și a îmbinărilor sudate;
 - analiza tensiunilor și deformațiilor în structura de rezistență;
 - urmărirea “la zi” a situațiilor U.G.M. privind durata de viață în funcționare.
- Analiza fiabilistică a structurii complexe urmărește în principal stabilirea combinării elementelor portante ale U.G.M. în serie sau paralel în vederea selectării elementelor critice care condiționează căderea funcționării sistemului.
- Metoda degradărilor tolerate, care are la bază conceptele moderne ale mecanicii ruperii, aplicată la structuri de rezistență prezintă o serie întreagă de avantaje față de metoda durabilității garantate, prin faptul că operează cu parametrii determinați experimental pe materialul în starea existentă efectiv la momentul expertizei.
- Norma europeană EUROCODE - EN V 1993-1-1 stă la baza metodologiei de analiză a stării de oboseală a structurilor portante ale instalațiilor de ridicat cu durată de viață depășită, întocmită sub coordonarea directă a doctorandului.

CAP.6. EFICIENȚA ECONOMICĂ A ROȚII CU CUPE REPROIECTATĂ :**6.1. Varianta inițială și varianta modernizată – reducerea consumului de materiale și manoperă .**• **Varianta inițială :***Caracteristici tehnice:*

Diametrul roții cu cupe măsurat pe cercul de tăiere	11,5 m
Numărul cupelor	9
Numărul cuțitelor anterioare	9
Capacitatea nominală a unei cupe	1400 l
Viteza de tăiere măsurată pe cercul de tăiere	2,6 m/s
	3,08 m/s
Turația roții cu cupe	4,32 rot/min
	5,11 rot/min
Numărul de deversări pe minut	39; 46
Greutate corp roată cu cupe	32 100 kg

Descriere:

Roata cu cupe este în construcție chesonată rigidizată în interior prin cadre transversale. Roata este alcătuită din trei tronsoane cu deschidere unghiulară de 120° care permit un transport gabaritic. Cele trei tronsoane se îmbină între ele prin sudură de montaj și în interior sunt sudate, tot la montaj, de elementul central.

Un tronson este alcătuit la exterior din două grinzi circulare de tip cheson care cuprind urechile de fixare ale cupelor. Aceste grinzi sunt legate între ele prin intermediul unor traverse și sunt fixate pe o parte de un perete vertical și de peretele înclinat care se închide cu cel de al doilea perete vertical. Pereții verticali sunt rigidizați în interior.

Grinzile circulare sunt prevăzute pe pereții exteriori cu bare de uzură.

Elementul central este alcătuit din doi pereți verticali care se îmbină cu șuruburi de păsuire de cei doi butuci. Butucii sunt fixați prin fretare de arborele roții.

Mișcarea de rotire se transmite de la arbore la roată prin intermediul îmbinării fretate și a șuruburilor păsuite la elementul central al roții.

Partea înclinată a tronsoanelor ce constituie corpul roții este acoperită cu plăci de uzură, deoarece aceasta are rolul de a conduce materialul excavat de la cupe în pâlnia de preluare și pe banda transportoare.

Asamblată, roata fără cupe, are un diametru de 9920 mm peste urechile de prindere a cupelor.

Pe circumferința roții sunt plasate 9 cupe și 9 cuțite anterioare. Cuțitele și cupele sunt fixate pe roată cu bolțuri pe urechile roții.

• **Varianta modernizată:**

Caracteristici tehnice:

Diametrul roții cu cupe măsurat pe cercul de tăiere	11,5 m
Numărul cupelor	20
Capacitatea nominală a unei cupe	725 l
Viteza de tăiere măsurată pe cercul de tăiere	2,81 m/s
Turația roții cu cupe	4,68 rot/min
Numărul de deversări pe minut	94
Greutate corp roată cu cupe	30 050 kg

Descriere:

Corpul roții cu cupe reprezintă o construcție din tablă de forma unui disc circular format din două conuri la care pe circumferință sunt montate cele 20 de cupe tăietoare încărcătoare și care în centru este fixat prin eclise prinse cu șuruburi de arborele roții cu cupe .

Construcția corpului este o construcție elastică de tip membrană formată prin sudarea între ele a două trunchiuri de con cu vârfurile orientate în sens invers și amplasate pe axa arborelui roții cu cupe .

La exterior conul se termină prin îmbinarea cu sudură cu două grinzi inelare de tip cheson legate transversal între ele, pe care prin intermediul unor urechi se montează cupele .

Conul interior se leagă de butucul roții cu o piesă de forma unui disc cu grosime de 100 mm și care se fixează prin prindere cu șuruburi pretensionate de arborele roții.

Grinzile circulare sunt formate din două chesoane circulare amplasate la 1200 mm unul de altul având tălpile din table de 12 mm iar inimile din tablă de 10 mm.

Suprafața exterioară a tălpii superioare se află pe un cerc cu raza $R= 4950$ mm, iar cea a tălpii inferioare pe un cerc cu raza $R= 4600$ mm. Înălțimea chesoanelor circulare cu tălpi cu tot este de 350 mm.

Pe inimile interioare ale celor două chesoane, adică la distanța de 1200 mm se găsesc amplasate pe circumferință la un unghi de 18° urechile de montare a celor 20 de cupe din table cu grosimea de 32 mm.

Între aceste două urechi există intercalat un alt rând de urechi mai mici la 9° față de urechile inițiale care servesc pentru fixarea fundului cupelor.

Raza cercului pe care se fixează cupele prin intermediul bolțurilor de primul șir de urechi este $R= 5070$ mm.

Chesoanele sunt consolidate interior prin diafragme și sunt legate între ele prin grinzi transversale plasate în dreptul urechilor mai mici ce fixează fundul cupelor.

De aceste grinzi transversale se leagă niște plăcuțe a căror poziție poate fi modificată față de statoarele legate pe partea fixă a construcției elindei, astfel încât cărbunele ce umple spațiul dintre grinzi cheson circulare și grinzi transversale să nu se împrăștie la rotirea roții.

Aceste spații suplimentare care se umplu cu cărbune, pe lângă volumul cupelor, sunt considerate în calculul productivității utilajului și mai sunt cunoscute sub denumirea de buzunare.

Grinzile cheson exterioare sunt legate prin sudură de trunchiul de con exterior după o tehnologie de sudură specială cu preîncălzire. Grosimea tablei acestui trunchi de con este de 18 mm.

Trunchiul de con exterior este sudat cu trunchiul de con interior prin intermediul unei grinzi forjate în formă de „λ”.

Pe trunchiul de con exterior sunt prevăzute plăcuțe de uzură prinse cu șuruburi cu cap înecat și nas și care sunt încărcate pe partea ce vine în contact cu cărbunele cu material de uzură.

Primul strat de plăci de uzură aflate în apropierea grinzilor cheson inelare nu sunt încărcate cu materialul de uzură. Restul plăcilor de pe acest con sunt încărcate cu material de uzură.

Plăcuțele de uzură sunt montate și pe inimile exterioare a celor două chesoane ce formează grinzi inelare, pe care sunt montate cupele.

Conul interior este sudat la exterior cu inelul „λ” și spre centru cu butucul roții. Acest con este format din două rânduri de table cu grosimi de 18, respectiv de 20 mm.

Butucul roții este o piesă de forma unui disc sferic cu grosimea de 100mm, un diametru exterior de Φ 2060 mm și interior de Φ 1200 mm.

Butucul roții este fixat de arborele roții prin eclise cu șuruburi pretensionate.

Șuruburile de prindere cu arborele au diametru de Φ 50 și cele de prindere cu butucul roții au un diametru de Φ 40 mm.

Datorită dimensiunilor agabaritice ale roții, chesoanele grinzilor circulare și conul exterior se execută din două părți care se sudează cu restul ansamblului la montaj pe un dispozitiv special realizat de uzina executantă într-un mediu închis și controlat termic după un plan de sudură elaborat de specialiști de la ROMINEX și aprobat de firma KRUPP.

Ordinea de montare care ține seama și de dimensiunile mari ale pieselor care se manipulează este:

- pe elinda sprijinită pe caprele de montaj se montează în locașul său corpul roții cu cupe pe un eșafodaj pregătit din timp și se menține roata în poziție verticală în cârligul macaralei. Corpul roții va avea prins pe față dinspre lagărul fix eclisa de fixare cu arborele roții cu cupe.
- se introduce arborele roții cu cupe având trasă pe arbore, dar nefixată cealaltă eclisă dinspre lagărul intermediar.

- se prind definitiv șuruburile pretensionate ale ecliselor cu butucul roții și cu arborele folosind un dispozitiv special de pretensionare.
- se închide carcasa superioară a lagărului intermediar și se fizează capătul arborelui în lagărul fix.
- se desface macaraua din cârlig și se scoate eșafodajul de susținere a corpului roții lăsând roata să se sprijine prin intermediul arborelui și lagărelor pe construcția elindei.

Materialul din care se execută corpul roții cu cupe este OL 52.4

Greutatea acestui ansamblu mecanic este de 40 817 kg.

Soluția de modernizare a acționării mecanismului roții cu cupe și a roții cu cupe, a impus realizarea de cupe noi. Corpul cupei se execută prin sudare din tablă de 8 mm și are capacitatea de 725 litri.

Pentru fixarea pe corpul roții, cupele sunt prevăzute cu 2 urechi prin care se introduc bolțurile de fixare.

Pentru a se proteja urechile de prindere, această îmbinare este prevăzută cu bucșe de uzură executate din oțel aliat cu duritate mare. Aceste bucșe trebuiesc înlocuite când se constată o uzură de cca. 5 mm/ rază.

Partea din spate cupei este prinsă de corpul roții cu pene speciale și splinturi.

Fiecare cupă este prevăzută cu câte 6 dinți turnați din oțel aliat. Fixarea lor se face prin împănare și se asigură cu un splint. Dinții sparg roca înaintea cuțitelor cupei obținându-se o reducere însemnată a uzurii acesteia.

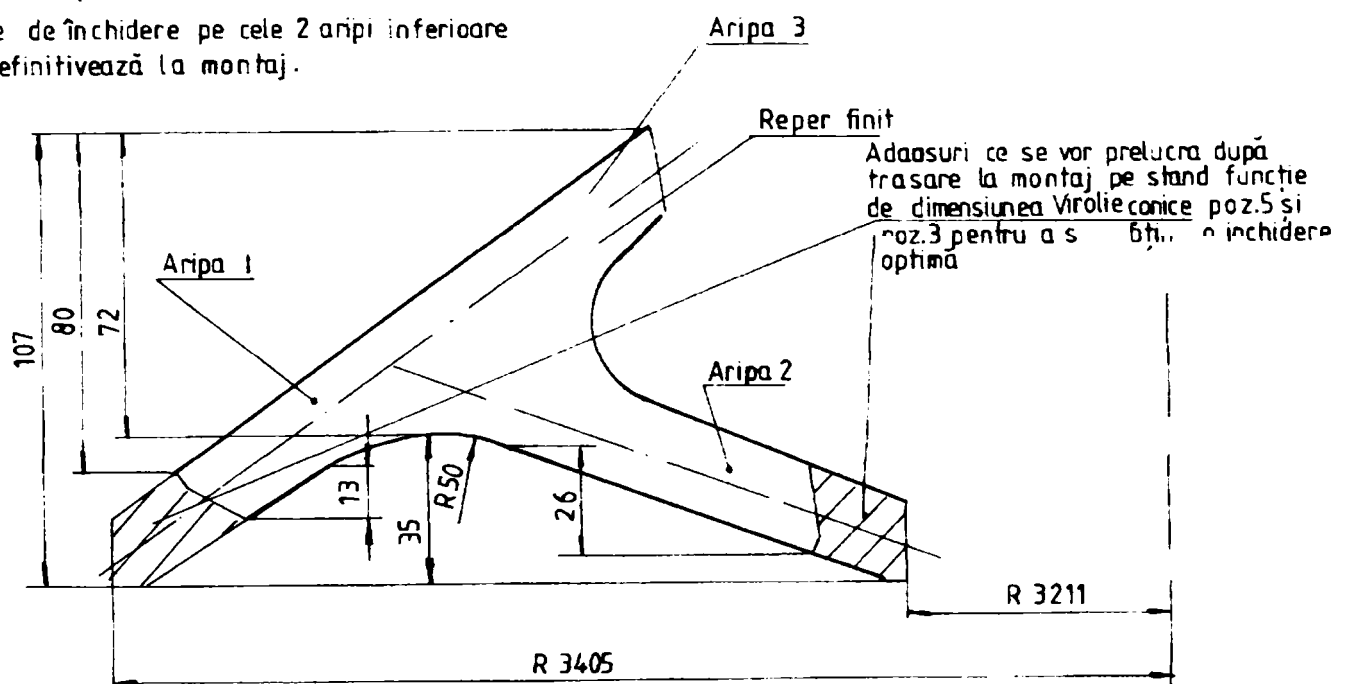
Pentru asigurarea unei tăieri optime dinții sunt plasați asimetric și pentru a mări durata de exploatare atât dinții cât și cupele sunt acoperite cu materiale de uzură.

- Inelul λ

Inelul λ este o piesă forjată circulară care face legătura între conul exterior și conul interior. Rolul lui este de a îndepărta cordoanele de sudură pentru a elimina efectul defavorabil al concentratorilor din sudură la îmbinarea conului interior cu cel exterior și a diminua astfel efectul de oboseală ce apare în acest punct al secțiunii transversale a roții. De asemenea, el permite o execuție mai ușoară a sudurilor elementelor roții și este format din 4 segmente. Este prevăzut a se executa din 2 semifabricate forjate din OL 52.4, roluite și sudate în 4 sectoare egale. În cadrul produsului "CORPUL ROȚII CU CUPE" profilul " λ " poziția 4 reprezintă elementul de legătură și rigidizare sudat pe 3 circumferințe de conurile de contact.

Inel poz.4 prelucrare semifinita

Cotele de închidere pe cele 2 aripi inferioare se definitivează la montaj.



6.2. Concluzii

Deviz de cheltuieli	Varianta inițială		Varianta modernizată	
		Valoare în \$		Valoare în \$
Sortiment tablă grosime	10;12;16;40		18;20	
Greutate netă în kg	32 100		30 050	
Greutate brută în kg	43 335	26 001	33 750	20 250
Forjate: Inel λ ; eclise	-	-	3 050	9 000
Oțel aliat: tablă manganoasă pentru plăci de sudură		8800	-	-
Coeficient de utilizare metal	0,74		0,816	
Materiale de sudură, în kg	2 618	13 000	2020	10100
Manoperă		52 000	40 500	
Regie de fabrică		57 000	40 150	
Cheltuieli aprovizionare și transport 15 %		28 000	23 000	
TOTAL		184 000	143 000	

Durata de viață : varianta inițială ~ 8 ani

varianta modernizată ~ 15 ani

Valoarea rotorului modernizat este de ~ 78 % din rotorul inițial

Capitolul 7. CONSIDERAȚII FINALE, CONTRIBUȚII ORIGINALE, PROBLEME DE VIITOR

7.1. Considerații finale

Elaborarea tezei de doctorat a presupus atât analizarea unui volum de material bibliografic din țară și străinătate cât și antrenarea unor discuții cu specialiștii din domeniul mecanic și tehnologic în ceea ce privește comportarea în exploatare a U.G.M. Pe baza informațiilor acumulate din bibliografia mai sus amintită, din analizele efectuate și din experiența dobândită în cei 25 de ani de activitate în domeniu, am elaborat această teză de doctorat din care sintetizez unele considerații finale:

- În cadrul sistemului energetic național, exploatarea minereurilor de cărbune ocupă un loc prioritar în vederea asigurării din resurse proprii a necesităților interne într-o proporție cât mai mare.
- Prin modernizarea utilajelor grele mobile (U.G.M.) se urmărește mărirea duratei de viață a acestora, cu efect benefic atât din punct de vedere economic cât și al siguranței și fiabilității în exploatare. Reproiectarea U.G.M. face parte din ansamblul măsurilor care se iau în plan tehnic în cadrul etapei actuale, în care se trece de la dezvoltarea extensivă la cea intensivă a acestora. Aceasta presupune realizarea creșterii producției prin creșterea indicatorilor de utilizare ai U.G.M. Reproiectarea U.G.M. are drept scop reducerea consumurilor de materiale și mărirea duratei de viață a acestora. Sunt avute în vedere, de asemenea, elaborarea de metode și tehnologii pentru realizarea unor componente specifice importante (ex: roata cu cupe) și, nu în ultimul rând, comportarea în exploatare a elementelor portante ale U.G.M.
- În ceea ce privește reproiectarea unor elemente portante, datorită faptului că acestea sunt elemente care determină durata de viață a utilajului, s-a elaborat o metodologie de analiză a structurii portante reale pentru a se putea determina durata de utilizare în siguranță a acestora. Soluțiile constructive alese la U.G.M. urmăresc o corelare a elementelor portante care să ducă la o disipare a eforturilor în structură și la o reducere a eforturilor din zonele solicitate.
- La reproiectarea U.G.M., în vederea modernizării, s-au luat în considerare toate îmbunătățirile constructive propuse de către cei ce le au în folosință ca urmare a experienței dobândite în timp, prin exploatarea acestora. De asemenea, la reproiectarea elementelor portante și active, s-au luat în considerare și s-au respectat standardele în vigoare precum și normele de protecția muncii cu privire la proiectarea, execuția și exploatarea U.G.M.
- La alegerea oțelurilor din care se construiesc componentele elementelor portante ale U.G.M. care se supun Instrucțiunilor Tehnice ISCIR (România) au în vedere, în special, condițiile de lucru (presiunea și temperatura). Alegerea materialului de adaos are în vedere asigurarea unor caracteristici mecanice de rezistență și deformabilitatea cel puțin egale cu cele ale materialului de bază. Defectele analizate în îmbinările sudate și în materialele de bază permit stabilirea unei clasificări pe baza descrierii fizice folosind criteriile de formă, aspect, distribuție și dimensionare.
- Oțelurile segmentilor din care este fabricată roata cu cupe a excavatorului ERC 1400 sunt nealiat din clasa OL52 ; zonele fragilizate la practicarea sudurilor de prindere,

prin aplicarea tratamentelor termice de detensionare își modifică structurile în sensul transformării constituenților dur, fragili în constituenți ductili ce au durități sub 350 HV5. Caracteristicile mecanice și tenacitatea oțelurilor analizate în variantele de tratament termic (TT1 ,TT2 , TT3) sunt la nivelul oțelului OL52 în starea netratată (NT).

