

OPTIMIZAREA FUNCȚIONĂRII SISTEMULUI HIDROGENERATOR DE LA CENTRALA HIDROELECTRICĂ RÂUL MARE RETEZAT

Teză destinată obținerii
titlului științific de doctor inginer
la
Universitatea "Politehnica" din Timișoara
în domeniul Inginerie Energetică
de către

Ing. Flaviu DILERTEA

Conducător științific: Prof.univ.dr.ing. Flavius Dan ȘURIANU

CUPRINS

1. INTRODUCERE.....	7
2. PARTEA HIDRO A AMENAJĂRII RÂUL MARE RETEZAT	9
2.1. Prezentare generală a amenajării Râul Mare	9
2.2. Barajul Gura Apelor	11
2.2.1. Caracteristici tehnice ale barajului Gura Apelor.....	11
2.2.2. Etanșare baraj	12
2.2.3. Sisteme de drenaj	14
2.2.4. Caracteristici coronament	14
2.2.5. Descărcătorul de suprafață	15
2.2.6. Disipatorul de energie	15
2.2.7. Golirea de semifund	15
2.2.8. Golirea de fund	16
2.2.9. Galeria de acces la casa vanelor golirii de fund.....	16
2.2.10. Puțul de acces la casa vanelor golirii de fund și semifund și cele trei galerii de injecții orizontale din versantul drept.....	16
2.3. Priza de apă	16
2.3.1. Componenta sistemului de urmărire a vanei priză baraj Gura Apelor	17
2.3.2. Funcționarea sistemului de urmărire a poziției vanei	18
2.4. Aducțiunile	19
2.4.1. Aducțiunea principală	19
2.4.2. Aducțiunea secundară	20
2.5. Castelul de echilibru	21
2.5.1. Camera inferioară	21
2.5.2. Puțul castelului.....	21
2.5.3. Camera superioară	22
2.6. Galeria forțată	22
2.6.1. Vana fluture.....	22
2.6.2. Conducta forțată	23

2.6.3. Galeriile distribuitorilor	23
2.6.4. Vanele sferice	23
2.7. Turbina	26
2.8. Aparatul director și camera spirală	28
2.9. Galeriile aspiratoare.....	29
2.10. Camera de expansiune și batardoul	29
2.11. Galeria de fugă	29
2.12. Concluzii și contribuții personale	30

3. PARTEA ELECTRICĂ A CENTRALEI HIDROELECTRICE

RÂUL MARE RETEZAT	31
3.1. Hidrogeneratorul	31
3.1.1. Statorul.....	32
3.1.2. Rotorul.....	33
3.1.3. Steaua superioară	35
3.1.4. Steaua inferioară	35
3.1.5. Lagărul axial-radial	36
3.1.6. Lagărul radial inferior	37
3.1.7. Sistemul de frânare și ridicare	37
3.1.8. Sistemul de excitație	37
3.1.9. Sistemul de răcire.....	38
3.1.10. Sistemul de ventilație	40
3.1.11. Instalația de stingere a incendiului	41
3.1.12. Caracteristici tehnice	43
3.1.13. Condiții tehnice.....	44
3.2. Transformatorul bloc.....	46
3.2.1. Caracteristici constructive	46
3.2.2. Caracteristici tehnice	48
3.3. Stația de evacuare	52
3.4. Concluzii și contribuții personale.....	54

4. STUDIU PRIVIND STABILIREA REGIMURILOR DE FUNCȚIONARE ALE HIDROAGREGATELOR DIN CHE RETEZAT ȚINÂND SEAMA DE VALORILE SALTULUI HIDRAULIC ÎN CASTELUL DE ECHILIBRU LA COTE MICI DE EXPLOATARE ALE ACUMULĂRII GURA APELOR.....

4.1. Descrierea încercărilor	55
4.1.1. Mărimi măsurate	55

4.1.2	Programul probelor	56
4.2.	Considerații teoretice	57
4.2.1.	Determinarea randamentelor hidroagregatelor	57
4.2.2.	Determinarea pierderilor de sarcină.....	58
4.2.2.1.	Pierderi de sarcină totale	58
4.2.2.2.	Pierderi de sarcină locale	59
4.2.2.3.	Pierderi de sarcină distribuite	62
4.2.3.	Determinarea coeficienților de rugozitate	63
4.2.3.1.	Determinarea coeficientului de rugozitate al aducțiunii	63
4.2.3.2.	Determinarea coeficientului de rugozitate al conductei forțate	64
4.2.4.	Analiza oscilațiilor în castelul de echilibru	64
4.3.	Puncte de măsurare și modul de achiziție a datelor	64
4.3.1.	Mărimi măsurate	64
4.3.1.1.	Mărimi electrice.....	65
4.3.1.2.	Nivele.....	66
4.3.1.3.	Diferența de presiune pe prizele Winter-Kenedy	68
4.3.1.4.	Cursa pistonului servomotorului de acționare a aparatului director.....	69
4.3.2.	Achiziția datelor.....	69
4.4.	Calculul rezultatelor încercărilor.....	69
4.4.1.	Cote, dimensiuni și constante utilizate	69
4.4.2.	Calculul mărimilor electrice	71
4.4.3.	Calculul nivelurilor	73
4.4.4.	Calculul pierderilor de sarcină.....	76
4.4.5.	Calculul coeficienților de rugozitate	77
4.4.6.	Calculul rezultatelor măsurării caracteristicilor hidroagregatelor	78
4.5.	Evaluarea erorilor.....	79
4.5.1.	Valorile erorilor sistematice pentru mărimile direct măsurate.....	79
4.5.2.	Valorile erorilor sistematice pentru mărimile calculate	79
4.6.	Aplicație	80
4.7.	Concluzii și contribuții personale.....	82
 5. ANALIZA STABILITĂȚII GENERATOARELOR SINCRONE AFLATE ÎN EXPLOATARE LA CENTRALA HIDROELECTRICĂ RETEZAT		85
5.1.	Considerații generale	85

5.2. Criteriul ariilor egale	87
5.2.1. Fundamentarea criteriului	87
5.2.2. Aplicarea criteriului ariilor egale	91
5.2.3. Timpul critic de deconectare	94
5.2.4. Cazul a două generatoare sincrone de putere finită	96
5.3. Studiu de caz – Analiza stabilității generatorului sincron de la CHE Râul Mare Retezat.	97
5.3.1. Prezentare generală a echipamentelor PDM	97
5.3.2. Structuri de sisteme de înregistrare	99
5.3.3. Analiza unor cazuri reale	100
5.3.3.1. Scurtcircuit bifazat pe linia de evacuare a puterii	100
5.3.3.2. Descărcări atmosferice pe linia de evacuare a puterii	103
5.4. Concluzii și contribuții personale	105
6. ÎNCERCĂRI LA PUNEREA ÎN FUNCȚIUNE A HIDROAGREGATULUI 1 ȘI SIMULAREA SOFTWARE A FUNCȚIONĂRII CENTRALEI HIDROELECTRICE RÂUL MARE RETEZAT	107
6.1. Prezentarea echipamentelor de măsură și monitorizare utilizate.	107
6.2. Încercări în regim de mers în gol	109
6.2.1. Verificarea vibrațiilor în regimul de mers în gol neexcitat.	109
6.2.2. Verificarea vibrațiilor în regimul de mers în gol excitat	112
6.2.3. Caracteristica de mers în gol.	114
6.3. Încercări în regim de mers în sarcină	116
6.3.1. Verificarea vibrațiilor în regimul de mers în sarcină.	116
6.3.2. Caracteristicile la mers în sarcină (în V).	122
6.3.2.1. Caracteristica în regim de mers în sarcină pentru P=44 MW	124
6.3.2.2. Caracteristica în regim de mers în sarcină pentru P=65 MW	125
6.3.2.3. Caracteristica în regim de mers în sarcină pentru P=84 MW	126
6.3.2.4. Caracteristica în regim de mers în sarcină pentru P=100 MW	127
6.3.2.5. Caracteristica în regim de mers în sarcină pentru P=110 MW	128
6.4. Caracteristica de mers în scurtcircuit trifazic simetric	129
6.5. Descărcări parțiale	131
6.5.1. Considerații teoretice privind descărcările parțiale.	132

6.5.2. Condiții tehnice de încercare.....	134
6.5.3. Date tehnice ale sistemului de măsurare a descărcărilor parțiale. ...	135
6.5.4. Rezultatele măsurărilor.	137
6.5.5. Încercarea la încălzire la P=110 MW.	145
6.5.6. Date tehnice ale sistemului de măsurare a descărcărilor parțiale. ...	114
6.7. Aplicație	147
6.6. Concluzii și contribuții personale.....	149

7. CONCLUZII FINALE ȘI CONTRIBUȚII 153

Anexa 1 a) Pornire un singur hidroagregat – înregistrare SCADA.....	159
Anexa 1. b). Pornire un singur hidroagregat – simulare	160
Anexa 2.a). Oprire un hidroagregat, celălalt oprit – înregistrare SCADA	161
Anexa 2.b). Oprire un hidroagregat, celălalt oprit – simulare	162
Anexa 3.a). Pornire un hidroagregat, cu celălalt pornit – înregistrare SCADA.	163
Anexa 3.b). Pornire un hidroagregat, cu celălalt pornit – simulare..	164
Anexa 4.a). Oprire un hidroagregat, cu celălalt pornit – înregistrare SCADA.....	165
Anexa 4.b). Oprire un hidroagregat, cu celălalt pornit – simulare.	166
Anexa 5. Aruncare de sarcină pe singurul agregat pornit – simulare.	167
Anexa 6. Două agregate pornite, aruncare de sarcină pe unul dintre ele – simulare.....	168
Anexa 7. Pornire două grupuri simultan – simulare.	169
Anexa 8. Caracteristica de exploatare a turbinei FVM 170,5 526,3.....	170
Anexa 9. Curba de randament a turbinei nr.1 pentru căderea netă de calcul $H_{netc} = 483,500$ m	171
Anexa 10. Curba de randament a hidroagregatului nr.1 pentru căderea netă de calcul $H_{netc} = 483,500$ m	172
Anexa 11. Curba de consum Q_c (PGc) a hidroagregatului 1 pentru căderea netă de calcul $H_{netc} = 483,500$ m.....	173
Anexa 12. Curbele de admisie Q_c (a) și de reglare PGc (a) ale hidroagregatului nr.1 pentru căderea netă de calcul $H_{netc} = 483,500$ m	174
Anexa 13. Curba de randament a turbinei nr.2 pentru căderea netă de calcul $H_{netc} = 483,500$ m.....	175
Anexa 14. Curba de randament a hidroagregatului nr.2 pentru căderea netă de calcul $H_{netc} = 483,500$ m	176

Anexa 15. Curba de consum Q_c (PGc) a hidroagregatului nr.2 pentru căderea netă de calcul $H_{netc} = 483,500$ m	177
Anexa 16. Curbele de admisie Q_c (a) și de reglare PGc (a) ale hidroagregatului nr.2 pentru căderea netă de calcul $H_{netc} = 483,500$ m	178
Anexa 17. Curbele de pierderi de sarcină totale Δh_{rtot} (Q), Δh_{rADtot} (Q) și Δh_{rCFtot} (Q)	179
Anexa 18. Curbele de pierderi de sarcină totale Δh_{rtot} (Q2), Δh_{rADtot} (Q2) și Δh_{rCFtot} (Q2)	180
Anexa 19. Variația nivelului în castelul de echilibru la manevra de pornire normală și încărcare la 100 MW a HA1 cu HA2 oprit	181
Anexa 20. Variația nivelului în castelul de echilibru la manevra de pornire normală și încărcare la 100 MW a HA2 cu HA1 în funcțiune la 100 MW.....	182
Anexa 21. Variația nivelului în castelul de echilibru la manevra de descărcare de la 100 MW și oprire normală a HA1 cu HA2 oprit.....	183
Anexa 22. Variația nivelului în castelul de echilibru la manevra de descărcare de la 100 MW și oprire normală a HA1 cu HA2 în funcțiune la 100 MW	184
Anexa 23. Variația nivelului în castelul de echilibru la manevra de aruncare de sarcină de la 100 MW a HA1 cu HA2 în funcțiune la 100MW	185
Anexa 24. Variația nivelului în castelul de echilibru la manevra de aruncare de sarcină de la 100 MW a HA2 cu HA1 oprit.....	186
Anexa 25. Variația nivelului în castelul de echilibru la manevra de pornire și încărcare simultană la 100 MW a ambelor HA	187
Anexa 26. Valori efective înregistrate la un scurtcircuit bifazat.....	188
Anexa 27. Defazaje înregistrate la un scurtcircuit bifazat	189
Anexa 28. Valori efective înregistrate la descărcări atmosferice.....	190
Anexa 29. Defazaje înregistrate la descărcări atmosferice	191
Bibliografie	193

1. INTRODUCERE

În ultimele decenii omenirea asistă la o creștere rapidă a consumului mondial de energie datorită dezvoltării societății, a creșterii populației pe glob și al nivelului de trai al acesteia, a industrializării țărilor în curs de dezvoltare, a creșterii numărului mijloacelor de transport etc.

Viitorul lumii civilizate depinde de fapt de cantitatea de energie de care pot dispune oamenii. Problema care se pune astăzi este aceea a măsurii în care poate fi asigurată energia necesară dezvoltării permanente a societății. În această direcție părerile specialiștilor sunt încă divergente. Unii sunt pentru utilizarea intensivă a rezervelor clasice, alții consideră că soluția este utilizarea resurselor regenerabile. În ambele situații energia apei va fi cu siguranță una dintre resursele primare.

România deține locul 5 în Europa în ceea ce privește potențialul hidroenergetic teoretic cu 85 TWh/an, dintre care potențialul tehnic amenajabil fiind de 23 TWh/an. De fapt, acest potențial al țării noastre a fost identificat de către Dorin Pavel, părintele hidroenergeticii românești, care în anul 1933, după ce a absolvit Școala Politehnică din Zürich (1923) a publicat lucrarea fundamentală „*Planul general de amenajare a forțelor hidraulice ale României*”. De menționat aici faptul că la absolvirea facultății, Dorin Pavel a fost încadrat ca asistent la Politehnica din Zürich, unde și-a susținut teza de doctor în științe tehnice în anul 1925 și i s-a oferit șansa de a deveni conferențiar în cadrul aceleiași școli și de a-și dezvolta o carieră didactică. „*Am mulțumit tuturor profesorilor, arătând că am obligația față de părinți și țară și trebuie să mă întorc acasă*”[53].

În ceea ce privește dezvoltarea sistemului electroenergetic al țării și folosirea forței apei la producerea energiei electrice este de referință și „*Planul de electrificare a țării și de folosire a apelor*”, adoptat în anul 1950.

Sucursala Hidrocentrale Hațeg a luat ființă în anul 1976, concomitent cu începerea derulării investițiilor la amenajarea hidroenergetică a Râului Mare, având în perspectivă amenajarea în continuare a râului Strei.

În cei aproape 40 de ani de existență, sub controlul S.H. Hațeg, amenajarea Râului Mare a trecut din faza de proiect în stadiul de exploatare parțială pentru barajul Gura Apelor și exploatare normală pentru toate celelalte acumulări și centrale aflate în avalul centralei hidroelectrice Retezat.

Uzina hidroelectrică Retezat realizează amenajarea pentru producerea de energie prin captarea debitelor Râului Mare în lacul Gura Apelor, a debitelor cursurilor de apă întâlnite de aducțiunea secundară Râu Bărbat și a debitelor cursurilor de apă întâlnite de aducțiunea principală.

În aval de centrala Retezat este realizată centrala de joasă cădere Clopotiva, cu rol de centrală de restituție. Centrala Clopotiva este supraterană, echipată cu 2 grupuri Kaplan.

Uzina hidroelectrică Retezat împreună cu salba de centrale din aval, prin faptul ca pot porni în interval de câteva minute, asigura o buna acoperire a vârfului de sarcina, chiar și în perioada de vara, când Râu Mare asigura totuși un debit destul de consistent. Amenajarea este deci o veriga importantă a Sistemului Energetic Național.

Lucrarea de față constituie o prezentare a rezultatelor studiilor și cercetărilor autorului și a echipei din care a făcut parte, ce au fost întreprinse cu scopul creșterii siguranței în funcționare a centralei hidroelectrice Râul Mare Retezat.

Teza este structurată pe șapte capitole la care se adaugă anexele și bibliografia. Primul capitol este introductiv, iar ultimul sintetizează concluziile tezei de doctorat și contribuțiile proprii ale autorului. Celelalte cinci capitole sunt prezentate pe scurt mai jos.

Capitolul II prezintă un scurt istoric al Sucursalei Hidrocentrale Hațeg și al amenajării hidroenergetice Râul Mare. De asemenea sunt descrise detaliat toate părțile hidro componente ale amenajării în ordinea firească a parcurgerii lor de către apă: barajul, priza de apă, aducțiunile, galeriile castelul de echilibru, vanele, turbina și galeria de fugă. Prezentarea se face atât în ceea ce privește rolul funcțional al acestora cât și caracteristicile lor. Prezentările sunt însoțite de figuri explicative foarte sugestive. Capitolul se încheie cu concluzii și cu sistematizarea contribuțiilor proprii ale autorului.

Capitolul III prezintă o descriere detaliată a părții electrice a centralei hidroelectrice Râul Mare Retezat. Este prezentat hidrogeneratorul cu părțile sale componente rotor și stator atât din punct de vedere constructiv cât și ca rol funcțional. De asemenea sunt descrise detaliat lagărele, sistemele de frânare și de ridicare, sistemul de detectare și stingere a incendiului, excitatoarea, transformatorul bloc și circuitele primare. Prezentările sunt însoțite de figuri explicative foarte sugestive. Capitolul se încheie cu concluzii și cu sistematizarea contribuțiilor proprii ale autorului.

Capitolul IV reprezintă practic un raport de încercări asupra stabilirii regimurilor de funcționare ale Centralei Hidroelectrice Râul Mare Retezat în funcție de valorile saltului hidraulic în castelul de echilibru la cote mici de exploatare ale acumulării Gura Apelor. Încercările pentru determinarea performanțelor energetice ale hidroagregatelor au fost efectuate cu respectarea recomandărilor din SR EN 60041:2003: încercări de recepție efectuate pe mașina reală, pentru determinarea performanțelor hidraulice ale turbinelor hidraulice, pompelor de acumulare și turbinelor-pompe. Capitolul se încheie cu o aplicație software, propusă de autor, pentru simularea saltului hidraulic în castelul de echilibru la efectuarea mai multor manevre cu cele două grupuri ale centralei. Rezultatele obținute prin simulare sunt prezentate comparativ cu rezultatele obținute prin măsurători.

În cadrul *capitolului V* se prezintă analiza stabilității generatorului sincron pe durata a două evenimente ce au avut loc pe linia electrică de evacuare a puterii din centrală. Este vorba despre un scurt circuit bifazat și respectiv o descărcare atmosferică. Sunt analizate variațiile valorilor tensiunilor și curenților pe cele trei faze atât ca modul cât și ca unghi pe durata celor două evenimente.

Capitolul VI prezintă încercările efectuate la punerea în funcțiune a hidroagregatului 1. Sunt prezentate rezultatele obținute atât la regim de mers în gol cât și la diferite regimuri de încărcare cu sarcină. Capitolul se încheie cu o modelare a centralei în limbajul Delphi și simularea unui regim de supraîncărcare a centralei, rezultatele obținute prin simulare fiind prezentate comparativ cu rezultate obținute prin măsurători.

2. PARTEA HIDRO A AMENAJĂRII RÂUL MARE RETEZAT

Acest capitol prezintă un scurt istoric al Sucursalei Hidrocentrale Hațeg și al amenajării hidroenergetice Râul Mare. De asemenea sunt descrise detaliat toate părțile hidro componente ale amenajării în ordinea firească a parcurgerii lor de către apă: barajul, priza de apă, aducțiunile, galeriile castelul de echilibru, vanele, turbina și galeria de fugă. Prezentarea se face atât în ceea ce privește rolul funcțional al acestora cât și caracteristicile lor. Prezentările sunt însoțite de figuri explicative foarte sugestive. Capitolul se încheie cu concluzii și cu sistematizarea contribuțiilor proprii ale autorului.

2.1. Prezentare generală a amenajării Râul Mare

Sucursala Hidrocentrale Hațeg a luat ființă în anul 1976, concomitent cu începerea derulării investițiilor la amenajarea hidroenergetică a Râului Mare, având în perspectivă amenajarea în continuare a râului Strei.

În cei aproape 40 de ani de existență, sub controlul S.H. Hațeg, amenajarea Râului Mare a trecut din faza de proiect în stadiul de exploatare parțială pentru barajul Gura Apelor și exploatare normală pentru toate celelalte acumulări și centrale aflate în avalul centralei hidroelectrice Retezat.

Amenajarea hidroenergetică a Râului Mare prezentată în Fig.2.1 cuprinde două sectoare distincte:

- amenajarea Râul Mare amonte: uzină de cădere mare;
- amenajarea Râul Mare aval în trepte: de cădere mică.

Uzina hidroelectrică Retezat realizează amenajarea pentru producerea de energie prin captarea debitelor Râului Mare în lacul Gura Apelor, a debitelor cursurilor de apă întâlnite de aducțiunea secundară Râu Bărbat și a debitelor cursurilor de apă întâlnite de aducțiunea principală.

Debite medii anuale uzinate:

- captarea Râului Mare - acumularea Gura Apelor – 8,83 mc/sec
- captări secundare - aducțiunea Râu Bărbat – 3,51 mc/sec
- captări secundare – aducțiunea principală – 1,06 mc/sec

Suprafața de bazin contestata:

- bazinul Râului Mare – 271,3 kmp
- afluenții Râului Strei – 80,4 kmp
- Râușorul – 13,1 kmp

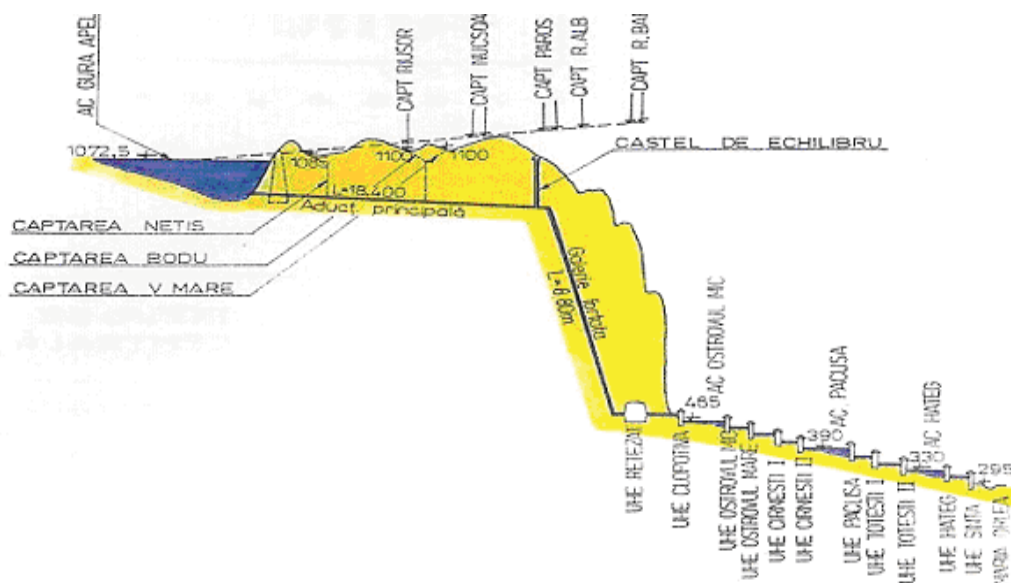


Fig. 2.1- Amenajarea hidroenergetică Râul Mare amonte și aval

Amenajarea Râul Mare amonte cuprinde următoarele obiective:

- 1) Acumularea superanuală Gura Apelor realizată de barajul omonim
- 2) Aducțiunea principală
- 3) Castel de echilibru
- 4) Galerie forțată
- 5) Centrala subterană Retezat
- 6) Stații de distribuție de 110 KV și 220 KV
- 7) Bloc de comanda suprateran
- 8) Aducțiunea secundară Râu Bărbat
- 9) Captări secundare pe aducțiunea secundară (10 captări) și pe aducțiunea principală (3 captări)
- 10) Camera de expansiune
- 11) Galeria de fugă

În aval de centrala Retezat este realizată centrala de joasă cădere Clopotiva, cu rol de centrală de restituție. Centrala Clopotiva este supraterană, echipată cu 2 grupuri Kaplan.

Uzina hidroelectrică Retezat împreună cu salba de centrale din aval, prin faptul că pot porni în interval de câteva minute, asigură o bună acoperire a vârfului de sarcină, chiar și în perioada de vară, când Râul Mare asigură totuși un debit destul de consistent. Amenajarea este deci o verigă importantă a Sistemului Energetic Național.

2.2. Barajul Gura Apelor

Barajul Gura Apelor realizează acumularea principală a Centralei Hidroelectrice Râul Mare Retezat, fiind situat pe sectorul amonte al Râului Mare (afluent al râului Strei), la cca. 600 m aval de confluența pâraielor Lăpușnicul Mare, Lăpușnicul Mic și Râul Șes. Lacul Gura Apelor se află pe limita dintre județele Hunedoara și Caraș – Severin. Orașul cel mai apropiat, Hațeg, la cca. 47 km aval de barajul Gura Apelor are ca folosință exclusivă producerea de energie electrică. Debitul captat din acumulare este tranzitat prin aducțiunea principală ($L = 18,4$ km) care se continuă cu galeria forțată, fiind turbinat în centrala Retezat.

Lucrul la această acumulare a fost început în 10 ianuarie 1975 pentru ca în mai 1986 centrala Retezat să fie pusă în funcțiune, barajul fiind finalizat în totalitate abia în anul 1999.

Aceasta amenajare a apărut ca nevoie a aplanării vârfului de sarcină într-un moment în care industria românească era în plina dezvoltare. Cu ajutorul lacului se efectuează de asemenea și o regularizare multianuală a debitelor.

2.2.1. Caracteristici tehnice ale barajului Gura Apelor

Barajul Gura Apelor, este realizat din anrocamente, cu nucleu central de etanșare din argilă așa cum este prezentat în Fig.2.2. Nucleul este flancat în amonte și în aval de zone filtrante. Materialul de umplutură este dispus în straturi subțiri, compactate prin vibrație. Materialele ce compun corpul barajului sunt:

- argilă în nucleul central, adusă de la 30 km;
- nisip și pietriș în filtrele amonte și aval de nucleu:
 - ◆ filtrul 1 granulozități de 0 – 5 mm, lățime 3 – 5 m,
 - ◆ filtrul 2 granulozități de 5 – 120 mm, lățime 3 – 7 m;
- balast sortat pe zona de trecere aval de nucleu, de lățime 15 m la bază și 7 m la partea superioară, cu granulozități de 0 – 500 mm;
- anrocamente de natură granitică în prisme, cu granulozități de 0 – 1200 mm aduse de la 8 km;
- balast și anrocamente în prismele de stabilitate, dispuse în zona versantului stâng și în vale, cu granulozități de 0 – 1200 mm

Barajul are lungimea frontului de barare la cota coronamentului de 480 m, lățime maximă la bază de 574 m, înălțime maximă a barajului (de la fundație) de 168 m, cota fundației - 910,50 mdM, cota talvegului la baraj - 929,00 mdM, cota coronamentului - 1078,50 mdM. Se realizează astfel un volum al barajului de 10 mil. mc, ceea ce reprezintă de trei ori volumul piramidei lui Keops. Prin aceste dimensiuni este cel mai mare baraj de anrocamente, nu numai din România ci și din sud-estul Europei.

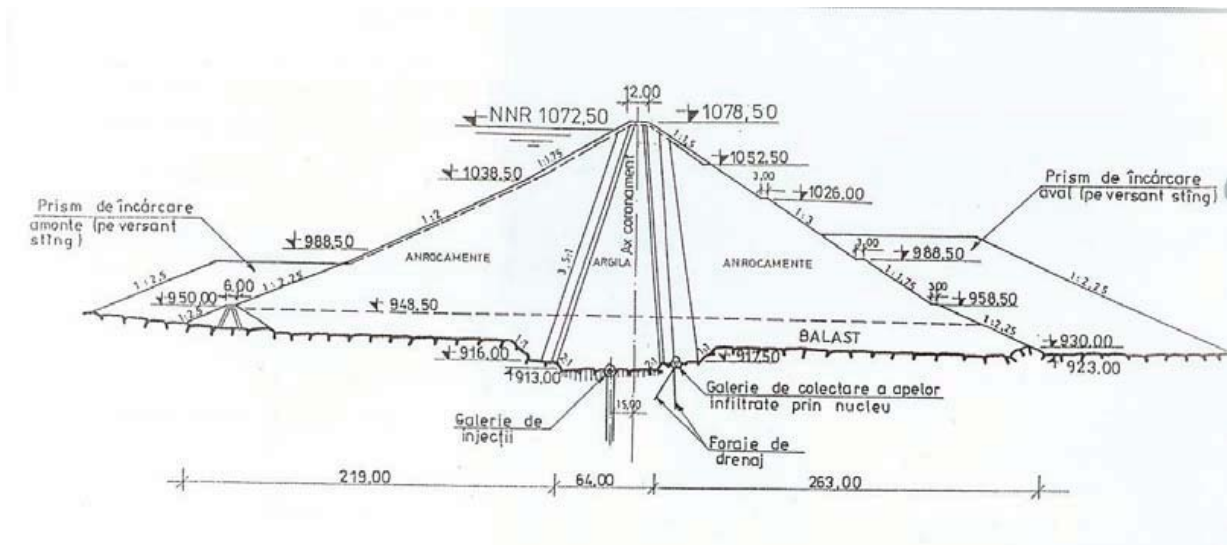


Fig. 2.2- Secțiune transversală prin baraj

Deși lucrarea are dimensiuni impresionante, prin amplasarea ei în imediata vecinătate a Parcului Național Retezat, și datorită configurației solului, a putut fi aplicată o soluție constructivă care să folosească materiale ecologice, evitându-se pe cât posibil folosirea betonului.

Pentru a se realiza o fundație solidă, la baza barajului s-au efectuat excavații de 1,7 mil mc, astfel ajungându-se până la un strat de roca deosebit de dură.

2.2.2. Etanșare baraj

Elementul de etanșare al barajului, prezentat în Fig.2.3 cu portocaliu, constă dintr-un nucleu central din argilă cu plasticitate de 12 – 30 % și coeficient de permeabilitate maxim de 5×10^{-8} , ușor înclinat spre amonte. Lățimea la bază este de 63 m, iar la partea superioară 6 m.

Elemente de etanșare în profunzime - etanșarea rocii de fundație sub nucleu s-a realizat printr-un voal de etanșare executat prin injecții clasice cu lapte de ciment. Voalul s-a executat pe tronsoane de înălțime și a fost recepționat pe versantul drept până la cota 1078,50 mdM (cotă coronament), în albie și pe versantul stâng sub cota 960,00 mdM. Adâncimea voalului de etanșare în zona albiei și în zona centrală a văii este de 80 m, iar închiderile în versanți până la coronament scad la 60 m adâncime în versantul stâng și 20 m în versantul drept. Voalul de etanșare s-a executat dintr-un sistem de galerii dispus astfel:

- în versantul drept s-au realizat trei galerii orizontale cu accese independente din interiorul puțului uscat vertical de golire:
 - Galeria 1 cota 1024,50 mdM, lungime 58,00 m ;
 - Galeria 2 cota 986,25 mdM, lungime 80,40 ;
 - Galeria 3 cota 943,55 mdM, lungime 103,50 m.

- pe versantul stâng și în albie, pe fundația nucleului s-a realizat o galerie de injecții care intră 30 m în versantul drept și urmărește panta variabilă a versantului stâng; cota inferioară 914,30 mdM, lungime 410,60 m, iar la cota 957,10 mdM un tronson orizontal de cca. 10 m.; la versantul stâng pe ultimii 25 m galeria se transformă într-un puț de acces cu ieșire la zi, la cota 1078,50 mdM.

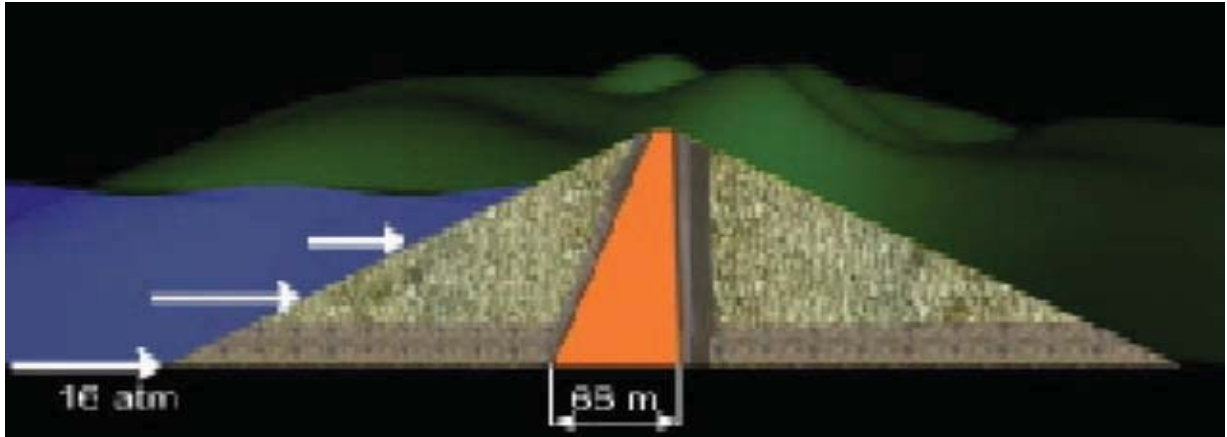


Fig. 2.3- Nucleul de argilă (secțiune transversală prin baraj)

Accesul în galeria de injecții se face de la coronament prin puț sau prin galeria de evacuare cu intrare la 1,9 km aval de baraj pe versantul drept așa cum reiese din Fig.2.4. Voalul de etanșare, prezentat în Fig.2.5, urmărește conturul celor doi versanți, de la cota coronamentului barajului până sub fundația acestuia. În versantul stâng s-a extins voalul la cota racordului coronament – drum (1078,50 mdM) printr-o galerie orizontală de 52 m. Lungimea totală a voalului de etanșare fiind de 560 m.