Una dintre cele mai definitorii componente ale U.G.M. o constituie roata cu cupe. Datorită dimensiunilor agabaritice ale roții, chesoanele grinzilor circulare și conul exterior se execută din două părți care se sudează cu restul ansamblului la montaj, pe un dispozitiv special. Pentru această operație s-a realizat o tehnologie și un dispozitiv care sunt operabile într-un mediu închis și controlat termic.

Cercetările privind modificările caracteristicilor structurale și mecanice ale materialelor utilizate în timpul exploatării au condus la concluzia că factorii care au preponderență în degradarea U.G.M. și scoaterea acestora din exploatare sunt: îmbătrânirea, oboseala și coroziunea. În ceea ce privește fenomenul de coroziune, acesta poate să apară și să se dezvolte în condiții diferite, funcție de mediul de coroziune și de caracteristicile acestuia. Eforturile sunt îndreptate spre o cât mai bună cunoaștere a transformărilor suferite sub influența factorilor de mediu și spre micșorarea efectului lor distructiv prin mijloace de protecție corespunzătoare. Îmbunătățirea comportării componentelor U.G.M. la oboseală s-a făcut prin reproiectarea anumitor detalii constructive. Literatura de specialitate din domeniul U.G.M. oferă numeroase lucrări care abordează probleme concrete și practice de coroziune a oțelurilor și îmbinărilor și îmbinărilor sudate. Teoria potențialului mixt constituie baza unitară a interpretării electrochimice a coroziunii, ea separă relațiile de oxidare și reducere și postulează că vitezele reacțiilor chimice de la suprafața metalului sunt egale (oxidare, reducere).

Produsele U.G.M. corect proiectate și construite, minuțios controlate și judicios utilizate nu trebuie să prezinte defectări în funcționare, ceea ce însă practica inginerescă nu exclude.

Expertizarea unui număr de U.G.M.-uri la care s-au constatat deficiențe de proiectare, de execuție, de exploatare a condus la concluzii menite să îmbunătățească reproiectarea lor. Analiza fiabilistică a structurii complexe urmărește, în principal, stabilirea conclucrării elementelor portante ale U.G.M. în vederea selectării elementelor critice care condiționează scoaterea utilajelor din funcție.

Metoda degradărilor tolerate, ce are la bază conceptele moderne ale mecanicii ruperii, prezintă o serie întregă de avantaje față de metodele durabilității garantate prin faptul că ea operează cu parametrii determinați experimental pe materialul în starea existentă la momentul expertizării.

Apariția unor defecte de tip fisuri într-un element portant diminuează considerabil durata de viață în comparație cu numărul de cicluri până la rupere obținut prin încercările la oboseală la care se include și perioada de incubație a fisurii.

Reproiectarea U.G.M. a adus, ca element de noutate, și analiza structurilor portante folosind programele de calculator bazate pe calculul de rezistență prin metoda elementului finit. Programele de calculator bazate pe metoda elementului

finit oferă posibilitatea unei analize detaliate a unor structuri de complexitate mare.

7.2. Contribuții originale:

În vederea evaluării obiective a tezei de doctorat, consider necesară prezentarea celor mai semnificative contribuții originale ale lucrării:

- Analizarea unui vast material bibliografic prin prelucrarea și interpretarea informațiilor mi-au permis să completez circuitul informativ din România cu cele mai recente noutăți din domeniul industriei miniere de suprafață în serie, în special, privind utilajele grele mobile.
- Alegerea celor mai noi și moderne metode de investigare a fenomenelor de coroziune în mediul specific de lucru al utilajelor grele mobile și interpretarea tuturor rezultatelor prin prisma conceptului de funcțiune în mediul real.
- Studiarea celor mai reprezentative elemente portante ale structurilor complexe pentru U.G.M. în vederea estimării cu un grad ridicat de certitudine a comportării lor în exploatare.
- Stabilirea cauzelor unor defectări la utilajele grele mobile pe baza analizării statisticilor avariilor din Germania, Belgia, Canada, USA, C Australia, etc. (E.M. Berbești, E.M. Tismana, etc.)

7.3. Probleme de viitor:

- În vederea reproiectării unor componente ale U.G.M. (roată cu cupe, elindă, turn) se vor elabora norme specifice pe baza metodologiei prezentate privind inspecția, expertizarea, urmărirea în exploatare a acestora.
- Pe baza rezultatelor obținute, se vor stabili soluții constructive de remaniere și tehnologii care să permită reducerea consumurilor de materiale și simplificarea tehnologiilor de execuție în vederea prelungirii efective a duratei de viață și creșterea siguranței în exploatare și a prețurilor de cost.
- Mai este avută în vedere elaborarea unei propuneri de standard național specific U.G.M. pentru încercarea la coroziune în medii agresive care va ține cont și de procedurile tehnice internaționale din domeniu.

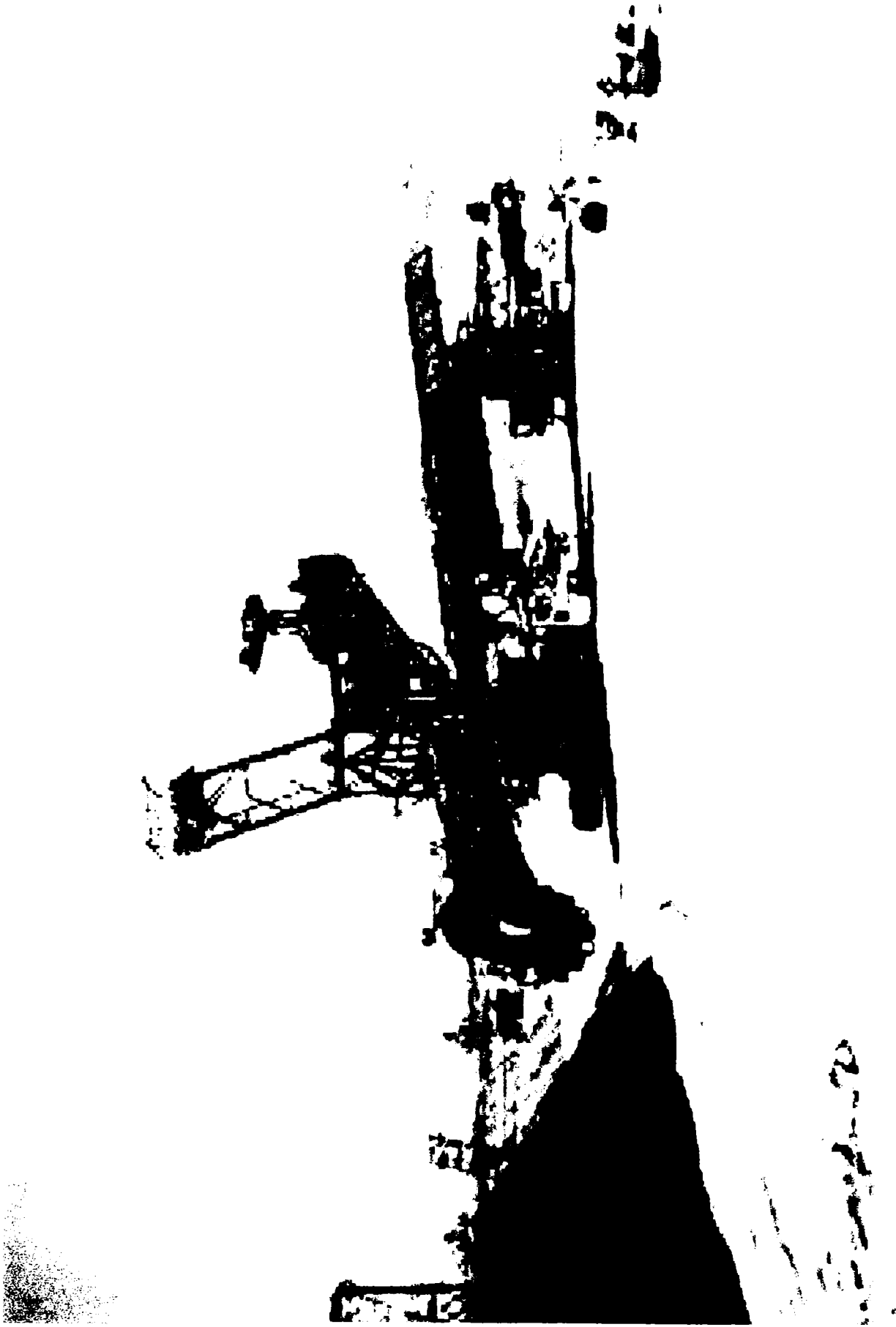
REFERINȚE BIBLIOGRAFICE:

- 1 ARIES L., : Contribution a l'entude des mecanismes de dissolution et de pasivation des alliajes, Mem.Scie.de Rev.de Met, nr. 6,1997, Paris, France
- 2 T. BARON T: Calitate și fiabilitate, Vol.1, 2 Ed. Tehnică, 1988, București România
- 3 BILLMANN R.R: Statistical inferences from censored, Technometrics, 14, 1995, London, England.
- 4 BARSOUM J. M.: Fracture and Fatigue Control in Structures,Second Edition,and all Prentice- Hall Inc.,New Jersey,1987,U.S.A.
- 5 BROWN K.R: The Chevron Notched FnectureToughness Test, ASTM Standarditation Neus, 1988, U.S.A
- 6 CIOCLOV D : Mecanica ruperii materialelor, Ed. Academiei Române, București, 1977, România
- 7 CELSSNER W, : Metode și aparate pentru cercetări electrochimice ale coroziunii, Conferința Internațională K. S. Meinsberg, 1996, Germania
- 8 CIREȘ I. și alții: Rapoarte interne privind inspecția, execuția și exploatarea U.G.M (fiabilitate operațională și previzională) Rapoarte C – D Prompt (1980-1996), Timișoara, România
- 9 TRUȘCULESCU M.: Recherche on Some Components with Crifical Grains of the CIREȘ I., ERC 1400-Excavator DAMAGED DURING OPERATION,MDRVUGMI 96, Timișoara, România
- 10 CIREȘ I.: Methods of technics examination for bucket wheel excavator lifetime examination, MDRVUGMI 96, Timișoara, România
- 11 CIREȘ I. și alții Cercetări pentru stabilirea metodologică de expertizare a utilajelor destinate manipulării cărbunelui în centralele termoelectrice ale sistemului energetic național și excavării lui la suprafață care au norma de viață îndeplinită în vederea utilizării lor în condiții de siguranță, Raport de cercetare MCT București, 1997, România
- 12 CIREȘ I.: Expertizarea-inspecția construcției metalice pentru stabilirea posibilităților de prelungire a duratei de funcționare a două mașini T2052 de la CE Turceni, Raport de cercetare 1996, Timișoara, România
- 13 CIREȘ I., și alții: Expertizarea și inspecția construcției de rezistență - braț roată cu cupe la excavatorul SRs 1300-02 de la Cariera Tismana, Raport de cercetare, 1996, Timișoara, România
- 14 DITLEVSEN O și alții: Decision Rules in Re-evaluation of Existing Structural, DABI Simposion 1988 , Düsseldorf, Germany
- 15 EPSTEIN R.: Life testing, Statist.Assoc.,47, 1992, London, England
- 16 HAHN G.J.: Statistical models in engineering, John Wiley and Sons, 1995, New York, U.S.A.
- 17 HUIDU E. : Expertizarea activității miniere în carierele de lignit din Oltenia , Simpozion MDRVUG '96, Timișoara, România
- 18 HAMILTON I.G: Weldability in the heavy industries, London, BWRA, 19 England
- 19 HANCOCK P.,: Corrosion of Alloys in Atmospheres with Coil Impurities,H Majesty's Stationery Office,1988, London, England
- 20 GERU N: Metalurgie fizică, București EDP, 1981, România

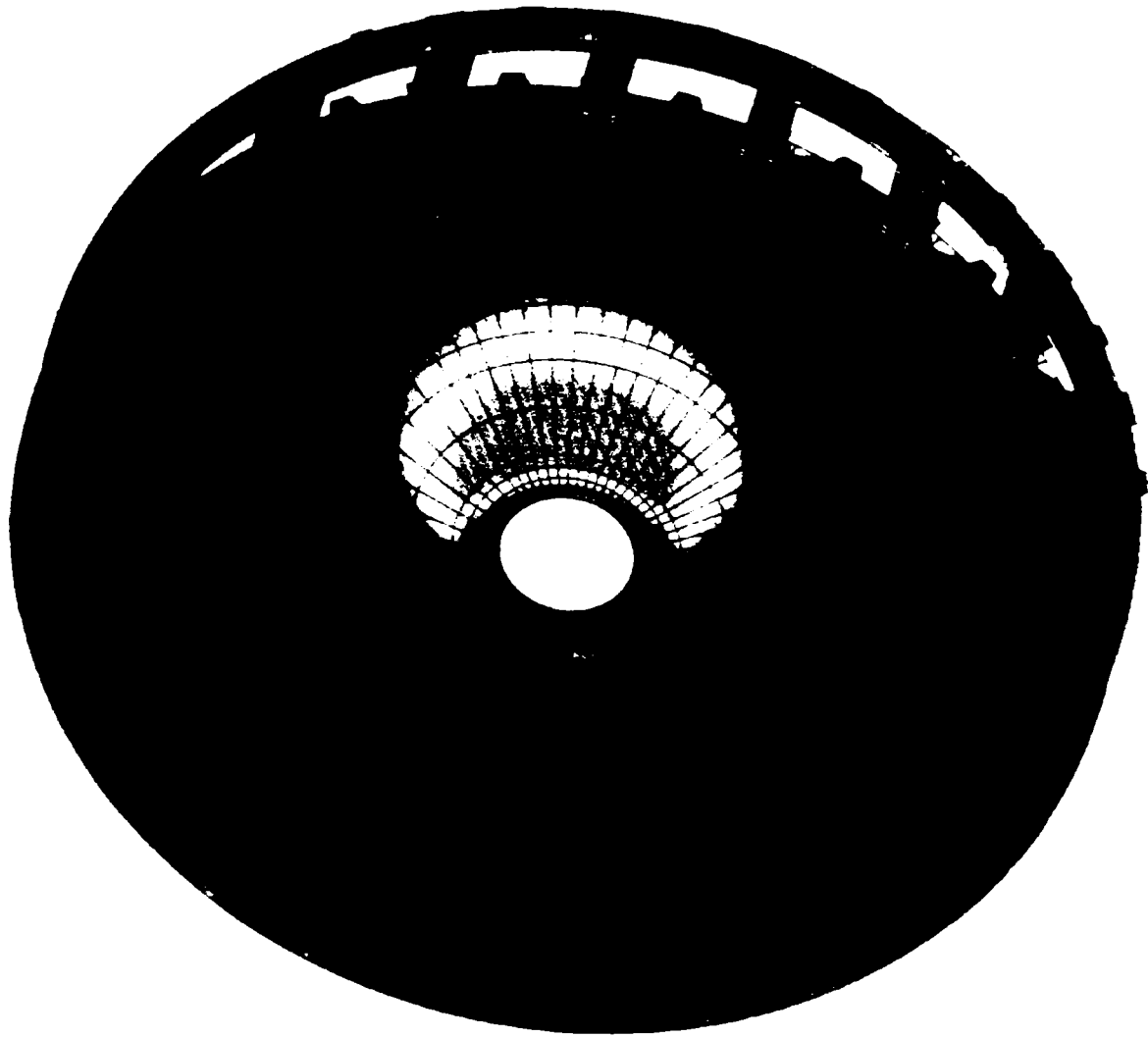
- 21 IRESO W.: Reliability handbook, McGraw-Hill, 1994, New York. U.S.A.
- 22 MIREA C-TIN.: Consideration about the major defects at metal constructions of the equipments for surface cool mines, MDRVUG '96, (First Edition) Timișoara, 1996, România
- 23 MITELEA I.: Materiale și tratamente termice pentru structuri sudate, Ed. de BUDĂU V. Vest, Timisoara, 1992
- 24 ONCIU L.: Electrochimie și coroziune, E.D.P.1990, București, România
- 25 ONTAA.: Application of Fatigue Crack Propagation Properties of Welded Joints for Design of Inspection of Structures, Doc.IIS-IIW,Com XIII 1996-88, Paris, France
- 26 PASCU M.: Aplicarea mentenantei în vederea măririi duratei de viață a unui pinion și alții de antrenare din componența excavatorului ERC 1400, Simpozion Internațional FSIM 1997, Timișoara, România
- 27 PASCU M., CIREȘ I. Electron beam hardening of some norm aut components of the ERc1400 excavator, Metallography'98, Stara Lesna, Slovakia.
- 28 PASCU R. și alții.: Cercetări privind estimarea prelungirii duratei de viață a unor poduri rulante cu durata de viață expirată, MDRUVGM' 96, Timișoara, România
- 29 FLUERAȘ D.,: Studiul metodelor de diagnoză a degradărilor și analiza RAȚIU M., propagării lor în timp, ISIM Timișoara,1995, România
- 30 RICHMOND D. I.,: Oxidation of Experimental Allays,Air Force Contact no. AF:33 /97, Natpional Bureau of Standards, June,1997, Paris, France
- 31 RĂDULESCU D., Cercetări privind determinarea duratei de utilizare în condiții de CIREȘ I.,: siguranță până la temperatura de - 20°C funcție de calitatea materialelor folosite în condițiile practice de exploatare. Raport de cercetare MTC-Buciurești, 1997, România
- 32 SEDRIKS A.J.,: Corrosion of Steels,Ed.John Wiles and Sons,New York. 1989, U.S.A
- 33 SAFTA V.,: Controlul îmbinărilor și produselor sudate, Ed. Facla, Timișoara, 1984, România
- 34 SĂLĂGEAN T.: Oțeluri pentru structuri sudate,Ed.Facla,Timișoara,1971,România
- 35 SĂLĂGEAN T.: Sudarea cu arcul electric, Ed Facla, Timișoara, 1987, România
- 36 SEDMAK S.: Service life assessmeret of joints of rotor excavator arrow, MDRVUGM '96, Timișoara, România
- 37 SOBZYKIEWICZ W., Service Loading of Work Atta-Chments of Hidraulic Excavator, Expo Tehnical Center, Helsinki , 1998, Finland
- 38 SWICHER J. H.: Internal Oxidation, Oxidation of Metals and Allays, Ed. A.S.M., Cleveland , 1995, U.S.A.
- 39 SIMS C. T.,: ASME Preprint,70-GT-24 ,Corrosion,Ohio 1997, U.S.A.
- 40 IEREMIA A.,: Oțeluri inoxidabile și refractare, Ed. Facla, Timișoara, 1983
- TRUȘCULESCU M., București
- 41 TRUȘCULESCU M. Studiul materialelor analizate și încercări, UPT 1997, Timișoara, și alții : România
- 42 UHLIG H.,: Corrosion and Corrosion Control, Ed.John Wiley, New York, 1991 U.S.A.
- 43 WASIELEWSKI G. F. Final Report No.8-613 to U.S. Naval Ship R. and D Laboratoy, Boston , 1998 U.S.A
- 44 Epstein R.: Life testing, Statist.Assoc., 47, 1992, London, England

- 45 Hahn G.J.: Statistical models in engineering, John Wiley and Sons, 1999
New York, U.S.A.
- 46 Ireson W.: Reliability handbook, McGraw-Hill, 1994, New York, U.S.A.
- 47 *** With Brite/EU.RAM.BIE. "Decision Making for Requalification of
Structures " 1997, Boston, U.S.A.
- 48 *** STAS R 5880 – 82. Controlul statistic al calității, Controlul în
timpul procesului de fabricație prin măsurare, București,
România.
- 49 *** ISO 3951 - 91. Controlul calității prin măsurare, București,
România
- 50 *** BS 6002 - 89 . High Controf of Quality, Londra, England
- 51 *** SR EN ISO 9002 - 1995 Sistemul calității - Model pentru
asigurarea calității în producție, montaj și service, București,
România.
- 52 *** STAS 10.911-87. Fiabilitatea, mentenabilitatea și
disponibilitatea. Culegerea datelor privind comportarea în
exploatare a produselor industriale, București, România
- 53 *** STAS R 12007/7 - 81 Încercarea la fiabilitate a echipamentelor,
București, România
- 54 *** Guidance on methods for assessing the acceptability of flow in
fussion welded structures, P.D. Document 6493 – 98, British
Standard Institution, London, England
- 55 *** Table laminate la rece din oțeluri moi, nealiate, DIN1624,
Germania
- 56 *** Table subțiri din oțeluri nealiate folosite în construcțiile
normale, DIN1623 partea 2-a, Germania
- 57 *** STAS 9485-80 Table și benzi pentru ambutisare, București,
România
- 58 *** STAS 9724-80. Table și benzi late din oțel, București, România
- 59 *** STAS 500/1-80. Oțeluri de uz general pentru construcții,
București, România
- 60 *** STAS 500/2-80. Oțeluri de uz general pentru construcții
rezistente la coroziune atmosferică, București, România
- 61 *** Colecția de norme SEW (Ediția 1998), Germania
- 62 *** Colecția de standarde ASTM (volumele 1, 2, 4, și 5 din 1998),
U.S.A.
- 63 *** Colecția de fișe de oțeluri, 1998, București , România
- 64 *** Colecția de fișe de oțeluri străine, 2000, București, România
- 65 *** Cheia oțelurilor, ed. 2000, Düsseldorf, Germania

ANEXE

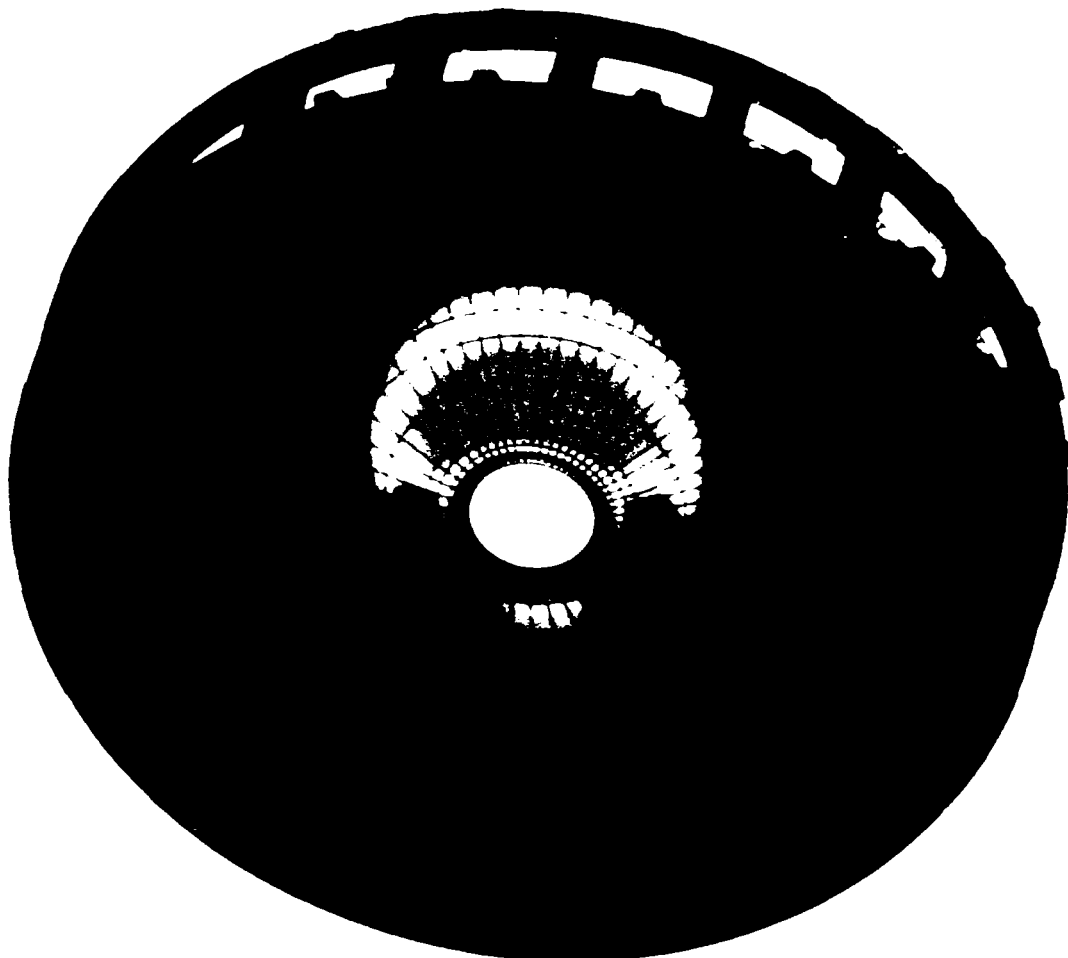


EXCAVATOR – Vedere generală



**DISTRIBUȚIA EFORTURILOR DE COMPARARE ÎN PLAN MEDIAN
CAZ DE ÎNCĂRCARE LC3, IPOTEZA HZ**

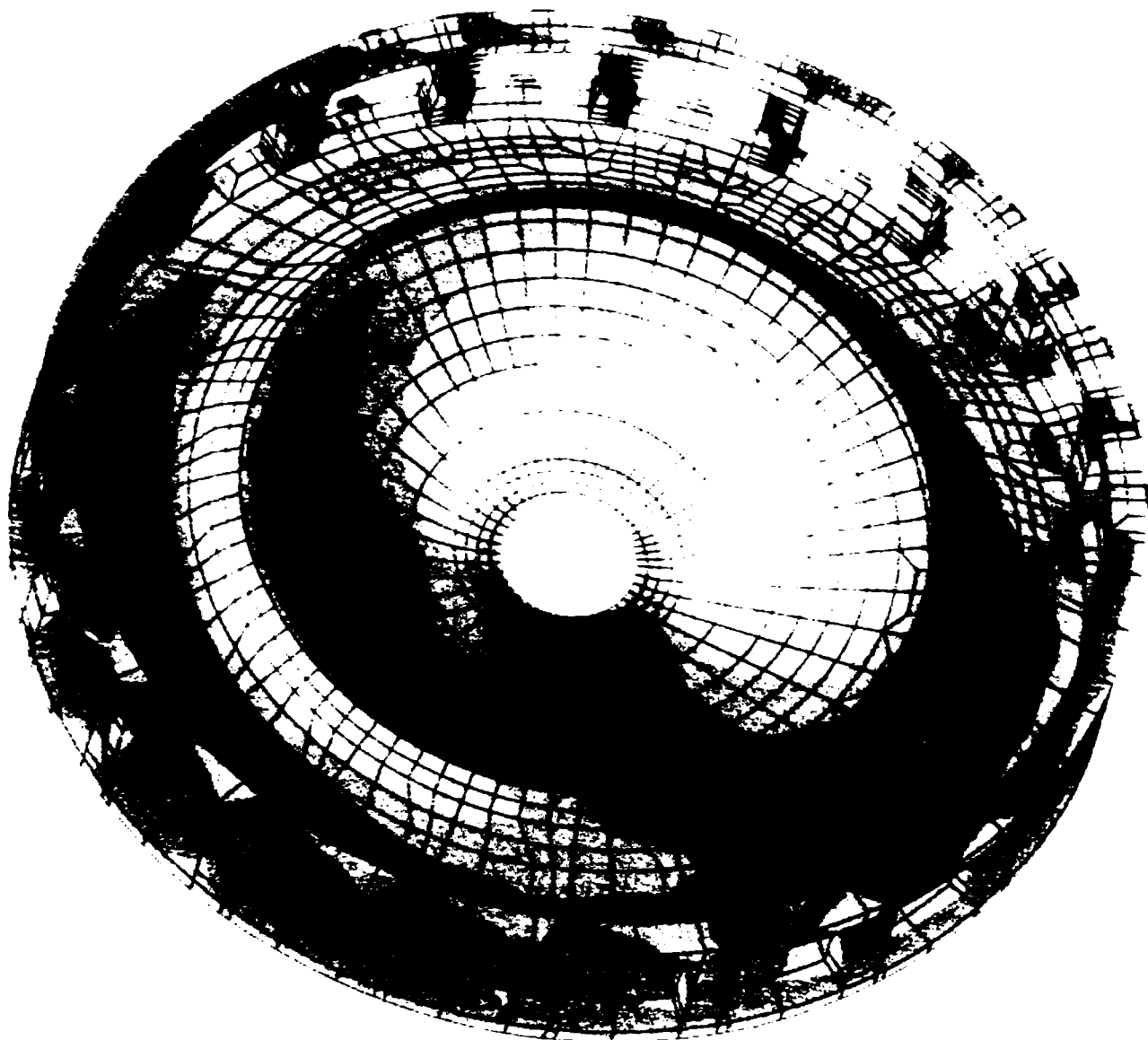
ANEXA 1



**DISTRIBUȚIA EFORTURILOR DE COMPARARE PE FAȚA
INFERIOARĂ CAZ DE ÎNCĂRCARE LC3, IPOTEZA HZ**

ANEXA 2

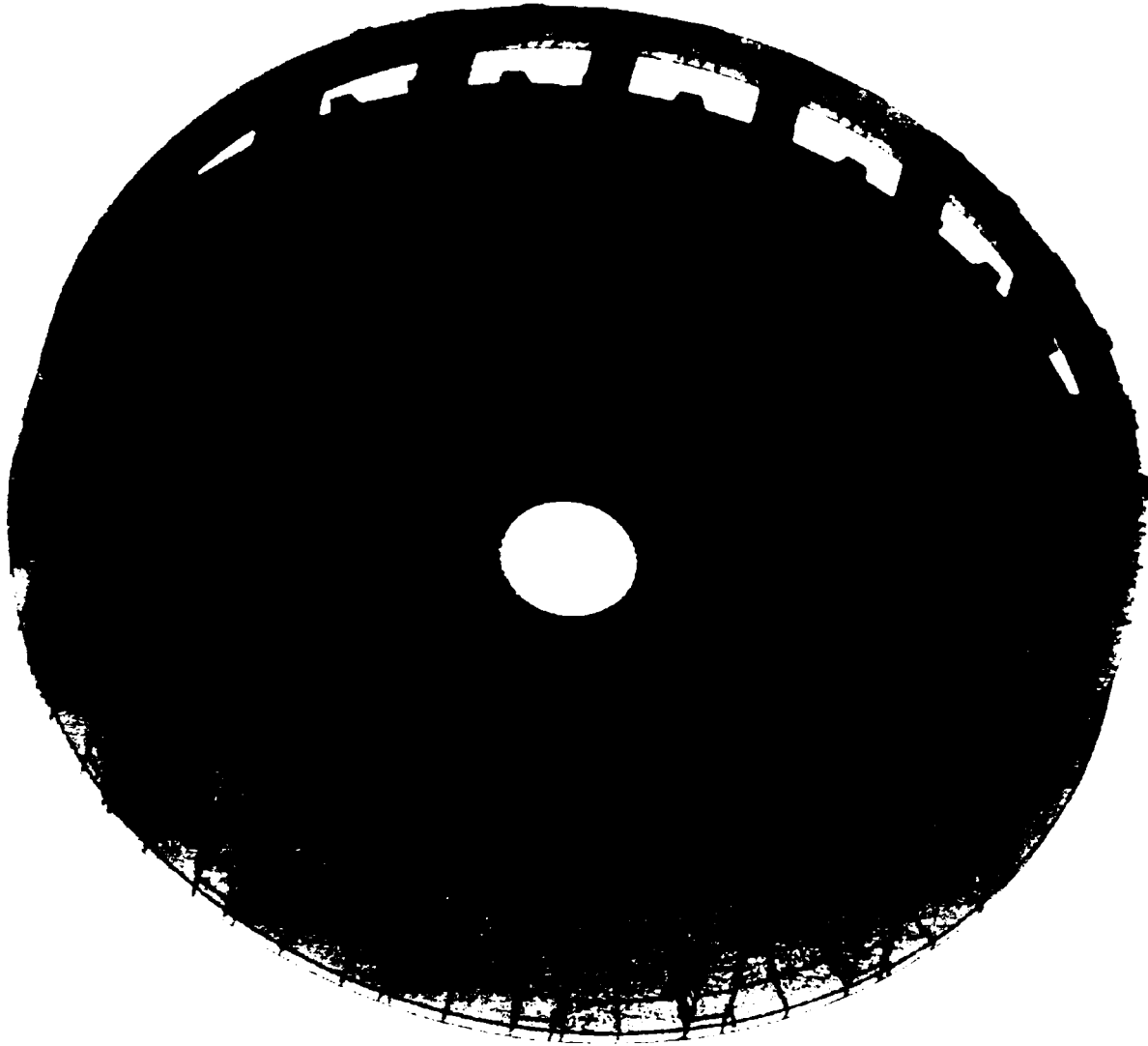
2.8
 2.6
 2.4
 2.2
 2
 1.8
 1.6
 1.4
 1.2
 1
 0.8
 0.6
 0.4
 0.2
 0
 -0.2
 -0.4
 -0.6
 -0.8
 -1
 -1.2
 -1.4
 -1.6
 -1.8
 -2
 -2.2
 -2.4
 -2.6
 -2.8
 -3



**DISTRIBUȚIA EFORTURILOR DE COMPARARE ÎN PLAN MEDIAN
 CAZ DE ÎNCĂRCARE LC4, IPOTEZA HZ2**

ANEXA 3

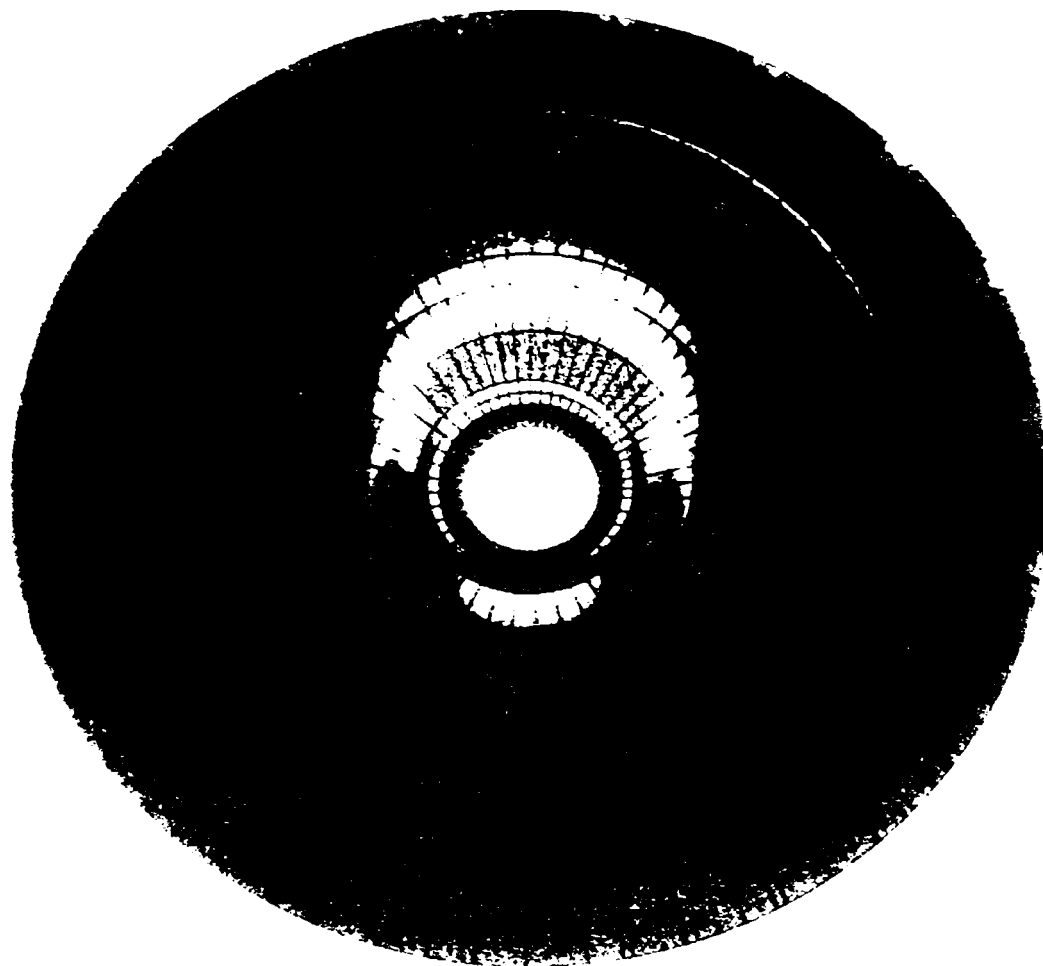
1.2.8
1.2.6
1.2.4
1.2.2
1.8
1.6
1.4
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0.1
0
-0.1
-0.2
-0.4
-0.6
-0.8
-1
-1.2
-1.4
-1.6
-1.8
-2
-2.2
-2.4
-2.6
-2.8
-3
-3.2