Fig. 2.4- Galeria de injecție

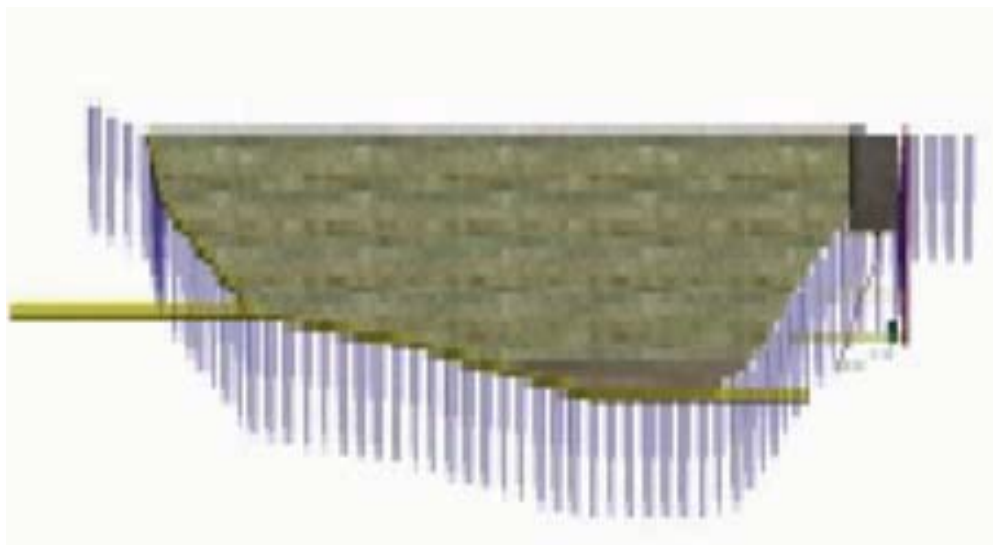


Fig. 2.5- Voalul de etanșare

2.2.3. Sisteme de drenaj

Drenarea rocii de fundație în spatele voalului de etanșare se realizează prin forajele de drenaj date în galeriile de injecții, în galeria de colectare pe versantul stâng și în galeria de drenaj de la cota 996,00 mdM. Galeria de colectare a apelor infiltrate prin nucleu este amplasată sub filtrul II aval, urmărește panta variabilă a versantului stâng și are la partea inferioară un deversor de măsură a debitelor drenate ; cotă superioară galerie 1041,70 mdM, cotă inferioară galerie 914,00 mdM, lungime galerie 386,80 m. Galeria de colectare a apelor are comunicare la ambele capete cu galeria de injecții versant stâng, prin galerii scurte de legătură. Din galeria de colectare la cota 996,00 mdM printr-un tronson de racord se comunică cu galeria orizontală de drenaj, care intră în versantul stâng, lungime galerie 98,5 m. Galeria de legătură dintre galeria de injecții versant stâng și cea de colectare situată sub baraj, se continuă cu galeria de evacuare gravitațională de 1,9 km lungime, cotă radier la ieșirea la zi 904,70 mdM, cu debușare în albia Râului Mare, dinspre versantul drept.

2.2.4. Caracteristici coronament

Coronamentul barajului Gura Apelor are o lățime de 12 m, unde există un drum și trotuare pentru circulația pietonală, de o parte și de alta a drumului. Protecțiile laterale ale coronamentului sunt realizate din parapeteți. Parapetul amonte este de tipul parapet plin din prefabricate de beton armat și asigură deferlarea valurilor ce pot apare pe suprafața lacului la nivel maxim, iar parapetul aval este din elemente metalice. Canalul descărcătorului de ape mari situat pe versantul drept, este traversat de un pod de grinzi de beton armat. Pe coronament este prevăzută o instalație de iluminare pe stâlpi. Pe versantul drept este realizată o construcție deasupra puțului de acces la casa vanelor golire de fund și la galeriile de injecții. Pe versantul stâng se va executa o construcție deasupra galeriei de injecții, de la cota 1078,50 mdM.

2.2.5. Descărcătorul de suprafață

Amplasat pe malul drept, cu un debit maxim evacuat de 1640 m³/s, are următoarele elemente componente:

- deversor lateral cu nivel liber și profil deversant tip WES ; înălțime amonte 7,5 m, aval 12m, cota crestei deversorului 1072,50 mdM
- culee aval, delimitează deversorul în capătul aval, face corp comun cu peretele dinspre baraj al canalului de evacuare, pe care se sprijină masivul de umpluturi către versantul drept. Imediat aval de culee este poziționat podul peste canalul descărcătorului ; lungime 18,02 m, din care 5 m în spatele deversorului, lățime 3,50 m.
- culee amonte, delimitează deversorul în capătul amonte, are prag deversant la o cotă situată deasupra cotei deversorului și închide canalul de evacuare în capătul amonte ; lungime 32,78 m, din care 5 m în spatele deversorului, lățime 3,50 m la partea superioară.
- bazin, la fața dinspre versant a deversorului;lungime 67,50 m, lățime la radier 15m.
- prag aval, la capătul aval al bazinului, în zona culeei aval ; lungime 5,50 m, lățime 15m.
- evacuator, continuă bazinul deversorului în aval de prag, constă dintr-un canal rapid, parțial în canal deschis la zi și parțial în galerie prin versant. Înainte de intrare în galerie, prin radierul canalului deschis deșează galeria golirii de semifund; lungime canal rapid 193 m, lățime la radier amonte 14,15m și aval 10m, lungime galerie 152,51m, lățime la radier 10m, înălțime 8,71m.
- trambulina, face legătura la vechea albie și are radier în formă concavă ; lungime 22,50 m, lățime la radier amonte 10m și aval 2m, cota radier trambulină 951,20 mdM.

2.2.6. Disipatorul de energie

Racordarea evacuatorului de ape mari cu albia din aval se face de pe versantul drept, prin intermediul trambulinei prezentată mai sus. În aceeași zonă, la piciorul aval al barajului se află deșeazarea golirii de fund.

2.2.7. Golirea de semifund

Este prezentată în Fig 2.6 și este echipată cu o instalație formată din două vane de tip PC 1,7 x 2,4 / 59 situate în casa vanelor golirii intermediare, aflate la cota radier - 1025,9 mdM una este de lucru și alta de revizie echipată cu clapetă. Priza golirii de semifund este de tip cușcă verticală cu grătare din bare de beton armat și grătare metalice. Galerie sub presiune, blindată până în casa vanelor și cămășuită cu beton în aval, cu deșeazare în canalul rapid al descărcătorului de ape mari ; diametrul zonei amonte - 2,40 m, lungime - 215,50 m; dimetrul zonei aval - 3,20 m , lungime - 87,41 m; cotă radier priză - 1024,00 mdM; cotă radier aval - 1012,73 mdM (la intersecția radierului cu canalul rapid). Capacitatea de evacuare la NNR (1072,50 mdM) - 90 mc/s. Suportul servomotorului vanei de revizie este amplasat la cota - 1025,88 mdM și la cota - 1024,67 mdM pentru vana de lucru.

2.2.8. Golirea de fund

Este prezentată de asemenea în Fig.2.6 și este echipată cu o instalație formată din două vane de tip PC1,7 x 2,4 / 141 situate în casa vanelor golirii de fund, aflate la cota radier - 944,72 mdM. una este de lucru și alta de revizie echipată cu clapetă. Priza golirii de fund este de tip cușcă verticală cu grătare din bare de beton armat și grătare metalice. Galerie sub presiune, blindată până în casa vanelor și cămășuită cu beton în rest, având curgere liberă aval de casa vanelor (parte a fostei galerii de deviere a apelor) ; diametrul zonei amonte - 2,40 m , lungime - 320,70 m ; diametrul zonei aval - 4,50 m , lungime - 327 m ; cotă radier priza - 950,00 mdM, cotă radier aval -932,73 mdM. Capacitatea de evacuare la NNR (1072,50 mdM) - 120 mc/s. Suportul servomotorului vanei de revizie este amplasat la cota - 944,72 mdM și la cota - 943,48 mdM pentru vana de lucru.



Fig. 2.6- Voalul de semifund, respectiv de fund.

2.2.9. Galeria de acces la casa vanelor golirii de fund

Pleacă de pe platforma de la cota 944,45 mdM și străbate versantul drept al văii Râului Mare ; înălțime la boltă - 2,60 m, lățime la radier - 1,90 m, lungimea galeriei - 265,80 m.

2.2.10. Puțul de acces la casa vanelor golirii de fund și semifund și cele trei galerii de injecții orizontale din versantul drept

Este amplasat pe versantul drept al văii, în dreptul axului barajului, în exteriorul canalului de evacuare al descărcătorului și este realizat cu cămășuială betonată de 40 cm grosime ; înălțime - 136,35 m ; diametrul interior - 3,6 m cotă superioară puț - 1078,50 mdM ; cotă inferioară puț - 942,15 mdM.

2.3. Priza de apă

Este echipată cu o instalație formată din ansamblu batardou a 3,0 x 4,5 / 115 și ansamblu vană plană 3,0 x 4,5 / 115 în greutate de 40 t fiecare.

Vana de tip Stoney se află imersată în puțul umed, iar legătura între vană și servomotorul de acționare care se află la suprafață, se compune dintr-un lanț de eclise cuplate cu bolțuri. Golirea aducțiunii are loc la intervale mari de timp ceea ce face ca în ghidajele vanei să apară depuneri și coroziune de materiale care pot împiedica glisarea acesteia (sistemul de glisare este compus dintr-un tren de role eclisate cu scop de ghidare și preluare a forțelor rezultate prin închidere în curent de apă). Pentru evitarea riscurilor de înțepenire a vanei la închidere, este necesară urmărirea mișcării sincrone a vanei cu servomotorul, astfel ca în cazul blocării vanei la coborâre, acționarea servomotorului să fie întreruptă imediat, deoarece scăparea ulterioară a acesteia ar crea un șoc puternic cu urmări asupra întregului ansamblu cinematic al vanei sau chiar avarii mai mari. Greutate vană (lestată) aproximativ 50 t ; greutate lanț legătură aproximativ 42 t ; cursă vană 4,9 m ; lungime lanț aproximativ 122 m ; timp de închidere normal 4,15 min ; timp de închidere de avarie 1 min ($V = 8 \text{ cm/s}$) .

Acestea sunt amplasate în puțul umed care are înălțimea de 110,10 m până la radierul aducțiunii. Are un diametru de 8 m cu o cămășuală din beton de 2 m grosime. Deasupra puțului umed se află casa vanelor, o construcție care adăpostește mecanismele vanei și batardoului, precum și un post de transformare și un generator cu grup Diesel. Priza este amplasată amonte de baraj pe versantul stâng tip trompă, închisă spre lac cu grătar pozat pe schelet de beton armat tip poligonal, pentru reținerea plutitorilor din apă. Cotă radier priză - 962,00 mdM ; debit instalat - 70 m³/s ; cotă radier vane - 962,900 mdM ; cotă dispozitiv de blocare al suportului pentru bara de legătură - 1079,0 mdM ; cotă GRUP ULEI SUB PRESIUNE - 1087,0 mdM ; cotă suport servomotor - 1091,0 mdM.

2.3.1. Componenta sistemului de urmărire a vanei priză baraj Gura Apelor

Sistemul de urmărire a poziției vanei prin măsurarea sarcinii conține:

- traductorul M16 tip axă dinamometrică, de fabricație SCAIME Franța, cu domeniul 0 – 1000 kN și clasă de precizie 1%, cu ieșire de semnal electric prelucrabil în domeniul unificat 4 – 20 mA, pentru măsurarea greutateii, montat pe post de bolț la tija servomotorului
- traductorul de poziție de tip potențiomtric TPV, ICEMENERG Craiova, care servește pentru urmărirea poziției capătului tije servomotorului de acționare a vanei. Acest traductor este montat la mecanismul de poziție existent de unde preia o mișcare de rotație și furnizează un semnal analogic de 4-20 mA
- un adaptor de semnal tip CMJ – CEB de fabricație SCAIME Franța, care alimentează traductorul M16 cu 5 V cc și prelucrează semnalul electric furnizat de acesta oferind o ieșire analogică proporțională în domeniul 4-20 mA
- un indicator digital de tablou tip IDU02, FEA București, pentru urmărirea greutateii, cu intrare analogică 4-20 mA, cu 2 limite (reglabile) de alarmă. Pe ecranul acestuia se indică greutatea în tone

- un indicator digital de tablou tip IDU02, FEA București, pentru urmărirea poziției, cu intrare analogică 4-20 mA, cu 2 limite (reglabile) de alarmă. Pe ecranul acestuia se indică digital cursa vanei
- sursa de alimentare 220 Vca / 24 Vcc. Alimentarea cu energie electrică a sistemului de urmărire se face la 220v, 50 Hz

2.3.2. Funcționarea sistemului de urmărire a poziției vanei

La comanda de închidere a vanei în timp ce vana se deplasează în jos este suspendată prin intermediul lanțului de eclise pe traductorul tip axă dinamometrică. Acesta măsoară greutatea totală compusă din greutatea lanțului de eclise și greutatea vanei. Traductorul furnizează un semnal electric proporțional cu valoarea greutății care este prelucrat în adaptorul de semnal CMJ- CEB, care dă o ieșire în domeniul 4 – 20 mA proporțională cu greutatea măsurată de traductor. Semnalul analogic furnizat de adaptorul CMJ- CEB, este preluat la intrarea unui indicator digital IDU 02 care afișează o valoare care reprezintă greutatea în tone măsurată. Această valoare trebuie să fie în jur de 92 tone. Aparatul de urmărire a greutății are două limite de prag reglabile. Limita inferioară L1 pentru situația VANĂ BLOCAT, iar limita superioară L2 pentru greutate limită, peste 100 tone.

În același timp traductorul potențiometric de poziție TPV, furnizează un semnal analogic de 4 – 20 mA, care este proporțional cu distanța parcursă de vană. Semnalul de la traductorul de poziție este aplicat la intrarea unui alt indicator digital IDU 02, care afișează în procente cursa parcursă de vană. Aparatul de urmărire a poziției are două limite de prag reglabile. Limita inferioară L1 pentru poziția VANĂ ÎNCHISĂ, iar limita superioară L2 pentru poziția VANĂ DESCHISĂ

Se disting următoarele situații :

VANĂ ÎNCHISĂ, așezată corect pe prag:

- traductorul de poziție la poziția ÎNCHIS
- indicatorul digital IDU02 de urmărire poziție arată pe ecran "00,0" %
- releul de limită L1 al aparatului de urmărire poziție este acționat
- traductorul de greutate simte numai greutatea lanțului de eclise
- indicatorul digital IDU02 de urmărire a greutății arată pe ecran aproximativ "42,0" tone
- releul de limită L1 al aparatului de urmărire greutate este acționat

Aceasta este o situație normală cu vana în repaos, iar sistemul de urmărire în stare de așteptare.

VANĂ DESCHISĂ, agățată în tija servomotorului :

- traductorul de poziție la poziția DESCHIS
- indicatorul digital IDU02 de urmărire poziție arată pe ecran "100,0" %
- releul de limită L2 al aparatului de urmărire poziție este acționat
- traductorul de greutate simte greutatea totală a vanei plus greutatea lanțului de eclise
- indicatorul digital IDU02 de urmărire a greutății arată pe ecran aproximativ "92,0" tone
- releul de limită L1 al aparatului de urmărire greutate este neacționat

Aceasta este o situație normală cu vana deschisă, iar sistemul de urmărire în stare de așteptare.

VANĂ BLOCATĂ PE CURSA DE ÎNCHIDERE, dar într-o poziție intermediară:

- traductorul de poziție la o poziția intermediară
- indicatorul digital IDU02 de urmărire poziție arată pe ecran "XX,X"%
- releul de limită L1 al aparatului de urmărire poziție este neacționat
- traductorul de greutate simte greutatea lanțului de eclise (aproximativ " 42,0" tone)
- indicatorul digital IDU02 de urmărire a greutății arată pe ecran aproximativ" 42,0" tone
- releul de limită L1 al aparatului de urmărire greutate este acționat

Aceasta este o situație de avarie cu vana înțepenită, iar sistemul de urmărire în stare de alarmare emite comanda de OPRIRE AUTOMATĂ DE AVARIE VANA BLOCATĂ. În această situație operatorul trebuie să efectueze manevrele de deștepenire a vanei sub coordonare manuală.

VANĂ BLOCATĂ PE CURSA DE DSCHIDERE, într-o poziție intermediară:

- traductorul de poziție la o poziția intermediară
- indicatorul digital IDU02 de urmărire poziție arată pe ecran "XX,X"%
- releul de limită L1 al aparatului de urmărire poziție este neacționat
- traductorul de greutate simte o greutatea totală care depășește 120 tone (suprasarcină)
- indicatorul digital IDU02 de urmărire a greutății arată pe ecran " 120" tone
- releul de limită L2 al aparatului de urmărire greutate este acționat indicând SUPRASARCINA

Aceasta este o situație de avarie cu vana înțepenită, iar sistemul de urmărire în stare de alarmare emite comanda de OPRIRE AUTOMATĂ DE AVARIE VANA BLOCATĂ CU SUPRASARCINĂ . În această situație operatorul trebuie să analizeze ce s-a întâmplat și să efectueze manevrele de deștepenire a vanei sub coordonare manuală.

2.4. Aducțiunile

2.4.1. Aducțiunea principală

Debitul captat din acumularea Gura Apelor este tranzitat prin aducțiunea principală spre centrala Retezat și colectează pe traseul ei și debite din trei captări - Netiș , Bodu și Valea Mare. Lucrul la această galerie s-a început în noiembrie 1976. S-a lucrat cu câte două fronturi la fiecare fereastră de atac- Netiș, Valea Mare și Valea Jurii, iar la baraj respectiv castel de echilibru cu câte un front. Rezultând astfel un total de 8 fronturi de lucru. Lucrarea s-a terminat în anul 1986.

Este o galerie de 18432 m lungime, până la castelul de echilibru, cu diametrul interior 5,5 m înainte de betonare, respectiv 4,9 m în formă finală așa

cum rezulta și din Fig.2.7, obținută în mare parte cu metode clasice de împușcare cu dinamită, dar și cu o mașina moderna. Mașina Robins de excavare la secțiune plină a fost folosită în acest șantier în premieră națională. Cu ajutorul acesteia se excava 3 m de galerie pe oră la o secțiune de 5,5 m, excavându-se o lungime de 7311 m.

Pe parcursul lucrului la această galerie s-au întâlnit greutăți deosebite, necesitând în doua locuri ocoliri de la traseul original, efectuate la un unghi de 45 grade față de acest traseu, lucru care crește pierderile hidraulice pe aducțiune.

Cămășuiala de beton a galeriei are un diametru variabil de 30- 40 cm simplu sau dublu armat, conform necesităților. Pentru a compensa presiunea internă de 15 atm s-au efectuat injecții de umplere cu beton la 40 de bari.

Prin această galerie, viteza apei este de 3 m/sec, la o înclinație de 38 grade.

În galerie intra 3 captări, Valea Mare, Valea Jurii și Netiș, care contribuie substanțial și cu un debit constant, indiferent de sezon, la debitul total al aducțiunii. Aceste captări intră în galeria principală printr-un racord tip cizmă. Captarea de la Netiș este cea mai moderna dintre ele și printre cele mai moderne din țară, fiind complet telecomandata, sistemele electrice și electronice fiind alimentate de la panouri fotovoltaice.

Captarea secundară Netiș este amplasată pe traseul galeriei de aducțiune la cca. 3,6 km aval de casa vanelor și la cca. 14,9 km amonte de racordul galeriei cu castelul de echilibru.

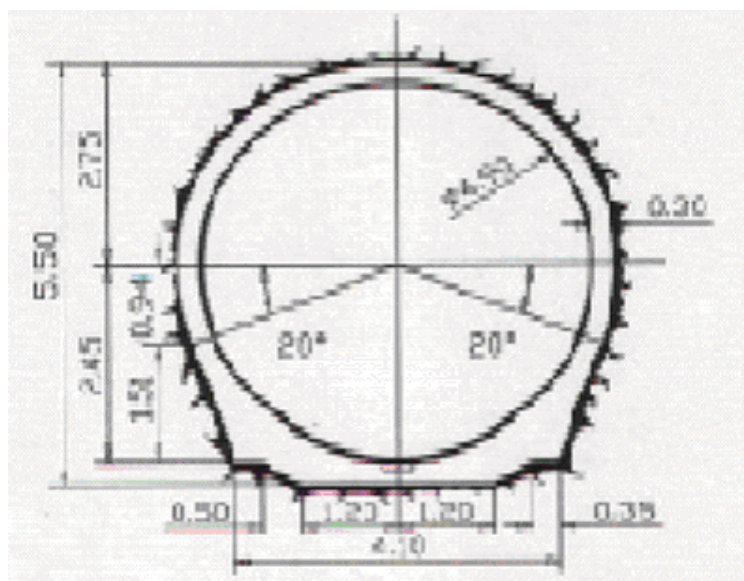


Fig. 2.7- Secțiune aducțiune.

2.4.2. Aducțiunea secundară

Este folosită pentru a spori aportul de debite captate în acumularea Gura Apelor. Este o galerie cu pereți din cămășuială de beton armat iar debușarea galeriei se face pe versantul drept, amonte de baraj cu o lungime de 30,30km și un diametru ce variază de la 1,5 la 2 m. Traseul galeriei este de la Râu Bărbat la barajul Gura Apelor. Pe lângă debitul captat din Râu Bărbat cumulează pe traseul ei și o serie de alte debite așa cum reiese din Fig.2.8, printr-o serie de captări ale pâraielor din zonă, ajungând la o suplimentare a debitului acumulării cu cca. 30% .

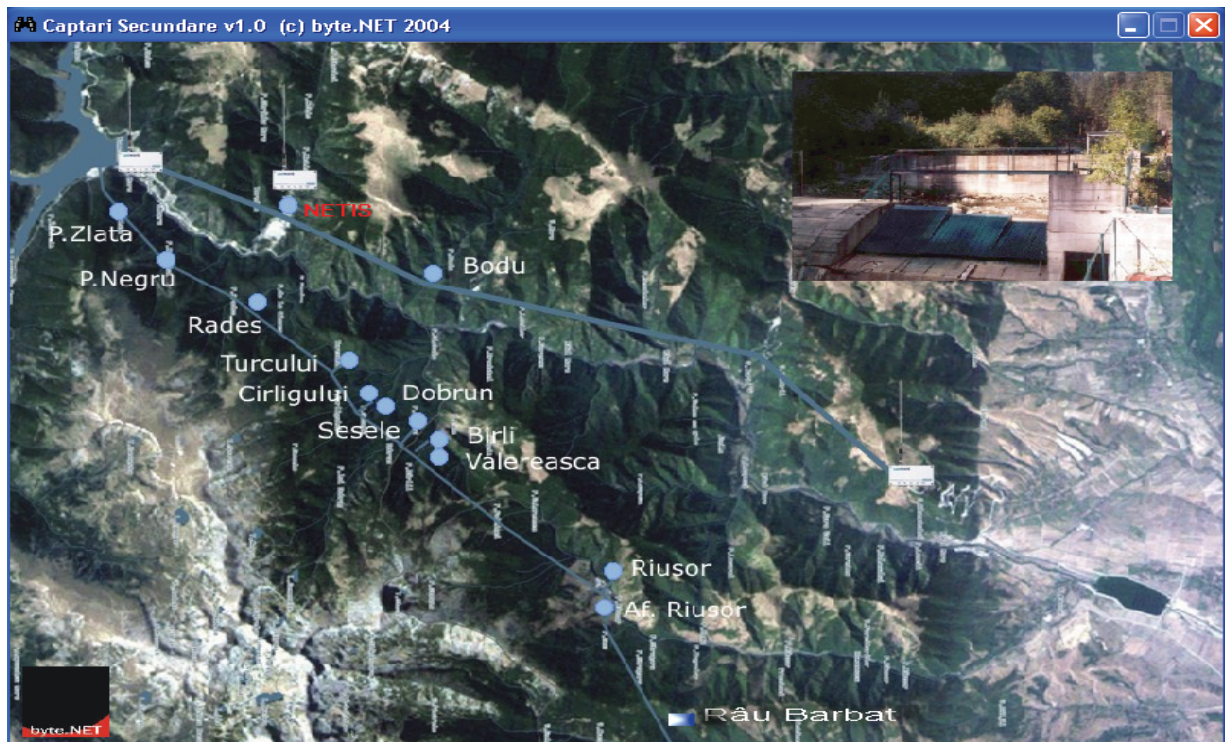


Fig. 2.8- Aducțiune secundară Râul Bărbat- Gura Apelor.

2.5. Castelul de echilibru

Castelul de echilibru este de tipul mixt, și are rolul de a limita variațiile bruște (creșteri, scăderi) de presiune în galeria forțată (lovitura de berbec), și de a opri transmiterea lor pe aducțiunea principală, cât și de a crea o rezervă de apă care să permită intrarea rapidă în sarcină maximă a centralei.

2.5.1. Camera inferioară

Camera inferioară, este o galerie circulară orizontală, cu diametru exterior de 7,5 m și diametru interior de 6,3 m și care face legătura între puț și aducțiunea principală, printr-un suitor blindat (diafragmă) cu diametru interior de 2,6 m. Lungimea camerei inferioare este de 200 m, și a fost blindată integral în 1992, la diametru interior de 6,1 m.

2.5.2. Puțul castelului

Este o construcție din beton monolit, subterană și parțial aeriană, situată între cotele 925,79 mdM și 1103,50 mdM, având înălțimea de 138 m, diametrul exterior de 7,5 m și diametrul interior de 6,3 m. A fost blindată integral în prima parte a anului 1993, la diametrul interior de 5,8 m. Platforma de la camera superioară (în drumul de acces existent), este la cota 1077,50 mdM.

Valorile salturilor în castelul de echilibru sunt: pentru saltul maxim înălțimea este de 29,9 m, iar pentru saltul minim înălțimea este de 23,8 m.

2.5.3. Camera superioară

Este de tip diferențial, cu înălțimea de 21 m între cotele 1077 și 1098 mdM. Diametrul interior este variabil, de jos în sus, de la diametrul interior inferior de 14 m la diametrul interior superior 25,3 m. Înălțimea puțului interior al camerei este de 26,5 m, iar diametrul interior de 6,3 m. La partea inferioară a puțului, sunt prevăzute 6 orificii cu diametrul de 0,6 m.

2.6. Galeria forțată

2.6.1. Vana fluture

Galeria de acces la casa vanelor fluture are o lungime de 336 m. Casa vanelor fluture este amplasată în subteran, la capătul aducțiunii principale. În caverna cu dimensiunile de 18,4x12,0x13,0 m, așezată la cota 921 mdM, cu acoperire de rocă de cca. 140 m, se găsesc cele două vane fluture VF 360-175, precum și toate instalațiile ce deservește aceste vane, inclusiv un pod rulant de 32 tf. Aceste vane permit golirea galeriei forțate fără a goli întreaga aducțiune.

Instalația vanelor fluture VF 360-175 este destinată pentru închiderea circulației apei între galeria de aducțiune și puțul forțat. Instalația trebuie să asigure închiderea conductei la comandă, pentru revizia conductei forțate și automat în curent, când nu se închide aparatul director al turbinei și vana sferică din fața turbinei. Cele două vane, una de lucru și una de revizie sunt montate în serie pe conducte de Φ 3,6 m. Din punct de vedere constructiv vanele sunt identice.

Vana de revizie are rolul de vana de rezerva, închizându-se la revizia vanei de lucru și la nefuncționarea acesteia.

Este o vana cu disc biplan și se poate menține doar în pozițiile extreme. Se interzice menținerea vanei în pozițiile intermediare. Vana fluture are următoarele părți componente principale:

- Carcasa vanei
- Discul vanei
- Brațele cu contragreutăți
- Elementele de comandă și semnalizare
- Organe de asamblare și elemente de etanșare

Conducta by-pass face legătura dintre spațiul amonte de vana fluture amonte și spațiul dintre cele două vane fluture ca și legătura dintre spațiile mai sus amintite și cel aval de vana fluture din aval. Prin aceasta se permite egalizarea presiunilor de pe cele două fete ale vanelor fluture și facilitarea deschiderii acestora. Pe conducta by-pass (cu diametrul de 400 mm) sunt montate un robinet cu sertar până și o vană lămâie. Robinetul este organ de siguranță, iar vana lămâie este organul de reglare a debitului și obturare a conductei.

Acționarea vanelor fluture cuprinde totalitatea elementelor care concură la darea comenzilor și la executarea operațiilor de rotire a discului vanei în conformitate cu comenzile date. Comenzile se pot da din voit (comenzi de deschidere respectiv manuala vanei) și automat (date de elemente de automatizare ale instalației vanelor care controlează parametrii de lucru și dau impuls de închidere când parametrii ating valorile limită prescrise).

Vanele fluture sunt acționate cu ajutorul servomotoarelor oscilante Φ 300/200-125 Pn 63. Au rolul de a acționa vanele fluture (cate doua buc./vana) spre deschidere și totodată de a impune vanelor o viteza prescrisa la închidere. La deschidere sunt elemente motor, iar la închidere elementul de frânare.

Servomotoarele sunt cu simplu efect, uleiul sub presiune acționând numai pe o fata a pistonului. La comanda de deschidere, uleiul sub presiune pătrunde sub piston, iar la comanda de închidere spațiul de sub piston este pus le evacuare.

2.6.2. Conducta forțată

Asigură accesul apei din aducțiunea principală la turbine. Este amplasată între casa vanelor fluture și galeriile distribuitorilor. Rolul ei este de a transforma energia potențială a apei în energie cinetică. Are lungimea de 841 m, o înclinație de 32 grade și un diametru interior de 3,6 m. Virolele metalice de blindaj au grosimi între 25 și 65 mm. Betonarea este executată cu beton fluidizat cu betonită, realizându-se o grosime de cca. 1m.

2.6.3. Galerile distribuitorilor

La partea inferioară galeria forțată se ramifică în cei doi distribuitori de diametru 2 m și lungimi:

- conducta din partea dreaptă: 31,05 m
- conducta din partea stângă: 31,51 m

Aceste conducte asigură accesul apei în vanele sferice.

2.6.4. Vanele sferice

Vanele sferice sunt situate într-o construcție subterană, paralelipipedică cu bolta semicirculară, având dimensiunile 33,0x7,3x23,0 m.

Vana sferică VS 220 – 770, prezentată în figura 2.8, este amplasată la extremitatea aval a galeriei distribuitorilor, în amonte de turbinele FVM 170,5 – 526,3 și servește la închiderea circulației, precum și ca organ de siguranță, suportând o presiune de 59 atm. Dimensiunile și parametrii vanelor sferice se găsesc tabelar în anexa nr. 2.

Vana se manevrează cu doua servomotoare oscilante, acționate cu apa sub presiune din conducta forțată.

Cele doua servomotoare oscilante cu dublu efect au rolul de a manevra vana sferica atât la deschidere cat și la închidere, folosind pentru acționare apa sub presiune (filtrată) din conducta forțată.

Vana sferică funcționează în două poziții extreme normal deschis și normal închis.

La deschiderea sub acțiunea apei sub presiune din amonte și a arcurilor inelul mobil din aval se va retrage, permițând rotirea obturatorului vanei. Acționat de cele două servomotoare oscilante obturatorul vanei se va roti până la poziția "complet deschis" care va fi semnalizată de un întrerupător de capăt. De asemenea, poziția închisă a vanei va fi semnalizată de un întrerupător de capăt.

În scopul reparării aval (de lucru), vana sferică se poate etanșa manual și cu inelul de etanșare amonte.



Fig. 2.9- Vana sferică în timpul unei reparații.

Funcționarea vanei sferice:

A. Condiții de deschidere:

- Aparatul director al turbinei este închis;
- Robinetul de pe conducta by-pass este deschis;
- Robinetele de la A.M.C.-uri deschise;
- G.U.P. în stare de funcționare;
- Robinetul de izolare a circuitului de ulei deschis (aparține de G.U.P.);
- Sursele de curent sub tensiune.