**DISTRIBUȚIA EFORTURILOR DE COMPARARE PE FAȚA INFERIOARĂ
CAZ DE ÎNCĂRCARE LC4, IPOTEZA HZ2**

ANEXA 4

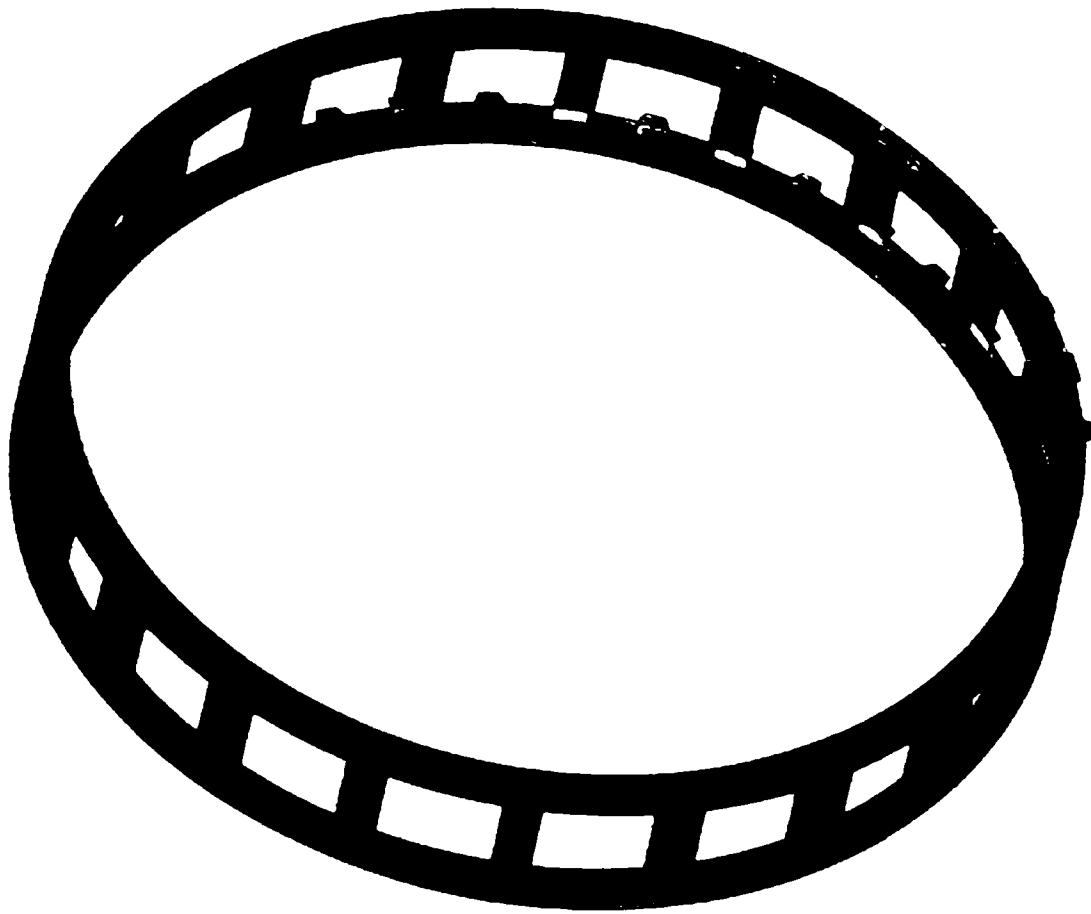
Fig. 5.11. Distribuția eforturilor de comparare în plan median
caz de comparare LC3, ipoteza HZ1



**DISTRIBUȚIA EFORTURILOR DE COMPARARE ÎN PLAN MEDIAN
CAZ DE COMPARARE LC3, IPOTEZA HZ1**

ANEXA 5

10.58
 14.5
 14.35
 14.2
 14.05
 13.9
 13.75
 13.6
 13.45
 13.3
 13.15
 13
 2.85
 2.7
 2.55
 2.4
 2.1
 1.95
 1.8
 1.65
 1.5
 1.35
 1.2
 1.05
 9
 7.5
 6
 4.5
 3
 1.5
 0

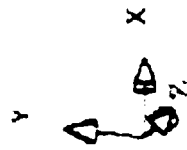
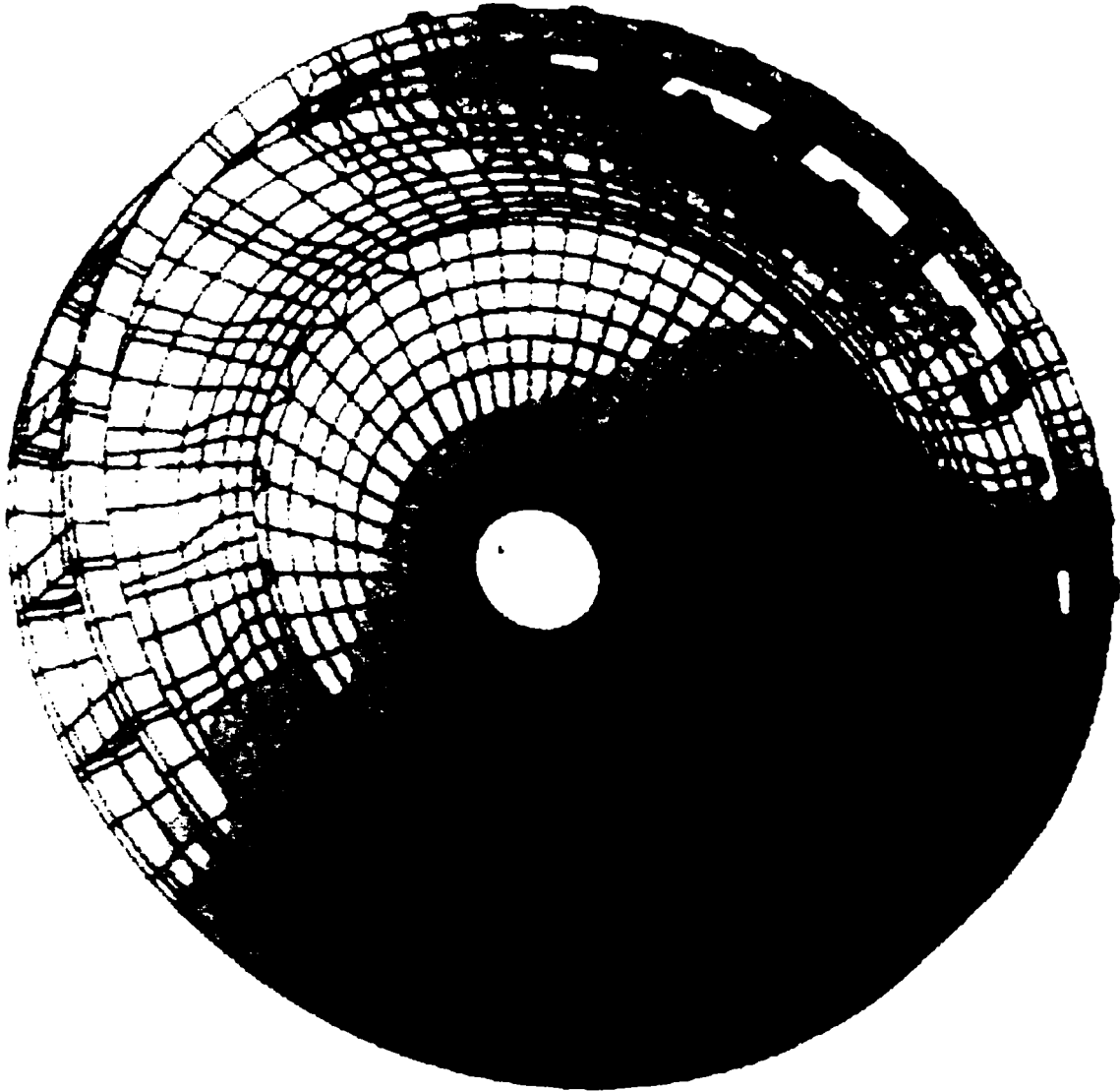


y
 Δ
 z
 x

**DISTRIBUȚIA EFORTURILOR DE COMPARARE PE PARTEA INFERIOARĂ
 CAZ DE ÎNCĂRCARE LC3, IPOTEZA HZ1**

ANEXA 6

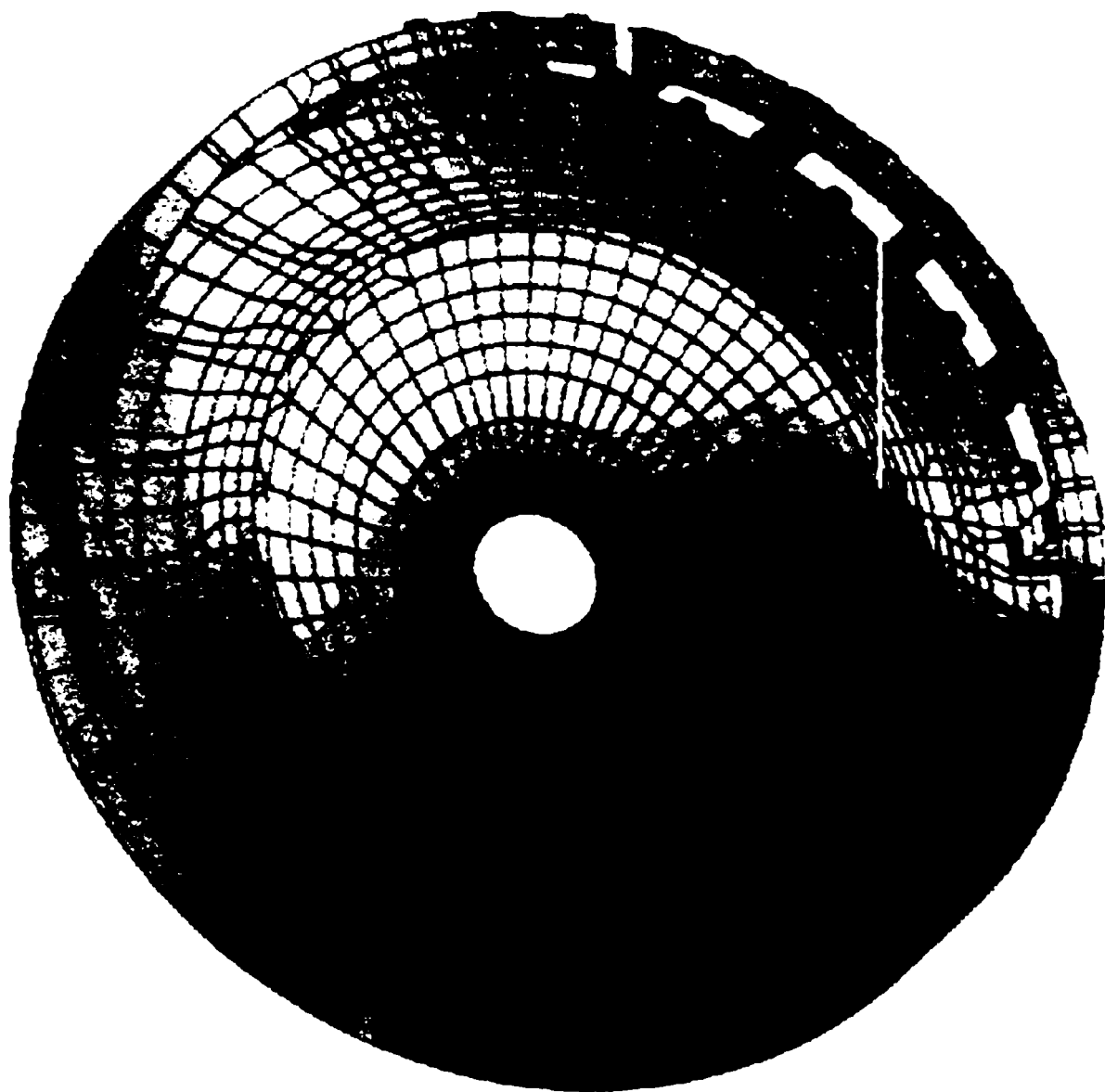
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18
 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100
 101 102 103 104 105 106 107 108 109 110 111 112 113 114 115 116 117 118 119 120 121 122 123 124 125 126 127 128 129 130 131 132 133 134 135 136 137 138 139 140 141 142 143 144 145 146 147 148 149 150 151 152 153 154 155 156 157 158 159 160 161 162 163 164 165 166 167 168 169 170 171 172 173 174 175 176 177 178 179 180 181 182 183 184 185 186 187 188 189 190 191 192 193 194 195 196 197 198 199 200
 201 202 203 204 205 206 207 208 209 210 211 212 213 214 215 216 217 218 219 220 221 222 223 224 225 226 227 228 229 230 231 232 233 234 235 236 237 238 239 240 241 242 243 244 245 246 247 248 249 250 251 252 253 254 255 256 257 258 259 260 261 262 263 264 265 266 267 268 269 270 271 272 273 274 275 276 277 278 279 280 281 282 283 284 285 286 287 288 289 290 291 292 293 294 295 296 297 298 299 300
 301 302 303 304 305 306 307 308 309 310 311 312 313 314 315 316 317 318 319 320 321 322 323 324 325 326 327 328 329 330 331 332 333 334 335 336 337 338 339 340 341 342 343 344 345 346 347 348 349 350 351 352 353 354 355 356 357 358 359 360 361 362 363 364 365 366 367 368 369 370 371 372 373 374 375 376 377 378 379 380 381 382 383 384 385 386 387 388 389 390 391 392 393 394 395 396 397 398 399 400
 401 402 403 404 405 406 407 408 409 410 411 412 413 414 415 416 417 418 419 420 421 422 423 424 425 426 427 428 429 430 431 432 433 434 435 436 437 438 439 440 441 442 443 444 445 446 447 448 449 450 451 452 453 454 455 456 457 458 459 460 461 462 463 464 465 466 467 468 469 470 471 472 473 474 475 476 477 478 479 480 481 482 483 484 485 486 487 488 489 490 491 492 493 494 495 496 497 498 499 500
 501 502 503 504 505 506 507 508 509 510 511 512 513 514 515 516 517 518 519 520 521 522 523 524 525 526 527 528 529 530 531 532 533 534 535 536 537 538 539 540 541 542 543 544 545 546 547 548 549 550 551 552 553 554 555 556 557 558 559 560 561 562 563 564 565 566 567 568 569 570 571 572 573 574 575 576 577 578 579 580 581 582 583 584 585 586 587 588 589 590 591 592 593 594 595 596 597 598 599 600
 601 602 603 604 605 606 607 608 609 610 611 612 613 614 615 616 617 618 619 620 621 622 623 624 625 626 627 628 629 630 631 632 633 634 635 636 637 638 639 640 641 642 643 644 645 646 647 648 649 650 651 652 653 654 655 656 657 658 659 660 661 662 663 664 665 666 667 668 669 670 671 672 673 674 675 676 677 678 679 680 681 682 683 684 685 686 687 688 689 690 691 692 693 694 695 696 697 698 699 700
 701 702 703 704 705 706 707 708 709 710 711 712 713 714 715 716 717 718 719 720 721 722 723 724 725 726 727 728 729 730 731 732 733 734 735 736 737 738 739 740 741 742 743 744 745 746 747 748 749 750 751 752 753 754 755 756 757 758 759 760 761 762 763 764 765 766 767 768 769 770 771 772 773 774 775 776 777 778 779 780 781 782 783 784 785 786 787 788 789 790 791 792 793 794 795 796 797 798 799 800
 801 802 803 804 805 806 807 808 809 810 811 812 813 814 815 816 817 818 819 820 821 822 823 824 825 826 827 828 829 830 831 832 833 834 835 836 837 838 839 840 841 842 843 844 845 846 847 848 849 850 851 852 853 854 855 856 857 858 859 860 861 862 863 864 865 866 867 868 869 870 871 872 873 874 875 876 877 878 879 880 881 882 883 884 885 886 887 888 889 890 891 892 893 894 895 896 897 898 899 900
 901 902 903 904 905 906 907 908 909 910 911 912 913 914 915 916 917 918 919 920 921 922 923 924 925 926 927 928 929 930 931 932 933 934 935 936 937 938 939 940 941 942 943 944 945 946 947 948 949 950 951 952 953 954 955 956 957 958 959 960 961 962 963 964 965 966 967 968 969 970 971 972 973 974 975 976 977 978 979 980 981 982 983 984 985 986 987 988 989 990 991 992 993 994 995 996 997 998 999 1000



STAREA DE DEFORMARE A ROTII
 CAZ DE ÎNCĂRCARE LC1

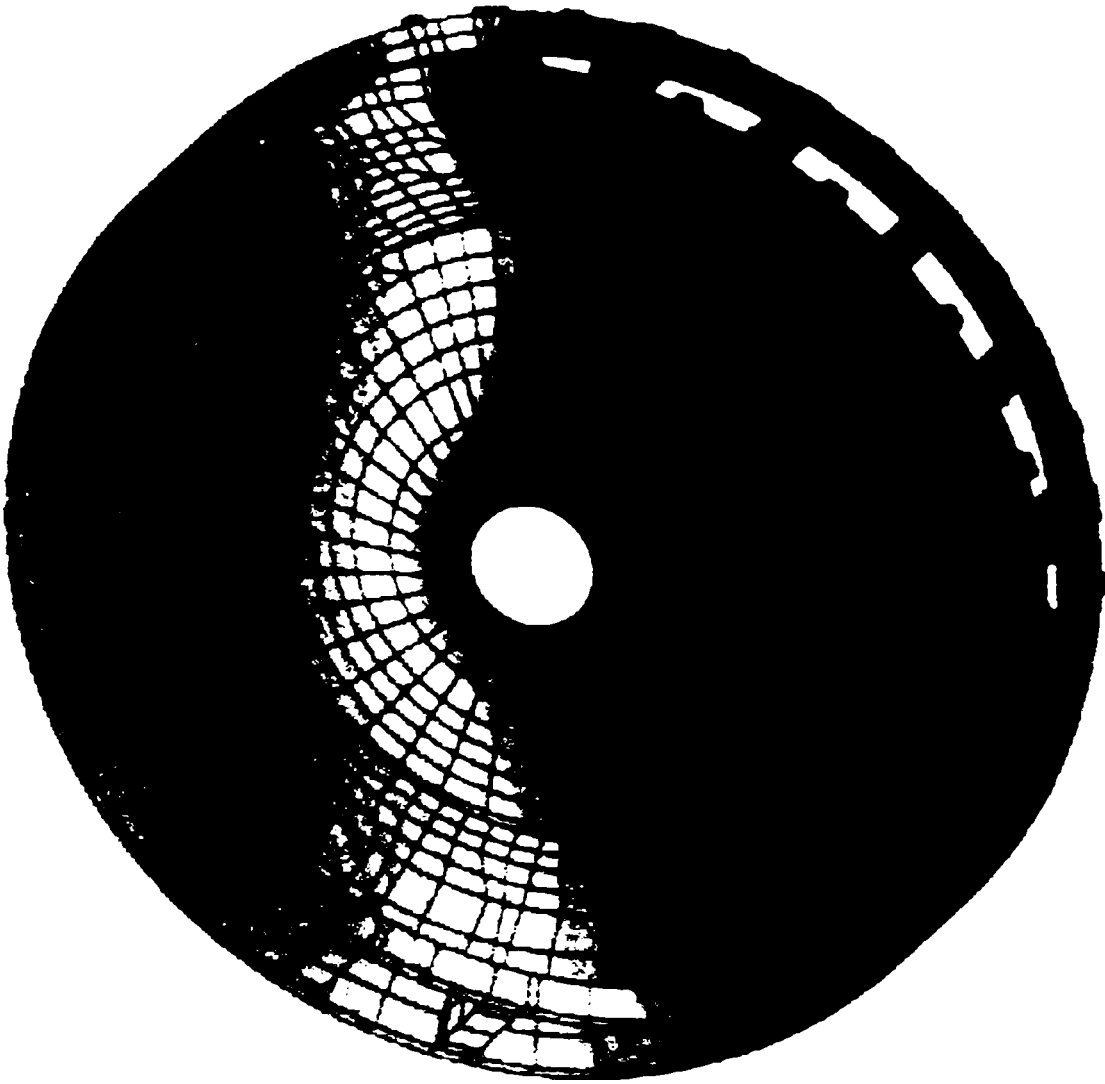
ANEXA 7

18
16
14
12
10
8
6
4
2
0
1490
120
100
80
60
40
20
0
12
10
8
6
4
2
0



**STAREA DE DEFORMARE A ROTII
CAZ DE ÎNCĂRCARE LC2**

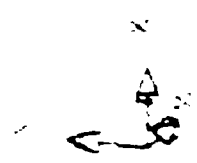
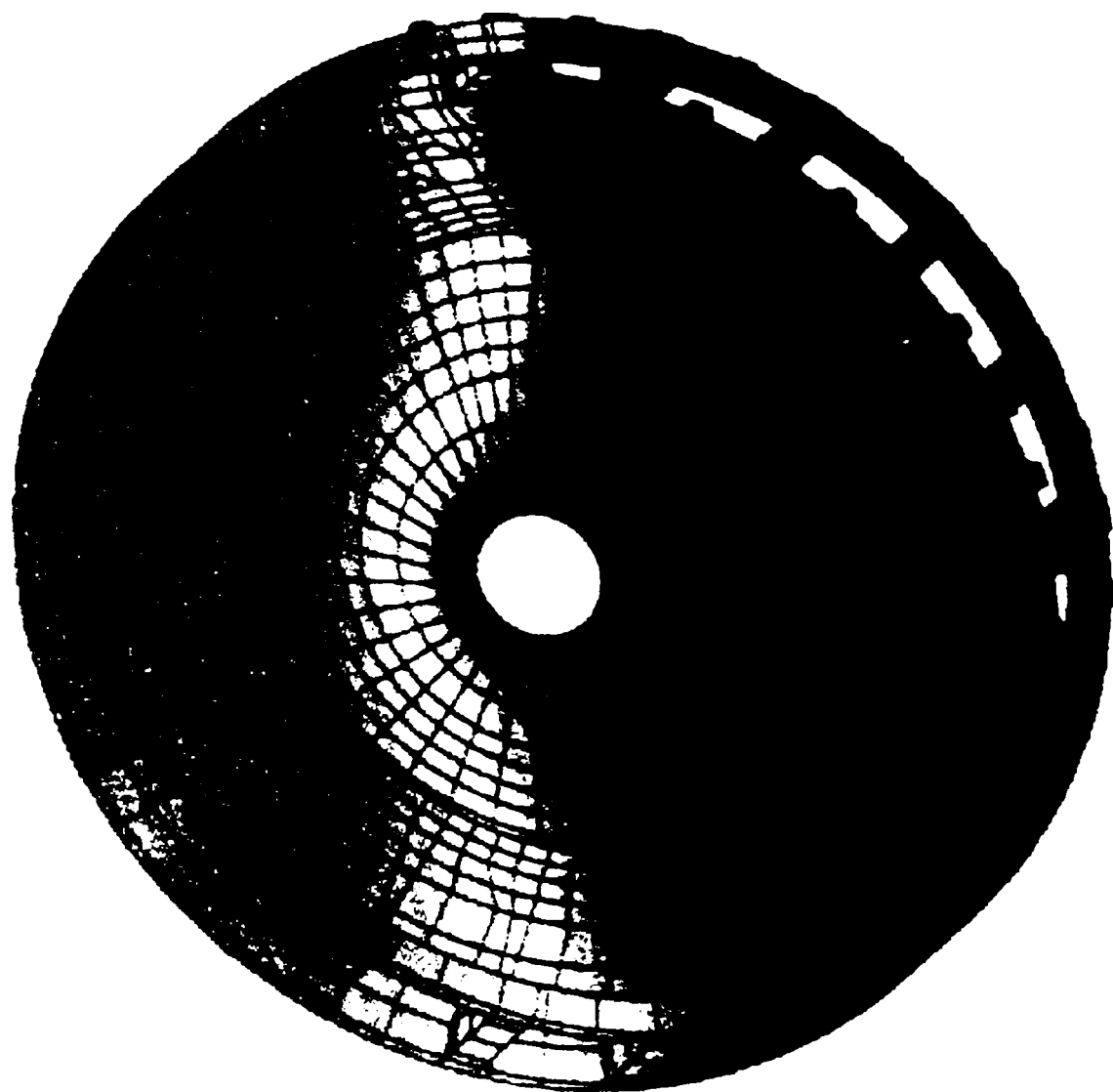
ANEXA 8



STAREA DE DEFORMARE A ROȚII
CAZ DE ÎNCĂRCARE LC3

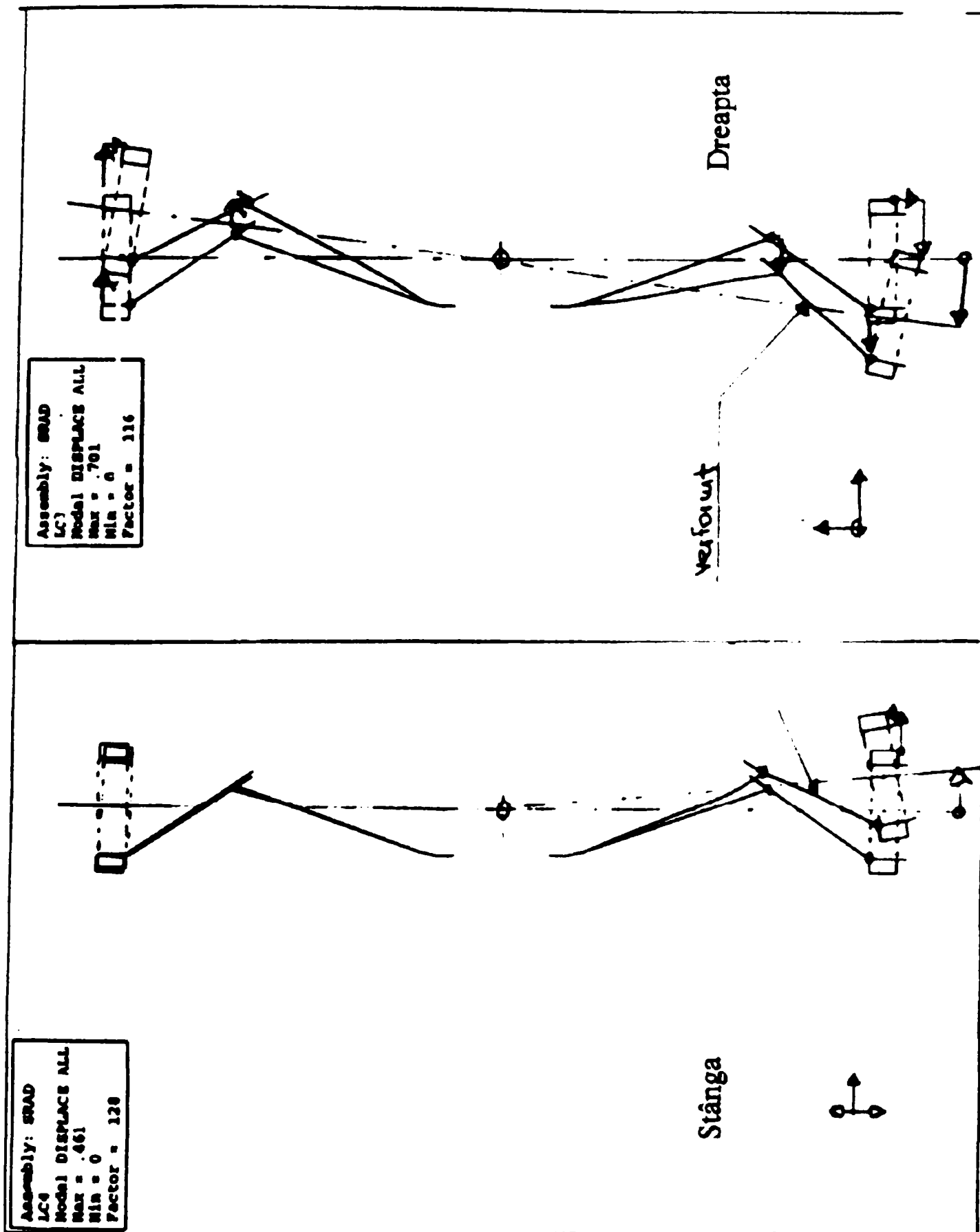
ANEXA 9

18
16
14
12
1
800 1
600 1
400 1
200 1
14000 1
100 1
800 1
600 1
400 1
200 1
1
100 1
800 1
600 1
400 1
200 1

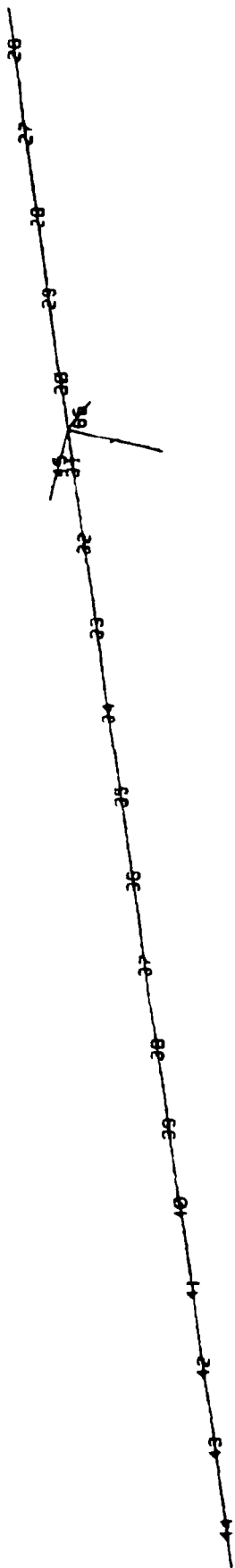


**STAREA DE DEFORMARE A ROȚII
CAZ DE ÎNCĂRCARE LC4**

ANEXA 10



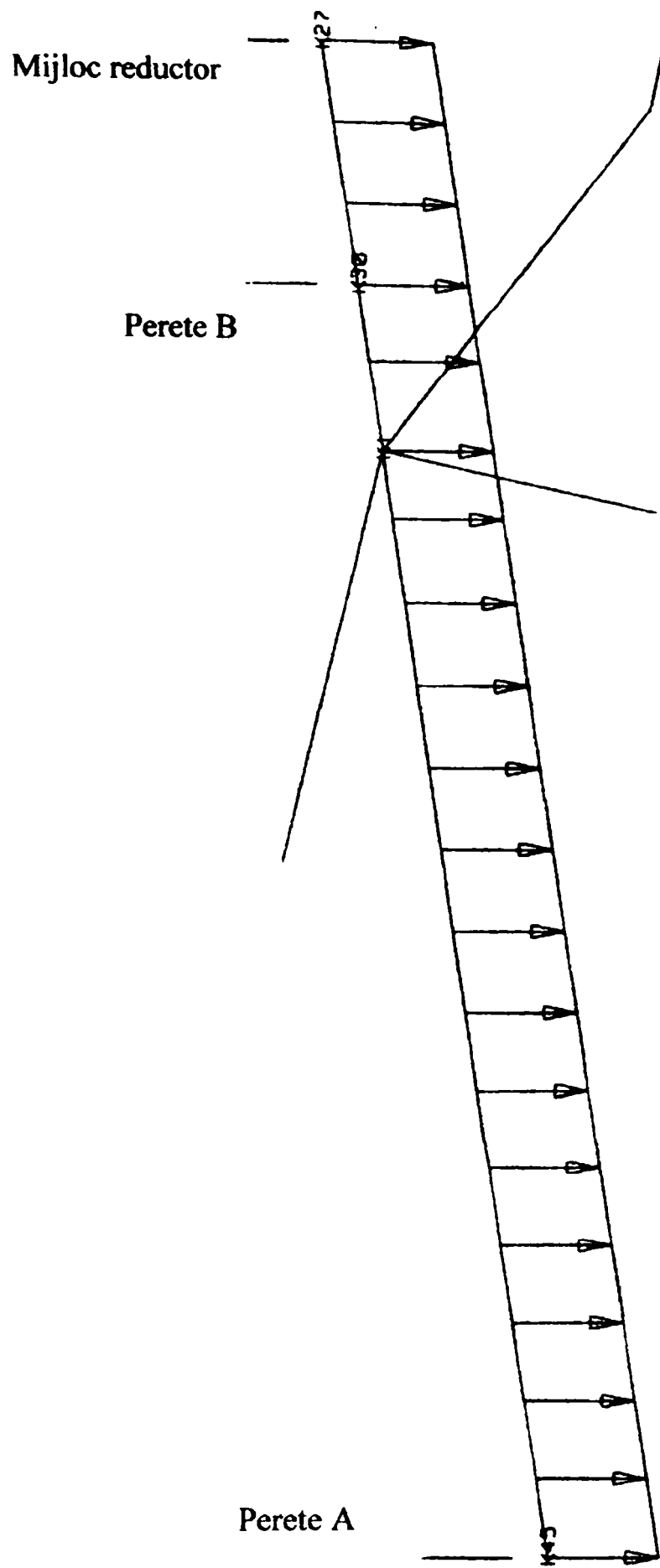
DEFORMAREA SECȚIUNII TRANSVERSALE A ROȚII CAZ DE ÎNCĂRCARE LC1, IPOTEZA H1 (STÂNGA) CAZ DE ÎNCĂRCARE LC4, IPOTEZA HZ2 (DREAPTA)