B. Deschiderea propriu-zisă:

Se dă impuls de deschidere, ceea ce înseamnă:

a) Se pune sub tensiune bobina principala a ventilului de comanda cu electromagnet prin care electromagnetul trage în sus sertarul ventilului și se blochează în poziția superioară. Prin aceasta pătrunde uleiul sub presiune în servomotorul ventilului cu jet conic pe fata corespunzătoare a pistonului, astfel ca să se deschidă acest ventil. Prin deschiderea ventilului cu jet conic se umple camera spirala.

b) După by-passarea sesizata de presostatele din amonte sau aval și verificabila pe manometrele, impulsul de deschidere se transmite la bobina electromagnetului ventilului cu comandă prin aceasta uleiul sub presiune apăsă pistonul ventilului de comandă a etanșării inelului și sub acțiunea arcurilor de readucere inelul mobil se va retrage (permițând rotirea obturatorului). Poziția

retrasă a inelului mobil este sesizată de un declanșator final basculant care va transmite impulsul de deschidere la bobina ventilului de comandă). Prin comutarea sertarului ventilului, uleiul sub presiune de la G.U.P. va roti rotorul servomotorului rotativ de pe blocul de comandă și ca urmare prin intermediul axului cu came și a ventilelor din bloc, apa sub presiune va fi dirijată sub pistonul servomotoarelor oscilante. Acționat de cele două servomotoare oscilante, obturatorul venei se va roti până în poziția complet deschisă.

c) Poziția complet deschisă a vanei sferice va fi semnalizată de un declanșator final basculant, se semnalizează optic "vana deschisă" pe panoul de comandă. După deschiderea vanei, acest declanșator va comanda închiderea ventilului cu jet conic, prin deblocarea electrică a ventilului de comandă cu electromagnet. Pistonul ventilului de comandă a etanșării rămâne blocat astfel ca etanșarea inelului mobil să fie pusă la scurgere. Această poziție mai este asigurată mecanic de un braț cu contragreutate care este în legătura cu pistonul ventilului de comandă a etanșării.

C. Închiderea vanei:

- G.U.P. în stare de funcționare (excepțional la avarie și fără);
- Robinetul de izolare a circuitului de ulei deschis (aparține de G.U.P.);
- Sursa de curent sub tensiune (excepțional la avarie și fără)

D. Închiderea propriu-zisă:

În cadrul fiecărei opriri automate a turbinei (normale sau de avarie) se dă un impuls de închidere a vanei sferice. În această situație se succed următoarele operații:

a) Se execută deblocarea electrică a ventilului de comandă cu electromagnet care va comuta uleiul sub presiune spre rotirea servomotorului rotativ de pe blocul ventilelor de comandă. Prin rotirea axului cu came se vor acționa invers ventilele blocului și ca urmare apa sub presiune va fi dirijată deasupra pistonului servomotoarelor oscilante care va începe închiderea vanei.

b) Când obturatorul vanei s-a rotit în poziția complet închisă (pistoanele servomotoarelor se sprijină pe fundul cilindrilor) se execută deblocarea electrică a ventilului de comandă cu electromagnet uleiul sub presiune fiind legat la scurgere iar un adaos de pe braț al vanei va apăsa tija ventilului de comandă a etanșării în jos și astfel va comuta apa sub presiune în spatele inelului mobil de etanșare, din partea aval, care se va așeza pe scaunul de pe obturator și va etanșa vana sferică.

c) Poziția închisă a vanei sferice va fi semnalizată de un întrerupător de capăt de cursă.

În cazul dispariției presiunii la uleiul de acționare al servomotorului rotativ contra-greutatea va roti axul cu came comandând închiderea de avarie.

Ventilul cu jet conic DN 300, Pn 77 este organul de închidere a conductei by-pass. Se compune dintr-un corp de oțel turnat în care glisează o tijă de capătul căruia este fixat ventilul conic. Acest ventil este manevrat de un servomotor cu piston cu dublu efect fixat pe corpul ventilului și este acționat cu ulei sub presiune.

Pozițiile extreme ale ventilului sunt semnalizate de două întreruptoare basculante.

Conducta by-pass are rolul de a asigura trecerea apei în aval de vana pentru umplerea camerei spirale în vederea egalizării presiunilor de pe fețele vanei. Se compune dintr-un robinet cu sertar pană, conductele aferente și o diafragma pentru măsurarea debitului pierdut prin aparatul director al turbinei. În avalul conductei by-pass se găsește ventilul cu jet conic.

2.7. Turbina

CHE Râul Mare Retezat este echipată cu două turbine de tipul Francis verticale în camere spirale metalice, cele mai mari de acest tip folosite într-o centrală de mare cădere, fabricate la Reșița.

Turbinele sunt amplasate în incinta centralei subterane, care are lungimea de 65 m, lățimea 16 m și înălțimea de 41,2m, echivalentul unei clădiri de 15 etaje. Centrala este împărțită în 4 nivele principale:

- nivelul sală mașini
- nivelul generatoare
- nivelul turbine
- nivelul epuiment.

Turbina hidraulică de tip Francis verticală, având simbolul FVM 170,5 – 526,3 este prevăzută pentru cuplare directă cu hidrogeneratorul vertical sincron, având simbolul HVS 490/240–12.

Caracteristicile tehnice ale turbinei sunt:

- căderea statică maximă la $Q = 0$: 590,0m
- căderea netă maximă la $Q = 35 \text{ m}^3/\text{s}$: 573,9 m
- căderea netă maximă la $Q = 70 \text{ m}^3/\text{s}$: 540,9 m
- căderea netă de calcul (cea mai frecventă la care se cer randamente maxime): 526,3 m
- căderea netă minimă la care se cere turbinarea debitului de $35 \text{ m}^3/\text{s}$: 504,4 m
- căderea netă minimă la debit pe amenajare de $70 \text{ m}^3/\text{s}$: 442,9 m
- puterea maximă la funcționarea unei singure turbine la căderea netă $H_n = 573,9 \text{ m}$ la cupla turbinei: 183000 kW
- puterea la cupla turbinei la căderea netă de 526,3 m: 170500 kW

Pe baza acestor date au rezultat:

- diametrul rotorului: $D = 2,85 \text{ m}$
- turația nominală: 500 rot/min.
- turația de ambalare: 850 rot/min
- înălțimea de aspirație maximă admisă: $H_s = - 15 \text{ m}$
- diametrul de intrare în camera spirală: $D_{sp} = 1,75 \text{ m}$

Funcționarea turbinei este asigurată de regulatorul de turație electrohidraulic cu acțiune continuă de tip P.I. cu posibilitate de introducere a funcției D cu următoarele caracteristici:

- domeniul de reglare a puterii turbinei s-au deschiderii aparatului director cuprins între: (0 – 100) %
- limitele de variație a frecvenței de consemn (reglabilă în trepte): (46 – 51,5) Hz
- statismul permanent reglabil în trepte: $b_p = (0 - 10) \%$
- statismul tranzitoriu reglabil în trepte: $b_t = (10 - 60) \%$
- domeniul de acțiune a statismului tranzitoriu reglabil în trepte: $b_t = (1 - 11) \%$
- constanta de timp a reacției tranzitoriu reglabilă în trepte: $T_d = (0 - 4) s$

Pentru obținerea acestor caracteristici fiecare turbină este prevăzută cu un regulator de presiune cu următoarele caracteristici:

- diametrul nominal: 500 mm
- conducta amonte: 550 mm
- conducta aval: 700 mm
- acționare:
 - spre deschidere: apă sub presiune: max. $P_n = 750 \text{ m.H}_2\text{O}$
 - spre închidere: ulei sub presiune: $31 \div 40 \text{ daN/cm}^2$
- volumul ulei acționare: 49 litri
- presiune nominală: 750 m col.H₂O

Turbina FVM 170,5 – 526,3 este prevăzută pentru automatizare complexă și permite funcționarea în regim de compensator sincron a hidroagregatului.

Randamentul turbinei pentru o cădere de calcul $H = 526,3 \text{ m}$ este prezentat în tabelul 2.1

Tabelul 2.1. Randamentul turbinei la o cădere de 526,3 m.

P [%]	50	60	70	80	90	100
P [kW]	85250	102300	119350	136400	153450	170500
η [%]	85,72	88,08	90,06	91,51	92,50	92,71

Turația maximă de ambalare posibilă a turbinei este $n_a = 850 \text{ rot/min.}$ și corespunde căderii nete $H = 590 \text{ m}$ și deschiderii aparatului director $a_{0\text{max.}} = 166 \text{ mm}$, cea mai mare cădere posibilă din punct de vedere geometric, inclusiv rezerva de deschidere.

În conformitate cu condițiile tehnice cerute de beneficiar privind gradul de siguranță în funcționare, se asigură următoarele caracteristici:

- durata de utilizare: min. 40 ani
- numărul de porniri pe toată durata de utilizare: cca 35000

2.8. Aparatul director și camera spirală

Aparatul director este de tip radial, așa cum este specific acestui tip de turbină, fluidul având o mișcare de sursă negativă S și de vârtej V , așa cum este arătat în Fig.2.10, compunând cele 2 mișcări după regula paralelogramului, rezultă mișcarea după spirale logaritmice, care se apropie de centru. Viteza spiralelor variază invers proporțional cu raza, deci crește pe măsura apropierii de centru, această creștere continuând și după ieșirea din aparatul director, până la intrarea în palele rotorice.

Acest tip de aparat director este construit dintr-un șir continuu de palete directoare, așa cum este prezentat și în Fig.2.10. Aceste palete au profil hidrodinamic cu linia mijlocie curbată după spirala logaritmică. Aceste palete se numesc palete de tip Fink. Aparatul director este dispus pe toată circumferința, adică este aparat director cu admisie totală.

Este format dintr-un număr de 24 de pale Fink, legate prin intermediul unui sistem bielă-manivelă de un inel, care este acționat de două servomotoare cu ulei, comandate la rândul lor de către regulatorul de viteză.

Aparatul director are rolul de a regla debitul de apă care intră în turbina dinspre camera spirală, în funcție de necesarul de putere cu care trebuie încărcat generatorul. În cazul opririi turbinei, prin închiderea treptată a palelor aparatului director, se evită suprasolicitarea vanelor.

Camera spirală face parte din același ansamblu cu aparatul director prezentat în Fig.2.10, contribuind la transformarea energiei potențiale a apei în energie cinetică.

Este o construcție cu aspect de cochilie de melc, realizată din blindaj metalic, așa cum se poate observa și din imaginea prezentată în Fig.2.11, înglobat în beton. Are diametrul de intrare de 1680 mm, fiind prevăzută cu un capac de vizitare (manloc).

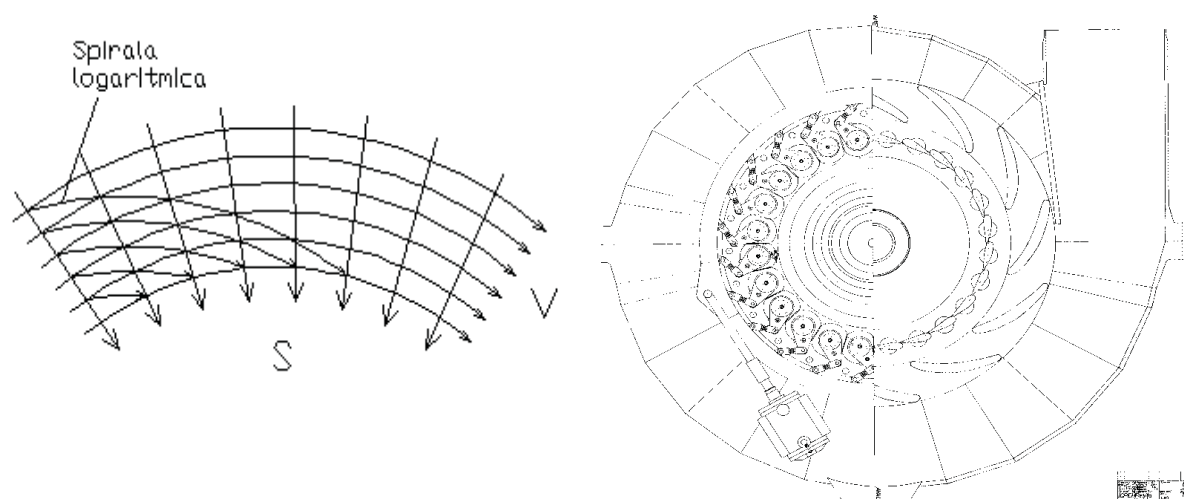


Fig. 2.10- Compunerea mișcărilor de Vârtej și Sursă negativă la turbinele radiale./Aparat director și cameră spirală.



Fig. 2.11- Vedere din cameră spirală.

2.9. Galerile aspiratoare

Sunt două lucrări subterane gemene de profil circular, cu secțiunea de 16,4 mp și de lungimi diferite(76,6m respectiv 68,5 m) datorită dispunerilor asimetrice față de perpendiculara pe axul longitudinal al sălii mașinilor.

2.10. Camera de expansiune și batardoul

Asigură liniștirea apei după turbinare și evacuarea acesteia, până în galeria de fugă și canalul de aducțiune al centralei Clopotiva. Camera are o lungime de cca. 25 m și o secțiune, mâner de coș, de 5x6,5 m. Lateral față de camera de expansiune s-a amplasat un telimitator necesar pentru comenzile de pornire respectiv oprire a centralei Clopotiva.

2.11. Galeria de fugă

Galeria de fugă a centralei Retezat are o lungime de 764 m și o secțiune transversală ovoidală a cărei înălțime variază în 3 trepte de la 6 la 7 m. Galeria debușează în canalul de aducțiune Clopotiva.

2.12. Concluzii și contribuții personale.

În cadrul acestui capitol au fost prezentate și analizate toate elementele componente ale părții hidro din cadrul amenajării hidroenergetice Râul Mare Retezat. Acestea au fost descrise atât din punct de vedere constructiv, cât și din punct de vedere al rolului funcțional pe care îl au în cadrul procesului de producere a energiei electrice în centralele hidroelectrice.

În mod deosebit, s-a insistat pe construcția principalelor elemente componente: barajul, aducțiunile, vanele sferice, aparatul director, camera spirală și turbina. Pentru acestea au fost prezentate detaliat figuri sugestive cu schițe și imagini privind construcția și funcționarea lor. O altă problemă intens analizată a fost prezentarea caracteristicilor tehnice ale acestora.

Principalele concluziile capitolului sunt:

- amenajarea hidroenergetică Râul Mare Retezat a fost realizată ca urmare a creșterii cererii de energie electrică datorată dezvoltării industriale a țării din perioada anilor '70;
- amenajarea hidroenergetică Râul Mare Retezat a fost proiectată pentru o centrală cu două grupuri de 167,5 MW fiecare, fiind la acea dată cea mai mare putere instalată într-o centrală de acest tip;
- amenajarea hidroenergetică Râul Mare Retezat a fost concepută pentru o dezvoltare ulterioară a amenajării hidroenergetice a râului Strei.

În continuare se prezintă o sinteză privind contribuțiile personale din cadrul acestui capitol:

- prezentarea într-o manieră personală a elementelor componente ale părții hidro a amenajării hidroenergetice Râul Mare Retezat;
- sinteza noțiunilor generale și particulare privind construcția părții hidro a amenajării hidroenergetice Râul Mare Retezat;
- analiza critică a soluțiilor propuse în literatura de specialitate privind amenajările hidroenergetice.

3. PARTEA ELECTRICĂ A CENTRALEI HIDROELECTRICE RÂUL MARE RETEZAT

Acest capitol prezintă o descriere detaliată a părții electrice a centralei hidroelectrice Râul Mare Retezat. Este prezentat hidrogeneratorul cu părțile sale componente rotor și stator atât din punct de vedere constructiv cât și ca rol funcțional. De asemenea sunt descrise detaliat lagărele, sistemele de frânare și de ridicare, sistemul de detectare și stingere a incendiului, excitatoarea, transformatorul bloc și circuitele primare. Prezentările sunt însoțite de figuri explicative foarte sugestive. Capitolul se încheie cu concluzii și cu sistematizarea contribuțiilor proprii ale autorului.

3.1. Hidrogeneratorul

Hidrogeneratorul vertical sincron tip "HVS 490/240-12" este destinat echipării centralei hidroelectrice Râul Mare - Retezat. Hidrogeneratorul prezentat în Fig.3.1, este de tip suspendat și se cuplează direct și rigid cu turbina hidraulică tip Francis, care îl antrenează.

Rotorul hidrogeneratorului este format din arbore, coroană polară, poli și înfășurarea de excitație, el este susținut și ghidat de un lagăr axial-radial, amplasat în steaua inferioară. Steaua inferioară este fixată pe fundația din beton. Pe treapta următoare a fundației se găsește statorul hidrogeneratorului.

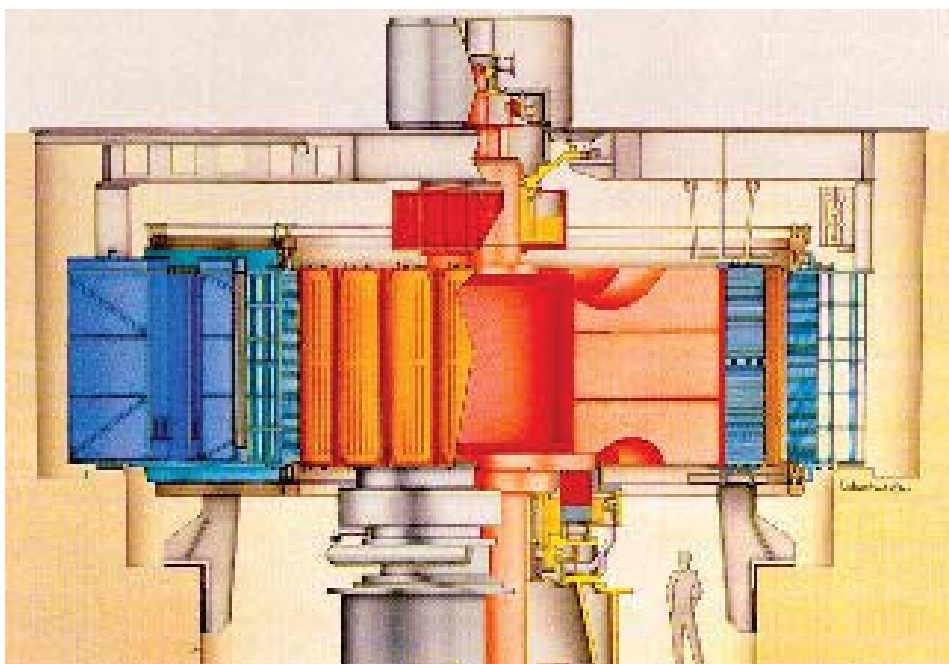


Fig. 3.1- Secțiune schematică generator

Satorul hidrogenatorului se compune din carcasă, miezul magnetic și înfășurarea trifazată de înaltă tensiune. Pe inelul superior al carcasei este montată steaua superioară.

Răcirea uleiului din lagăre se realizează cu ajutorul răcitoarelor cu țevi montate în interiorul vanelor de ulei.

Răcirea hidrogenatorului se realizează cu aer în circuit închis. Răcitoarele de aer sunt fixate de fundație și presate etanș pe carcasă, în dreptul unor degajări practicate în acest scop. Atât la răcitoarele de ulei cât și la cele de aer, agentul de răcire este apă în circuit închis.

Spațiul hidrogenatorului este separat față de cel al sălii de mașini prin intermediul unei plăci de acoperire fixată pe steaua superioară și fundație iar față de puțul turbinei printr-o diafragmă prinsă de steaua inferioară.

3.1.1. Satorul

Satorul hidrogenatorului, care formează partea de indus a mașinii se compune din trei părți principale:

- a) carcasa, care are rol de suport mecanic;
- b) pachetul de tole stator, care formează circuitul magnetic al indusului;
- c) înfășurarea statorului care formează circuitul electric, la bornele căruia se obține sistemul trifazat de tensiuni trifazate.

Satorul hidrogenatorului, Fig.3.2, nu este divizat în sectoare. Asamblarea în inel a carcasei, pachetarea fierului activ și bobinarea se realizează integral la centrala hidroelectrică.

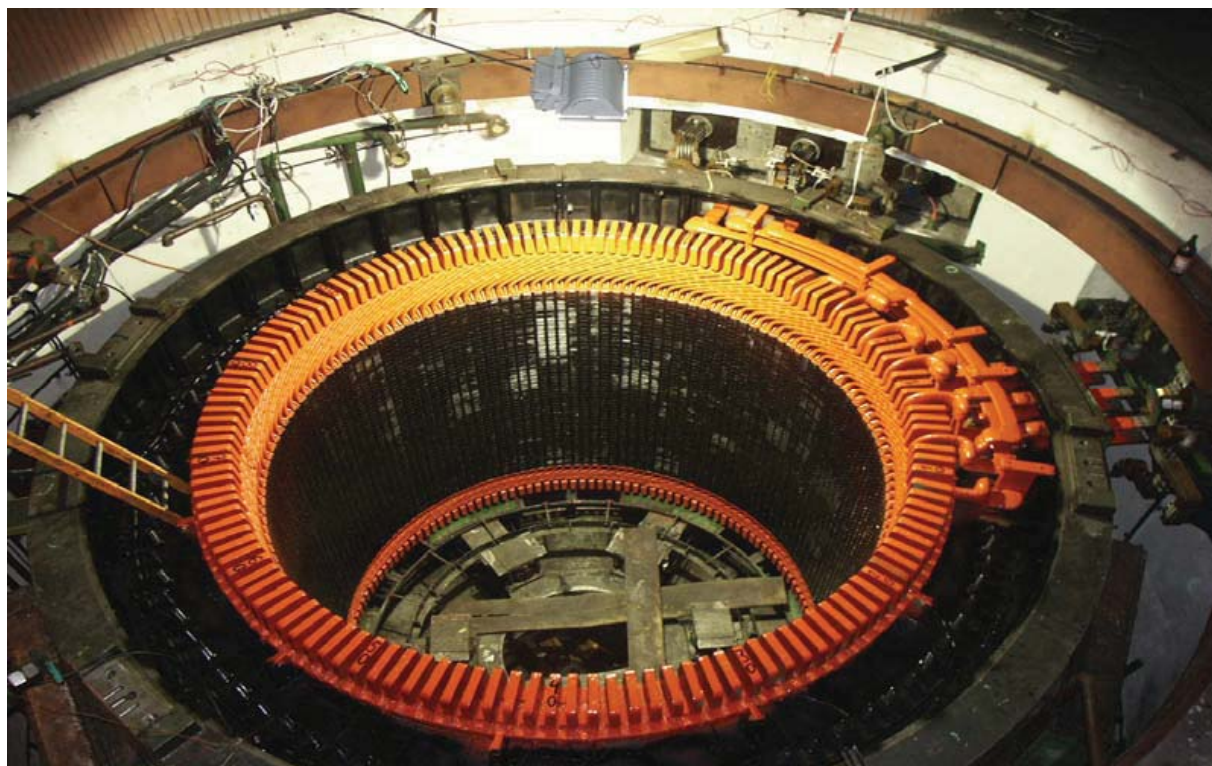


Fig. 3.2- Satorul generatorului

Carcasa statorului este de formă cilindrică, de construcție sudată, executată din tablă laminată de oțel. Pentru creșterea rigidității carcasi față de eforturile mecanice ce apar datorită sarcinilor radiale și axiale, precum și a forțelor electromagnetice ce apar în caz de scurtcircuit, este prevăzută cu un schelet format din rafturi dispuse radial și țevi dispuse axial peste care se aplică îmbrăcămintea din tablă laminată.

Prin intermediul inelului inferior, carcasa se fixează de plăcile de fundație. Pe suprafața laterală a carcasi sunt prevăzute 6 orificii pentru montarea răcitoarelor de aer.

Pachetul de tole se execută din segmenti ștanțați de tablă silicioasă laminată la rece cu cristale orientate marca M6X având pierderi sferice de 0,47 W/kg pe direcția de laminare. Grosimea tablei este 0.35 mm. Asamblarea tolelor se realizează cu ajutorul penelor coadă de rândunică sudate de carcasă și a buloanelor de strângere. Lungimea totală a miezului magnetic este obținută din 50 pachete elementare, din care 48 de înălțime 42 mm și 2 pachete marginale de 45 mm. Între pachetele elementare sunt dispuse pe direcție radială distanțoare cu profil special, cu ajutorul cărora se realizează canalele radiale de ventilație, necesare ventilării, respectiv răcirii miezului magnetic și a înfășurării statorice. Presarea axială a miezului magnetic se realizează prin intermediul unor placi de strângere cu degete de presare cu profil trapezoidal dispuse pe direcția dinților miezului magnetic.

Înfășurarea statorului formează circuitul electric prin intermediul și la bornele cărora se obține un sistem de curent și tensiuni trifazate, atunci când rotorul hidrogeneratorului este antrenat de turbina în mișcare de rotație, iar înfășurarea de excitație este străbătută de curent continuu care creează un câmp magnetic fix față de rotor.

Înfășurarea este executată din conductori de cupru în două straturi de tip ondulat cu pas scurtat cu două căi în paralel; pentru micșorarea pierderilor suplimentare în cupru se aplica divizarea bobinei în bare elementare și transpoziția conductorilor pe lungimea fierului activ.

Izolația înfășurării este de clasa B realizată pe bază de rășini sintetice termorigide conform sistemului "Isotenax". Barele sunt acoperite cu lacuri semiconductoare.

Conexiunea dintre barele de bobinaj se face prin sudare cu aliaj de argint iar izolarea conexiunilor prin capace izolante al căror interior se umple cu o masă rășinoasă. Capetele frontale ale înfășurării sunt consolidate pentru preluarea eforturilor electrodinamice în cazul scurtcircuitelor prin intermediul a 3 (superior) și 2 (inferior) inele care sunt fixate de pachetul de tole. Aceste inele sunt executate din material izolant, iar fixarea pe ele a capetelor frontale a înfășurării se realizează prin bandaje de sfoară poliesterică.

Înfășurarea statorului este prevăzută cu 6 capete de ieșire consolidate cu placi de material izolant și care formează sistemul de borne al hidrogeneratorului.

3.1.2. Rotorul

Rotorul hidrogeneratorului prezentat în Fig.3.3, are în componența sa următoarele părți principale:

- arborele, prin care se face transmiterea cuplului motor turbină-generator;
- coroana polară, prin care se închide circuitul magnetic al rotorului și formează suportul mecanic pentru susținerea polilor;
- polii rotorului, pe care sunt fixate bobinele înfășurării de excitație.
- înfășurarea de excitație, care formează circuitul electric inductor;



Fig. 3.3- Rotorul generatorului

Arborele hidrogenatorului este forjat din oțel carbon slab aliat, pe arbore sunt sudate 8 nervuri radiale, la extremitatea căroră, pe nervurile port-pană, este fretată coroana polară. Arborele hidrogenatorului se cuplează în partea inferioară cu arborele turbinei prin intermediul unei flanșe. În partea inferioară a nervurilor radiale este fixat prin șuruburi discul de frânare. Arborele este prevăzut cu un orificiu interior prin care, în partea superioară, trec legăturile dintre înfășurarea de excitație și redresorul cu diode.

Coroana polară este formată din patru discuri de înălțime 315 mm, 2 discuri de 220 mm și 2 discuri de 420 mm, forjate din oțel aliat superior 34 MoCN 15X. Între discuri sunt prevăzute piesele de distanță pentru realizarea celor 7 canale de ventilație cu înălțimea de 40 mm. Discurile se fretează pe arbore. Pentru evitarea deplasării radiale a coroanei la turații superioare celei de desprindere sunt prevăzute 4 perechi de pene înclinate.

Polii rotorului se compun dintr-un miez de tole stanțate din table de oțel carbon de calitate de grosime 2 mm. Aceste tole se pachetează și se presează cu ajutorul a două plăci de strângere laterale și 6 buloane filetate la ambele capete. Fixarea polilor se face prin cozile în formă de T care se blochează în lăcașurile din coroană prin câte o pană înclinată la fiecare extremitate a cozii polului. În talpa polului este amplasată înfășurarea de amortizare scurtcircuitată prin intermediul plăcilor de strângere și al plăcilor elastice dintre poli. Izolația înfășurărilor este continuă, de clasă B, pe bază de mică, sticlă și rășini termorigide.

Înfășurarea de excitație se execută din bobinele individuale cu spire de cupru. Cuprul este prevăzut cu profil special pentru mărirea suprafeței de răcire. Izolația înfășurării rotor este de clasa B, pe bază de asolit polimerizat împreună cu

bobina. Acest sistem de izolare este suficient de elastic pentru a permite dilatarea termică a bobinei și asigură totodată rezistența mecanică la forțele de compresiune care apar la turația de ambalare.

Bobinele, legăturile dintre bobine și legăturile coliviei de amortizare sunt consolidate de coroana polară contra forțelor centrifuge. Presarea bobinelor se asigură prin arcurile prevăzute în lăcașurile din coroana polară.

Legătura electrică dintre înfășurarea de excitație și redresor se realizează cu ajutorul șinelor de cupru izolate care trec prin interiorul arborelui.

3.1.3. Steaua superioară

Steaua superioară prezentată în Fig.3.4, este de construcție sudată, executată din tablă laminată din oțel. Steaua este compusă din corpul stelei și 6 brațe în forma de dublu T dintre care două demontabile, pentru asigurarea transportului la locul de montaj. Brațele demontabile se fixează de corpul stelei cu ajutorul flanșelor și a buloanelor de strângere. În corpul stelei superioare care formează vana de ulei se montează lagărul axial combinat cu lagărul radial superior. Pe suprafața exterioară a corpului stelei, peste orificiile special practicate, se montează cele 6 baterii de răcitoare ale lagărului axial, iar pe suprafața superioară a stelei, placa de acoperire.



Fig. 3.4 – Steaua superioară

3.1.4. Steaua inferioară

Steaua inferioară este de construcție sudată; se compune din partea centrală și 6 brațe în formă de dublu T. Partea centrală o constituie vana lagărului radial inferior. Fundul vanei conține răcitoarele de ulei ale lagărului. Pe porțiunea inferioară a stelei se fixează diafragma. Aceasta are rolul de a separa puțul hidrogeneratorului de puțul turbinei și de a dirija aerul de ventilație.

3.1.5. Lagărul axial-radial

Lagărul axial, prezentat în Fig.3.5, este dimensionat pentru a prelua sarcina axială compusă din greutatea rotorului hidrogenatorului, greutatea rotorului turbinei și împingerea axială a apei. El este conceput pentru a permite funcționarea grupului la sarcina maximă.

Lagărul axial este montat în vana de ulei pe care o formează partea centrală a stelei superioare. Lagărul funcționează în regim de ungere hidrodinamică (autoungere) cu ulei de volum constant aflat în vana de ulei, permițând atât pornirea cât și oprirea agregatului fără injecția de ulei.

Partea rotitoare a lagărului axial este formată dintr-un disc forjat, prelucrat prin superfinisare și butucul de care este prins discul prin buloane.

Partea fixă a lagărului axial o constituie segmentii dispuși circular și suportul acestora. Segmentii de tipul cu autoungere, sunt executați din oțel forjat având suprafața de alunecare din material antifricțiune.

Segmentii se sprijină pe arcuri pretensionate corespunzător. Față de lagărele cu suportți rigizi, acest tip de lagăr prezintă avantajul încărcării uniforme a segmentilor, pierderi mecanice și încălziri mai mici, simplificarea montajului și amortizarea eventualelor șocuri care ar apărea.

Împreună cu lagărul axial, în vana comună de ulei este montat lagărul radial superior cu segmenti oscilanți, având posibilitate de reglare radial pentru centrare precisă față de arborele hidrogenatorului.

Răcirea lagărului axial-radial este asigurată de către răcitoarele de ulei cu țevi de cupru parcurse de apa de răcire, amplasate în interiorul vanei de ulei. Lagărul axial-radial și sistemul sau de răcire sunt concepute pentru a permite supraveghere, acces și demontare ușoară. Lagărul axial-radial este izolat față de vana și conductele de ulei. Pentru semnalizarea nivelului de ulei din vana, este prevăzut un releu de nivel cu contacte electrice.



Fig. 3.5 – Lagărul axial

3.1.6. Lagărul radial inferior

Lagărul radial inferior este montat în partea centrală a stelei inferioare, care formează vana de ulei. El este similar cu cel superior și funcționează în regim de ungere hidrodinamică cu volum constant de ulei având segmenti oscilanți cu posibilitate de reglare radială pentru centrare precisă față de arborele hidrogeneratorului. Sarcina radială este transmisă prin intermediul buloanelor cu cap sferic fixate în corpul stelei.

Răcirea uleiului se realizează cu ajutorul răcitoarelor din țevi de cupru parcurse de apa de răcire.

Lagărul radial inferior este izolat față de vana și conductele de ulei. El este prevăzut cu releu de nivel cu plutitor și contacte electrice.

3.1.7. Sistemul de frânare și ridicare

Hidrogeneratorul este dotat cu 6 dispozitive de frânare și ridicare cu ajutorul cărora se realizează frânarea rotorului agregatului în timpul opririlor și ridicarea rotorului în timpul reparațiilor și reviziilor lagărului axial. Acționarea dispozitivelor de frânare se realizează cu ajutorul aerului comprimat având o presiune de 7 atm., iar la ridicare cu uleiul sub presiunea de cca. 175 atm. Alimentarea cu aer comprimat se face de la instalația de joasă presiune a centralei, iar cu ulei sub presiune de la grupul de pompare al hidrogeneratorului.

Grupul de pompare este format din pompa cu pistoane axiale, motorul electric de acționare, aparatajul de protecție al pompei și rezervorul de ulei. În furnitura hidrogeneratorului mai este prevăzută și o pompă manuală în același scop. Instalația de frânare și ridicare este prevăzută cu un sistem de control care, cu ajutorul limitatoarelor de cursă, indică nivelul de ridicare al rotorului hidrogeneratorului precum și poziția pistoanelor dispozitivelor după frânare (dacă pistoanele s-au așezat în pozițiile lor inițiale). Aparatura de control pentru frânare este montată în tabloul aparatelor instalației de frânare a hidrogeneratorului.

3.1.8. Sistemul de excitație

Excitația hidrogeneratorului este de tip rotativ cu diode redresoare. Excitatoarea, prezentată în Fig.3.6, este montată deasupra hidrogeneratorului pe arborele comun, furnizează curent alternativ la redresorul rotativ. Acesta îl transformă în curent continuu cu care se alimentează înfășurarea de excitație a hidrogeneratorului.

În porțiunea superioară a agregatului este montat generatorul sincron de reglaj cu magneții permanenți care alimentează regulatorul de turație al turbinei.

Caracteristicile excitatoarei verticale cu excitație separată tip "EVSRR 130/23-16":

- Puterea nominală: $P_n = 486 \text{ kVA}$;
- Tensiunea nominală pe fază: $U_n = 30 \text{ V}$;
- Curentul nominal pe fază: $I_n = 947 \text{ A}$;
- Curentul nominal de excitație: $i_{en} = 25 \text{ A}$;
- Turația plafon: 1,8 u.r.;
- Viteza de excitație: $V_e = 2,2 U_n/\text{sec.}$;
- Greutatea totală: 7410 kg.

Caracteristicile generatorului sincron de reglaj tip "AVM 48,5/9-12":

- Puterea nominală aparentă: $P_a = (300-100) \text{ VA}$;
- Tensiunea nominală: $U_n = 127 / 220 \text{ V}; 17/30 \text{ V}$;

- Curentul nominal: 0,787A ; 2 A;
- Frecvența nominală: $f_n = 50$ Hz;
- Turația nominală: $n_n = 500$ rot/min;
- Conexiunea: triunghi / stea;
- Greutatea totală: $G = 298$ kg.



Fig. 3.6 – Excitatoarea

3.1.9. Sistemul de răcire

Hidrogeneratorul este prevăzut cu o instalație de control termic prezentată în Fig 3.7 centralizat pe baza de elemente semiconductoare (TTS). Traductoarele termice în număr total de 19 (13 traductoare în montura și 6 traductoare elementare) sunt amplasate, după cum urmează:

- Câte 2 TTS în montură pentru măsurarea temperaturii lagărului radial superior (t_1, t_2) radial inferior (t_{12}, t_{13}) și lagărului radial al turbinei (t_{15}, t_{16}) și 3 TTS în montura pentru măsurarea temperaturii lagărului axial (t_3, t_4, t_5);
- Câte 1 TTS în montura pentru măsurarea temperaturii uleiului în băile lagărelor hidrogenatorului (t_6, t_{14});

- 6 TTS elementare (3 principale, 3 rezerva) montate între două bare de bobinaj pentru măsurarea temperaturii între două bare de bobinaj pentru măsurarea temperaturii înfășurării statorului ($t_7, t_7', t_8, t_8', t_9, t_9'$)
- 2 TTS în montura pentru măsurarea temperaturii aerului de răcire, unul pentru aer cald unul pentru aer rece (t_{10}, t_{11}). Intrările celor 16 TTS-uri active sunt concentrate în blocul electronic de măsura și control. Prin intermediul acestuia se realizează afișarea numerică a temperaturilor, semnalizarea depășirilor de temperatura și declanșarea hidrogeneratorului de la rețea în cazul creșterii temperaturii peste limita admisă. În blocul de măsura și control este conținută și protecția proprie a sistemului de control termic centralizat.

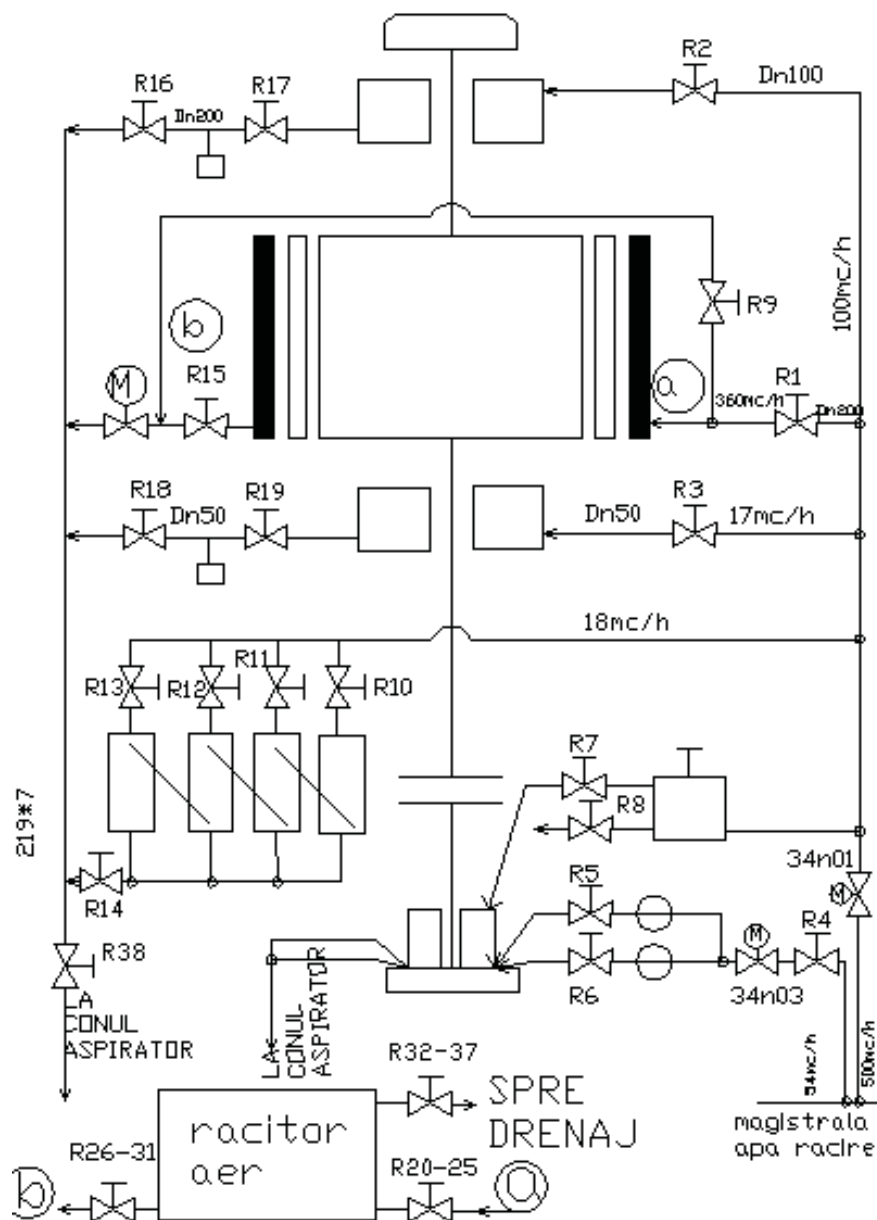


Fig. 3.7 – Instalația de răcire agregat.

Răcirea uleiului din vanele lagărelor se realizează cu ajutorul răcitoarelor de ulei, al căror agent de răcire este apa. Temperatura uleiului rece în timpul funcționării de durată nu trebuie să coboare sub 40°C deoarece acest lucru duce la creșterea vâscozității uleiului și deci al pierderilor de frecare în lagăre.

Debitul maxim de apă de răcire pentru lagărul axial – radial superior este de 100 m³/h, iar pentru lagărul radial inferior de 17 m³/h, dar aceste debite se vor reduce corespunzător pe măsură ce temperatura de răcire scade. Reglarea se va face astfel ca temperatura uleiului în baia de ulei să nu depășească 60°C, iar temperatura segmenților lagărului să nu depășească 70°C.

Răcitoarele de ulei sunt confecționate din țevi de cupru îndoite și mandrinate în plăci de bază. Bateriile de răcitoare astfel obținute se înscriază și formează sistemul de răcire al lagărelor.

Răcirea aerului de ventilație se realizează cu ajutorul a 6 răcitoare de aer uniform dispuse pe suprafața exterioară a carcasei hidrogeneratorului. Elementele de răcire sunt confecționate din țevi bimetalice alama-aluminiu cu aripioare rulate. Răcitoarele de aer sunt fixate de fundație. Trecerea aerului din carcasa hidrogeneratorului se face prin intermediul montajului răcitor de tip elastic care evita transmiterea vibrațiilor statorului hidrogeneratorului la răcitoare.

3.1.10. Sistemul de ventilație

Hidrogeneratorul este prevăzut cu un sistem de ventilație în circuit închis, răcirea aerului efectuându-se în răcitoare de aer. Circulația aerului este asigurată de către ventilatoarele axiale montate pe suprafețele laterale ale coroanei, așa cum se poate vedea și din Fig.3.8, și efectul de ventilație al polilor.



Fig. 3.8 – Vedere de sus a ansamblului rotor-stator, palele ventilatorului superior.

Aerul rece este introdus în rotor prin ventilatoare și prin canalele radiale din coroana polara. El trece prin ferestrele interpolare răcind înfășurarea de excitație, apoi se deplasează radial prin canalele de ventilație ale pachetului de tole respectiv peste capetele frontale ale înfășurării statorului și trece în carcasa. Din carcasa aerul trece prin răcitoare unde cedează căldura apei de răcire. La ieșirea din răcitoare, aerul rece se împarte în doua ramuri care înconjoară statorul și reintra prin partea superioară și inferioară a hidrogeneratorului în rotor.

Ramura superioară trece printre placa de acoperire și scut între brațele stelei, iar cea inferioară prin canalele de ventilație prevăzute în fundația generatorului.

3.1.11. Instalația de stingere a incendiului

Instalația de stingere a incendiului aferentă generatorului este racordată la instalațiile de stins incendiul ale întregii centrale, instalații prezentate în Fig.3.9 și Fig.3.10.

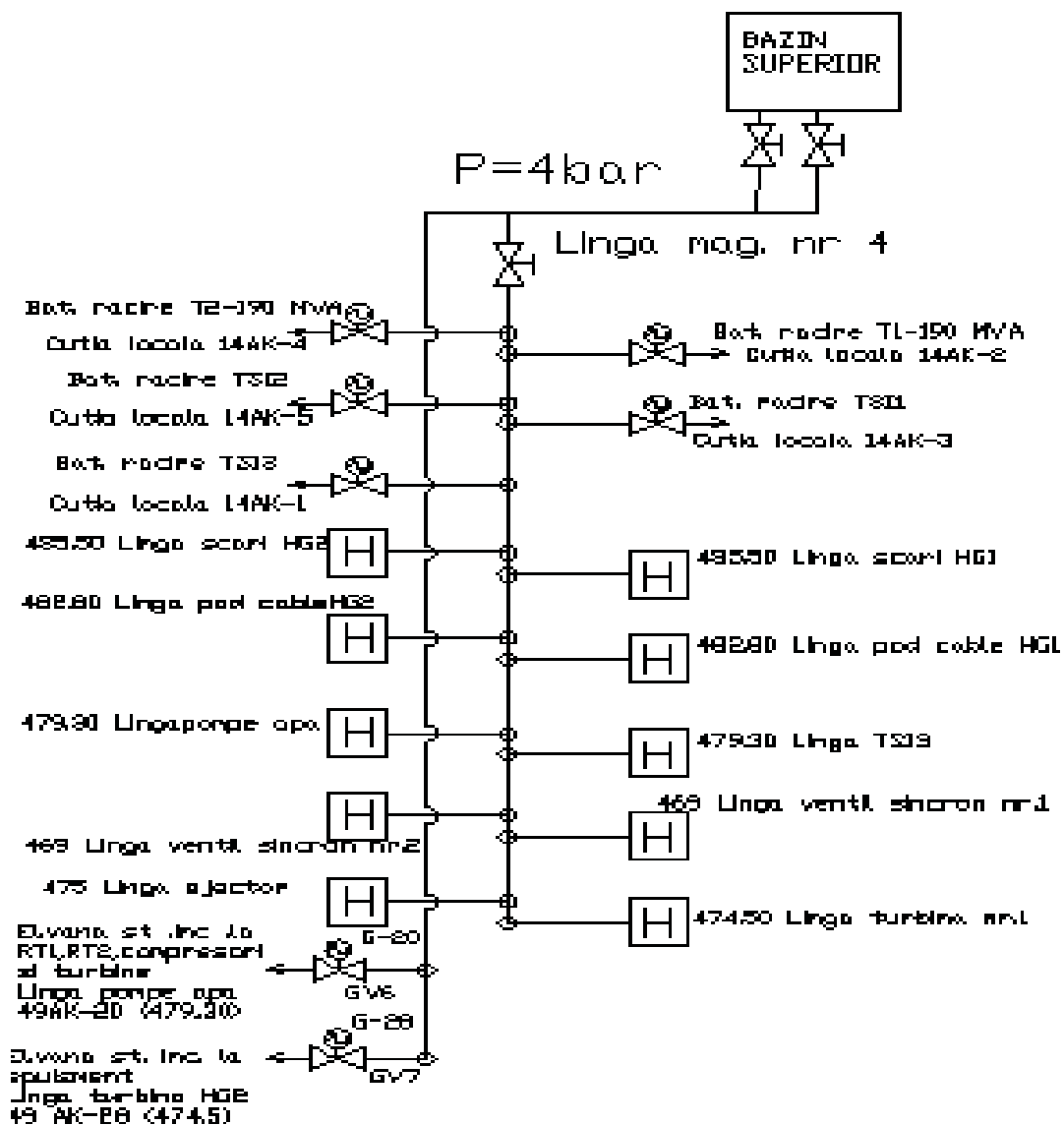


Fig. 3.9 – Instalația de stins incendii $P=4 \text{ bar}$.

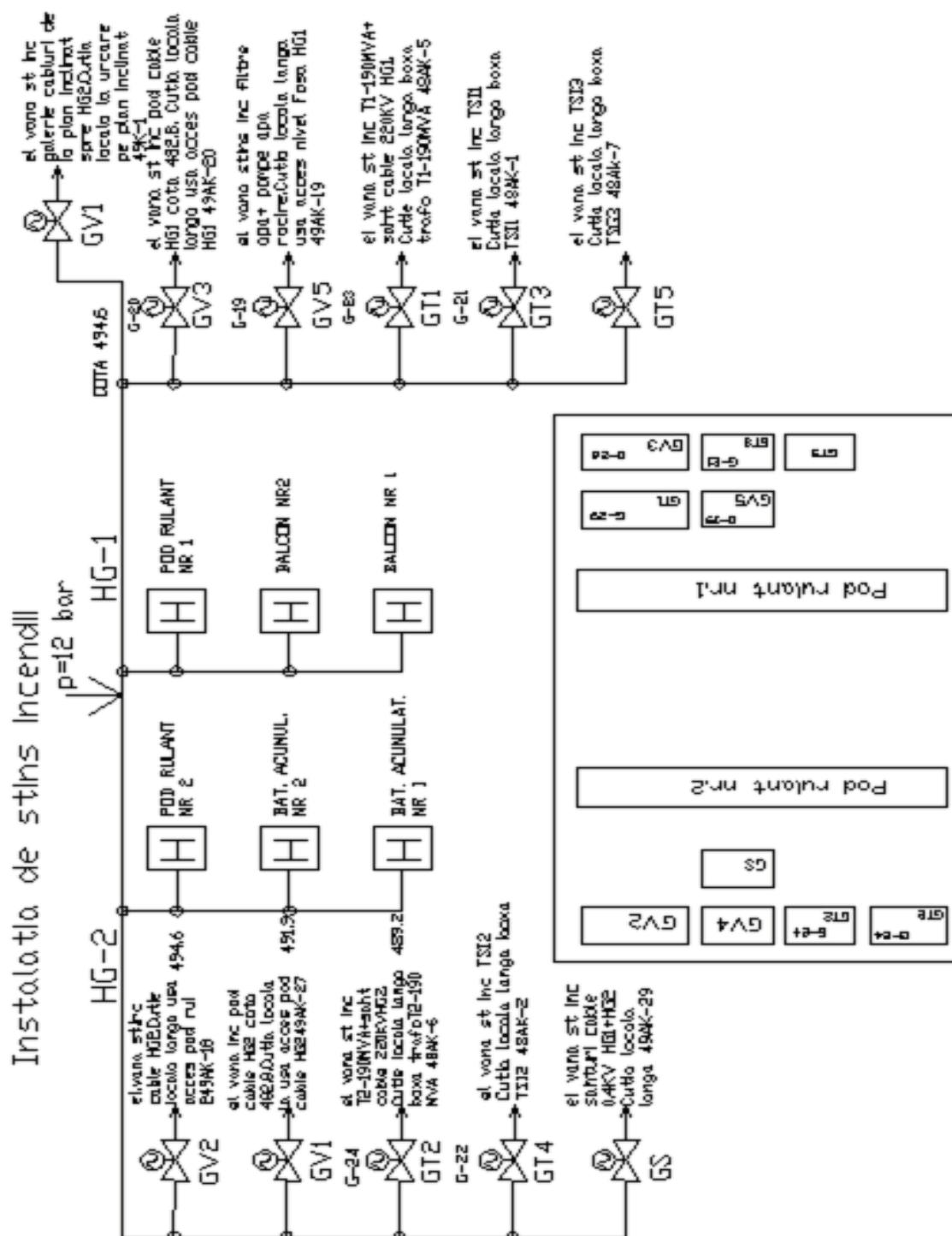


Fig. 3.10 – Instalația de stins incendii P= 12 bar.

Pentru eliminarea unui eventual incendiu în interiorul mașinii, hidrogeneratorul este prevăzut cu o instalație de stins incendiu cu apă.

Sistemul de stins incendiu se compune din țevi inelare perforate pentru injectarea apei la capetele înfășurării statorului în caz de incendiu. Aceste țevi sunt amplasate în zonele capetelor frontale superioare și inferioare a înfășurării statorului. Alimentarea conductelor circulare se face prin două prize dispuse diametral de la conducta magistrală.

Apariția incendiului este detectată de către detectoarele de incendii cu camera de ionizare pentru fum montate în fosa hidrogeneratorului, care emit semnale.

Aționarea instalației de stingere se face semiautomat (prin buton de comandă amplasat pe panoul grupului respectiv pe pupitrul din camera de comandă) și manual, prin intermediul robinetului amplasat lângă fosa hidrogeneratorului.

3.1.12. Caracteristici tehnice

Caracteristicile tehnice principale ale hidrogeneratorului vertical sincron tip "HVS 490/240-12", sistemul de excitație și generatorului sincron de reglaj sunt următoarele:

- Puterea nominală aparentă: $P_a = 186.000 \text{ kVA}$;
- Puterea nominală activă: $P_n = 167500 \text{ kW}$;
- Puterea activă maximă (la $\cos\Phi = 0.968$): $P_{n\max} = 180000 \text{ kW}$;
- Tensiunea nominală: $U_N = 15750 \text{ V}$;
- Curentul nominal statoric: $I_N = 6820 \text{ A}$;
- Factor de putere nominal: $\cos \varphi_N = 0,9$;
- Frecvența nominală: $f_N = 50 \text{ Hz}$;
- Turația nominală: $n_N = 500 \text{ rot/min.}$;
- Turația de ambalare: $n_a = 850 \text{ rot/min.}$;
- Moment de volant: $GD^2 = 1441 \text{ tm}^2$;
- Randamentul la sarcina nominală: $98,56\%$;
- Curentul nominal de excitație la sarcina nominală $I_{eN} = 1693 \text{ A}$
- Tensiunea nominală de excitație la inelele de contact la sarcina nominală și la o temperatura a înfășurării de excitație de $+ 130^0$: $U_{eN} = 225 \text{ V}$;
- Numărul fazelor: 3;
- Conexiunea fazelor: stea;
- Reactanța sincronă longitudinală: $X_d = 1,132 \text{ u.r.}$;
- Reactanța tranzitorie longitudinală: $X'_d = 0,278 \text{ u.r.}$;
- Reactanța supratranzitorie longitudinală: $X''_d = 0,21 \text{ u.r.}$;
- Reactanța înfășurării de excitație: $X_f = 1,209 \text{ u.r.}$;
- Diametrul interior al statorului: $D = 3850 \text{ mm}$;
- Lungimea pachetului de tole stator: $L = 2400 \text{ mm}$;
- Debitul total de aer de răcire: $Q_{aer} = 94,5 \text{ m}^3/\text{sec.}$;
- Debitul maxim de apă în răcitoarele de aer: $Q_{apă} = 360 \text{ m}^3/\text{h}$;
- Presiunea de regim a apei de răcire: $P = 3 \text{ atm.}$;

- Debitul maxim de apă în răcitoarele de ulei ale lagărelor: $Q_{aL} = 117 \text{ m}^3/\text{h}$;
- Greutatea hidrogeneratorului : $G = 393,4 \text{ t}$;
- Greutate instalații auxiliare: $G = 5,5 \text{ t}$.

3.1.13. Condiții tehnice

Hidrogeneratorul vertical sincron tip "HVS 490/240-12", corespunde condițiilor generale pentru mașini electrice rotative din STAS 1893-72 și este destinat pentru funcționarea de durată, în spațiu închis, în următoarele condiții normale de lucru:

- altitudine maximă față de nivelul mării: 1000 m;
- temperatura maximă a aerului de răcire: $+35^\circ\text{C}$;
- temperatura maximă a apei de răcire: $+10^\circ\text{C}$;
- frecvența nominală : 50 Hz.

La variația tensiunii sau a frecvenței în limitele $\pm 5\%$ față de valorile nominale, hidrogeneratorul trebuie să dezvolte puterea nominală la factorul de putere nominal.

Supraîncărcarea statică a hidrogeneratorului trebuie să fie de minimum 1.7. Supraîncărcarea statică (S) se calculează cu formula:

$$S = \frac{i_n}{i_k \cdot \cos \varphi} \left(1 + \frac{1}{6} \cdot \frac{i_0}{i_n} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{3}{2} \cdot \left(\frac{i_0}{i_n} \right)^2}} \right) \quad (3.1)$$

unde:

- i_n = curentul de excitație la sarcina nominală (A);
- i_k = curentul de excitație la scurtcircuit trifazat stabilizat și curent nominal în stator (A);
- i_0 = curentul de excitație la mersul în gol;
- $\cos \varphi_n$ – factorul de putere nominal.

Materialele electroizolante folosite pentru înfășurările statorului și rotorului sunt de clasa "B".

Limitele admisibile de încălzire ale părților active ale hidrogeneratorului, la funcționarea de durată în regim nominal, nu trebuie să depășească valorile indicate în tabelul 3.1.

Temperatura maximă admisibilă în segmentii lagărului axial și cei ai lagărelor radiale este de $+80^\circ\text{C}$. Măsurarea temperaturii se face cu traductoare termice semiconductoare .

Tabel 3.1 – Limite admisibile de încălzire

Metode de măsurare		
Partea hidrogeneratorului	Metoda variației de rezistență	Cu traductor termic semiconductor introdus între bobinele din aceeași creștătură
Bobinaj și miez magnetic	-	120°C
Bobinaj rotor	130°C	-

Raportul dintre tensiunea plafon a excitatoarei și tensiunea la inelele de contact ale hidrogeneratorului, la funcționare în regim nominal este de 1.8 u.r.

Viteza de creștere a tensiunii la bornele excitatoarei în Volt/sec. (viteza de excitație) este de 2,2 ori tensiunea nominală măsurată la inelele de contact pentru mers în sarcină nominală a hidrogeneratorului.

La turația de ambalare de 850 rot/min. solicitările mecanice ale materialelor din care este executat rotorul nu depășesc limita de curgere, iar deformația rotorului este mai mică decât întrefierul.

Hidrogeneratorul este prevăzut cu înfășurare de amortizare închis.

Hidrogeneratorul are 6 borne scoase (3 principale și 3 neutre) în exterior de la capetele bobinajului statoric.

Hidrogeneratorul este prevăzut cu un generator sincron de reglaj (pentru alimentarea regulatorului de turație al turbinei) cu magneți permanenți. El este montat pe arborele hidrogeneratorului în partea superioară.

Măsurarea temperaturii în diferitele părți ale hidrogeneratorului se efectuează cu ajutorul traductoarelor termice semiconductoare din siliciu.

Se măsoară temperaturile cuprului înfășurării statorului, a segmentilor lagărului axial și lagărelor radiale, a uleiului de ungere și răcire a lagărelor, a aerului la intrarea și la ieșirea din răcitoarele de aer.

Materialele feroase și neferoase precum și materialele electrotehnice, trebuie să îndeplinească condițiile stabilite prin STAS-urile și normele interne în vigoare.

Disponibilitatea reprezintă măsura bunei funcționări a unui produs și este determinată de relația:

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTR} \quad (3.2)$$

unde s-a notat cu:

- D = disponibilitatea;
- MTBF = media timpilor de bună funcționare;
- MTR = media timpilor de reparații și întreținere.

La hidrogeneratoare valoarea MTBF este determinată de posibilitatea de uzură a unor subansamble. Statistica a arătat că la hidrogeneratoare MTBF se poate considera ca fiind egală cu un an de funcționare și este determinată de posibilitatea de uzură sau de dereglare a lagărelor și dereglarea liniei arborilor. Deci MTBF este egală cu timpul posibil de funcționare dintr-un an, adică 8460 h.

Fiabilitatea reprezintă posibilitatea bunei funcționări a hidrogeneratorului în unul sau mai multe puncte pe parcursul funcționării la intervale de timp succesive. Mărimea ei se determină cu relația:

$$R = e^{-\frac{t}{MTBF}} \quad (3.3)$$

unde s-a notat cu :

- R – fiabilitatea;
- t – perioada pentru care se determină R;
- MTBF – media timpilor de bună funcționare;
- e – 2,718.

Dacă analizăm fiabilitatea pe subansamble și considerăm durata de viață a hidrogeneratorului de 25 ani (219.000 h) avem un număr de 2 grupe la care MTBF este aceeași cu durata de viață (Statorul și rotorul la care pot apărea doar defecțiuni accidentale pe care le excludem din calculul fiabilității) și 3 grupe la care MTBF se consideră 8460 h (lagărul axial și lagărul radial, instalațiile auxiliare și excitatoare).

Valoarea fiabilității totale se determină cu ajutorul relației:

$$R_T = R_1 \cdot R_2 \cdot \dots \cdot R_5 = R_a^3 \cdot R_b^3 \quad (3.4)$$

unde:

$$R_a = e^{-\frac{t}{219000}}; \quad R_b = e^{-\frac{t}{8460}} \quad (3.5)$$

3.2. Transformatorul bloc

Transformator trifazat în ulei, cu circulație forțată a uleiului și răcire cu apă, destinat să funcționeze ca transformator bloc cu generatorul.

Este montat într-o încăpere situată în subteran, în imediata vecinătate a sălii mașinilor, având ieșiri în cablu pe partea de înaltă tensiune și în bare capsulate pe partea de joasă tensiune.

3.2.1. Caracteristici constructive

Miezul magnetic este realizat din tablă silicioasă laminată la rece, cu pierderi specifice reduse. Tipul constructiv este cu 5 coloane așezate în același plan, trei coloane centrale bobinate și două coloane laterale nebobinate. Îmbinările dintre tolele coloanelor și tolele jugurilor sunt de tip țesut la unghiuri de 35°-55°.

Strângerea miezului magnetic se face cu benzi din sticlă. Pentru asigurarea evacuării pierderilor din miez coloanele și jugurile sunt prevăzute cu canale longitudinale.

Schelă este executată din tablă de oțel sudată. Strângerea jugurilor se realizează cu benzi din sticlă care au capetele extreme fixate de schelă. Benzile din sticlă sunt fixate atât la partea superioară cât și la partea inferioară a jugului.

Pentru asigurarea rigidității ansamblului miez și schelă este prevăzută cu buloane la capete în exteriorul jugurilor și cu 8 plăci tiranți pe coloane.

Pentru reducerea pierderilor suplimentare și evitarea încălzirilor locale, partea de schelă din dreptul ieșirilor bobinajelor este ecranată cu plăci din aluminiu, iar plăcile tiranți pentru coloanele bobinate sunt din oțel nemagnetic.

Ridicarea părții active a transformatorului se face cu ajutorul unor console ce se fixează pe plăcile tirant ale coloanelor centrale ale miezului, de aceste console sunt prinse cabluri de oțel utilizate pentru ridicare.

Înfășurările sunt concentrice cu bobinele de joasă tensiune (15,75 KV) așezate la interior (pe miez) peste care se suprapun în ordine bobinele de înaltă tensiune (242 KV)

Bobinele sunt făcute din cupru izolat cu hârtie și sunt prevăzute cu canale axiale și radiale în număr suficient pentru a asigura o bună răcire.

Bobinele de joasă tensiune sunt de tip dublu spiralat având câte 23 de conductori în paralel pe început de înfășurare, conductorii în paralel sunt transpuși complet în vederea micșorării pierderilor suplimentare. La capete bobinele sunt prevăzute cu inele de egalizare ecranate, inele care asigură o bună consolidare mecanică, accesul ușor al uleiului pentru răcire și uniformizarea câmpului electric spre juguri și înfășurarea vecină.

Bobinele de înaltă tensiune sunt de tip continuu întreșesute cu conductori gemeni, la capete bobinele sunt prevăzute cu inele de gardă care asigură o bună consolidare mecanică, accesul ușor al uleiului pentru răcire și uniformizarea câmpului electric spre juguri și înfășurarea vecină.

Bobinele se izolează între ele și față de miez prin cilindrii din trafoboard, izolația bobinajelor față de juguri este asigurată prin scheme de izolație din trafoboard și inelele de presate a înfășurărilor din trafoboard.

Cuva este tip clopot, din tablă de oțel sudată, dimensionată pentru vid 100%. La partea superioară cuva este prevăzută cu patru buloane de ridicare, care permit manevrarea cu macaraua a transformatorului.

Platforma este din tablă sudată dimensionată de asemenea să reziste la un vid de 100%. Este prevăzută cu patru cărucioare rabatabile pentru deplasarea longitudinală (ecartament 1,435) și transversală (ecartament 2,935). În partea inferioară sunt prevăzute patru lăcașuri pentru fixarea cricurilor, cu ajutorul cărora se poate ridica transformatorul.

Conservatorul pentru transformator și conservatorul pentru cutii cablu, sunt conservatoare de tip ulei rece. Fiecare conservator este prevăzut cu indicatoare magnetice, care indica nivelul maxim respectiv minim de ulei în conservator. Conservatorul nu este dimensionat să reziste la vid. Capacitatea conservatorului asigură o variație a volumului de ulei în limitele de temperatură ale mediului ambiant -40°C când transformatorul este scos de sub tensiune până la +40°C când transformatorul este încărcat la puterea nominală în regim de lungă durată.

Instalația de protecție, semnalizare, măsură, comandă sistem răcire este formată dintr-un dulap cu aparate montat pe cuva transformatorului și circuite electrice de legătură la aparatura de protecție, semnalizare, măsură existente pe transformator.

Instalația permite supravegherea transformatorului precum și punerea în funcțiune a bateriilor de răcire în mod automat în funcție de temperatura înfășurărilor adică în funcție de sarcina de încărcare a transformatorului.

Izolatoare de tip condensator sunt utilizate pentru ieșirile înfășurărilor de joasă tensiune, înaltă tensiune și nul înaltă tensiune.

Următoarele *accesorii* sunt montate pe cuvă și pe platformă:

- două indicatoare magnetice pentru indicarea nivelului de ulei din conservatorul transformatorului;
- un indicator magnetic pentru indicarea nivelului de ulei din condensatorul cutiilor pentru cablu;
- releu Buchholtz cu două flotoare pentru protecția transformatorului;
- releu Buchholtz cu două flotoare pentru protecția cutiilor de cabluri;
- filtru de aer pentru protecția conservatorului trafo;
- filtru de aer pentru protecția conservatorului cutiilor de cabluri;
- termometru cu cadran cu contacte de maxim reglabile pentru indicarea temperaturii uleiului;
- indicatoare de circulație ulei cu contacte de semnalizare;
- indicatoare de circulație a apei cu contacte de semnalizare;
- ventile electromagnetice pentru comanda circulației apei prin bateria de răcire;
- locașuri pentru termometre cu mercur în care se pot pune termometre pentru măsurarea temperaturii uleiului, apei și mediului ambiant;
- termometru cu rezistență pentru măsurarea temperaturii uleiului în straturile superioare;
- termocopie prin care se comandă pornirea sau oprirea răcitoarelor și se poate indica în sala de comandă temperatura.