Elemente

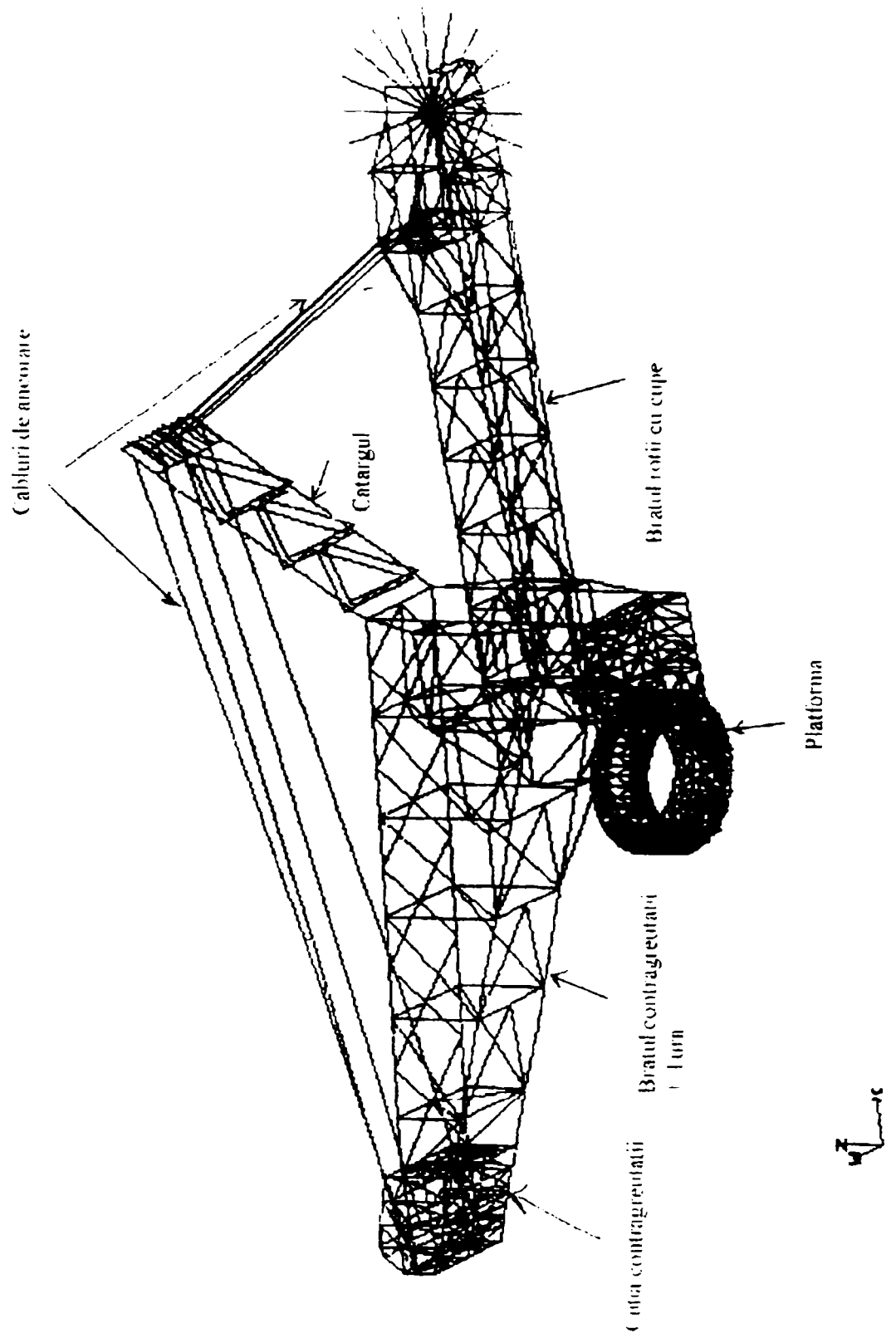
STRUCTURA DE CALCUL A ARBORELUI ROȚII

ANEXA 12



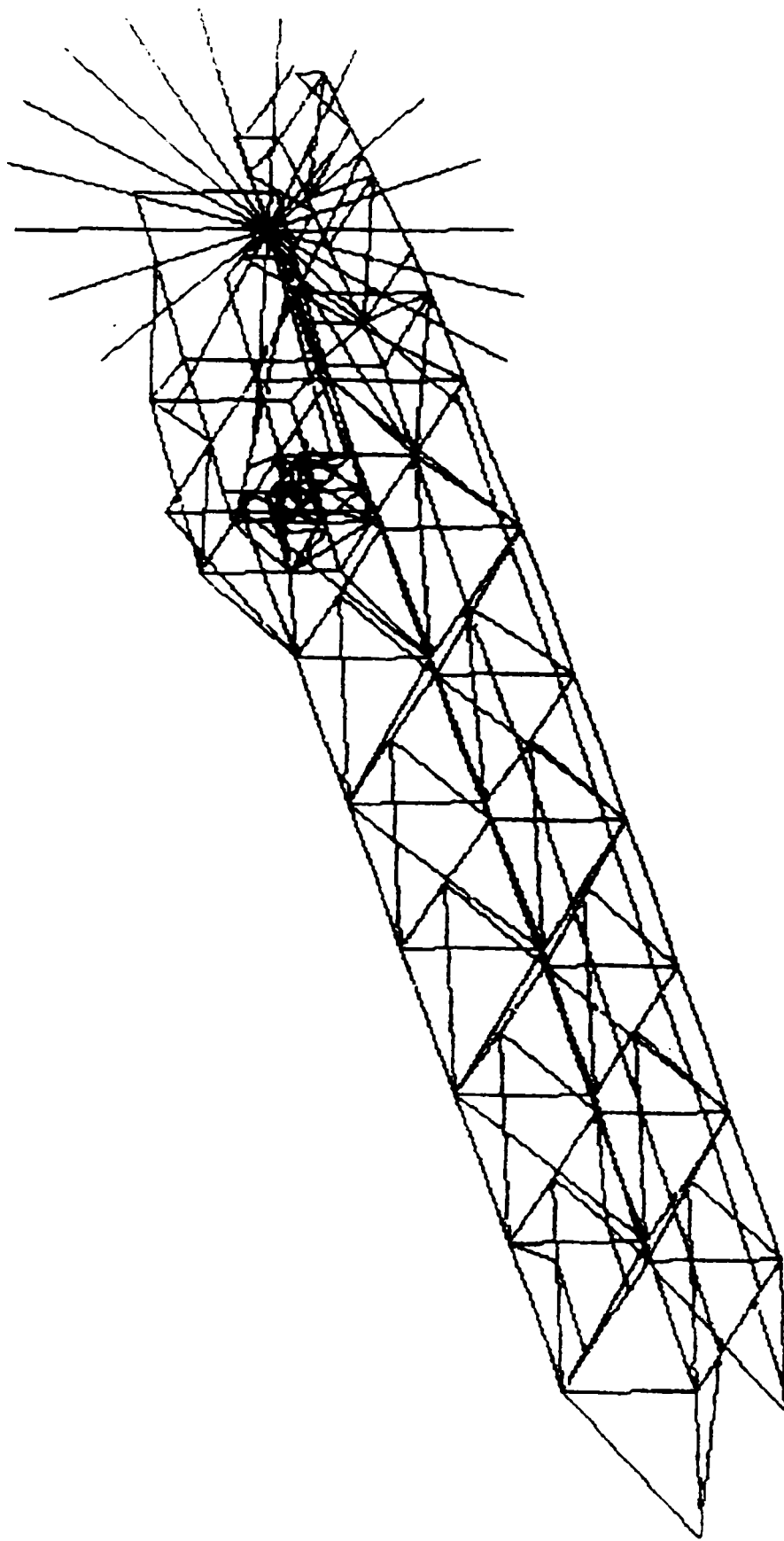
ÎNCĂRCARE ARBORE

ANEXA 13



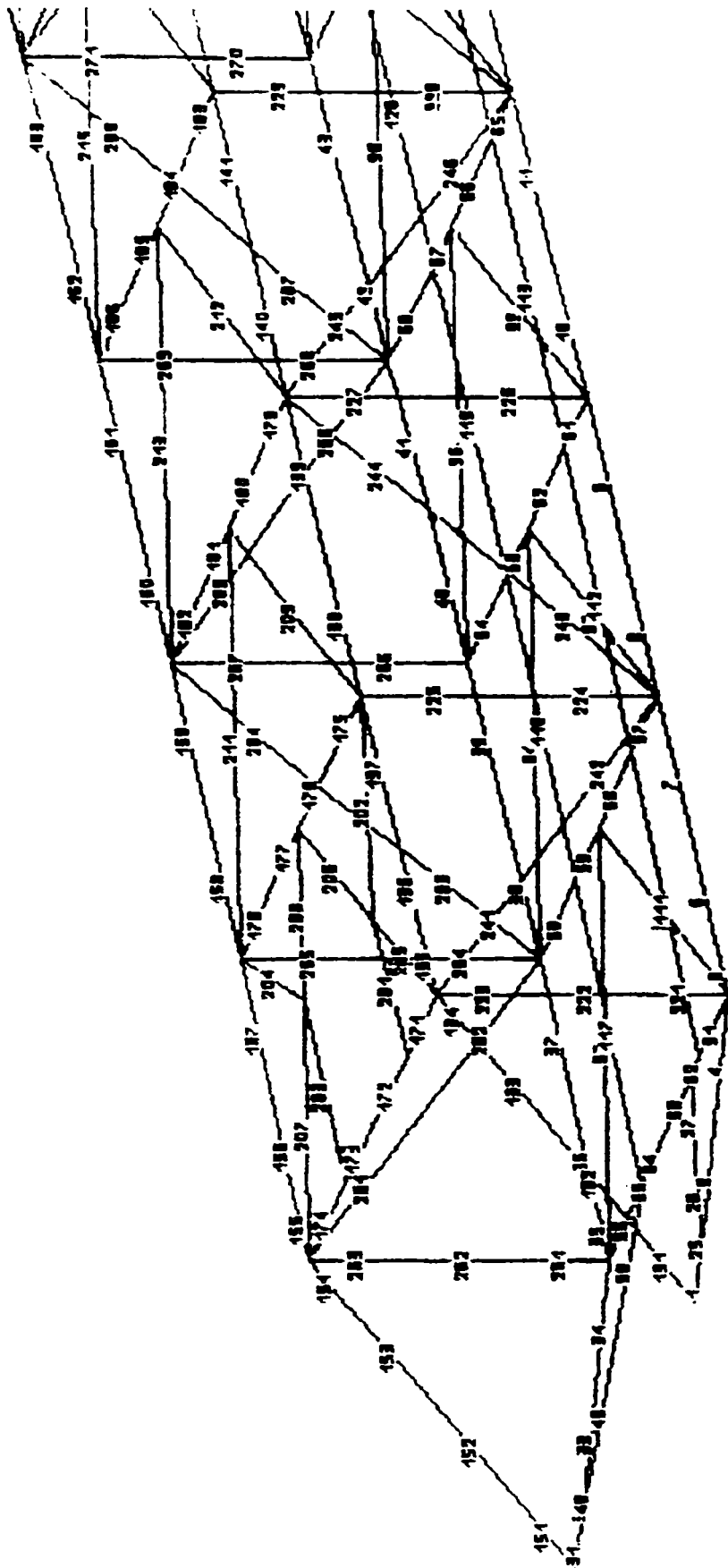
STRUCTURA DE CALCUL EXCAVATOR ERc 1400

ANEXA 14



BRAȚUL ROTII CU CUPE

ANEXA 15

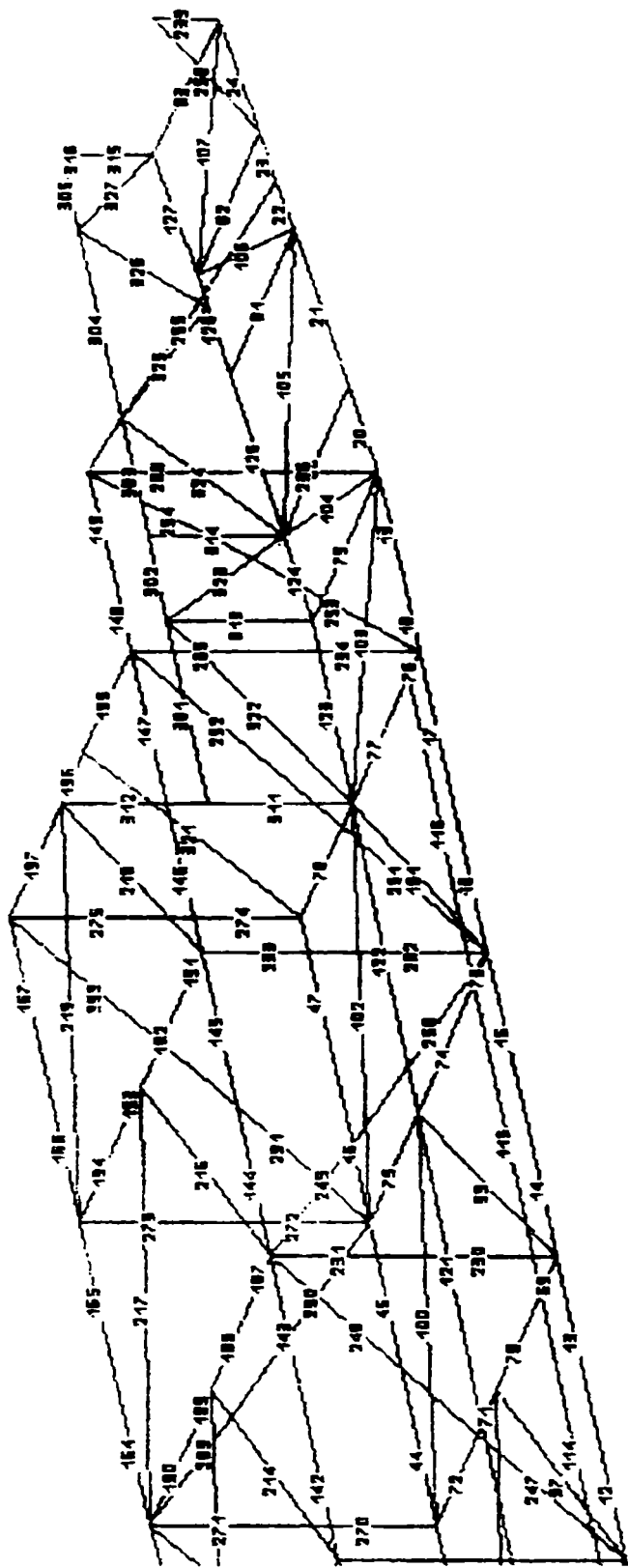


CONSTRUCȚIA EXISTENTĂ

ELEMENTE



ANEXA 16

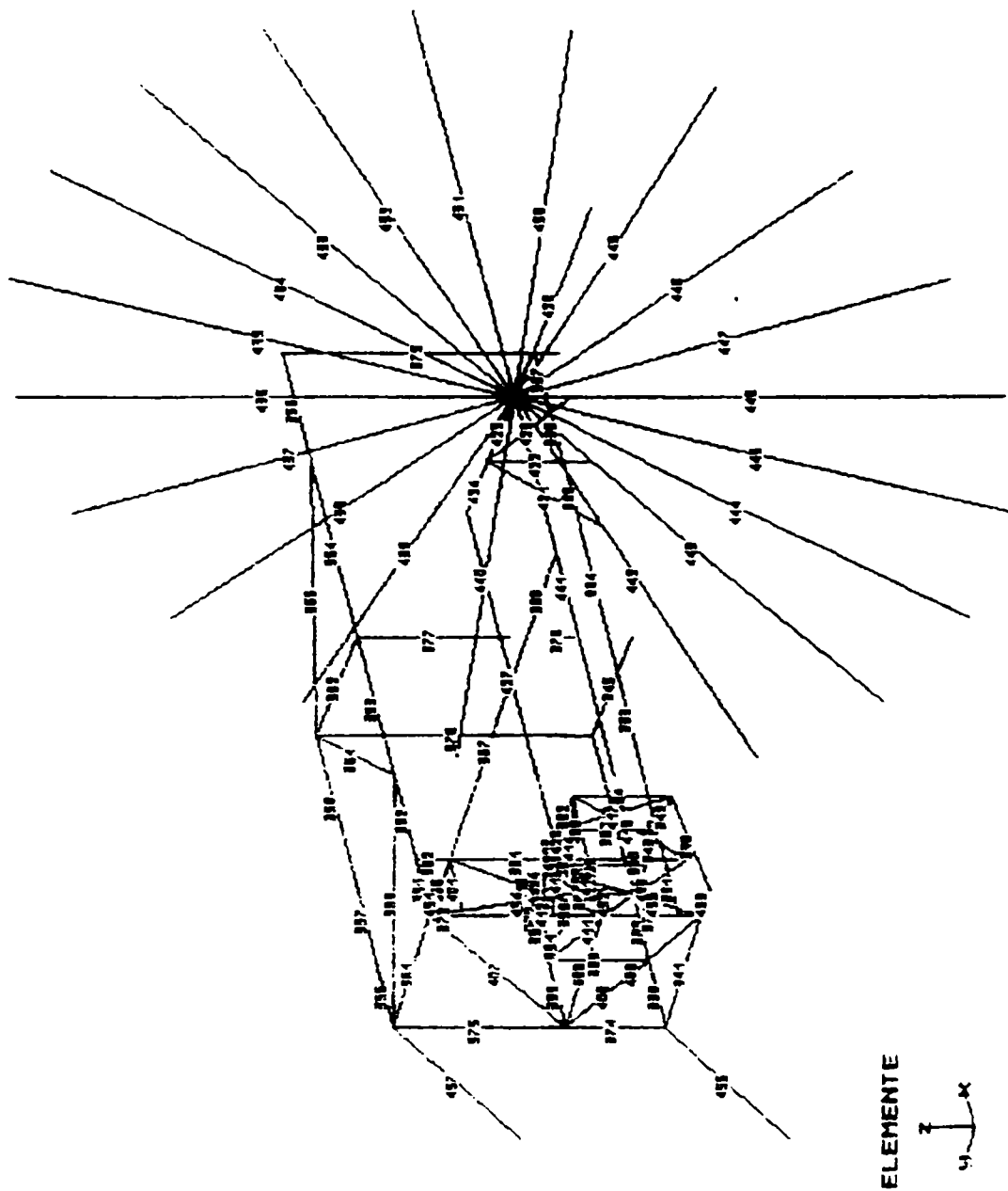


ELEMENTE



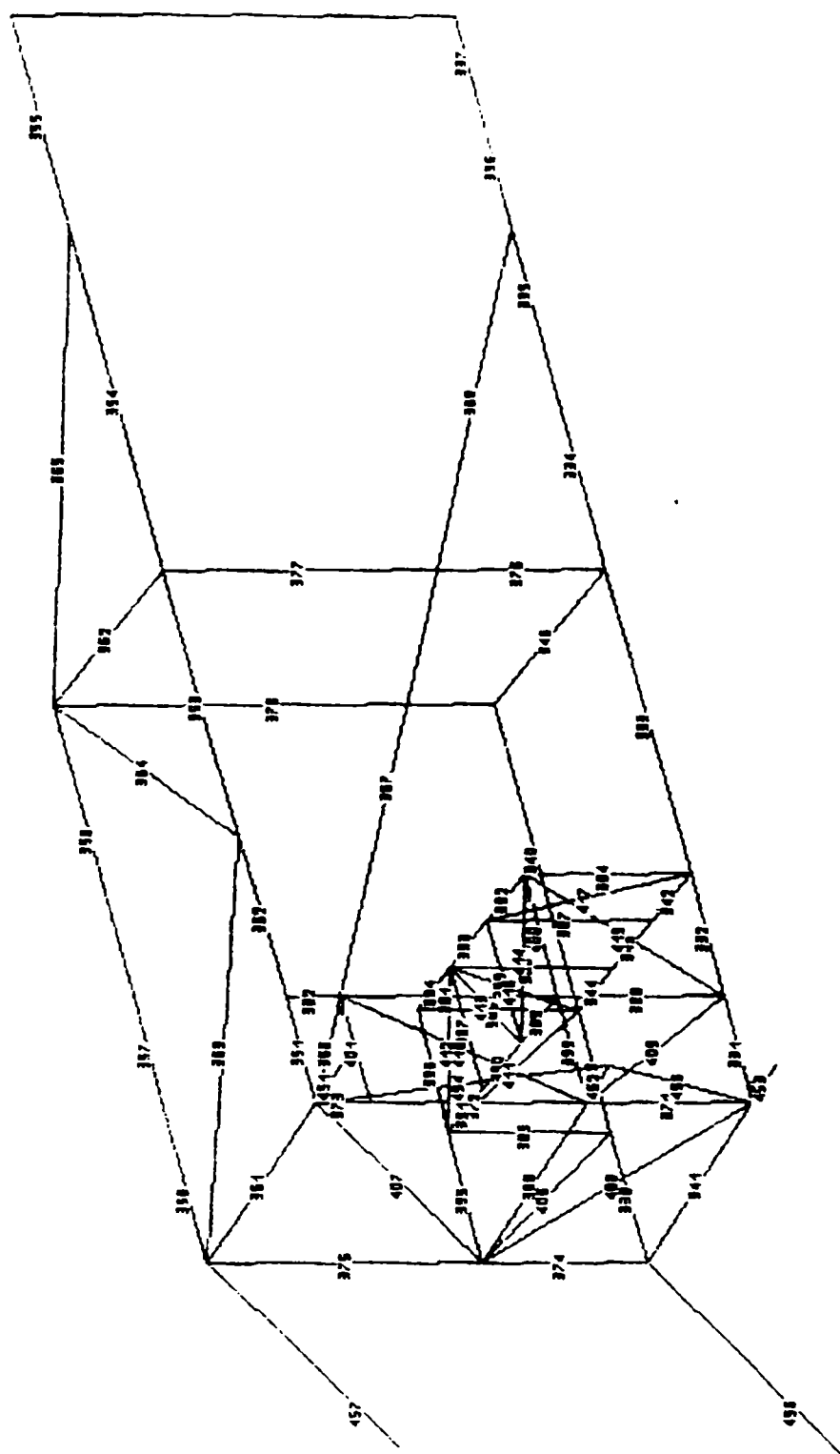
CONSTRUCȚIA EXISTENTĂ

ANEXA 17



CONSTRUCȚIA NOUĂ

ANEXA 18



ELEMENTE



PERETELE B CU ÎNCHIDERE

ANEXA 19

ANEXA 20

Cazul de încărcare Lc61 – influența tensiunii principale 1 – top face

- valorile maxime pozitive

Node	Princ_1
2305	200.071
651	193.41
539	193.262
558	191.063
540	190.281
650	190.28
708	189.729
707	189.282
559	185.444
557	184.586
652	184.317
538	183.929

- valorile minime negative

Node	Princ_1
1079	-165.301
1060	-163.15
1172	-162.845
1135	-162.252
1173	-161.913
1134	-158.875
1078	-156.621
1061	-155.204
1080	-152.845
1059	-151.605
1171	-147.197

Cazul de încărcare Lc61 – influența tensiunii principale 1– bottom face

- valorile maxime pozitive

Node	Princ_1
2305	430.491
2304	412.479

- valorile minime negative

Node	Princ_1
1191	-100.283
1115	-99.268

1153	-97.7407
1097	-95.581
1116	-95.5801
1190	-95.4186
1096	-94.9199
1152	-89.9751
1154	-89.6762
1114	-89.611
1192	-89.3527
1098	-83.351
1095	-82.9525
1117	-81.7585
1189	-80.9171

Cazul de încărcare nr.61 – influența tensiunilor Von Mises – top face

- valorile maxime

Node	Von Mises
2305	347.259

Cazul de încărcare nr.61 – influența tensiunilor Von Mises – botom face

- valorile maxime

Node	Von Mises
2305	420.502
2304	403.035

Cazul de încărcare nr.61 – influența tensiunilor normale pe direcția x – top face

- valorile maxime pozitive

Node	Sigma_X
2305	194.715

- valorile minime negative

Node	Sigma_X
1079	-179.689
1135	-177.885
1060	-177.802
1173	-177.244
1172	-176.186
1134	-172.617
1061	-171.825
1080	-169.175
1078	-168.981
1059	-164.145

355	-163.034
223	-162.503
1136	-161.773
298	-161.208

Cazul de încărcare nr.61 – influența tensiunilor normale pe direcția x – botom face

- valori maxime pozitive

Node	Sigma_X
2305	409.452
2304	387.944

- valori minime negative

Node	Sigma_X
345	-196.298
288	-196.172
213	-195.922
157	-193.278
158	-192.828
214	-190.259
344	-189.614
287	-184.59
289	-183.257
346	-178.347
212	-177.609
156	-170.251
159	-167.727

ANEXA 21

Cazul de încărcare Lc61 – influența tensiunii normale pe direcția y - top face

- valorile maxime pozitive

Node	Sigma_Y
60	154.959
64	154.096
58	153.516
62	152.806
1201	152.314
1163	150.425
1107	148.712
70	148.224
1125	145.652
1106	143.096
1183	140.233
1145	139.433
1200	135.172

- valori minime negative

Node	Sigma_Y
1154	-267.513
1097	-266.033
1116	-260.471
1098	-258.475
1153	-258.175
1192	-257.484
1191	-253.53
1117	-246.804

Cazul de încărcare Lc61 – influența tensiunii normale pe direcția y – bottom face

- valorile maxime pozitive

Node	Sigma_Y
62	165.18
70	163.726
60	162.875
64	162.747
58	161.294
1201	158.636
1145	158.187
1107	157.662
1163	153.465
1125	149.589

1183	147.649
1089	146.849

- **valorile minime negative**

Node	Sigma_Y
1116	-294.484
1191	-292.528
1192	-289.425
1097	-284.585
1154	-284.125
1115	-281.681
1153	-277.063
1098	-275.586
1117	-275.266

ANEXA 22

Cazul de încărcare Lc61 – deformații

- deformația echivalentă

- maximă - top

Elem	ESTRN
2051	0.000168503

- maximă - bottom

Elem	ESTRN
2051	0.000173977

Deplasări rezultante – Lc61

Node	Disp_ Res
2399	0.419801
2494	0.415299
2400	0.414797
2323	0.41464
2495	0.410808
2324	0.410005

Deplasări pe z – Lc61

Node	Disp_ Z
2399	0.394399
2494	0.393977
2400	0.393556
2323	0.388321
2495	0.387896
2324	0.387471

Cazul de încărcare Lc62 – influența tensiunii principale 1 – top face

- valori maxime pozitive

Node	Princ_1
2267	417.874
2266	396.279

- valori minime

Node	Princ_1
1720	-69.4712
534	-55.275
1719	-54.4265
702	-53.5737
553	-52.7589
1572	-47.6494
645	-47.6133
1721	-47.2258

Cazul de încărcare Lc62 – influența tensiunii principale 1 – bottom face

- valori maxime pozitive

Node	Princ_1
300	395.595
357	395.05
1	394.195
225	391.491
4	390.141
169	388.381
7	384.475
356	379.498
10	377.048

- valori minime

Node	Princ_1
1572	-41.2311
2154	-33.1249
1638	-31.0528
645	-26.3405
702	-25.8935
1515	-21.0139

ANEXA 23

Cazul de încărcare Lc62 – influența tensiunilor von Mises – top face

- valori maxime

Node	Von Mises
708	408.601
651	408.112
558	406.911
540	406.189
559	402.942
539	402.791
2267	400.464
707	398.397
652	397.311
650	390.836
709	390.598

Cazul de încărcare Lc62 – influența tensiunilor von Mises – bottom face

- valori maxime

Node	Von Mises
216	409.237
291	407.509
348	406.419
160	406.4
347	402.818
161	399.407
290	395.983
217	394.325

Cazul de încărcare Lc62 – influența tensiunilor normale pe direcția y – top face

- valori maxime pozitive

Node	Sigma_Y
1704	143.567
1648	137.071
1122	128.585

- valori minime negative

Node	Sigma_Y
1572	-156.329

Cazul de încărcare Lc62 – influența tensiunilor normale pe direcția y – bottom face

- valori maxime pozitive

Node	Sigma_Y
3	182.579
376	182.06
6	181.483
319	181.174
9	179.584
262	178.133
12	176.532
16	176.16
526	176.061
17	175.83
507	175.724
19	175.42
243	175.16
18	175.033
469	175.006
488	174.848
20	173.095
21	172.731
450	172.396
15	172.246
413	172.112
23	170.803
22	170.149
375	169.731
431	169.517
394	169.444
244	167.244
24	165.894
25	165.629
318	164.904
525	164.644
506	164.206

- valori minime negative

Node	Sigma_Y
253	-208.53
234	-208.346
366	-207.66
310	-206.211
309	-205.134
367	-204.088
252	-201.769

235	-199.105
404	-198.129
385	-197.966
497	-197.505
233	-196.931
441	-196.247
422	-196.202
460	-195.646
516	-195.244
459	-195.156
254	-194.591
479	-193.912