3.2.2. Caracteristici tehnice

Caracteristicile nominale ale transformatorului sunt următoarele:

- Tipul transformatorului: TTU-FA;
- Putere nominală: 190 MVA;
- Raport de transformare la mers în gol: 15,75/242 kV;
- Frecvența nominală: 50 Hz;
- Grupa de conexiuni IT/JT: Yod-5;
- Pierderi nominale la mers în gol: 110 kW;
- Curent nominal la mers în gol: 0,4%;

- Tensiunea nominală de scurtcircuit : 2,5%;
- Pierderi nominale datorită sarcinii : 590 kW;
- Pierderi totale: 700 kW;
- Puterea absolută de instalația de răcire în regim nominal de funcționare a transformatorului: 16 kW;
- Modul de răcire: F.A;
- Tensiuni de încercare pentru înfășurări:
 - Tensiune încercare la impuls undă plină înfășurare înaltă tensiune: 900 kVmax;
 - Tensiune încercare la impuls undă tăiată înfășurare înaltă tensiune: 1040 kVmax;
 - Tensiune încercare la impuls undă plină înfășurare joasă tensiune: 95 kVmax;
 - Tensiune încercare la impuls undă tăiată înfășurare joasă tensiune: 110 kVmax;
 - Tensiune încercare la frecvență industrială:
 - înfășurare înaltă tensiune: 355 kV;
 - înfășurare joasă tensiune: 50 kV;
 - nul înfășurare înaltă tensiune 230kV;
- Capacitate de supraexcitare, respectiv subexcitare de durată la lină sarcină: $\pm 5\%$;
- Suprasarcini admisibile: I E C;
- Suprasarcină permanentă + 5% peste sarcina nominală având o putere anterioară durată 100% se poate asigura în următoarele condiții:
 - numărul bateriilor în funcțiune: 4 baterii;
 - temperatura maximă admisă a apei la intrarea în baterie: $+20^{\circ}\text{C}$;
 - debitul minim de apă necesar: $14\text{m}^3/\text{h}/\text{baterie}$;
 - temperatura maximă admisă a mediului ambiant : $+40^{\circ}\text{C}$;
 - mersul în gol al transformatorului se asigură în următoarele condiții:
 - numărul bateriilor în funcțiune: o baterie;
 - temperatura maximă admisă a apei la intrare în baterie: $+20^{\circ}\text{C}$;
 - debit minim de apă necesar: $14\text{ m}^3/\text{h}/\text{baterie}$;
 - temperatura maximă admisă a mediului ambiant: $+40^{\circ}\text{C}$.
- Stabilitatea dinamică și termică va fi asigurată la un scurtcircuit net pe partea de 15,75 kV, partea de 220 fiind considerată cu o putere de scurtcircuit infinită, timp de 3 secunde;
- Supratemperaturi și temperaturi maxime admise:
 - Supratemperatura uleiului în straturile superioare la funcționarea în regim nominal: $+55^{\circ}\text{C}$;
 - Supratemperatura medie a înfășurărilor la funcționarea în regim nominal: $+65^{\circ}\text{C}$;
 - Temperatura maximă a mediului ambiant: $+40^{\circ}\text{C}$;

- Temperatura maximă a apei: +20°C;

Transformatoare de curent montate pe izolatoarele de trecere (245 kV) ulei
– ulei sunt următoarele:

- Transformatoare de curent pentru protecție (faza A B C):
 - Raport de transformare: 500/1 A;
 - Putere maximă: 30 VA;
 - Clasă de precizie: 3;
 - Coeficient de saturație: $n > 5$;
- Transformatoare de curent pentru măsură (faza A B C):
 - Raport de transformare: 500/1 A;
 - Putere maximă: 30 VA;
 - Clasă de precizie: 10 P;
 - Coeficient de saturație: $n > 20$;
- Transformatorul de curent pe faza B se utilizează pentru termocopie prin intermediul căreia se comandă punerea în funcțiune a instalației de răcire și se indică temperatura înfășurării de înaltă tensiune.

Răcirea transformatoarelor de puteri mari, montate în interior, este forțată deoarece ventilația naturală nu poate asigura condiții corespunzătoare de răcire. În cazul de față se folosește un sistem de răcire forțată cu apă. Pentru a se preîntâmpina pătrunderea apei în circuitul de ulei al transformatorului, în primul rând se etanșează foarte bine cele două circuite, creându-se în același timp o suprapresiune a uleiului față de apă, astfel în cazul unei fisuri va pătrunde uleiul în circuitul de apă și nu invers.

Disiparea pierderilor este asigurată de baterii de răcire cu circulație forțată a uleiului și răcire cu apă. Bateriile de răcire sunt montate pe axa longitudinală a transformatorului și anume toate cele 4 baterii de răcire sunt așezate pe partea de joasă tensiune.

Regimul nominal de funcționare este asigurat de 3 baterii de răcire (debitul minim impus pentru fiecare baterie este de 14 m³/h) a patra baterie de răcire fiind de rezervă. Apa de răcire să nu conțină corpuri în suspensie cu diametre mai mari de un mm în cantități de 100 mg/l.

Pentru a evita pericolul depășirii presiunii în circuitul de apă față de circuitul de ulei este necesar ca presiunea apei la intrare în baterie să nu depășească 3 mCA. Condițiile de funcționare impun ca pentru învingerea rezistențelor hidraulice pe partea circuitului de apă, presiunea apei la intrarea în baterie nu trebuie să scadă sub un 1 mCA.

Sistemul de stingere a incendiilor, în cazul transformatoarelor bloc de la centrala Retezat, este cu apă. Principiul care stă la baza funcționării acestei instalații este acela că, orice incendiu este urmat de creșterea temperaturii mediului înconjurător, apariția gazelor și a flăcării. De aceea când cel puțin unul din aceste elemente este sesizat în apropierea transformatorului, acesta va fi scos de sub tensiune prin deconectare, urmând a fi stropit cu apă (practic inundat)

Instalația de stingere a incendiilor cu apă este compusă din:

- Instalația pentru sesizarea prezenței incendiului
- Instalația de stropit transformatorul
- Rețeaua de apă pentru incendiu

Instalația pentru sesizarea prezenței incendiului este constituită din detectoare de incendiu, amplasate în punctele esențiale din apropierea transformatorului. Aceste detectoare pot fi detectoare de temperatură, detectoare de fum sau detectoare de flăcără. În general se utilizează detectoare de temperatură cu fuzibil. Acestea au un fuzibil care menține în poziția închis un contact cu resort. Când temperatura mediului în care este amplasat detectorul depășește o anumită valoare, fuzibilul se topește și eliberează contactul, care sub acțiunea resortului se deschide.

Instalația de stropit transformatorul este realizată dintr-un schelet de țevi, prevăzute cu duze de pulverizare orientate spre transformator, care încadrează transformatorul.

Rețeaua de apă pentru incendiu este constituită dintr-un rezervor de apă sub presiune, racordat prin pompe la bazinul de apă răcire. La rezervorul respectiv este racordată prin electrovalve (EV) instalația de stropit transformatorul. Schema de principiu este prezentată în Fig.3.11.

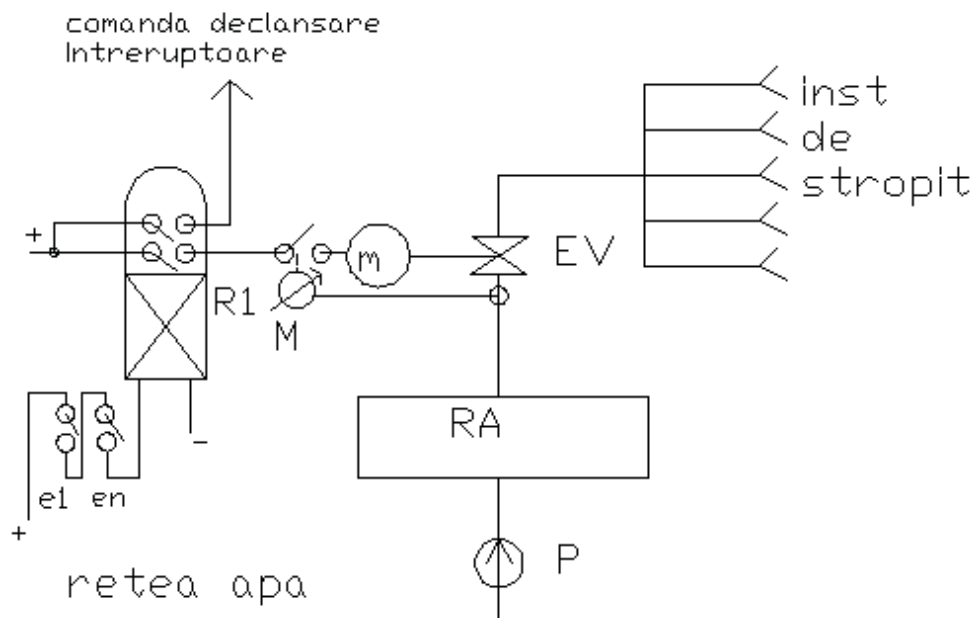


Fig. 3.11 – Schema instalației de stins incendii a transformatorului bloc.

Contactele normal închise e_k ($k = 1,2,3,\dots,n$) ale detectoarelor de temperatură, legate în serie, mențin excitat releul RI. Când cel puțin un detector sesizează o temperatură peste limita admisă, își deschide contactul, releul intermediar se dezexcită și își închide contactele. Printr-un contact se dă comanda de declanșare la întreruptoarele prin care se racordează transformatorul la rețea. În același timp se dă comanda de deschidere a electrovalvelor (EV). Manometrul cu contact (M) măsoară în permanență presiunea din rezervor, iar dacă presiunea apei în rezervor este cea corespunzătoare, EV se deschide permițând intrarea apei sub presiune în duze. Transformatorul va fi înconjurat de o pânză de apă care va duce la împiedicarea pătrunderii aerului în zona incendiului. Astfel incendiul se stinge din lipsă de oxigen.

3.3. Stația de evacuare

Stația de evacuare cu tensiunea nominală de 220 kV are funcția de a realiza injecția în sistemul electroenergetic a puterii produse în centrala subterană Retezat, fără a alimenta vreun consumator, astfel întreaga energie electrică produsă este transmisă în sistemul energetic la înaltă tensiune.

Generatoarele acestei centrale sunt conectate în schemă boc generator-transformator, în acest caz nu mai există instalații de conexiuni la tensiunea generatoarelor (15,75 kV).

Este o instalație electrică de conexiuni cu dublu sistem de bare colectoare, nesectionate, cu un singur întreruptor pe circuit. Bara de lucru este în forma de potcoavă, așa cum se observă și din figura 3.12. Stația este prevăzută cu o cuplă transversală. Fiecare bloc generator transformator este racordat pe câte o legătură transversală între cele 2 sisteme de bare colectoare. La fiecare celula de transformator este racordat și câte un transformator de servicii proprii (TSP)

Componența unei celule de generator și transformator bloc este următoarea, imediat după generatorul sincron, înspre nul sunt montate transformatoarele de curent TC respectiv transformatorul de tensiune TT, folosite pentru protecții. În sensul de parcurgere al puterii active, sunt transformatoarele de curent TC 15,75 kV montate pe toate cele 3 faze. În derivație sunt montate reductoarele de curent TT 15,75 kV. Imediat după acestea, respectiv înaintea transformatorului bloc fiind conectată legătura la TSP.

Transformatorul bloc de tip TTU- FA cu $S_n = 190$ MVA $U_n = 242/15,75$ KV a fost prezentat în subcapitolul 3.1.2. Transformatoarele de curent care urmează după acesta sunt de tip CESUM-k 220 KV, $I_{1n} = 500$ A $I_{2n} = 1/1/1/1$ A.

Legătura între transformatorul bloc care se află în subteran și stația exterioară se face prin intermediul unor cabluri Pirelli, monofazate, cu tensiunea nominală de 220 kV. Ele au secțiunea de 400 mm², cu circulație forțată de ulei, la presiuni de lucru între 1- 1,5 bar. Acest ulei are rolul de răcire și electroizolație. La capătul dinspre stație al cablului se află conservatorul de ulei sub presiune și manometre pentru citirea presiunii. Presiunea este realizată în regim tampon cu pernă de aer.

Reductorii de tensiune sunt de tip TECU 220 KV având $U_{1n} = 220/1,73$ KV respectiv $U_{2n} = 100/1,73$ V. Se observă că între blocul generator - transformator și întreruptorul celulei nu se montează separator, deoarece, acesta fiind singura cale de evacuare a puterii, înaintea intervenției la întreruptorul I_G al celulei, generatorul trebuie să fie scos din funcțiune deci nu există pericolul intrării accidentale sub tensiune.

Întreruptorul I_G al acestei celule a fost inițial de tipul IO 220 KV acționate monopolar cu mecanisme de tip MOP-1. Datorită stării de uzură avansată a contactelor mobile și ale tulipelor, a timpilor diferiți de închidere-deschidere, s-a optat pentru schimbarea acestora cu unele mai performante de tipul LTB 245-E1, cu mediu de izolare și stingere a arcului electric cu hexaflorură de sulf, cu dispozitiv de acționare monopolar cu arc BKL 222 ce corespunde standardelor SR CEI 60056 și CEI 60056.

Pentru acest întreruptor s-a ales ca mediu de stingere a arcului electric hexaflorura de sulf (SF_6) în locul uleiului datorită următoarelor considerente:

- Uleiul este inflamabil, pericolul incendiilor accentuându-se prin faptul că instalațiile conțin cantități însemnate de ulei;
- Uleiul în contact cu arcul electric duce la reacții chimice ireversibile, cu degajări de fum și gaze;

- Uleiul se degradează în timp necesitând întreținere și după un timp chiar înlocuirea totală;
- Instalația cu mediu de izolație ulei necesită blindaje cu rezistență mecanică ridicată, având în vedere greutatea mare a uleiului și posibilitatea producerii de suprapresiuni la apariția unui arc electric.

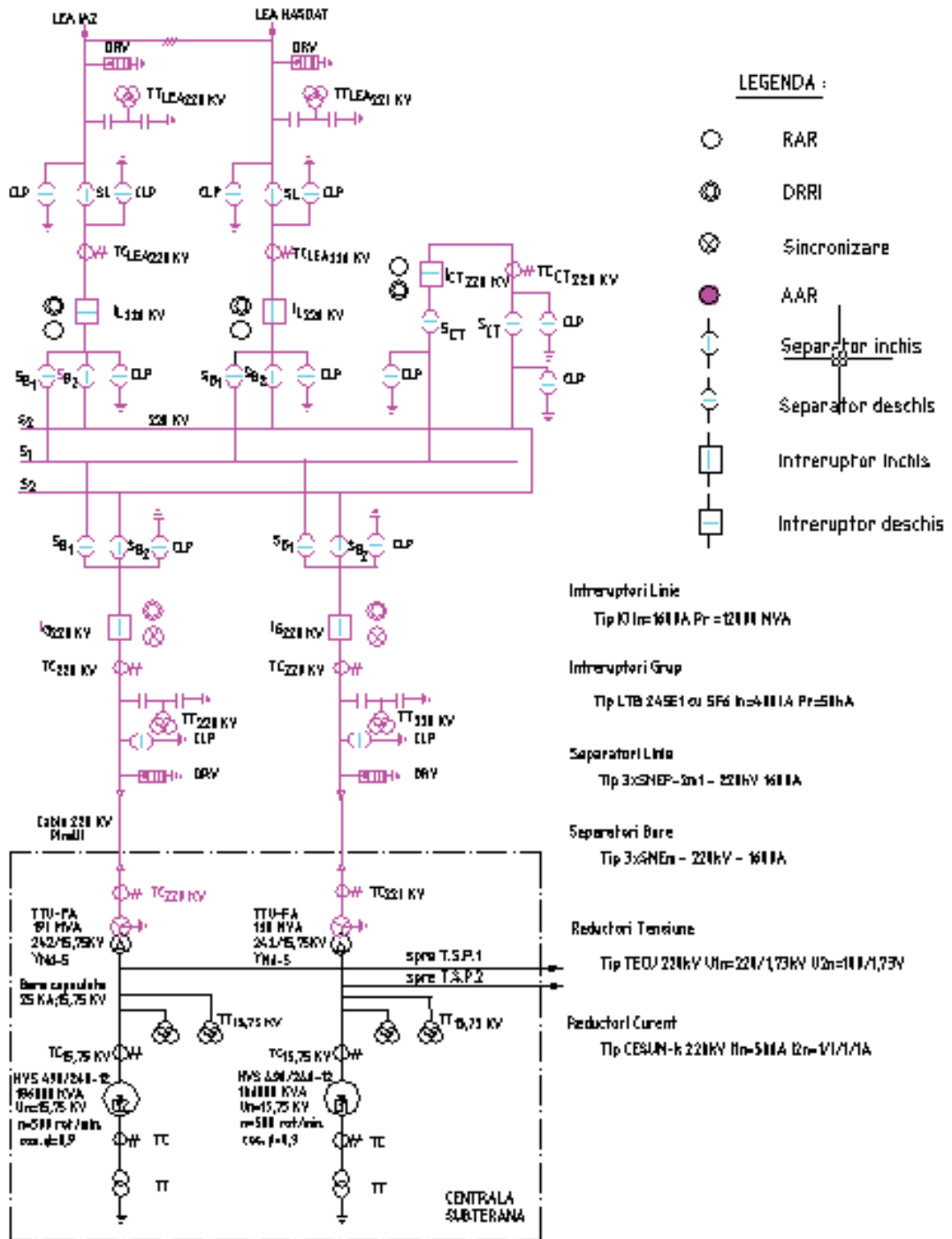


Fig. 3.12 – Schema stației de evacuare.

Hexaflorura de sulf prezintă proprietăți deosebit de bune ca mediu izolan și ca mediu de stingere a arcului electric, fiind un gaz ne inflamabil, cu bune

proprietăți de răcire și proprietăți dielectrice mult superioare aerului, rigiditatea dielectrică a gazului SF₆ este de aproximativ 5 ori mai mare decât a aerului la o presiune de câteva zecimi de MPa. Se obțin astfel echipamente cu volum mult mai mic și fără mentenanță pe toata durata de viață.

Separatoarele de bare S_{B1} sunt de tipul 3x SEm-220 KV și 1600 A.

Cele două celule de LEA, înspre Iaz respectiv Hășdat au același tip de separatoare de bare ca și celulele de transformator. Întrerupătoarele fiind de tip IO 220 KV In= 1600 A și Pr= 12000 MVA, cu dispozitiv tip MOP-1, acționate monopolar. Descărcătoarele sunt de tip DRV

3.4. Concluzii și contribuții personale.

În cadrul acestui capitol au fost prezentate și analizate toate elementele componente ale părții electrice a centralei Râul Mare Retezat. Acestea au fost descrise atât din punct de vedere constructiv, cât și din punct de vedere al caracteristicilor tehnice și al rolului funcțional.

În mod deosebit, s-a insistat pe construcția principalelor elemente: generatorul, transformatorul bloc și stația de evacuare. Pentru acestea au fost prezentate detaliat figuri sugestive cu schițe și imagini privind construcția și funcționarea lor. O altă problemă intens analizată a fost prezentarea caracteristicilor tehnice ale acestora.

Principalele concluziile capitolului sunt:

- Hidrogeneratorul vertical sincron tip "HVS 490/240-12", corespunde condițiilor generale pentru mașini electrice rotative din STAS 1893-72 și este destinat pentru funcționarea de durată, în spațiu închis.
- Excitația hidrogeneratorului este de tip rotativ cu diode redresoare. Excitatorul, este montat deasupra hidrogeneratorului pe arborele comun, furnizează curent alternativ la redresorul rotativ. Acesta îl transformă în curent continuu cu care se alimentează înfășurarea de excitație a hidrogeneratorului.
- Stația de evacuare cu tensiunea nominală de 220 kV are funcția de a realiza injecția în sistemul electroenergetic a puterii produse în centrala subterană Retezat, fără a alimenta vreun consumator, astfel întreaga energie electrică produsă este transmisă în sistemul energetic la înaltă tensiune.

În continuare se prezintă o sinteză privind contribuțiile personale din cadrul acestui capitol:

- prezentarea într-o manieră personală a elementelor componente ale părții electrice a centralei hidroelectrice Râul Mare Retezat;
- sinteza noțiunilor generale și particulare privind construcția generatorului, transformatorului bloc și a stației de evacuare a centralei hidroelectrice Râul Mare Retezat;
- evaluarea soluției constructive de realizare a părții electrice a centralei hidroelectrice Râul Mare Retezat.

4. STUDIU PRIVIND STABILIREA REGIMURILOR DE FUNCȚIONARE ALE HIDROAGREGATELOR DIN CHE RETEZAT ȚINÂND SEAMA DE VALORILE SALTULUI HIDRAULIC ÎN CASTELUL DE ECHILIBRU LA COTE MICI DE EXPLOATARE ALE ACUMULĂRII GURA APELOR

Capitolul reprezintă practic un raport de încercări asupra stabilirii regimurilor de funcționare ale Centralei Hidroelectrice Râul Mare Retezat în funcție de valorile saltului hidraulic în castelul de echilibru la cote mici de exploatare ale acumulării Gura Apelor. Încercările pentru determinarea performanțelor energetice ale hidroagregatelor au fost efectuate cu respectarea recomandărilor din SR EN 60041:2003: încercări de recepție efectuate pe mașina reală, pentru determinarea performanțelor hidraulice ale turbinelor hidraulice, pompelor de acumulare și turbinelor-pompe. Capitolul se încheie cu o aplicație software, propusă de autor, pentru simularea saltului hidraulic în castelul de echilibru la efectuarea mai multor manevre cu cele două grupuri ale centralei.

4.1. Descrierea încercărilor

Au fost efectuate încercări pentru determinarea caracteristicilor reale de funcționare a cele două hidroagregate în următoarele condiții de funcționare:

- câte un singur hidroagregat în funcțiune;
- nivelul în lac cuprins între 979,440 mdMN și 979,050 mdMN;
- puterea reactivă a fost menținută nulă ($\cos \varphi = 1$).

Încercările pentru determinarea saltului în castelul de echilibru au fost realizate în următoarele condiții de funcționare: nivelul în lac cuprins între 978,970 mdMN și 977,380 mdMN

Pentru determinarea pierderilor de sarcină, au fost măsurate nivele în toate punctele accesibile (lac, castelul de echilibru, secțiunile amonte vane sferice, galerie de fugă aval). Cotele găsite în diverse planuri au fost verificate și corelate prin verificări hidrostatice.

4.1.1. Mărimi măsurate

Realizarea încercărilor a necesitat măsurarea mai multor parametri, măsurare care a fost efectuată utilizând atât traductoarele și sistemul de monitorizare HidroSmart amplasat în centrală cât și aparatura bytE.NET. Descrierea aparaturii, a modului de amplasare și a modului de efectuare a măsurărilor este făcută în detaliu în subcapitolul 4.3.

Pentru măsurarea nivelului apei în castelul de echilibru a fost montat un traductor de presiune relativă la Nodul de presiune, traductor care a fost integrat în sistemul HidroSmart și care rămâne în instalația beneficiarului. Valoarea nivelului în castelul de echilibru este afișată on line în aplicația software SCADA.

Mărimile măsurate direct au fost:

- Puterea activă la bornele generatorului P_G
- Puterea reactivă la bornele generatorului Q_G
- Curentul statoric I_{st}
- Tensiunea statorică U_{st}
- Tensiunea de excitație U_{ex}
- Nivelul în lac ∇_{lac}
- Nivelul manometric în castelul de echilibru ∇_{cast}
- Nivelul manometric la intrarea în turbine ∇_{man}
- Nivelul aval ∇_{aval}
- Diferența de presiune pe prizele Winter-Kenedy Δh
- Deschiderea aparatului director a

4.1.2. Programul probelor

Probele în natură au cuprins montarea, calibrarea și verificarea aparaturii de măsurat, efectuarea încercărilor energetice, a încercărilor pentru determinarea pierderilor de sarcină și a coeficienților de rugozitate și încercările privind saltul în castelul de echilibru.

Manevrele asupra funcționării hidroagregatelor au fost realizate de către personalul de exploatare al Centralei Hidroelectrice Retezat.

Programul convenit cu Sucursala Hidrocentrale Hațeg, S.C. Hidroelectrica S.A. – Direcția exploatare și Dispeceratul Energetic Național privind desfășurarea încercărilor energetice pentru determinarea caracteristicilor de funcționare ale hidroagregatelor, a pierderilor de sarcină pe aducțiune și a saltului în castelul de echilibru este prezentat în Tabelul 4.1. și Tabelul 4.2.

Tabel 4.1 – Încercări energetice pentru determinarea caracteristicilor de funcționare ale hidroagregatelor

Funcționare hidroagregate		HA1	HA2
1	verificări hidrostatice	P = 0 MW	P = 0 MW
2	Punct 1	P = 80MW	P = 0 MW
3	Punct 2	P = 85MW	P = 0 MW
4	Punct 3	P = 90MW	P = 0 MW
5	Punct 4	P = 95MW	P = 0 MW
6	Punct 5	P = 100MW	P = 0 MW
7	Punct 6	P = 105MW	P = 0 MW
8	Punct 7	P = 0 MW	P = 80MW
9	Punct 8	P = 0 MW	P = 85MW
10	Punct 9	P = 0 MW	P = 90MW
11	Punct 10	P = 0 MW	P = 95MW
12	Punct 11	P = 0 MW	P = 100MW
13	Punct 12	P = 0 MW	P = 105MW

Tabel 4.2 – Încercări pentru determinarea saltului în castelul de echilibru

Manevră hidroagregate		HA1	HA2
14	oprire normală HA1	P = 100 la 0 MW	P = 0
15	oprire normală HA2	P = 0 MW	P = 100 la 0 MW
16	pornire normală HA 1	P = 0 la 100 MW	P = 0 MW
17	pornire normală HA 2	P = 100 MW	P = 0 la 100 MW
18	aruncare de sarcină HA1	P = 100 la 0 MW	P = 100 MW
19	aruncare de sarcină HA2	P = 0 MW	P = 100 la 0 MW
20	pornire și încărcare HA1+HA2	P = 0 la 100 MW	P = 0 la 100 MW
21	oprire normală HA1	P = 100 la 0 MW	P = 100 MW

4.2. Considerații teoretice

În cadrul acestui subcapitol se vor prezenta premisele teoretice care stau la baza calculelor efectuate pentru determinarea diversilor parametri care caracterizează funcționarea hidroagregatelor, determinarea pierderilor de sarcină și a coeficienților de rugozitate și analiza oscilațiilor din castelul de echilibru.

4.2.1. Determinarea randamentelor hidroagregatelor

Determinarea randamentelor absolute ale turbinelor s-a realizat utilizând relația de calcul:

$$\eta_{Tc} = \frac{102 \cdot P_{Tc}}{Q_c \cdot H_{nc}} \quad (4.1)$$

unde:

- η_{TC} - randamentul total al hidroagregatului la căderea de calcul considerată;
- P_{TC} - puterea totală la bornele generatorului în valori de calcul;
- Q_c - debitul de calcul;
- H_{nc} - căderea netă de calcul;

Puterea la bornele generatorului, P_T a fost măsurată direct în condițiile $\cos\varphi = 1$.

Debitul turbinat Q a fost calculat cu formula (4.2)

$$Q = K_s \cdot \sqrt{\Delta h} \quad (4.2)$$

unde:

- Q - debitul turbinat al hidroagregatului;
- K_s - constanta debitmetrică a prizelor Winter-Kenedy;
- Δh - diferența de presiune măsurată pe prizele Winter-Kenedy.

Căderea netă a turbinei H_{net} s-a calculat cu relația (4.3)

$$H_{net} = (\nabla_{man} + hc_{man}) - (\nabla_{av} + hc_{av}) \quad (4.3)$$

unde:

- ∇_{man} - nivelul manometric în secțiunea de intrare în turbină (aval de vană);
- ∇_{av} - nivelul aval;
- hc_{man} - termenul cinetic în secțiunea de măsură a lui ∇_{man} ;
- hc_{av} - termenul cinetic în secțiunea de măsură a lui ∇_{av} ;

Relațiile de trecere a parametrilor de mai sus la valorile de calcul corespunzătoare căderii nete de calcul sunt:

- Căderea netă de calcul: H_{nc}

$$H_{nc} = \frac{\sum_{i=1}^m H_{ni}}{m} \quad (4.4)$$

- Puterea de calcul: P_{Tc}

$$P_{Tc} = P_T \left(\frac{H_{nc}}{H_n} \right)^{3/2} \quad (4.5)$$

- Debitul turbinat de calcul: Q_c

$$Q_c = Q \left(\frac{H_{nc}}{H_n} \right)^{1/2} \quad (4.6)$$

4.2.2. Determinarea pierderilor de sarcină

4.2.2.1. Pierderi de sarcină totale

Pentru tronsonul priză - intrare în turbină, au fost determinate pierderile de sarcină totale utilizând formula:

$$\Delta hr_{tot} = \nabla_{lac} - (\nabla_{man} + hc_{man}) \quad (4.7)$$

unde:

- Δhr_{tot} - pierderea de sarcină totală pe tronsonul considerat;
- ∇_{lac} - nivelul în lac;
- ∇_{man} - nivelul manometric la intrarea în turbină;
- hc_{man} - termenul cinetic în secțiunea de măsură a lui ∇_{man} .

De asemenea s-au determinat pierderi de sarcină pentru următoarele tronsoane:

- Aducțiunea propriu-zisă între secțiunea priză și secțiunea aval castel de echilibru

$$\Delta hr_{AD} = \nabla_{lac} - (\nabla_{cast.} + hc_{cast}) \quad (4.8)$$

unde:

- Δhr_{AD} - pierderea de sarcină pe aducțiune;
 - ∇_{lac} - nivelul în lac;
 - $\nabla_{cast.}$ - nivelul manometric la ieșirea din castelul de echilibru;
 - $hc_{cast.}$ - termenul cinetic în secțiunea de măsură a lui $\nabla_{cast.}$
- Conducta forțată între secțiunea de ieșire din castelul de echilibru (amonte vane fluture) și secțiunea de intrare în turbine (amonte vana sferică)

$$\Delta hr_{CF} = (\nabla_{cast.} + hc_{cast}) - (\nabla_{man} + hc_{man}) \quad (4.9)$$

unde:

- Δhr_{CF} - pierderea de sarcină pe conducta forțată;
- $\nabla_{cast.}$ - nivelul manometric la ieșirea din castelul de echilibru;
- $hc_{cast.}$ - termenul cinetic în secțiunea de măsură a lui $\nabla_{cast.}$;
- ∇_{man} - nivelul manometric la intrarea în turbină;
- hc_{man} - termenul cinetic în secțiunea de măsură a lui ∇_{man} .

4.2.2.2. Pierderi de sarcină locale

Pierderile de sarcină locale pe aducțiune

Deoarece avem de a face cu o conductă lungă, *pierderile de sarcină locale pe aducțiune* sunt în principiu neglijabile în raport cu cele liniare. Cu toate acestea, pentru rigurozitate, am calculat pierderile de sarcină locale, luând în considerare singularitățile mai importante de pe tronsonul studiat, și anume:

- grătarele prizei de apă;
- zona de joncțiune convergentă între priză și aducțiune (trecerea de la Φ 10,00 m la Φ 4,90 m);
- zona vanei plane incluzând vana plană și batardoul 3,0 x 4,5 m, puțului umed și zonele de joncțiune convergentă și divergentă din zona puțului umed de la casa vanelor priză (trecherile de la Φ 4,90 m la LH 3 x 4,5 m)
- zona de racord între aducțiune și casa vanelor fluture;

În acest caz suma pierderilor de sarcină locale pe aducțiune va fi:

$$\begin{aligned} \Sigma hr_{AD} = & \zeta_G \times v_1^2 / 2g + \zeta_P \times v_2^2 / 2g + \\ & + \zeta_{VP} \times v_3^2 / 2g + \zeta_{CVF} \times v_4^2 / 2g \end{aligned} \quad (4.10)$$

unde:

- Σhr_{AD} - suma pierderilor de sarcină locale pe aducțiune;
- v_i - viteza medie în secțiunile considerate;
- ζ_G - coeficient de pierderi de sarcină locale pentru grătare;
- ζ_P - coeficient de pierderi de sarcină locale pentru priză;
- ζ_{VP} - coeficient de pierderi de sarcină locale pentru vana plană;

- ζ_{CVF} - coeficient de pierderi de sarcină locale pentru zona de racord între aducțiune și casa vanelor fluture.

Priza de apă este de tip poligonal, cu 6 deschideri prevăzute cu grătare verticale fixe. Deschiderile sunt separate de pile verticale de beton, profilate hidraulic. Barele grătarelor se sprijină pe 6 grinzi orizontale din beton, fixe.

Caracteristicile constructive ale grătarelor sunt:

- număr deschideri: 6;
- dimensiunile unei deschideri: 5,48 x 15,2 m;
- lumina între bare: 90 mm.

Pentru acest tip de grătar valoarea coeficientului de pierderi de sarcină ζ_G se determină conform tabelului 371 din [37], în funcție de rapoartele:

$$\bar{a} = \frac{A_0}{A_1} = 0,9 \quad (4.11)$$

unde:

- A_0 - aria secțiunii vii;
- A_1 - aria unei deschideri.

$$\frac{l}{d_h} = 3,54 \quad (4.12)$$

unde:

- l - înălțimea unei deschideri;
- d_h - diametrul hidraulic.

Coeficientul de pierderi de sarcină astfel determinat este: $\zeta_G = \mathbf{0,155}$

Zona de joncțiune convergentă între priză și aducțiune se face printr-o trompă profilată hidraulic de la Φ 10,00 m la Φ 4,90 m. Coeficientul de pierderi de sarcină ζ_p se calculează cu formula pentru confuzoare:

$$\zeta_p = k \left(\frac{l}{\varepsilon} - 1 \right)^2 \quad (4.13)$$

unde:

- ε depinde de:
 - ω_1 - aria amonte;
 - ω_2 - aria aval.

Coeficientul de pierderi de sarcină astfel determinat este: $\zeta_p = \mathbf{0,289}$

Vana plană este amplasată la 217 m de priză împreună cu un batardoul de aceleași dimensiuni:

- dimensiuni: $L \times H = 3,0 \times 4,5$ m;
- distanța între axele vanei și al batardoului: 2,4 m.

Coeficientul de pierderi de sarcină pentru sistemul de vane, ζ_{VP} se calculează cu formula:

$$\zeta_{VP} = 0,5(\zeta_1 + \zeta_2)(2 - \beta) \quad (4.14)$$

unde:

- ζ_1, ζ_2 - coeficientul de pierdere de sarcină pentru o vană: $\zeta_1 = \zeta_2 = 0,2$ [37]
 - ε - coeficient care depinde de distanța dintre organele de închidere
- Coeficientul de pierderi de sarcină pentru sistemul de vane este: $\zeta_V = 0,37$

Puțul vanelor se consideră ca o lărgire bruscă de secțiune, pentru care se consideră un coeficient de pierdere de sarcină $\zeta_{PU} = 1$.

Joncțiunile convergent-divergente din zona puțului umed de la casa vanelor priză este realizată printr-o zonă blindată, cu două reducții, care face trecerea de la secțiunea vanelor $L \times H = 3 \times 4,5$ m la aducțiune $\Phi 4,90$ m.

Pierderea de sarcină pentru confuzor se calculează cu formula (4.13) iar cea pentru difuzor cu formula (4.15)

$$\zeta_P = k \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} - 1 \right)^2 \quad (4.15)$$

unde:

- ω_1, ω_2 - sunt ariile amonte, respectiv aval;
- Coeficienții de pierderi de sarcină sunt:
- pentru joncțiunea convergentă: $\zeta_C = 0,054$;
- pentru joncțiunea divergentă: $\zeta_D = 0,066$.

Coeficientul de pierderi de sarcină echivalent ζ_{VP} pentru zona vanei plane este:

$$\zeta_{VP} = \zeta_V + \zeta_{PU} + \zeta_C + \zeta_D \quad (4.16)$$

În aceste condiții $\zeta_{VP} = 1,49$

Zona de joncțiune convergentă între aducțiune și casa vanelor fluture se face printr-o reducție asimetrică la partea superioară de la $\Phi 4,90$ m la $\Phi 3,60$ m. Coeficientul de pierderi de sarcină ζ_{CVF} se calculează cu formula (4.13), și valoarea sa este $\zeta_{CVF} = 0,1059$.

Pierderi de sarcină locale pe conducta forțată

Pierderile de sarcină locale pe conducta forțată sunt calculate luând în considerare singularitățile mai importante de pe tronsonul studiat, și anume:

- vanele fluture $\Phi 3,60$ m;
- cotul de la capătul său superior al conductei forțate;
- distribuitor cu două brațe simetrice.

În acest caz suma pierderilor de sarcină locale pe conducta forțată va fi:

$$\sum hr_{CF} = \zeta_V \times v_1^2 / 2g + \zeta_C \times v_2^2 / 2g + \zeta_D \times v_3^2 / 2g \quad (4.17)$$

unde:

- $\sum hr_{CF}$ - suma pierderilor de sarcină locale pe aducțiune;

- v_i - viteza medie în secțiunile considerate;
- ζ_{VF} - coeficient de pierderi de sarcină locale pentru vanele fluturo;
- ζ_C - coeficient de pierderi de sarcină locale pentru cot;
- ζ_D - coeficient de pierderi de sarcină locale pentru distribuitor.

Vanele fluturo în număr de două, cu Φ 3,60 m sunt amplasate orizontal la Casa vanelor, în serie, la o distanță de 5,75 m una față de cealaltă. Coeficientul de pierderi de sarcină locale pentru întregul sistem este conform [40] și [37] $\zeta_{VF} = 0,186$.

Cotul de la capătul său superior al conductei forțate are o rază de 18 m sub un unghi de 32° . Coeficientul de pierderi de sarcină locale pentru cotul conductei forțate este conform [37] $\zeta_C = 0,19$.

Distribuitorul din blindaj autoportant face trecerea de la conducta forțată la cele două vane sferice Φ 2,20 m. Distribuitorul este simetric, cu cele două brațe distanțate la 23 m. Ramificația Φ 3,60 m/2 x Φ 2,20 m are o nervură interioară cu grosimea de 200 mm și deschiderea de 60° . Considerând pierderea de sarcină proporțională cu sarcina dinamică de la intrare, în conformitate cu [59] (abaca 44), coeficientul de pierderi de sarcină locale este $\zeta_D = 0,10$.

Vanele sferice VS 220-770 sunt situate fiecare pe câte un braț al distribuitorului. Coeficientul de pierdere de sarcină pentru o vană sferică amplasată în rețea este $\zeta_{VS} = 0,02$.

Pierderile de sarcină pe vanele sferice se iau în calcul numai pentru determinarea căderii nete, deoarece măsurarea nivelului manometric se face în secțiunea amonte a acestora.

4.2.2.3. Pierderi de sarcină distribuite

Pierderi de sarcină distribuite pe aducțiune

Aducțiunea are o lungime de 18,450 km de la priză până la castelul de echilibru și este o galerie betonată cu o secțiune circulară cu Φ 4,90 m la interior. Debitul pe aducțiune variază între 0 și 70 m³/s.

Pierderile de sarcină distribuite pe aducțiune se vor calcula cu formula:

$$\Delta h_{l_{AD}} = \Delta h_{r_{AD}} - \sum h_{r_{AD}} \quad (4.18)$$

unde:

- $\Delta h_{r_{AD}}$ - pierderea de sarcină totală pe aducțiune calculată cu (4.8);
- $\sum h_{r_{AD}}$ - suma pierderilor de sarcină locale pe aducțiune calculată cu (4.10).

Pierderi de sarcină distribuite pe conducta forțată

Întregul tronson de la Castelul de echilibru până la centrala subterană este blindat. De la Casa vanelor fluturo până la distribuitor, pe o lungime de 726 m are un diametru Φ 3,60 m la interior, apoi un diametru Φ 2,20 m pe cele două brațe ale distribuitorului până la intrările în carcusele spirale ale turbinelor, pe o lungime de 60 m.

Pierderile de sarcină distribuite pe conducta forțată se vor calcula cu formula:

$$\Delta h_{l_{CF}} = \Delta h_{r_{CF}} - \sum h_{r_{CF}} \quad (4.19)$$

unde:

- $\Delta h_{r_{CF}}$ - pierderea de sarcină totală pe conducta forțată calculată cu (4.9);
- $\Sigma h_{r_{CF}}$ - suma pierderilor de sarcină locale pe conducta forțată calculată cu relația (4.17).

Porțiunile de la ieșirea din distribuitor până la intrările în carcusele spirale ale turbinelor se iau în calcul numai pentru determinarea căderii nete, deoarece măsurarea nivelului manometric se face în secțiunea amonte vane sferice.

4.2.3. Determinarea coeficienților de rugozitate

4.2.3.1. Determinarea coeficientului de rugozitate al aducțiunii

Pornind de la formula lui Darcy, găsim pentru coeficientul de rezistență λ , formula:

$$\lambda = 12,106 \cdot k \cdot \frac{D^5}{Q^2} \cdot \frac{\Delta H}{L} \quad (4.20)$$

unde:

- λ - coeficientul de rezistență;
- D - diametrul conductei;
- Q - debitul tranzitat de conductă;
- ΔH - pierderea de sarcina liniara pe tronsonul considerat;
- L - lungimea tronsonului considerat.

Coeficientul de rezistență λ , este un număr adimensional care depinde de numărul R_e și de constanta k/D , care caracterizează rugozitatea.

Numărul R_e se determină cu:

$$R_e = \frac{V \cdot D}{\nu} = \frac{4}{\pi \cdot D \cdot \nu} \cdot Q \quad (4.21)$$

unde:

- R_e - numărul lui Reynolds;
- V - viteza medie în secțiune;
- D - diametrul secțiunii;
- ν - coeficientul de vâscozitate cinematică.

Putem considera rugozitatea naturală absolută k a peretelui ca fiind o mărime echivalentă cu o rugozitate tip Nikuradze. Astfel raportul k/D va putea fi definit drept rugozitate relativă tehnică.

Ținând cont de valorile R_e determinate, cuprinse între $6,159 \cdot 10^6$ la funcționarea cu un grup și $9,765 \cdot 10^6$ la funcționarea cu ambele grupuri, și de $\lambda_{\max}=0,01913$, regimul de curgere se situează în zona de tranziție prepătratică.

Pornind de la aceste premize, se va calcula rugozitatea relativă pornind de la formula lui Altschoul (4.22) și de la formula lui Frenkl (4.23).

$$\frac{\varepsilon}{D} = 10^{\left(1 - \frac{1}{1,8} \sqrt{\frac{l}{\lambda}}\right)} - \frac{70}{R_e} \quad (4.22)$$

$$\frac{k}{D} = 3,7 \cdot \left[10^{-\frac{1}{2\sqrt{\lambda}}} - \left(\frac{6,81}{R_e}\right)^{0,9} \right] \quad (4.23)$$

și de asemenea de la formula lui Maning (4.24) pentru punctele cu R_e mare:

$$n = \frac{\left(\frac{D}{4}\right)^{1/6}}{\sqrt{\frac{8 \cdot g}{\lambda}}} \quad (4.24)$$

4.2.3.2. Determinarea coeficientului de rugozitate al conductei forțate

Pentru tronsonul de conductă forțată și lungime de 726 m și cu un diametru Φ 3,60 m cuprins între Casa vanelor și centrala subterană (vane fluture – vane sferice), pentru debite $Q > 5,76 \text{ m}^3/\text{s}$ numărul R_e este mai mare decât valoarea de $2,016 \cdot 10^6$ de la care regimul de curgere devine turbulent rugos [41].

În aceste condiții rugozitatea se va calcula pornind de la formula lui Maning (4.24).

4.2.4. Analiza oscilațiilor în castelul de echilibru

Determinarea nivelului saltului în castelul de echilibru s-a făcut prin măsurarea nivelului manometric în cel mai apropiat punct accesibil, respectiv în amonte de prima vană fluture (la cca. 60 m aval de castel).

Dacă ținem cont de termenul cinetic din această secțiune, putem considera că variațiile nivelului manometric determinate în regimuri tranzitorii urmăresc cu o bună aproximație variațiile nivelului din castel.

Au fost luate în considerare manevre normale, efectuate conform rutinei de exploatare (porniri, încărcări și descărcări de sarcină) și situații excepționale (pornirea simultană a ambelor grupuri și aruncări de sarcină).

4.3. Puncte de măsurare și modul de achiziție a datelor

4.3.1. Mărimi măsurate

Pentru efectuarea încercărilor au fost măsurate direct următoarele marimi:

- Mărimi electrice:
 - Puterea activă la bornele generatorului: P_G
 - Puterea reactivă la bornele generatorului: Q_G

Curentul statoric: I_{st}
 Tensiunea statorică: U_{st}
 Tensiunea de excitație: U_{ex}

- Nivele
 - Nivelul în lac: ∇_{am}
 - Nivelul manometric în castelul de echilibru: ∇_{cast}
 - Nivelul aval: ∇_{aval}
 - Nivelul manometric amonte vana sferică: H_{man}
 - Diferența de presiune pe prizele Winter-Kenedy: Δh
 - Cursa relativă a pistonului servomotorului de acționare a aparatului director: a
- Aceste mărimi au fost măsurate utilizând atât traductoarele și sistemul de monitorizare **HidroSmart** amplasat în centrală cât și aparatura byte.NET. În continuare vor fi prezentate punctele de amplasare ale aparatelor de măsură și schemele de montaj utilizate.

4.3.1.1. Mărimi electrice

Mărimile primare măsurate sunt curenții și tensiunile statorice după transformatoarele reductoare de măsură. Puterea activă și puterea reactivă au fost măsurate prin metoda celor trei wattmetre cu neutrul izolat, pentru fiecare generator în parte, utilizând traductoarele sistemului de monitorizare **HidroSmart**.

Traductoarele de măsurare sunt amplasate în dulapurile PCE H1 pentru hidroagregatul 1 și PCE H2 pentru hidroagregatul 2. În aceste dulapuri sunt disponibile măsurile pentru curenții și tensiunile statorice. Comunicația între traductoare și concentratoarele **FMU-HidroSmart** aferente celor două grupuri se realizează serial, RS485, utilizând protocolul Modbus.

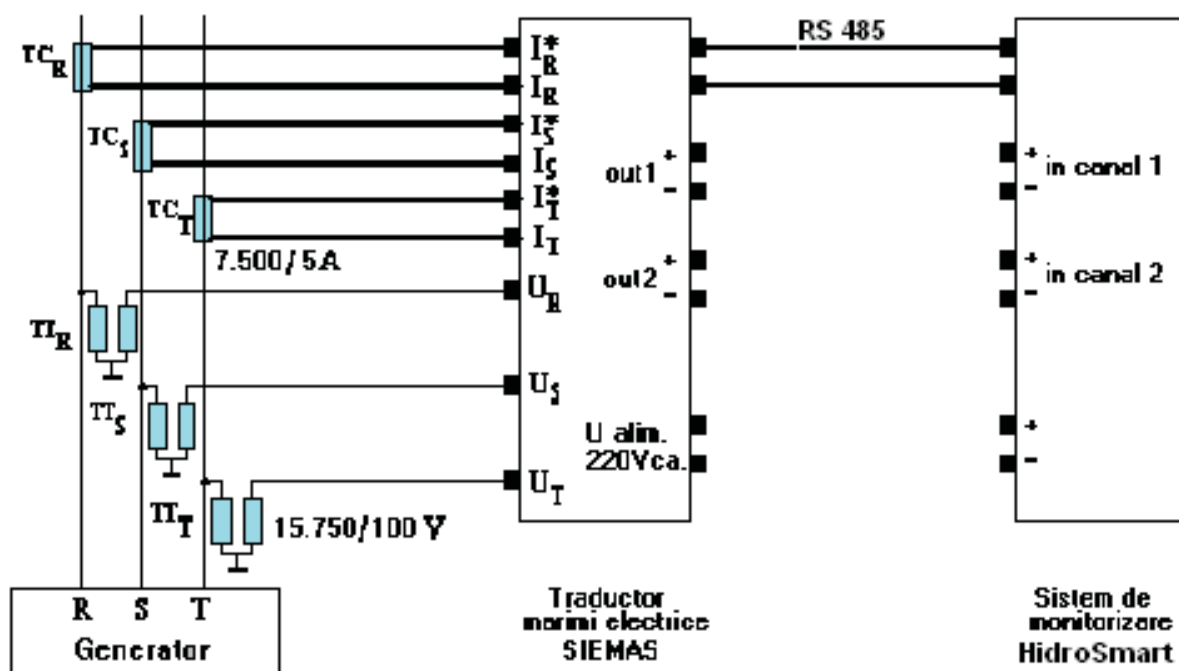


Fig. 4.1 – Schema de măsurare a mărimilor electrice

Traductoarele de măsurare **SIEMENS 7KG** sunt traductoare de precizie, programabile/multicanal pentru măsurarea următoarelor mărimi și cu caracteristicile minimale specificate în Tabelul 4.2:

Tabel 4.2 – Încercări pentru determinarea saltului în castelul de echilibru

Nr	Mărime măsurată	Mărimi de intrare	Mărimi ieșire	Precizie
1	Putere activă	100V/5A (cu reductori)	RS 485	$\leq 0.5 \%$
2	Putere reactivă	100V/5A (cu reductori)		$\leq 0.5 \%$
3	Tensiune	100V (cu reductori)		$\leq 0.2 \%$
4	Curent	5A (cu reductori)		$\leq 0.2 \%$
5	$\cos \varphi$	100V/5A (cu reductori)		$\leq 0.5 \%$
6	Frecvență	100V 45 ÷ 55 Hz		$\leq 5\text{mHz}$

- Tensiune de alimentare: 220 Vac. $\pm 20\%$;
- Putere consumată: max 10 W;
- Temperatură ambiantă: 0 ÷ +45°C;
- Condiții climatice: umiditate max 60%, fără condensare;
- Grad de protecție: IP 40 traductor, IP 20 terminal conectare.

Tensiunea de excitație a fost măsurată cu voltmetrele din panourile de comandă al centralei, de clasă 1,0.

4.3.1.2. Nivele

- **Nivelul în lac**

Mărimea nivelului în lac a fost preluată prin intermediul sistemului SCADA de la instalația telelimnometrică existentă, care utilizează un traductor de nivel Rittmayer amplasat pe o priză a golirii de fund a barajului Gura Apelor. Precizia citirii a fost de ± 10 mm.

- **Nivelul manometric în castelul de echilibru**

A fost măsurat la casa vanelor în amonte de vana fluture auxiliară și la o distanță de cca. 62 m de castelul de echilibru, punct în care există amenajată o priză de presiune statică. Având în vedere această distanță relativ scurtă și dacă nu ținem seama de termenul cinetic în secțiunea de măsurare, se poate considera că nivelul manometric din acest punct reproduce suficient de precis și fidel nivelul din castelul de echilibru.

Pentru măsurare a fost montat un traductor de presiune relativă Sensortech tip CTE 8000 cu domeniul de 20bar și precizia de 0,1%, Fig.4.2.

- **Nivelul manometric la intrarea în turbină**

Deoarece presiunea la intrarea în carcasa spirale nu este accesibilă, s-au măsurat presiunile relative în secțiunile amonte vane sferice la care, pentru calcule se va adăuga diferența de cotă între planul median al turbinei și cota prizei de presiune utilizate (aprox. 26,70m).

Au fost utilizate traductoarele de presiune relativă SIEMENS ale sistemului **HidroSmart** amplasate în dulapurile cu robinetii prizelor de presiune aferente vanelor aflate în sala vanelor sferice, Fig.4.3.

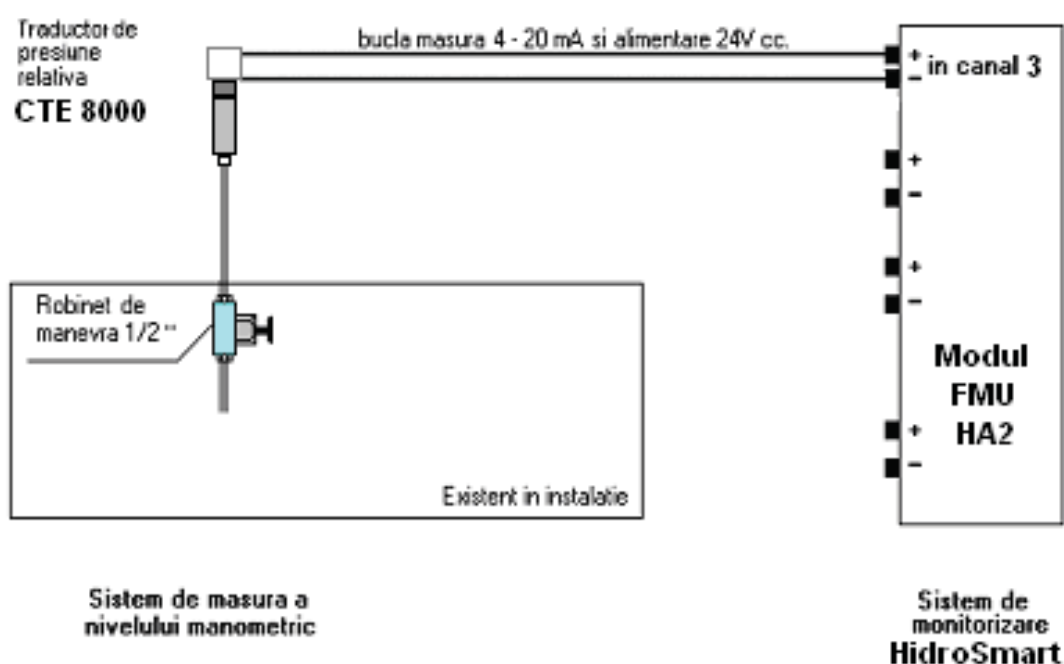


Fig. 4.2 – Schema de măsurare a nivelului în castelul de echilibru

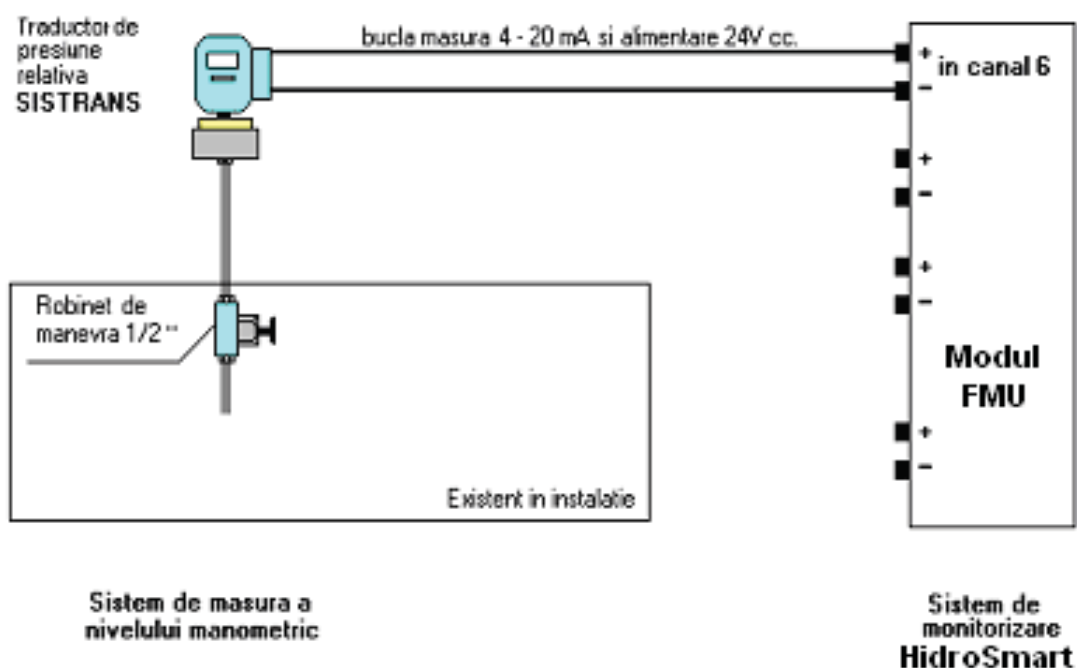


Fig. 4.3 – Schema de măsurare a nivelului manometric la intrarea în turbină

Caracteristicile traductoarelor SIEMENS tip SISTRANS-P sunt:

- Mărimi măsurate: presiune relativă;
- Domeniu de măsură max.: 63 bar;
- Domeniu de măsură reglat: 60 bar;
- Eroare de măsură: $\leq 0,1 \%$;
- Semnal de ieșire: $4 \div 20 \text{ mA}$;
- Tensiune de alimentare : $24\text{V cc.} \pm 20\%$ (telealimentare);

- Temperatură ambientă : $0 \div +45^{\circ}\text{C}$;
- Condiții climatice: umiditate 100%, cu condensare;
- Grad de protecție: IP 65.

- **Nivelul aval**

Nivelul aval a fost măsurat direct, în galeria de fugă, utilizând traductorul de nivel imersat al sistemului **HidroSmart**. Traductorul este montat în puțul limnometric existent, Fig.4.4.

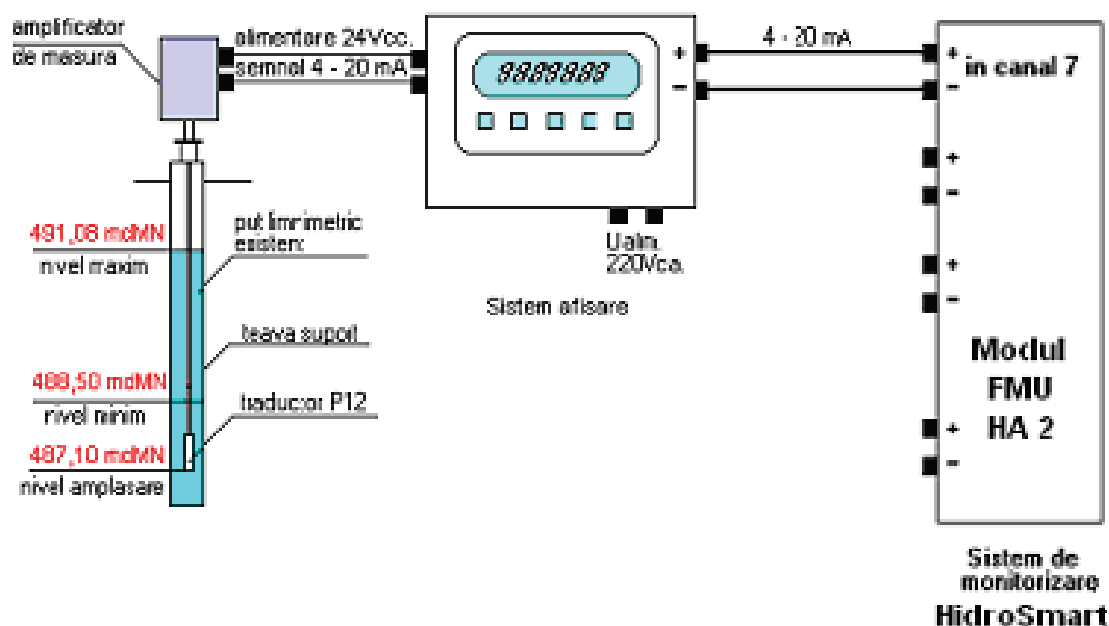


Fig. 4.4 – Schema de măsurare a nivelului aval

Caracteristicile traductorului Hottinger tip P12 sunt:

- Mărime măsurată: presiune relativă (nivel hidrostatic);
- Modul de măsurare: punte inductivă 4,5 KHz;
- Domeniu de măsură max.: 500 mbar (5m);
- Eroare de măsură: $\leq 0,5 \%$;
- Temperatură ambientă : $0 \div +15^{\circ}\text{C}$;
- Condiții de măsură: imersat;
- Grad de protecție: IP 68.

Caracteristicile traductorului Hottinger tip MCA 5201 sunt:

- Eroare de măsurare: $\leq 0,1 \%$;
- Semnal de ieșire: $4 \div 20 \text{ mA}$;
- Tensiune de alimentare : $11 \div 16 \text{ V cc.}$;
- Temperatură ambientă : $-15 \div +45^{\circ}\text{C}$;
- Grad de protecție: IP 65;

4.3.1.3. Diferența de presiune pe prizele Winter-Kenedy

Pentru măsurarea debitului relativ a fost utilizată diferența de presiune prelevată pe câte o pereche de prize Winter-Kennedy de pe carcasa spirale ale turbinelor. Măsurarea a fost făcută cu un traductor de presiune diferențială Hottinger Digibar PD200 de clasă 0,1 și cu domeniul de 2 bar. Citirile au fost făcute direct pe afișajul traductorului.

- Caracteristicile traductorului Hottinger tip Digibar PD200 sunt:
- Mărimi măsurate: presiune diferențială;
 - Domeniu de măsură max.: 2000 mbar;
 - Eroare de măsură: $\leq 0,1 \%$;
 - Tensiune de alimentare : baterie internă 3,6V;
 - Temperatură ambiantă : $0 \div +45^{\circ}\text{C}$;
 - Condiții climatice: umiditate 100%, cu condensare;
 - Grad de protecție: IP 65.

4.3.1.4. Cursa pistonului servomotorului de acționare a aparatului director

A fost măsurată cu o riglă gradată cu precizia de ± 1 mm.

4.3.2. Achiziția datelor

Achiziția datelor a fost realizată preponderent utilizând sistemul de monitorizare HidroSmart din centrală. Echipamentele Smart FMU de la cele două hidroagregate au fost deconectate de la sistemul SCADA și au fost conectate la un calculator portabil, care a rulat o aplicație specială pentru achiziția de date. A fost realizată o bază de date SQL, care a permis prelucrarea ulterioară a datelor utilizând aplicația Microsoft Excel.

Mărimile Δh (diferență de presiune pe prizele Winter-Kennedy), U_{ex} (tensiune de excitație) și a (cursa pistonului servomotorului de acționare a aparatului director) au fost citite și înregistrate manual, de operatori umani.

Ratele de eșantionare utilizate au fost:

- 18 sec. pentru punctele de încercare pentru determinarea parametrilor de funcționare ai hidroagregatelor;
- 3,2 sec. pentru punctele de încercare pentru determinarea variației nivelului în castelul de echilibru.

Pentru punctele de încercare pentru determinarea parametrilor de funcționare ai hidroagregatelor au fost făcute câte 10 înregistrări pentru fiecare punct de măsurare (pe o durată de 180 sec.), care au fost ulterior mediate.

Pentru punctele de încercare pentru determinarea variației nivelului în castelul de echilibru au fost făcute între 800 și 2000 de înregistrări pentru fiecare punct de încercare, în funcție de timpul de amortizare al oscilației în castelul de echilibru.

4.4. Calculul rezultatelor încercărilor

4.4.1. Cote, dimensiuni și constante utilizate

Pentru a putea prelucra și analiza rezultatele măsurătorilor sunt necesare următoarele informații:

- accelerația gravitațională (pt. lat. $45,5^{\circ}$): $9,80628 \text{ m/s}^2$;
- greutatea specifică a apei (la 9°C): $0,9998 \text{ kgf/m}^3$;
- vâscozitatea cinematică a apei (la 9°C): $1,35 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$;
- elevația unor puncte ale amenajării:
 - planșeu sală mașini: 485,50 mdMN;
 - planșeu nivel turbină: 473,30 mdMN;
 - ax conductă casa vanelor: 923,55 mdMN;

- ax vane sferice: 489,88 mdMN
 - ax turbină: 473,20 mdMN
 - lungimile unor tronsoane hidraulice:
 - aducțiune (priză - castel): 18.451,70 m
 - tunel forțat (castel-vane fluture): 76,98 m
 - conductă forțată (vane fluture-distribuator): 726,00 m
 - conductă forțată (distribuator- turbina): 60,00 m
 - diametrele unor tronsoane hidraulice:
 - aducțiune: 4900 mm
 - tunel forțat: 4900 mm
 - conducta forțată: 3600 mm
 - distribuitor: 2200 mm
 - dimensiunile castelului de echilibru:
 - adâncimea puțului: 162,0 m
 - diametrul puțului: 5,9 m
 - lungimea camerei inferioare: 205,0 m
 - diametrul camerei inferioare: 5,9 m
 - adâncimea camerei superioare: 21,0 m
 - diametrul camerei superioare: 14,0...26,0 m
 - cota superioară a puțului: 1.103,50 mdMN
 - cota superioară a camerei superioare: 1.098,00 mdMN
 - cota inferioară a camerei superioare: 1.077,00 mdMN
 - cota superioară a camerei inferioare: 935,20 mdMN
 - cota inferioară a camerei inferioare: 929,30 mdMN
 - cota axului aducțiunii: 923,55 mdMN
 - elevația punctelor de amplasare a traductoarelor:
 - traductor nivel manometric HA1: 487.196 mdMN
 - traductor nivel manometric HA2: 487.148 mdMN
 - traductor nivel aval: 487.031 mdMN
 - traductor nivel Castel echilibru: 925.035 mdMN
 - cota de referință pentru calculul nivelurilor piezometrice și energetice: 0 mdMN
 - cursele servomotoarelor de acționare ale aparatelor directe în poziția închis:
 - HA1: $a_0 = 70$ mm
 - HA2: $a_0 = 30$ mm
 - constantele debitmetrice ale prizelor Winter-Kennedy:
 - HA1: $K_d 1 = 30,3 \text{ m}^{5/2}\text{s}^{-1}$
 - HA2: $K_d 2 = 19,5 \text{ m}^{5/2}\text{s}^{-1}$
- NOTĂ:** Pentru HA 1 a fost utilizată o altă perche de prize decât cea utilizată în mod curent pentru instalațiile debitmetrice, datorită spargerii uneia dintre conductele de racord.
- constantele generatoarelor HVS 490/240-12:
 - Pierderi nominale în FE: 516,000 kW
 - Pierderi nominale în CU: 301,000 kW
 - Pierderi nominale în excitație: 299,000 kW
 - Pierderi nominale mecanice: 496,900 kW

- Pierderi nominale suplimentare: 935,000 kW
- Rezistența rotorică nominală (75°): 0,1329 Ω
- Curentul statoric nominal: 6,820 kA
- Tensiunea statorică nominală: 15,750 kV
- Curentul de excitație nominal: 1.693 A
- Tensiunea de excitație nominală: 255,000 V

4.4.2. Calculul mărimilor electrice

Pentru a se putea determina puterea la cupla turbinei se utilizează relația:

$$P_T = P_G + \Delta P_{Cu} + \Delta P_{Fe} + \Delta P_{ex} + \Delta P_{mec} + \Delta P_{supl} \quad (4.25)$$

Puterea la bornele generatorului a fost măsurată prin metoda celor trei wattmetre (traductor de putere activă SIEMENS). De asemenea au fost măsurate tensiunea și curentul statoric și tensiunea de excitație.

Pe tot parcursul probelor puterea reactivă a fost menținută nulă ($\cos \varphi = 1$).

Pierderile în generator au fost determinate indirect, ținând cont că SR EN 60041 recomandă în cazul încercărilor efectuate asupra turbinei o astfel de procedură, respectiv:

12.1.2.1.2 Determinarea prin calcul a pierderilor în generator în timpul efectuării încercărilor turbinei

Este recomandat să se determine prin calcul diversele pierderi ale generatorului.