498	-193.668
478	-193.27
403	-192.078
517	-192.05
365	-190.781
440	-189.319
197	-189.162

Cazul de încărcare Lc62 – deformații echivalente – valori limită – top face

Elem	ESTRN
2081	0.000201288
2084	0.000199998
2222	0.000199776
2078	0.000199497
2075	0.000198763
2225	0.000196603
1937	0.000195097
2228	0.000194538
1934	0.000192518
2442	1.006e-005

Cazul de încărcare Lc62 – deformații echivalente – valori limită – bottom face

Elem	ESTRN
2081	0.000177578
2084	0.000176964
2222	0.000176603
2078	0.000176433
2075	0.000175703
2225	0.000174358
1937	0.000173237
2228	0.000172413

1934	0.000170903
2231	1.00168961

Deplasări rezultante - Lc62

Node	Disp_Res
2322	0.637133
2321	0.62465
2493	0.613169

Deplasări pe direcția z- Lc62

Node	Disp_Z
2322	0.595791
2493	0.595515
2398	0.59524
2321	0.58895
2492	0.588812
2397	0.588675

ANEXA 24

Cazul de încărcare Lc63 – influența tensiunilor VON MISES – top face

Node	Von Mises
2305	523.21

Cazul de încărcare Lc63 – influența tensiunilor VON MISES– bottom face

Node	Von Mises
2305	642.952
2304	622.614

Cazul de încărcare Lc63 – influența tensiunilor normale pe direcția X – top face

- valori pozitive

Node	Sigma_X
2305	312.884

- valori negative

Node	Sigma_X
1079	-230.688
1172	-229.717
1060	-229.513
1134	-226.218
1135	-226.048
1173	-223.987
1078	-223.578
1059	-218.204
1061	-214.737
1171	-212.124
1080	-210.101
1133	-204.288

Cazul de încărcare Lc63 – influența tensiunilor normale pe direcția X – bottom face

- valori pozitive

Node	Sigma_X
2305	623.338
2304	594.123

- valori negative

Node	Sigma_X
344	-220.684
287	-218.502
157	-218.464
213	-217.599

212	-216.572
156	-211.634
288	-211.34
345	-207.652
343	-206.105
286	-198.672
158	-196.991
214	-190.047
211	-189.672
155	-179.837

Cazul de încărcare Lc63 – influența tensiunilor principale 1 – top face

- valori pozitive

Node	Princ_1
2305	318.395

- valori minime

Node	Princ_1
1079	-209.075
1172	-208.822
1060	-207.291
1134	-204.539
1078	-203.329
1135	-203.199
1173	-201.774
1059	-197.458
1171	-192.998
1061	-191.2
1080	-187.221
1133	-184.679

Cazul de încărcare Lc63 – influența tensiunilor principale 1 – bottom face

- valori pozitive

Node	Princ_1
2305	652.825
2304	630.497

- valori negative

Node	Princ_1
1115	-131.133
1191	-130.17
1190	-128.769
1153	-127.614

1096	-126.47
1114	-123.818
1152	-122.84
1097	-122.358
1116	-121.504
1095	-116.173
1189	-114.642
1154	-111.845
1192	-110.954
1151	-103.859
1098	-101.652
1113	-100.165
1117	-99.6566

Cazul de încărcare Lc63 – deformații rezultante limită– top face

Elem	ESTRN
2051	0.000227856

Cazul de încărcare Lc63 – deplasări rezultante limită– top face

Node	Disp_Res
2399	0.609144
2494	0.600196
2323	0.597917

Cazul de încărcare Lc63 – deplasări pe z – top face

Node	Disp_Z
2399	0.573506
2494	0.572916
2323	0.572326

Cazul de încărcare Lc64 –influența tensiunilor VON MISES – top face

Node	Von Mises
2267	619.208
2266	591.359

Cazul de încărcare Lc64 –influența tensiunilor VON MISES – bottom face

Node	Von Mises
216	518.357
160	516.823
347	515.547
291	513.035
348	509.759
290	508.827

215	500.675
161	498.08

Cazul de încărcare Lc64 – influența tensiunilor principale 1 – top face

- valori pozitive

Node	Princ_1
2267	640.817

- valori negative

Node	Princ_1
1720	-116.155
1719	-91.4746

Cazul de încărcare Lc64 – influența tensiunilor principale 1 – bottom face

- valori pozitive

Node	Princ_1
300	489.446
225	488.104
169	487.571
357	485.585
1	480.964
356	480.369
299	475.729
4	472.844
224	462.66
7	462.529

- valori negative

Node	Princ_1
1572	-54.5685
2154	-42.3382
1638	-40.7682
533	-31.295

Cazul de încărcare Lc64 – influența tensiunilor normale pe direcția x – top face

- valori pozitive

Node	Sigma_X
2267	614.895

- valori negative

Node	Sigma_X
357	-354.194
300	-351.081

225	-351.115
1	-350.808
4	-348.438
169	-344.075
7	-341.55
356	-339.794
10	-334.836
299	-327.961
13	-324.241
224	-319.468
207	-313.091

Cazul de încărcare Lc64 – influența tensiunilor normale pe direcția x – bottom face

- valori pozitive

Node	Sigma_X
300	473.494
357	471.223
225	469.337
1	468.992
169	466.762
4	462.181
356	455.877
7	453.603
299	448.839
10	442.539
224	431.515
13	428.047

- valori negative

Node	Sigma_X
347	-546.491
160	-543.348
216	-542.093
290	-541.384
215	-536.045
291	-530.946
159	-524.938
348	-523.907
346	-511.918
161	-504.472

Cazul de încărcare Lc64 –deformații rezultante limită – top face

Elem	ESTRN
2081	0.000260402
2075	0.000260137

2078	0.000259578
2084	0.000257445
1937	0.000257049
2222	0.000255834
1934	0.000255363
2225	0.000250651
1931	0.000250006

Cazul de încărcare Lc64 –deformații rezultante limită – bottom face

Elem	ESTRN
2081	0.000231795
2075	0.000231705
2078	0.000231681
2084	0.000229971
1937	0.000229787
2222	0.000228276
1934	0.000228034
2225	0.000224726
1931	0.000224338
2228	0.000221401
1928	0.000220743

Cazul de încărcare Lc64 –deplasări rezultante limită

Node	Disp_Res
2321	0.839891
2322	0.83658
2492	0.811199
2493	0.802689

Cazul de încărcare Lc64 – deplasări pe z limită

Node	Disp_Z
2321	-0.7901
2492	0.789907
2397	0.789715
2322	0.777082
2493	0.776694
2398	0.776307

Constantele reale utilizate

Real Constant Set : 1

Associated Element Group: 1 (SCHELL4T)

Rc1 : Thickness..... = 1.000000e+001

Real Constant Set : 2

Associated Element Group: 2 (SCHELL4T)

Rc1 : Thickness..... = 6.250000e+000

Real Constant Set : 3

Associated Element Group: 2 (SCHELL4)

Rc1 : Thickness..... = 2.200000e+000

Real Constant Set : 4

Associated Element Group: 2 (SCHELL4)

Rc1 : Thickness..... = 1.800000e+000

Real Constant Set : 5

Associated Element Group: 2 (SCHELL4)

Rc1 : Thickness..... = 1.200000e+000

Real Constant Set : 6

Associated Element Group: 2 (SCHELL4)

Rc1 : Thickness..... = 1.000000e+000

Real Constant Set : 7

Associated Element Group: 3 (BEAM3D)