Pierderile în fier și cele totale în sarcină (adică suma pierderilor prin efect Joule și a celor suplimentare) sunt transpuse la valorile tensiunii și curentului din timpul încercărilor, admitând că ele variază în raport cu pătratul tensiunii și a curentului.

În sarcină, pierderile în fier sunt în general puțin superioare iar pierderile totale sunt inferioare pierderilor nominale corespunzătoare. La generatoare de mare putere, pierderile în sarcină pot depăși suma pierderilor componente nominale astfel că ele vor trebui măsurate la sarcină maximă.

În cazul determinării pierderilor separate, temperatura în generator este inferioară valorii sale când generatorul este sarcină. Nu sunt necesare, în acest caz corecții de temperatură din următoarele motive. Pierderile prin efectul Joule cresc, iar pierderile suplimentare scad cu creșterea temperaturii. Pierderile în fier și cele prin ventilație se micșorează de asemenea cu creșterea temperaturii. Pentru generatoare sincrone trifazate se admite deci că pierderile totale în sarcină sunt independente de temperatură.

Experiența arată că erorile introduse de ipotezele de mai sus sunt mici, aproximativ ± 2% până la 3%, adică aceleași cu cele dintr-o încercare calorimetrică de categoria A, la sarcină maximă, conform articolului 15 din CEI 34-2A.

Pentru determinarea practică a pierderilor în generator s-au utilizat următoarele formule:

- pentru determinarea pierderilor în fierul statoric:

$$\Delta P_{Fe} = (\Delta P_{Fe})_n \cdot (U_{st} / U_{stn})^2 \quad (4.26)$$

unde:

$(\Delta P_{Fe})_n$ - pierderile nominale în fierul statoric

U_{stn} - tensiunea statorică nominală

U_{st} - tensiunea statorică măsurată

- pentru determinarea pierderilor în înfășurările statorice:

$$\Delta P_{Cu} = (\Delta P_{Cu})_n \cdot (I_{st} / I_{stn})^2 \quad (4.27)$$

unde:

$(\Delta P_{Cu})_n$ - pierderile nominale în înfășurările statorice

I_{stn} - curentul statoric nominal

I_{st} - curentul statoric măsurat

- pentru determinarea pierderilor în excitație:

$$\Delta P_{ex} = U_{ex}^2 / R_{rot} \quad (4.28)$$

unde:

U_{ex} - tensiunea de excitație măsurată

R_{rot} - rezistența înfășurărilor rotorice

- pierderile mecanice sunt constante cu turația și au valoarea $\Delta P_{mec} = 496,900 \text{ kW}$.
- pierderile suplimentare sunt constante cu turația și au valoarea $\Delta P_{supl} = 935,000 \text{ kW}$.

Valorile nominale ale generatorului, care au fost utilizate în calcule, sunt prezentate în paragraful 4.4.1.

În continuare sunt prezentate tabelele sintetice cu pierderile și randamentele generatoarelor calculate conform celor de mai sus.

Tabel 4.3 - Pierderi în generatorul HG 1

Pct.	P_G	ΔP_{Fe}	ΔP_{Cu}	ΔP_{ex}	ΔP_{mec}	ΔP_{supl}	$\Sigma \Delta P$
	MW	kW	kW	kW	kW	kW	kW
1	83,668	480,049	64,331	808,564	496,900	935,000	2784,843
2	87,297	481,255	68,761	808,564	496,900	935,000	2790,480
3	93,144	484,223	79,207	812,715	496,900	935,000	2808,046
4	99,108	480,612	89,377	825,235	496,900	935,000	2827,124
5	102,686	482,200	96,026	821,051	496,900	935,000	2831,177
6	109,860	481,783	110,649	955,689	496,900	935,000	2980,021

Tabel 4.4 – Randamentul generatorului HG 1

Pct.	P_G	Q	F	U_{st}	I_{st}	U_{ex}	I_{ex}	P_{turb}	η_G
	MW	MVA	Hz	kV	kA	V	A	MW	
1	83,668	3,674	49,970	15,191	3,153	78,00	586,907	80,883	0,967
2	87,297	2,100	49,977	15,211	3,260	78,00	586,907	84,507	0,968
3	93,144	1,008	49,989	15,257	3,499	78,20	588,412	90,336	0,970
4	99,108	2,484	49,998	15,200	3,716	78,80	592,927	96,281	0,971
5	102,686	0,865	49,983	15,225	3,852	78,60	591,422	99,854	0,972
6	109,860	-0,585	49,984	15,219	4,135	84,80	638,074	106,879	0,973

Tabel 4.5 – Pierderi în generatorul HG 2

Pct.	P_G	ΔP_{FE}	ΔP_{Cu}	ΔP_{ex}	ΔP_{mec}	ΔP_{supl}	$\Sigma \Delta P$
	MW	kW	kW	kW	kW	kW	kW
7	79,986	484,345	58,722	1366,472	496,900	935,000	3341,440
8	84,767	485,610	65,874	1593,504	496,900	935,000	3576,889
9	91,043	478,407	77,089	1608,090	496,900	935,000	3595,486
10	96,552	481,677	86,073	1667,098	496,900	935,000	3666,748
11	100,533	486,251	92,413	1757,603	496,900	935,000	3768,167
12	106,126	481,160	104,177	1850,500	496,900	935,000	3867,737

Tabel 4.6 – Randamentul generatorului HG 2

Pct.	P_G	Q	F	U_{st}	I_{st}	U_{ex}	I_{ex}	P_{turb}	η_G
	MW	MVA	Hz	kV	kA	V	A	MW	
7	79,986	0,871	49,928	15,259	3,012	101,4	79,986	76,645	0,958
8	84,767	0,865	50,002	15,279	3,191	109,5	84,767	81,190	0,958
9	91,043	0,137	49,984	15,165	3,451	110,0	91,043	87,448	0,961
10	96,552	0,774	49,986	15,217	3,647	112,0	96,552	92,886	0,962
11	100,53	-0,93	50,009	15,289	3,779	115,0	100,53	96,765	0,963
12	106,12	1,047	49,988	15,209	4,012	118,0	106,12	102,259	0,964

4.4.3. Calculul nivelurilor

În ceea ce privește măsurarea nivelurilor nu avem de făcut comentarii suplimentare. Modul de măsurare ca și aparatura utilizată au fost descrise în paragraful 4.3. Trecerea de la valorile relative măsurate la valori absolute (față de nivelul mării) s-a făcut prin adăugarea elevației punctelor de amplasare ale traductoarelor care sunt prezentate în paragraful 4.4.1.

Pentru punctele de încercare pentru determinarea parametrilor de funcționare ai hidroagregatelor au fost calculate nivelurile energetice prin adăugarea termenilor cinetici din secțiuni și scăderea pierderilor de sarcină pe diferite tronsoane.

Pentru punctele de încercare pentru determinarea variației nivelului în castelul de echilibru au fost utilizate nivelurile piezometrice, direct măsurate. Termenii cinetici au fost calculați cu formula:

$$h_c = C \cdot Q^2 \quad (4.29)$$

unde:

- Q este debitul în secțiunea de calcul
- C este coeficientul termenului cinetic calculat cu formula:

$$C = \frac{1}{2 \cdot g \cdot S^2} \quad (4.30)$$

unde:

- g este accelerația gravitațională
- S este aria secțiunii de calcul

Pierderile de sarcină au fost calculate conform celor din paragraful 4.2.

Tabel 4.7 – Constante utilizate pentru calculul nivelurilor și pierderilor de sarcină

Pierderi locale pe aducțiune			Pierderi locale pe conducta forțată			Coeficienti termeni cinetici			Cote de amplasare a traductoarelor		
1	ζ	0,155	1	ζ_{VF}	0,186	1	C_{CASTEL}	0,000143	1	$P_{VS 1}$	487,596
2	ζ_P	0,289	2	ζ_C	0,19	2	C_{VS}	0,000492	2	$P_{VS 2}$	487,148
3	ζ_{VP}	1,49	3	ζ_D	0,1	3	C_{CS}	0,003531	3	∇_{aval}	487,031
4	ζ_{CVF}	0,1059	4	ζ_{VS}	0,02	4	C_{aval}	0,000140	4	∇_{castel}	925,035

Tabel 4.8 – Termeni cinetici și pierderi de sarcină utilizate pentru calculul nivelurilor

P ct	Debit m^3/s	CAST EL	V S	DIST RIB	CS	V S	VS- CS	DISTRIB		AVAL
		hc	hc	hc	hc	Δhr	Δhl	Δhr	Δhl	hc
		m	m	m	m	m	m	m	m	m
1	20,992	0,217	1,556	0,217	1,556	0,031	0,692	0,022	0,485	0,062
2	21,544	0,229	1,639	0,229	1,639	0,033	0,729	0,023	0,511	0,065
3	22,646	0,253	1,811	0,253	1,811	0,036	0,805	0,025	0,564	0,072
4	23,814	0,279	2,002	0,279	2,002	0,040	0,890	0,028	0,624	0,079
5	24,587	0,298	2,134	0,298	2,134	0,043	0,949	0,030	0,665	0,085
6	26,101	0,335	2,405	0,335	2,405	0,048	1,070	0,034	0,749	0,095
13	50,710	1,266	2,405	1,266	2,405	0,048	1,070	0,127	0,749	0,062

Tabel 4.9 – Niveluri energetice absolute de calcul

Pct	∇_{lac}	N_{castel}	$N_{distribuitor}$	$N_{vana\ sferică}$	$N_{carcasa\ spirală}$	N_{aval}
	mdMN	mdMN	mdMN	mdMN	mdMN	mdMN
1	979,421	974,770	974,728	974,221	973,499	487,724
2	979,392	974,415	974,232	973,698	972,937	487,735
3	979,363	973,949	973,833	973,244	972,403	487,734
4	979,337	973,699	972,913	972,261	971,331	487,786
5	979,300	973,407	972,690	971,996	971,004	487,843
6	979,263	972,470	971,500	970,717	969,600	487,919
13	978,430	949,255	942,902	942,026	940,908	
7	979,200	975,588	975,393	974,919	974,243	487,934
8	979,170	974,699	974,028	973,522	972,798	487,789
9	979,140	974,167	973,321	972,765	971,971	487,723
10	979,110	973,392	972,762	972,153	971,284	487,713
11	979,080	973,104	972,179	971,526	970,594	487,714
12	979,044	972,775	971,849	971,128	970,099	487,764

Rezultatele sintetice ale încercărilor privind saltul în castelul de echilibru sunt prezentate în Tabelul 4.10

Tabel 4.10 – Niveluri energetice absolute de calcul

Nr	Manevra	Amplitudinea primei oscilații*		Atenuarea la cea de-a doua oscilație**		Timpul de amortizare totală
		S maxim	S minim	S maxim	S minim	
		m	m	m	m	
1	pornire/încărcare un HA singur	+8,557	-42,811	10,797	17,421	30
2	pornire/încărcare un HA cu celălalt în funcțiune	-9,648	-33,989	6,121	14,438	20
3	pornire/încărcare simultană a ambelor HA	-17,867	-54,166	13,185	17,276	20
4	descărcare/oprire un HA singur	+49,694	-18,896	17,797	8,790	60
5	descărcare/oprire un HA cu celălalt în funcțiune	+52,441	+4,409	20,424	11,557	30
6	aruncare de sarcină un HA singur	+44,363	-13,663	16,016	9,506	60
7	aruncare de sarcină un HA cu celălalt în funcțiune	+50,307	+7,614	21,551	9,506	32

* Față de nivelul absolut stabilizat de pornire

** Față de nivelul saltului la prima oscilație

4.4.4. Calculul pierderilor de sarcină

Pierderile de sarcină au fost determinate prin diferențe între nivelele energetice din diferite puncte ale traiectului hidraulic. Au fost determinate atât pierderi de sarcină totale cât și pierderi de sarcină defalcate pe tronsoane (aducțiune și conducta forțată). Pentru calculul pierderilor de sarcină locale pe aducțiune s-au luat în considerare premisele teoretice prezentate în paragraful 4.2.3.

Tabel 4.11 – Pierderi de sarcină totale

Pct	Debit	Debit ²	Δh_{tot}	$\Delta h_{tot AD}$	$\Delta h_{tot CF}$	Δh_{CF} VF-distrib.	Δh_{CF} distrib- CS
	m ³ /s	(m ³ /s) ²	m	m	m	m	m
1	20,992	440,683	5,922	4,651	1,271	0,042	1,229
2	21,544	464,161	6,455	4,977	1,478	0,183	1,295
3	22,646	512,823	6,961	5,414	1,546	0,116	1,431
4	23,814	567,100	8,006	5,637	2,368	0,786	1,582
5	24,587	604,533	8,296	5,893	2,403	0,717	1,686
6	26,101	681,269	9,664	6,793	2,871	0,970	1,901
13	50,710	2571,50	37,522	29,175	8,347	6,353	1,994

Tabel 4.12 – Pierderi de sarcină locale pe aducțiune

Pct	Debit	Grătar		Priză		Vană plană		JoncțiuneCV F		Σhr_{AD}
		v	hr	v	hr	v	hr	v	hr	
		m/s	mx10 ⁻⁴	m/s	m	m/s	m	m/s	m	
1	20,992	0,042	0,14	1,113	0,018	1,334	0,135	2,062	0,023	0,176
2	21,544	0,043	0,15	1,142	0,019	1,369	0,142	2,117	0,024	0,186
3	22,646	0,045	0,16	1,201	0,021	1,439	0,157	2,225	0,027	0,205
4	23,814	0,048	0,18	1,263	0,023	1,513	0,174	2,340	0,030	0,227
5	24,587	0,049	0,19	1,304	0,025	1,563	0,185	2,416	0,031	0,242
6	26,101	0,052	0,22	1,384	0,028	1,659	0,209	2,564	0,035	0,273
13	50,710	0,101	0,81	2,689	0,107	3,223	0,789	4,982	0,134	1,029

Tabel 4.13 – Pierderi de sarcină locale pe conducta forțată

Pct	Debit	Vana fluture		Cot CVF		Distribuitor		Vana sferică		Σhr_{CF}
		v	hr	v	hr	v	hr	v	hr	
		m/s	m	m/s	m	m/s	m	m/s	m	
1	20,992	2,062	0,040323	2,062	0,041	2,062	0,022	5,522	0,031	0,082
2	21,544	2,117	0,042471	2,117	0,043	2,117	0,023	5,668	0,033	0,086
3	22,646	2,225	0,046924	2,225	0,048	2,225	0,025	5,957	0,036	0,095
4	23,814	2,340	0,051890	2,340	0,053	2,340	0,028	6,265	0,040	0,105
5	24,587	2,416	0,055315	2,416	0,057	2,416	0,030	6,468	0,043	0,112
6	26,101	2,564	0,062337	2,564	0,064	2,564	0,034	6,866	0,048	0,126
13	50,710	4,982	0,235294	4,982	0,240	4,982	0,127	6,866	0,048	0,476

Tabel 4.14 – Pierderi de sarcină liniare pe aducțiune

Pct	Debit	$\Delta h_{\text{tot AD}}$	Σhr_{AD}	Δhl_{AD}
	m^3/s	m	m	m
1	20,992	4,651	0,176	4,474
2	21,544	4,977	0,186	4,791
3	22,646	5,414	0,205	5,209
4	23,814	5,637	0,227	5,410
5	24,587	5,893	0,242	5,651
6	26,101	6,793	0,273	6,520
13	50,710	29,175	1,029	28,146

Tabel 4.15 – Pierderi de sarcină liniare pe conducta forțată

Pct	Debit	$\Delta h_{\text{tot CF}}$	Σhr_{CF}	Δhl_{CF}
	m^3/s	m	m	m
1	20,992	1,271	0,082	1,190
2	21,544	1,478	0,086	1,392
3	22,646	1,546	0,095	1,452
4	23,814	2,368	0,105	2,263
5	24,587	2,403	0,112	2,292
6	26,101	2,871	0,126	2,745
13	50,710	8,347	0,476	7,871

4.4.5. Calculul coeficienților de rugozitate

Pe baza pierderilor de sarcină determinate s-au putut calcula coeficienții de rugozitate globali pentru aducțiune și pentru conducta forțată (între vana fluture și vana sferică), utilizând formulele și considerentele teoretice din paragraful 4.2.

Tabel 4.16 – Coeficientul de rugozitate pentru aducțiune

Pct	Debit	Δhl_{AD}	λ	Re	ε/d	k/d	n
	m^3/s	m					
1	20,992	4,474	0,01882	$4,043 \times 10^6$	0,00087	0,00081	
2	21,544	4,791	0,01913	$4,149 \times 10^6$	0,00095	0,00087	
3	22,646	5,209	0,01882	$4,361 \times 10^6$	0,00088	0,00082	
4	23,814	5,410	0,01768	$4,586 \times 10^6$	0,00065	0,00062	
5	24,587	5,651	0,01732	$4,735 \times 10^6$	0,00059	0,00057	
6	26,101	6,520	0,01774	$5,026 \times 10^6$	0,00066	0,00063	
13	50,710	28,146	0,02028	$9,765 \times 10^6$			0,01727
Medie					0,00077	0,00072	0,01727
ε (mm)					3,7		
k (mm)						3,5	

Tabel 4.17 – Coeficientul de rugozitate pentru conducta forțată

Pct	Debit	Δh_{CF}	λ	Re	n
	m^3/s	m			
1	20,992	1,190	0,00884	$5,502 \times 10^6$	0,01083
2	21,544	1,392	0,00881	$5,647 \times 10^6$	0,01081
3	22,646	1,452	0,00875	$5,936 \times 10^6$	0,01077
4	23,814	2,263	0,00868	$6,242 \times 10^6$	0,01073
5	24,587	2,292	0,00864	$6,445 \times 10^6$	0,01071
6	26,101	2,745	0,00857	$6,842 \times 10^6$	0,01066
13	50,710	7,871	0,00780	$13,29 \times 10^6$	0,01017
Medie					0,0108

4.4.6. Calculul rezultatelor măsurării caracteristicilor hidroagregatelor

Nivelul mediu în lac la încercările pentru determinarea caracteristicilor hidroagregatelor a fost:

- pentru HA1: $\nabla_{lac} = 979,342$ mdMN
- pentru HA2: $\nabla_{lac} = 979,121$ mdMN

Valorile parametrilor de funcționare ai hidroagregatelor au fost transpuși pentru căderea netă de calcul $H_{net\ calcul} = 483,500$ m

Tabel 4.18 – Parametri caracteristici HA1 (căderea netă de calcul 483,500 m)

Pct	H_{net}	Δh	Q	Q_{calcul}	a	P_G	P_T	$P_{G\ calcul}$	$P_{T\ calcul}$	η_G	η_T	η_{HA}
	m	m	m^3/s	m^3/s	mm	MW	MW	MW	MW			
1	485,774	0,480	20,99	20,94	155	83,668	80,883	83,08	80,32	0,967	0,809	0,782
2	485,202	0,506	21,54	21,51	160	87,297	84,507	86,84	84,06	0,968	0,825	0,798
3	484,668	0,559	22,65	22,62	168	93,144	90,336	92,81	90,01	0,970	0,840	0,814
4	483,545	0,618	23,81	23,81	176	99,108	96,281	99,09	96,27	0,971	0,853	0,829
5	483,161	0,658	24,59	24,60	181	102,686	99,854	102,79	99,96	0,972	0,857	0,834
6	481,681	0,742	26,10	26,15	190	109,860	106,879	110,48	107,49	0,973	0,867	0,844

Tabel 4.19 – Parametri caracteristici HA2 (căderea netă de calcul 483,500 m)

Pct	H_{net}	Δh	Q	Q_{calcul}	a	P_G	P_T	$P_{G\ calcul}$	$P_{T\ calcul}$	η_G	η_T	η_{HA}
	m	m	m^3/s	m^3/s	mm	MW	MW	MW	MW			
7	486,309	1,085	20,31	20,25	181	79,986	76,645	79,29	75,98	0,958	0,791	0,758
8	485,009	1,158	20,98	20,95	190	84,767	81,190	84,37	80,81	0,958	0,814	0,779
9	484,248	1,268	21,96	21,94	200	91,043	87,448	90,83	87,25	0,961	0,839	0,806
10	483,571	1,385	22,95	22,95	208	96,552	92,886	96,53	92,87	0,962	0,854	0,821
11	482,880	1,484	23,75	23,77	214	100,533	96,765	100,73	96,95	0,963	0,860	0,828
12	482,334	1,634	24,93	24,96	220	106,126	102,259	106,51	102,63	0,964	0,868	0,836

Rezultatele finale ale încercărilor după analiza și prelucrarea complexa a datelor inițiale, sub formă de corelații grafice sunt prezentate în Anexele 1-18.

4.5. Evaluarea erorilor

Valorile prezentate în continuare pot servi pentru o estimare preliminară a erorilor sistematice (luând în considerare un nivel de incertitudine de 95 %). Ele se datorează metodei de măsurare și au fost determinate atât printr-o estimare analitică a erorilor probabile cât și prin analiza rezultatelor unui număr de teste comparative, utilizând diverse metode de măsurare:

1. Debit (sondă în conductă închisă): $\pm 1,5 \dots \pm 2,5$ %
2. Debit (prize Winter – Kenedy): $\pm 1,5 \dots \pm 2,0$ %
3. Nivel (traductor imersat): $\pm (2 \dots 6) \times 10^{-3} \times Z_{\max}$
4. Presiuni (traductor): $\pm (2 \dots 6) \times 10^{-3} \times p_{\max}$
5. Putere la bornele generatorului : $\pm 0,5 \dots \pm 1,0$ %

4.5.1. Valorile erorilor sistematice pentru mărimile direct măsurate

- **Mărimi electrice: Puterea activă și puterea reactivă**

Erorile sistematice care afectează măsurarea puterilor sunt:

- eroarea datorată reductorilor de curent și tensiune: $\pm 0,5\%$
- eroarea traductorului de măsură: $\pm 0,5$ %

În aceste condiții eroarea sistematică care afectează măsurarea puterii active și a celei reactive este $\varepsilon_p = \pm 0,71$ %

- **Nivelul amonte**

Erorile sistematice care afectează măsurarea nivelului amonte pentru centralele de înaltă cădere, care utilizează traductoare performante, sunt:

- eroarea traductorului de măsură: $\pm 0,05$ %
- eroarea de conversie a sistemului de monitorizare: $\pm 0,025$ %

În aceste condiții eroarea sistematică care afectează măsurarea nivelului amonte este $\varepsilon_{\text{amonte}} = \pm 0,056$ %

- **Nivelul manometric și nivelul aval**

Erorile sistematice care afectează măsurarea nivelului manometric și a celui aval sunt:

- eroarea traductorului de măsură: $\pm 0,1$ %
- eroarea de conversie a sistemului de monitorizare: $\pm 0,025$ %

În aceste condiții eroarea sistematică care afectează măsurarea nivelului manometric și a celui aval este $\varepsilon_{\text{aval}} = \pm 0,1$ %

4.5.2. Valorile erorilor sistematice pentru mărimile calculate

- **Căderea netă** este calculată ca diferență între energia hidraulică specifică la intrarea în turbină și cea de la ieșire. Ea este determinată prin măsurarea nivelului manometric la intrarea în turbină și a termenului cinetic în această secțiune și a nivelului aval și a termenului cinetic corespunzător. Erorile aferente sunt:

- Nivelul manometric la intrarea în camera spirală: $\varepsilon_{\text{hman}} = \pm 0,1$ %
- Nivelul aval: $\varepsilon_{\text{aval}} = \pm 0,1$ %
- Termenii cinetici se calculează pornind de la valoarea debitului turbinat și sunt afectați de eroarea de determinare a acestuia. Putem aprecia o eroare de

determinare a termenilor cinetici de 1,7 %. ținând cont că aceștia reprezintă cel mult 10 % din căderea netă, ei vor afecta valoarea acesteia cu cel mult 0,17 %.

În aceste condiții eroarea totală care afectează căderea netă este de $\varepsilon_{Hnetl} = \pm 0,22 \%$.

- **Pierderi de sarcină:** În cazul centralelor de înaltă cădere, unde se utilizează pentru măsurarea nivelului amonte traductoare de precizie ridicată, eroarea asupra pierderilor de sarcină este $\varepsilon_{\Delta hr} = \pm 0,25 \%$
- **Debit turbinat:** Erorile sistematice care afectează măsurarea debitului turbinat pe grup sunt:
 - eroarea de determinare și de neliniaritate pe domeniul de măsurare a constantei debitmetrice a sondei debitmetrice sau a prizelor Winter-Kenedy: $\pm 1,7 \%$
 - eroarea datorată utilizării exponentului 0,5 : $\pm 0,5 \%$
 - eroarea traductorului de măsură: $\pm 0,1 \%$
 - eroarea de conversie a sistemului de monitorizare : $\pm 0,025 \%$

În aceste condiții eroarea sistematică care afectează măsurarea debitului turbinat pe grup este $\varepsilon_{Q gr} = \pm 1,78 \%$.

Notă: Este de presupus că la debite mici (până la 10% din valoarea debitului maxim) erorile sistematice vor fi mai mari datorită comportării neliniare a dispozitivelor de măsurare diferențiale.

- **Randament:** Valoarea randamentului este afectată de erorile sistematice ale căderii nete, debitului și puterii active. Eroarea totală asupra randamentului hidroagregatului se poate determina pornind de la erorile parțiale, ca rădăcina pătrată din suma pătratelor acestora:

$$\varepsilon_{\eta} = \pm \sqrt{\varepsilon_P^2 + \varepsilon_Q^2 + \varepsilon_H^2} \quad (4.31)$$

Din compunerea acestor erori care au fost estimate mai sus, rezultă pentru eroarea sistematică a randamentului o valoare: $\varepsilon_{rand} = \pm 1,23 \%$.

4.6. Aplicație

Pentru o mai bună observare a fenomenelor ce se produc, precum și pentru o mai ușoară comparație cu diagramele SCADA, am realizat un program Delphi care simulează diferite regimuri de funcționare ale hidroagregatelor din CHE Retezat în diverse scenarii de pornire-oprire, simulând astfel regimul tranzitoriu a oscilațiilor amortizate din castelul de echilibru și oscilațiile în imediata vecinătate a aparatului director, amonte de vana sferică. Menționăm faptul că pe grafic am atașat și această variație de presiune (amonte vana sferică), presiune pe care o traducem în nivel pe suprafața liberă a apei din castelul de echilibru, deoarece în sistemul SCADA, traductorul de presiune este montat amonte de vana sferică, iar nivelul citit din această presiune în nivelul apei în castelul de echilibru nu reflectă pierderile pe conducta forțată. Astfel având și această mărime calculată și trasată grafic putem compara rezultatele obținute prin calcule cu valorile obținute din măsurarea directă a fenomenului.

Diagramele obținute atât din sistemul SCADA cât și din programul de simulare propus de autor, pentru șapte manevre, sunt prezentate în Anexele 1-7. În Tabelul 4.20 se prezintă comparativ rezultatele obținute la efectuarea a patru dintre cele șapte manevre, celelalte trei (Anexele 5-7) nefiind realizate practic deoarece sunt manevre periculoase pentru funcționarea centralei.

Tabel 4.20 – Rezultate comparative obținute prin simulare, respectiv măsurători.

Manevra		Amplitudinea primei oscilații		Timpul de amortizare totală totală
		S maxim	S minim	
		m	m	
Pornire un singur hidroagregat	Înregistrare SCADA	+8	-31	18
	Simulare program	+5	-46	10
Oprire un hidroagregat, celălalt oprit	Înregistrare SCADA	+45,3	-14,6	45
	Simulare program	+ 49	-16	≈ 30
Pornire un hidroagregat, cu celălalt pornit	Înregistrare SCADA	-	-39,6	9
	Simulare program	-	-38	5
Oprire un hidroagregat, cu celălalt pornit	Înregistrare SCADA	+51,9	-	20
	Simulare program	+50	-	8

Din analiza graficelor obținute din simulare și prin înregistrare directă (Anexele 1-4) se poate observa faptul că valorile obținute sunt apropiate, excepție făcând timpul de amortizare totală (cel din simulare este mai mic decât cel din înregistrări). Celelalte diferențe de amplitudine a saltului sunt explicate astfel:

- înregistrările diferitelor regimuri de funcționare a hidroagregatelor (reale) au fost făcute la cote în lacul de acumulare, diferite de la caz la caz, iar programul de calcul este realizat pentru o singura cadere (cota 983 m față de nivelul mării);

- regulatorul de presiune (ventilul sincron) funcționează diferit de la un hidroagregat la altul în cazul CHE Retezat (după spusele personalului de exploatare); de asemenea el nu a putut fi modelat matematic suficient de bine, deoarece deschiderea lui este blocată de o presiune de ulei variabilă și ea.

Mărimea pierderilor de sarcină este normală pentru configurația amenajării, pierderile totale, la funcționarea cu ambele hidroagregate, reprezentând cca. 7,7 % din cădere.

Pierderea totală de sarcină pe traseul lac-turbină la funcționarea cu cele două hidroagregate la puterea maximă de exploatare (100 MW) este de 37,522 m la un debit turbinat de 50,71 m³/s

În aceleași condiții, pierderea totală de sarcină pe aducțiune este de 29,175 m, iar pierderea totală de sarcină pe conducta forțată este de 8,347 m (respectiv 6,353 pe porțiunea castel echilibru-distribuitor și 1,994 m pe porțiunea distribuitor-turbină).

În condițiile funcționării cu câte un singur grup, la puterea maximă de exploatare (100 MW), pierderile de sarcină reprezintă numai 2 % din cădere și sunt:

Pierderea totală de sarcină pe traseul lac-turbină este de 9,664 m la un debit turbinat de 26,10m³/s.

Pierderea totală de sarcină pe aducțiune este de 6,793 m, iar pierderea totală de sarcină pe conducta forțată este de 2,871 m (respectiv 0,970 pe porțiunea castel echilibru-distribuitor și 1,901 m pe porțiunea distribuitor-turbină).

Din cele de mai sus rezultă că pentru același nivel în lac, o turbină funcționând singură la puterea maximă de exploatare (100 MW), lucrează la o cădere cu 27,86 m mai mare decât atunci când ar funcționa ambele grupuri la aceeași putere. Aceasta are ca rezultat funcționarea pe o altă caracteristică de exploatare și cu un randament mult mai bun (cu cca. 2% mai mare).

4.7. Concluzii și contribuții personale.

În cadrul acestui capitol au fost prezentate și analizate rezultatele unui raport de încercări asupra stabilirii regimurilor de funcționare ale Centralei Hidroelectrice Râul Mare Retezat în funcție de valorile saltului hidraulic în castelul de echilibru la cote mici de exploatare ale acumulării Gura Apelor.

Principalele concluzii ale acestui capitol pot fi grupate astfel:

- asupra parametrilor reali de funcționare ai hidroagregatelor:
 - Datorită regimului de funcționare al centralei, la puteri de cca. 57% din puterea nominală, curbele de randament au fost determinate pe un domeniu restrâns de puteri, nepermițând să fie determinată zona de randament maxim;
 - Ambele turbine nu își realizează randamentul garantat la căderea netă de calcul de 483,500 m, acesta fiind mai mic cu cca. 3,2 procente pentru turbina 1 la P=100 MW și 2,6 procente pentru turbina 2 la P=100 MW (Anexele 8, 9, 10);
 - Turbina nr.1 realizează randamentul de 0,867 la puterea la bornele generatorului de 109,86 MW la căderea netă de calcul de 483,500 m (Anexa 9);
 - Turbina nr.2 realizează randamentul de 0,868 la puterea la bornele generatorului de 106,126 MW la căderea netă de calcul de 483,500 m (Anexa 10);
 - Hidroagregatul nr.1 realizează randamentul de 0,844 la puterea la bornele generatorului de 109,86 MW la căderea netă de calcul de 483,500 m (Anexa.11);
 - Hidroagregatul nr.2 realizează randamentul de 0,836 la puterea la bornele generatorului de 109,86 MW la căderea netă de calcul de 483,500 m (Anexa.12);
 - Anexele 13 și 14 prezintă caracteristicile de consum QC(PGC) pentru fiecare hidroagregat la căderea netă de calcul de 483,500 m, iar Anexele 15 și 16 caracteristicile de admisie QC(a) și de reglare PGC(a) de asemenea pentru fiecare grup la căderea netă de calcul de 483,500 m. Aceste caracteristici se pot dovedi utile în exploatare.