Rc1: Cross-sectional area	=5.000000e+001
Rc2: Moment of inertia about y-axis (Iy)	=8.000000e+002
Rc3: Moment of inertia about z -axis (Iz)	=8.000000e+002
Rc4: Depth of beam (y-axis)	=1.000000e+002
Rc5: Width of beam (z-axis)	=1.000000e+002
Rc6: End-release code (node1)	= 1
Rc7: End release code (node 2)	= 0
Rc8: Torsional Constant (J)	=1.000000e+003
Rc9: Shear factor in elem.y-axis	=2.000000e-001
Rc10: Shear factor in elem.z-axis	=2.000000e-001

Real Constant Set : 8

Associated Element Group: 3 (BEAM3D)

Rc1:	Cross-sectional area	=5.000000e+001
Rc2:	Moment of inertia about y-axis (Iy)	=8.000000e+002
Rc3:	Moment of inertia about z -axis (Iz)	=8.000000e+002
Rc4:	Depth of beam (y-axis)	=1.000000e+002
Rc5:	Width of beam (z-axis)	=1.000000e+002
Rc6:	End-release code (node1)	= 0
Rc7:	End release code (node 2	= 0
Rc8:	Torsional Constant (J)	=1.000000e+003
Rc9:	Shear factor in elem.y-axis	=2.000000e-001
Rc10:	Shear factor in elem.z-axis	=2.000000e-001

Real Constant Set : 9

Associated Element Group: 1 (SHELL4T)

Rc1 :	Thickness.....	= 3.200000e+000
-------	----------------	-----------------

Real Constant Set : 10

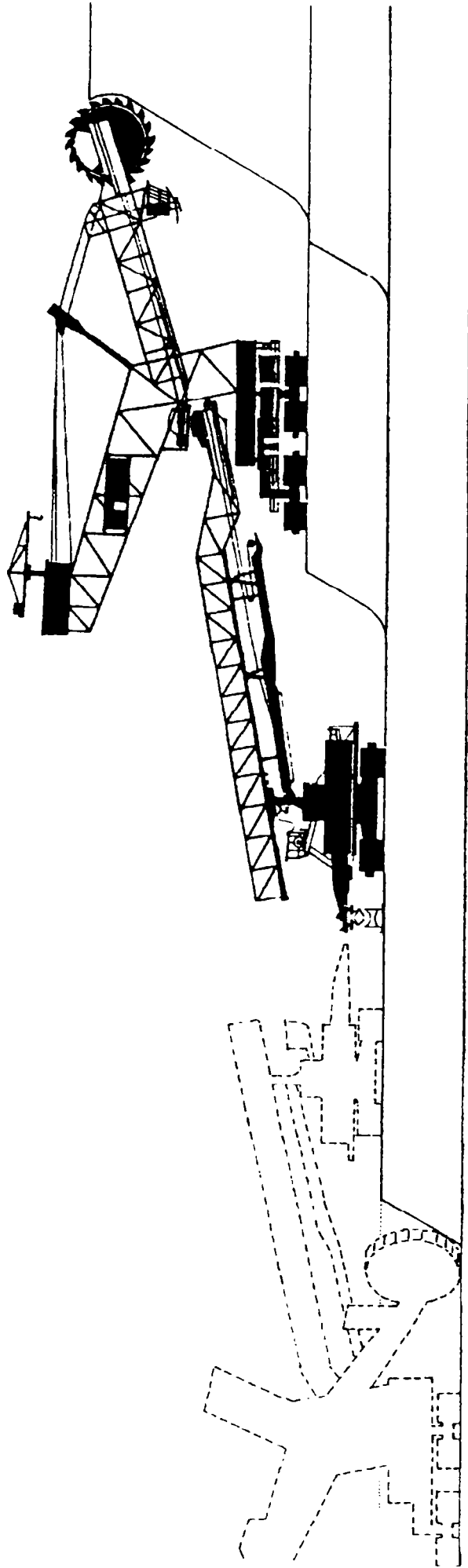
Associated Element Group: 2 (SHELL4)

Rc1 :	Thickness.....	= 4.000000e-001
-------	----------------	-----------------

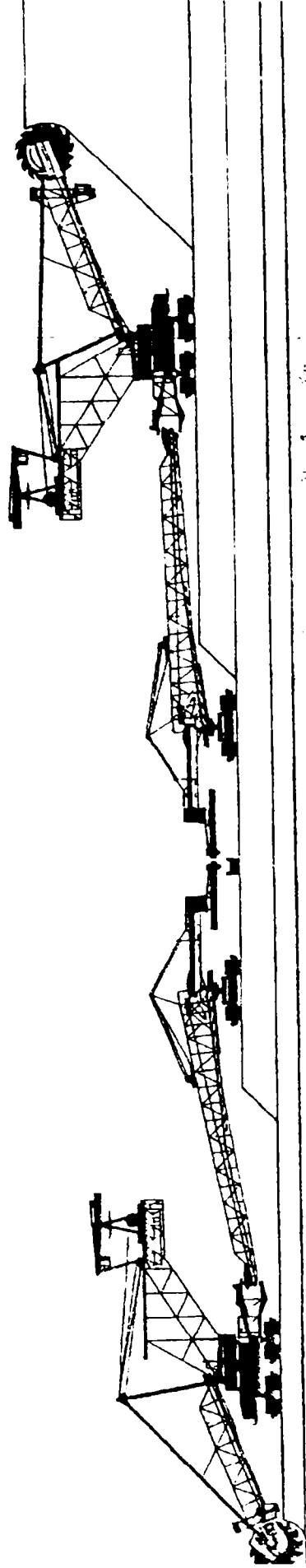
Real Constant Set : 11 (ACTIVE)

Associated Element Group: 3 (BEAM3D)

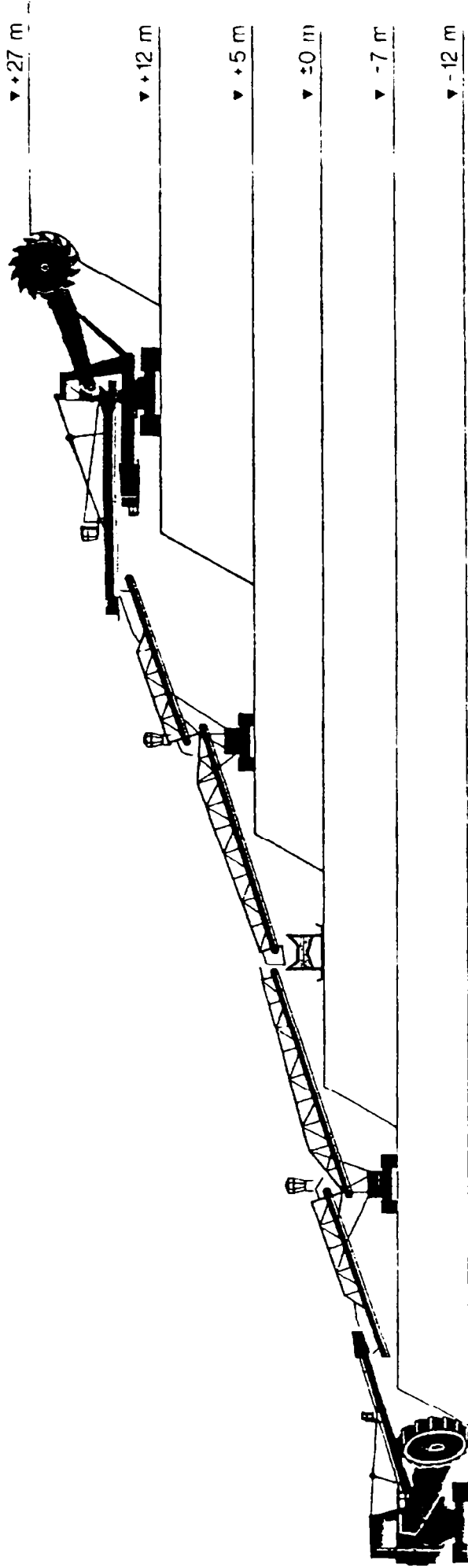
Rc1:	Cross-sectional area	=1.970000e+001
Rc2:	Moment of inertia about y-axis (Iy)	=3.070000e+001
Rc3:	Moment of inertia about z -axis (Iz)	=3.070000e+001
Rc4:	Depth of beam (y-axis)	=5.000000e+000
Rc5:	Width of beam (z-axis)	=5.000000e+002
Rc6:	End-release code (node1)	= 0
Rc7:	End release code (node 2	= 0
Rc8:	Torsional Constant (J)	=1.000000e+003
Rc9:	Shear factor in elem.y-axis	=2.000000e-001
Rc10:	Shear factor in elem.z-axis	=2.000000e-001



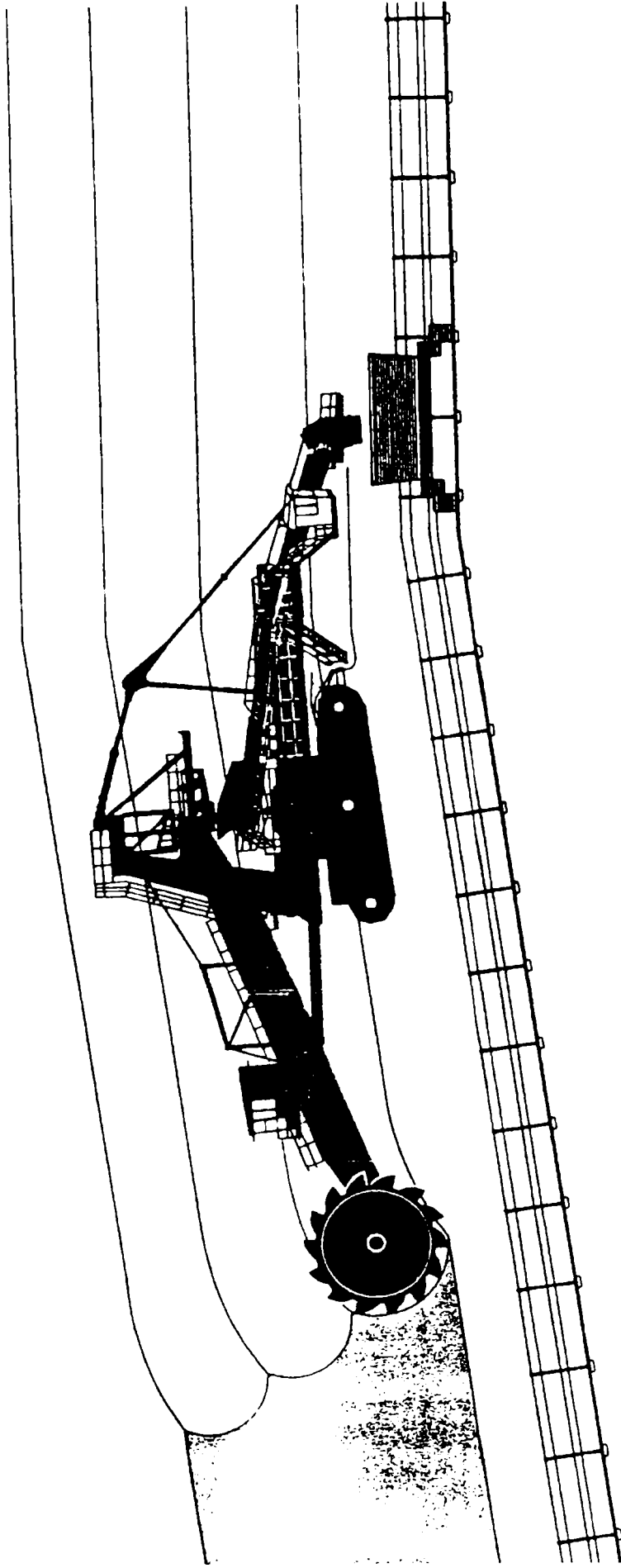
EXCAVATOR



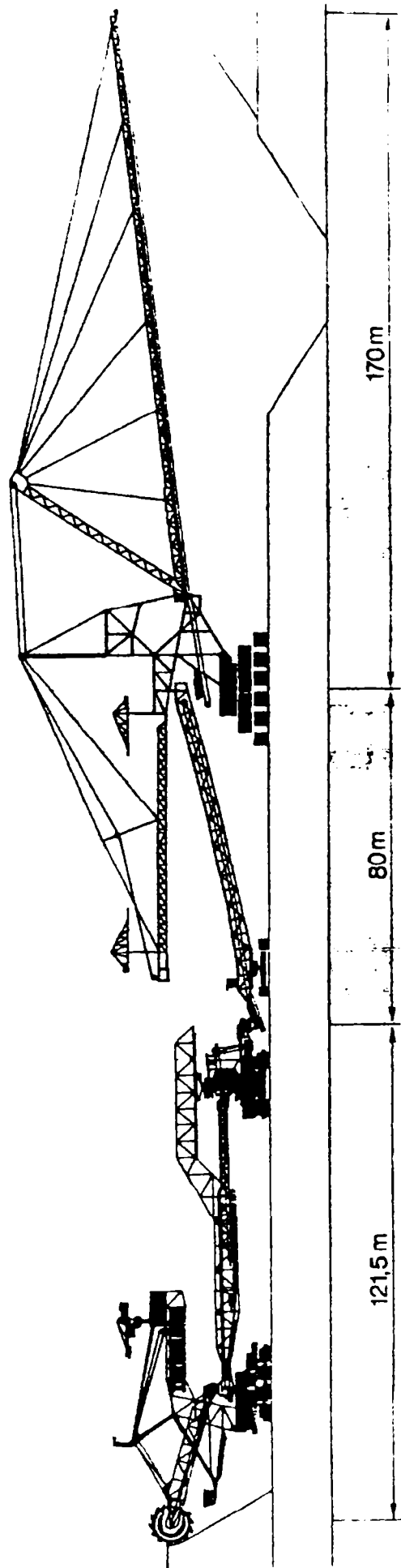
ANSAMBLU – EXCAVATOR – CĂRUCIOR DE SPRIJIN



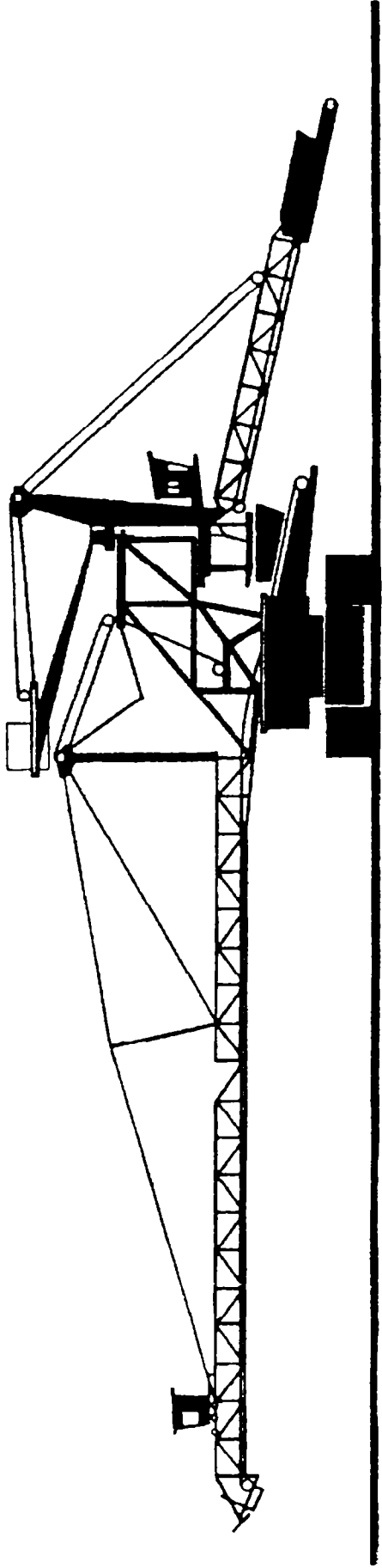
ANSAMBLU – EXCAVATOR – CĂRUȚIOARE DE BANDĂ



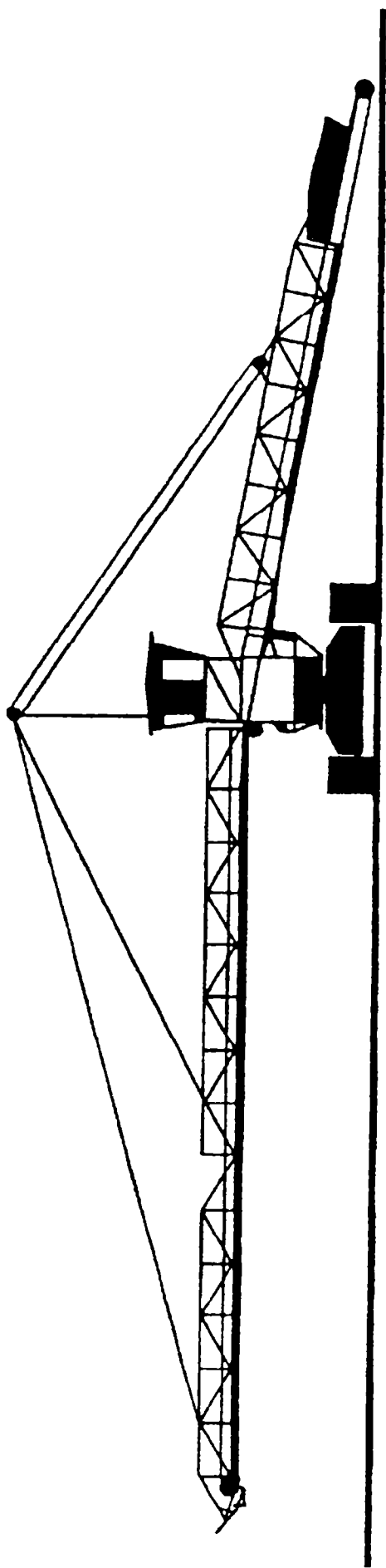
EXCAVATOR COMPACT



ANSAMBLU EXCAVATOR CĂRUCIOR DE BANDĂ MAȘINA DE HALDAT



CĂRUCIOR DE BANDĂ



CĂRUCIOR DE BANDĂ