- asupra pierderilor de sarcină:
 - Mărimea pierderilor de sarcină este normală pentru configurația amenajării, pierderile totale, la funcționarea cu ambele hidroagregate, reprezentând cca. 7,7 % din cădere.
 - Pierderea totală de sarcină pe traseul lac-turbină la funcționarea cu cele două hidroagregate la puterea maximă de exploatare (100 MW) este de 37,522 m la un debit turbinat de $50,71\text{m}^3/\text{s}$ (Anexele 17 și 18).
 - În aceleași condiții, pierderea totală de sarcină pe aducțiune este de 29,175 m, iar pierderea totală de sarcină pe conducta forțată este de 8,347 m (respectiv 6,353 pe porțiunea castel echilibru-distribuitoare și 1,994 m pe porțiunea distribuitor-turbină).
 - În condițiile funcționării cu câte un singur grup, la puterea maximă de exploatare (100 MW), pierderile de sarcină reprezintă numai 2 % din cădere și sunt:
 - Pierderea totală de sarcină pe traseul lac-turbină este de 9,664 m la un debit turbinat de $26,10\text{m}^3/\text{s}$.
 - Pierderea totală de sarcină pe aducțiune este de 6,793 m, iar pierderea totală de sarcină pe conducta forțată este de 2,871 m (respectiv 0,970 pe porțiunea castel echilibru-distribuitoare și 1,901 m pe porțiunea distribuitor-turbină).
 - Din cele de mai sus rezultă că pentru același nivel în lac, o turbină funcționând singură la puterea maximă de exploatare (100 MW), lucrează la o cădere cu 27,86 m mai mare decât atunci când ar funcționa ambele grupuri la aceeași putere. Aceasta are ca rezultat funcționarea pe o altă caracteristică de exploatare și cu un randament mult mai bun (cu cca. 2% mai mare).
- asupra rugozității aducțiunii și a conductei forțate:
 - Coeficientul de rugozitate medie absolută echivalentă, determinat pentru aducțiune este: $\varepsilon_{\text{med}} = 3,6 \text{ mm}$; ($n = 0,017$)
 - Privit ca o valoare medie în secțiune și în lungul conductei, acest coeficient are o valoare acceptabilă; este însă posibil ca rugozitatea să nu fie uniformă și să existe zone cu o rugozitate mai mare decât media.
 - Coeficientul de rugozitate, determinat pentru conducta forțată (pe tronsonul vană sferică-distribuitoare) este: $n = 0,0108$.
- asupra nivelului saltului în castelul de echilibru:
 - Nivelul absolut minim de 927,35 mdMN, (în camera inferioară), respectiv un salt de -54,166 m a fost înregistrat pentru manevra de pornire /încărcare simultană la 100 MW a celor două hidroagregate (Anexa 25).
 - Nivelul absolut maxim de 1018,68 mdMN, respectiv un salt de +49,694 m a fost înregistrat pentru manevra de descărcare/oprire a unui hidroagregat cu celălalt oprit (Anexa 21).
 - Saltul maxim de +52,441 m, respectiv nivelul absolut de 1001,32 mdMN a fost înregistrat pentru manevra de descărcare/oprire a unui hidroagregat cu celălalt aflat în funcțiune la $P = 100 \text{ MW}$ (Anexa 22).

- Atenuarea oscilațiilor este foarte rapidă (2-4 perioade) la manevrele efectuate cu un hidroagregat când celălalt este în funcțiune la $P=100\text{MW}$.
- Timpii de amortizare totală a oscilațiilor variază între cca.60 min. la manevrele efectuate cu un singur hidroagregat și cca.30 min. la manevrele efectuate cu un hidroagregat când celălalt este în funcțiune la $P = 100 \text{ MW}$.
- În niciuna dintre manevrele (normale: 1,2,4,5, posibile: 6,7 sau anormale:3 din Tabelul 4.10) saltul minim nu a depășit nivelul situat în camera inferioară. Cu toate acestea, se poate imagina o manevră accidentală în care hidroagregatele să fie pornite și încărcate defazat cu 0÷340 sec. caz în care saltul minim produs de primul HA se va suprapune peste saltul minim produs de cel de al doilea HA, caz în care amplitudinea saltului minim rezultat va depăși nivelul camerei inferioare.

În continuare se prezintă o sinteză privind contribuțiile personale din cadrul acestui capitol:

- identificarea mărimilor, parametrilor și a elementelor esențiale necesare studiului;
- elaborarea planului de lucru pentru efectuarea manevrelor și măsurătorilor propuse;
- alegerea, configurarea și utilizarea aparaturii de măsură necesare;
- concepția unui program de simulare a saltului nivelului apei în castelul de echilibru;
- efectuarea de simulări pentru diverse manevre de pornire/oprire a celor două hidroagregate;
- analiza comparativă a rezultatelor simulărilor efectuate cu rezultate ale înregistrărilor obținute din sistemul SCADA;
- coordonarea directă a efectuării manevrelor și măsurătorilor precum și analiza rezultatelor care a condus la formularea unor recomandări:
 - 1) este mai eficient și mai economic ca energia necesar a fi produsă să fie realizată prin funcționarea o perioadă mai îndelungată cu un singur grup și nu prin funcționarea pe perioade mai scurte cu ambele grupuri;
 - 2) este recomandabil să nu se pornească simultan ambele grupuri. În cazul în care este necesară pornirea ambelor grupuri, grupul al doilea se va porni decalat cu un multiplu de 8,5 min sau după o perioadă de cel puțin 22 de min față de primul.

5. ANALIZA STABILITĂȚII GENERATOARELOR SINCRONE AFLATE ÎN EXPLOATARE LA CENTRALA HIDROELECTRICĂ RETEZAT

În cadrul capitolului se prezintă analiza stabilității generatorului sincron pe durata a două evenimente ce au avut loc pe linia electrică de evacuare a puterii din centrală. Este vorba despre un scurt circuit bifazat și respectiv o descărcare atmosferică. Sunt analizate variațiile valorilor tensiunilor și curenților pe cele trei faze atât ca modul cât și ca unghi pe durata celor două evenimente. Astfel de studii au fost făcute și la nivel internațional, în literatura de specialitate fiind prezentate o serie de studii de caz, unele dintre ele foarte asemănătoare cu cel prezentat în acest capitol. Astfel, în [16] se prezintă impactul regimurilor hidraulice tranzitorii asupra stabilității dinamice a sistemului electroenergetic. Practic este analizată comportarea unei centrale cu patru turbine Francis la un scurtcircuit pe linia de evacuare a puterii de 330 kV. În [33] se prezintă chiar simulări privind insularizarea grupurilor unei centrale hidroelectrice.

5.1. Considerații generale.

Analiza stabilității tranzitorii constă în studiul comportării în timp a sistemului electric la apariția unor perturbații bruște, rezultate prin declanșarea unor generatoare sau linii electrice, variații mari ale sarcinii consumatorilor, precum și din apariția unor defecte.

Comportarea sistemului electroenergetic este descrisă de modelul hibrid (EAD) format din ecuațiile algebrice (A), care modelează funcționarea rețelei electrice, respectiv din ecuațiile diferențiale neliniare (D), care modelează funcționarea generatorului sincron și/sau consumatorii:

$$\begin{cases} \dot{\bar{x}} = f(x, y, \mu) = D(x, y, \mu) \\ 0 = g(x, y, \mu) = A(x, y, \mu) \end{cases} \quad (5.1)$$

unde x , y sunt variabile de stare care vor fi particularizate în continuare, iar μ vectorul parametrilor.

Rezolvarea sistemului de ecuații diferențiale neliniare se efectuează prin metode de integrare pas cu pas. Regimul tranzitoriu este descompus într-o succesiune de regimuri instantanee separate prin intervale de timp suficient de mici pentru ca variația unor mărimi pe intervalul unui pas să poată fi caracterizată prin valoarea derivatei lor.

În acest sens în sistemul de ecuații EAD mărimile electrice se împart în două categorii [55]:

- **Inerțiale sau cu variație lentă** – vectorul variabilelor inerțiale $[x]$ – care

sunt mărimi legate de fluxurile înfășurărilor rotorice ce intervin în procesul tranzitoriu. Aceste mărimi se caracterizează prin faptul că își păstrează constantă valoarea în primul moment al apariției perturbației (principiul constanței fluxurilor). În procesul de calcul la începutul fiecărui pas mărimile inerțiale sunt egale cu valorile de la sfârșitul pasului precedent, variația lor pe parcursul unui pas fiind descrisă de sistemul de ecuații diferențiale. În studiul stabilității tranzitorii apar următoarele mărimi inerțiale: fluxurile inductoare, t.e.m. proporționale cu aceste fluxuri, unghiul rotoric δ , cuplul motor etc.

• **Mărimi neinerțiale sau cu variație rapidă** – vectorul variabilelor neinerțiale $[y]$ – sunt mărimi legate de rețeaua electrică, care la apariția unei perturbații variază brusc, în salturi; de exemplu, în cazul unui scurtcircuit trifazat cu punere la pământ într-un nod până la momentul $t = 0$ de apariție a defectului, $U = U_0$, iar apoi, pentru $t > 0$, $U = 0$. În procesul de calcul aceste mărimi se păstrează constante pe intervalul unui pas, dar variază de la un pas la altul. Mărimile neinerțiale sunt: curenții, tensiunile și puterile debitate la bornele generatoarelor.

Pentru variabilele neinerțiale se vor studia condițiile de existență a soluțiilor de regim permanent, iar pentru variabilele inerțiale condițiile de stabilitate a soluțiilor de regim permanent. Regimul permanent sinusoidal se calculează ca o soluție (x_0, y_0) a ecuației algebrice (A) și se verifică cu ajutorul ecuației diferențiale neliniare (D). Stabilitatea soluțiilor ecuației algebrice (A) este determinată de stabilitatea variabilelor inerțiale (D); regimul permanent este stabil dacă elementele dinamice ale sistemului sunt în echilibru stabil. Regimurile tranzitorii care interesează în proiectarea și exploatarea sistemelor electroenergetice sunt regimurile de tranziție între două stări de echilibru ale elementelor dinamice. Se spune că "tranziția este stabilă" dacă regimul tranzitoriu sfârșește într-un regim permanent stabil.

Astfel, în analiza stabilității tranzitorii se consideră trei faze distincte: anterioară perturbației sau regimul permanent inițial, pe durata perturbației și post-perturbație sau regim permanent final.

Pe durata perturbației, tranziția de la o stare de echilibru la altă stare de echilibru a unui SEE poate fi un proces normal, de exploatare sau poate fi un eveniment accidental provocat de cauze externe (de exemplu, apariția unui scurtcircuit pe o linie electrică de transport, urmată de declanșarea nesimultană a liniei la cele două capete și eventual de reanclanșarea automată sau manuală a acesteia).

În vederea evaluării stabilității tranzitorii, unul din cei mai utilizați indicatori este *timpul critic de deconectare*, definit ca intervalul maxim de timp între momentul apariției perturbației și momentul izolării porțiunii avariate, astfel încât sistemul electric să-și păstreze capacitatea de a reveni la un regim permanent post-perturbație (după eliminarea defectului). Se precizează că durata de deconectare cuprinde timpul de acționare a protecției și întreruptoarelor implicate, precum și, dacă este cazul, timpul necesar transmiterii semnalului de protecție la celălalt capăt al liniei electrice care a fost sediul perturbației.

În practica mondială, metoda generală cea mai utilizată pentru evaluarea stabilității tranzitorii este cea *temporală*, de simulare a variației în timp a variabilelor inerțiale și neinerțiale, ca urmare a apariției unei perturbații mari.

Informațiile cele mai relevante privind stabilitatea/instabilitatea tranzitorie se obțin prin examinarea *curbelor de oscilație* – care reprezintă evoluția în timp a unghiurilor relative ale rotoarelor mașinilor sincrone. Se disting trei situații caracteristice:

(i) **cazul stabil**, în care unghiul rotor, după câteva oscilații amortizate, capătă o valoare constantă corespunzătoare regimului permanent post-avarie;

(ii) **cazul instabil**, la prima oscilație, în care unghiul rotor crește continuu în timp;

(iii) **cazul** în care generatorul este **stabil după prima oscilație**, dar oscilațiile următoare au amplitudine crescătoare în timp; această formă de instabilitate apare în general atunci când regimul post-avarie nu îndeplinește condițiile necesare de stabilitate la mici perturbații.

În asigurarea stabilității tranzitorii o importanță esențială are funcționarea selectivă, rapidă și sigură a protecției prin rele. Protecția trebuie să fie capabilă să distingă între regimul de avarie, oscilațiile stabile de putere și regimul în care s-a pierdut sincronismul. Având funcția de a iniția deconectarea întreruptoarelor care protejează elementele avariate, este important să fie evitate acțiunile false care conduc la deconectarea ce nu este necesară a elementelor neavariate în timpul oscilațiilor stabile de putere.

În practică, s-au introdus și criterii mai simple de apreciere a stabilității tranzitorii așa cum este prezentat în [55], dintre care cel mai cunoscut este criteriul ariilor egale.

5.2. Criteriul ariilor egale.

5.2.1. Fundamentarea criteriului

Criteriul ariilor egale are la bază o metodă grafo-analitică de apreciere a stabilității tranzitorii de primă oscilație, aplicabilă în următoarele cazuri:

(i) mașină sincronă conectată printr-o rețea electrică pasivă la un sistem de putere infinită;

(ii) două mașini sincrone de puteri finite interconectate printr-o rețea electrică pasivă;

(iii) utilizarea criteriului ariilor egale la sisteme multimașini este posibilă în condițiile grupării generatoarelor în două mașini sincrone echivalente, situație în care metoda a fost denumită criteriul extins al ariilor egale.

Se consideră un **generator sincron conectat printr-o rețea electrică pasivă la un sistem de putere infinită**. Pentru modelare se utilizează modelul clasic al generatorului sincron (o tensiune electromotoare constantă E' în spatele reactanței tranzitorii). În aceste condiții unghiul rotor δ din ecuația de mișcare se înlocuiește cu argumentul δ' al tensiunii electromotoare $\underline{E}' = E' e^{j\delta'}$. În plus, se admite ipoteza $D=0$ și, prin urmare, ecuația de mișcare devine:

$$\frac{M}{\omega_0} * \frac{d^2 \delta'}{dt^2} = P_m - P_e = P_a \quad (5.2)$$

unde P_a este puterea de accelerare.

Dacă ambele părți ale ecuației (5.2) se multiplică cu $2 \frac{\omega_0}{M} * \frac{d\delta'}{dt}$ și se ține cont că $H=M/2$, rezultă:

$$2 \frac{d\delta'}{dt} * \frac{d^2\delta'}{dt^2} = \frac{\omega_0}{H} P_a \frac{d\delta'}{dt} \quad (5.2')$$

Având în vedere că:

$$\frac{d^2\delta'}{dt^2} = \frac{d}{dt} \left(\frac{d\delta'}{dt} \right) = \left[\frac{d}{d\delta'} \left(\frac{d\delta'}{dt} \right) \right] \frac{d\delta'}{dt} = \frac{d}{d\delta'} \left[\frac{1}{2} \left(\frac{d\delta'}{dt} \right)^2 \right]$$

membrul stâng al ecuației (5.2') devine:

$$2 * \frac{d\delta'}{dt} * \frac{d}{d\delta'} * \left[\frac{1}{2} \left(\frac{d\delta'}{dt} \right)^2 \right] = \frac{d\delta'}{dt} * \frac{d}{d\delta'} * \left(\frac{d\delta'}{dt} \right)^2 = \frac{d}{dt} * \left(\frac{d\delta'}{dt} \right)^2$$

iar ecuația (5.2') capătă forma:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{d\delta'}{dt} \right)^2 = \frac{\omega_0}{H} P_a \left(\frac{d\delta'}{dt} \right)$$

din care, prin integrare în raport cu t , se obține:

$$\left(\frac{d\delta'}{dt} \right)^2 = \int \frac{\omega_0}{H} P_a d\delta'$$

Derivata $\left(\frac{d\delta'}{dt} \right)$ reprezintă viteza unghiulară a rotorului mașinii sincrone în

raport cu sistemul general de referință care se rotește cu viteza de sincronism ω_0 .

În regim permanent stabil viteza unghiulară are valoarea zero și se va modifica datorită apariției unei perturbații (va crește dacă perturbația este un scurtcircuit).

Pentru ca generatorul să fie stabil la prima oscilație este necesar ca unghiul δ' , care măsoară poziția rotorului, să nu crească continuu în timp, adică el să ajungă la o valoare maximă δ'_m după care să înceapă să scadă (Fig.5.1). Această condiție este îndeplinită dacă viteza unghiulară $d\delta'/dt$ redevine zero după un anumit interval de timp de la apariția perturbației, moment în care $\delta' = \delta'_m$. Prin urmare, criteriul de stabilitate tranzitorie capătă forma:

$$\int_{\delta'_0}^{\delta'_m} \frac{\omega_0}{H} P_a d\delta' = \int_{\delta'_0}^{\delta'_m} \frac{\omega_0}{H} (P_m - P_e) d\delta' = 0 \quad (5.3)$$

în care δ'_0 este valoarea inițială a unghiului rotorului δ' .

Dacă se urmărește reprezentarea grafică din Fig.5.1 se observă că $\int_{\delta'_0}^{\delta'_m} \frac{\omega_0}{H} P_a d\delta'$ este formată din suma algebrică a ariilor suprafețelor hașurate A_a și A_f . Suprafața A_a reprezintă aria de accelerare deoarece $P_m > P_e$, iar suprafața A_f aria de frânare sau decelerare pentru că, de această dată $P_m < P_e$.

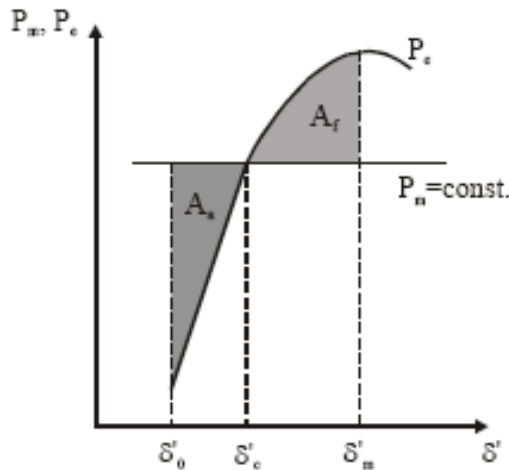


Fig. 5.1 – Fundamentarea criteriului ariilor egale ($A_a = A_f$)

Criteriul de stabilitate tranzitorie la prima oscilație este satisfăcut atunci când aria suprafeței A_a este mai mică, cel mult egală cu aria suprafeței A_f ($A_a \leq A_f$).

Se consideră schema electrică din Fig.5.2, în care generatorul în studiu (numerotat cu 1) este conectat printr-o reactanță externă X_e la nodul de putere infinită (numerotat cu 2), având tensiunea \underline{V}_2 , considerată origine de fază, constantă. În aceste condiții, puterea debitată de generatorul sincron este:

$$P_{e1} = \frac{E'_1 V_2}{X'd_1 + X_e} \sin \delta'_{12} \tag{5.4}$$

unde δ'_{12} este unghiul între fazorul tensiunii electromotoare $\underline{E}'_1 (= E'_1 e^{j\delta'_{12}})$ din spatele reactanței tranzitorii a generatorului și tensiunea barei de putere infinită $\underline{V}_2 = V_2 e^{j\delta'_{12}}$. Se consideră că puterea mecanică a generatorului în studiu este constantă, adică $P_{m1} = ct$.

În cazul în care rețeaua electrică conține noduri consumatoare, acestea se modelează prin admitanțe constante legate între nod și pământ. În continuare, toate nodurile pasive ale rețelei se elimină aplicând procedeul de eliminare Gauss matricei de admitanțelor nodale $[Y_{nn}]$ modificată, prin adăugarea la termenii diagonali a admitanțelor care modelează sarcinile. Se obține astfel matricea admitanțelor nodale redusă la nodurile generatoare:

$$\left[Y_{mn}^r \right] = \begin{bmatrix} \underline{Y}_{11} & \underline{Y}_{12} \\ \underline{Y}_{21} & \underline{Y}_{22} \end{bmatrix}$$

În cazul analizat, matricea $\left[Y_{mn}^r \right]$ conține doar două noduri și anume:

- nodul 1 situat în spatele reactanței X'_{d1} , având tensiunea egală cu tensiunea electromotoare $\underline{E}'_1 = E'_1 e^{j\delta'_{12}}$;

- nodul 2, de putere infinită, având tensiunea $\underline{V}_2 = V_2 e^{j0}$.

Dacă $\underline{Y}_{11} = G_{11} + jB_{11}$ și $\underline{Y}_{12} = G_{12} + jB_{12}$ sunt admitanțele nodale de pe linia 1 a matricei $\left[Y_{mn}^r \right]$, atunci expresia puterii electromagnetice a generatorului sincron conectat în nodul 1 este:

$$\begin{aligned} P_{e1} &= G_{11} E_1'^2 + E_1' V_2 (G_{12} \cos \delta'_{12} + B_{12} \sin \delta'_{12}) \equiv \\ &\equiv Y_{11} E_1'^2 \sin \alpha_{11} + Y_{12} E_1' V_2 \sin(\delta'_{12} + \alpha_{12}) \end{aligned} \quad (5.5)$$

în care:

$$Y_{11} = \sqrt{G_{11}^2 + B_{11}^2} \text{ și } \operatorname{tg} \alpha_{11} = \frac{G_{11}}{B_{11}},$$

iar

$$Y_{12} = \sqrt{G_{12}^2 + B_{12}^2} \text{ și } \operatorname{tg} \alpha_{12} = \frac{G_{12}}{B_{12}}$$

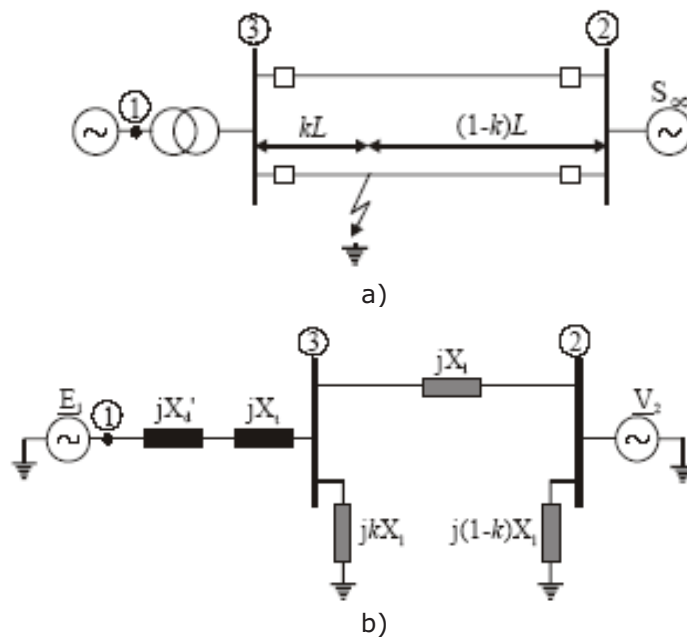


Fig. 5.2 – Schema sistemului electroenergetic pentru studiul stabilității tranzitorii folosind criteriul ariilor egale (a) și schema echivalentă de calcul (b)

5.2.2. Aplicarea criteriului arilor egale.

Pentru a exemplifica modul de aplicare a criteriului arilor egale, se consideră sistemul electroenergetic din Fig.5.2, format din generatorul sincron conectat printr-un transformator și printr-o linie dublu circuit la nodul 2 considerat de putere infinită. Pe unul din circuitele liniei electrice se produce, în apropierea nodului 3, un scurtcircuit trifazat cu punere la pământ.

Puterea electromagnetică a generatorului în studiu se exprimă sub forma (5.4) în cele 3 etape ale regimului tranzitoriu:

(i) în regimul permanent normal, anterior perturbației (cu ambele circuite ale liniei în funcțiune):

$$P_{e1}^n = P_{m1} = \frac{E_1' V_2}{X_{12}^n} \sin \delta_{12}'$$

unde:

$$X_{12}^n = X_d' + X_t + \frac{X_l}{2}$$

(ii) pe durata avariei/perturbației, când se produce un scurtcircuit trifazat pe unul din circuitele liniei electrice la o distanță $k \cdot L$ față de nodul 3 (Fig.5.2,b)):

$$P_{e1}^{av} = \frac{E_1' V_2}{X_{12}^{av}} \sin \delta_{12}'^{av}$$

în care X_{12}^{av} se determină cu relația:

$$X_{12}^{av} = X_d' + X_t + X_l + \frac{(X_d' + X_t) X_l}{k X_l}$$

obținută prin aplicarea transformării stea – triunghi schemei de conexiuni dintre noduri.

În cazul în care defectul se produce în imediata vecinătate a nodului 3, atunci $k=0$ și, prin urmare, $X_{12}^{av} = \infty$, respectiv $P_{e1}^{av} = 0$.

(iii) în regimul tranzitoriu după avarie (defectul a fost eliminat prin deconectarea circuitului avariat simultan la ambele capete):

$$P_{e1}^{d.av} = \frac{E_1' V_2}{X^{d.av}} \sin \delta_{12}'^{d.av}$$

în care $X^{d.av} = X_d' + X_t + X_l$.

În Fig.5.3 sunt prezentate caracteristicile tranzitorii putere – unghi corespunzătoare celor trei etape ale regimului tranzitoriu.

Punctul a aflat la intersecția dintre curba $P_{e1}^n(\delta')$ și dreapta corespunzătoare puterii mecanice P_{m1} , căruia îi corespunde unghiul δ'_{120} , definește starea sistemului pentru care se dorește asigurarea stabilității. La apariția scurtcircuitului trifazat, deoarece $P_{e1}^{av} = 0$, punctul de funcționare trece brusc în b (unghiul δ' fiind o mărime inerțială nu are variații în salt). Deoarece în acest punct $P_{m1} > P_{e1}$ rotorul generatorului se accelerează și unghiul δ'_{12} crește, până la valoarea δ'_{12d} (punctul c pe caracteristica P_{e1}^{av}), când se deconectează circuitul avariât al liniei electrice.

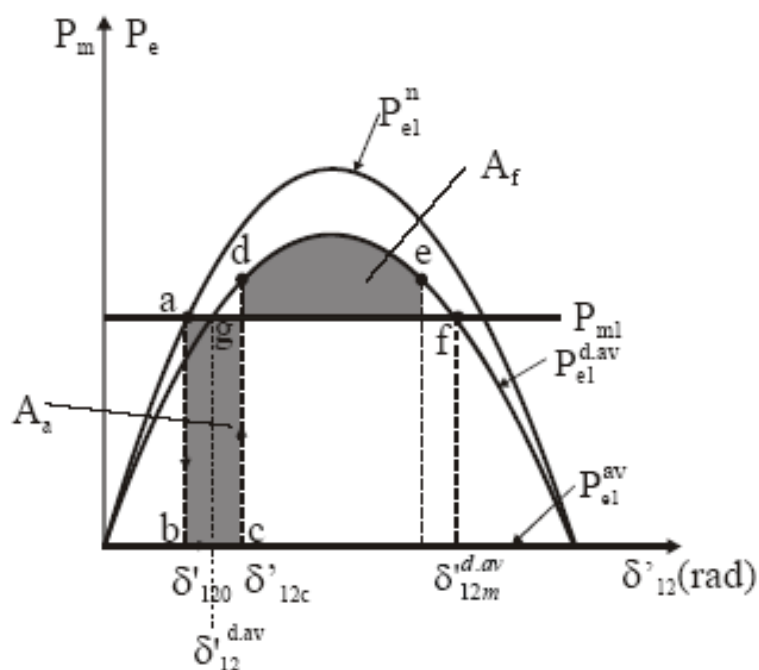


Fig. 5.3 – Aplicarea criteriului ariilor egale pentru generatorul sincron 1 conectat la un sistem de putere infinită.

La momentul de timp t_d , când are loc eliminarea avariei, punctul de funcționare se mută brusc din c în d și continuă să se deplaseze pe curba $P_{e1}^{d.av}$, cu accelerație negativă deoarece $P_{m1} < P_{e1}^{d.av}$, până în momentul în care aria suprafeței A_f devine egală cu A_a și când viteza relativă a rotorului devine nulă (punctul e în Fig.5.3). În punctul e unghiul δ'_{12} a atins valoarea maximă și în continuare va începe să scadă, ceea ce semnifică că este îndeplinită condiția de stabilitate tranzitorie. În absența oricărei amortizări rotorul va continua să oscileze în jurul unghiului $\delta'_{12}^{d.av}$ (punctul g de echilibru stabil post-avarie).

Dacă până în punctul f nu s-a ajuns la egalitatea ariilor celor două suprafețe, punctul de funcționare va continua să se deplaseze pe curba $P_{e1}^{d.av}$ în sensul

unghiului crescător, accelerația devine din nou pozitivă deoarece $P_{m1} > P_{e1}^{d.av}$ și sincronismul este pierdut.

Criteriul ariilor egale este de fapt o metodă de determinare a oscilațiilor maxime ale unghiului rotoric și, prin urmare, el poate fi folosit pentru evaluarea stabilității tranzitorii a sistemului fără a analiza evoluția curbei $\delta'(t)$, care se poate obține din rezolvarea ecuației de mișcare.

Dacă $\delta'_{12m}^{d.av}$ este valoarea maximă până la care poate crește unghiul rotoric fără a se pierde sincronismul (valoarea unghiului rotoric corespunzătoare punctului f de pe caracteristica $P_{e1}^{d.av}$), atunci ariile celor două suprafețe A_a și A_f se calculează cu următoarele relații:

$$A_a = \int_{\delta'_{120}}^{\delta'_{12d}} P_a d\delta'_{12} = \int_{\delta'_{120}}^{\delta'_{12d}} (P_{m1} - P_{e1}^{d.av}) d\delta'_{12} = \int_{\delta'_{120}}^{\delta'_{12d}} P_{m1} d\delta'_{12} = P_{m1} (\delta'_{12d} - \delta'_{120}) \quad (5.6)$$

$$\begin{aligned} A_f &= \int_{\delta'_{12d}}^{\delta'_{12m}} (P_{e1}^{d.av} - P_{m1}) d\delta'_{12} = \int_{\delta'_{12d}}^{\delta'_{12m}} \left(\frac{E_1 V_2}{X_{12}^{d.av}} \sin \delta'_{12} - P_{m1} \right) d\delta'_{12} = \\ &= \frac{E_1 V_2}{X_{12}^{d.av}} (\cos \delta'_{12d} - \cos \delta'_{12m}) - P_{m1} (\delta'_{12m} - \delta'_{12d}) \end{aligned} \quad (5.6')$$

În acest caz, egalitatea ariilor de accelerare și frânare corespunde limitei de stabilitate a sistemului pentru perturbația considerată. Valoarea corespunzătoare a unghiului δ' se numește unghi critic (δ'_{crit}) și se poate obține prin rezolvarea ecuației:

$$\int_{\delta'_{120}}^{\delta'_{crit}} P_{m1} d\delta'_{12} = \int_{\delta'_{120}}^{\delta'_{12max}} (P_{e1}^{d.av} - P_{m1}) d\delta'_{12} \quad (5.7)$$

rezultată din egalitatea celor două suprafețe ($A_a = A_f$). Având în vedere expresiile

(5.6) și (5.6') și faptul că $P_{m1} = P_{max} \sin \delta'_{120}$, în care $P_{max} = \frac{E_1 V_2}{X_{12}^{d.av}}$, rezultă:

$$P_{max} (\cos \delta'_{crit} - \cos \delta'_{12m}) = P_{max} \sin \delta'_{120} (\delta'_{12m} - \delta'_{120}) \quad (5.8)$$

Respectiv

$$\delta'_{crit} = \arccos \left[(\delta'_{12m} - \delta'_{120}) \sin \delta'_{120} + \cos \delta'_{12m} \right] \quad (5.9)$$

5.2.3. Timpul critic de deconectare.

Fiind cunoscută valoarea unghiului critic δ'_{crit} , se poate determina timpul de deconectare corespunzător acestui unghi, numit *timpul critic* de eliminare a defectului t_{crit} , rezolvând ecuația $\delta'(t) = \delta'_{crit}$. În acest sens, δ'_{crit} se determină fie prin integrarea ecuației de mișcare, fie se aproximează folosind dezvoltarea în serie Taylor.

Având în vedere că în perioada de defect P_{e1}^{av} , ecuația de mișcare devine:

$$\frac{d^2 \delta'_{12}}{dt^2} = \frac{\omega_0}{M} P_{m1}$$

iar soluția ei este:

$$\delta'_{12}(t) = \frac{\omega_0}{M} P_{m1} \cdot \frac{t^2}{2} + C_1 t + C_2 \quad (5.10)$$

Constantele de integrare C_1 și C_2 se determină din condițiile inițiale: $\omega|_{t=0} = \frac{d\delta'_{12}}{dt}|_{t=0} = 0$ și $\delta'_{12}|_{t=0} = \delta'_{120}$. Rezultă $C_1 = 0$, respectiv $C_2 = \delta'_{120}$.

Deci $\delta'_{12}(t) = \frac{\omega_0}{M} P_{m1} \frac{t^2}{2} + \delta'_{120}$ și, prin urmare, impunând condiția $\delta(t) = \delta'_{crit}$ se obține valoarea timpului critic de deconectare a liniei avariate:

$$t_{crit} = \sqrt{\frac{2M}{\omega_0 P_{m1}} \cdot (\delta'_{12c} - \delta'_{120})} = \quad (5.11)$$

În Fig.5.4 sunt prezentate cele trei situații posibile pentru un generator sincron conectat la o bară de putere infinită.

Analizând situația din cazul stabil se poate defini rezerva de stabilitate tranzitorie cu una din relațiile:

- pe baza *timpului de deconectare*:

$$\eta_{timp} = \frac{t_c - t}{t_c} \quad (5.12,a)$$

- pe baza *ariei de frânare disponibile*:

$$\eta_{timp}^{(1)} = \frac{A_{fr}}{A_{fr_disponibila}} \quad (5.12,b)$$

- pe baza diferenței dintre aria de frânare și cea de accelerare:

$$\eta_{imp}^{(2)} = \frac{A_{fr} - A_{acc}}{A_{acc}} \quad (5.12,c)$$

Din definiția (5.12,c) se poate observa că η are valori pozitive în cazul sistemelor stabile și valori negative pentru sistemele instabile.

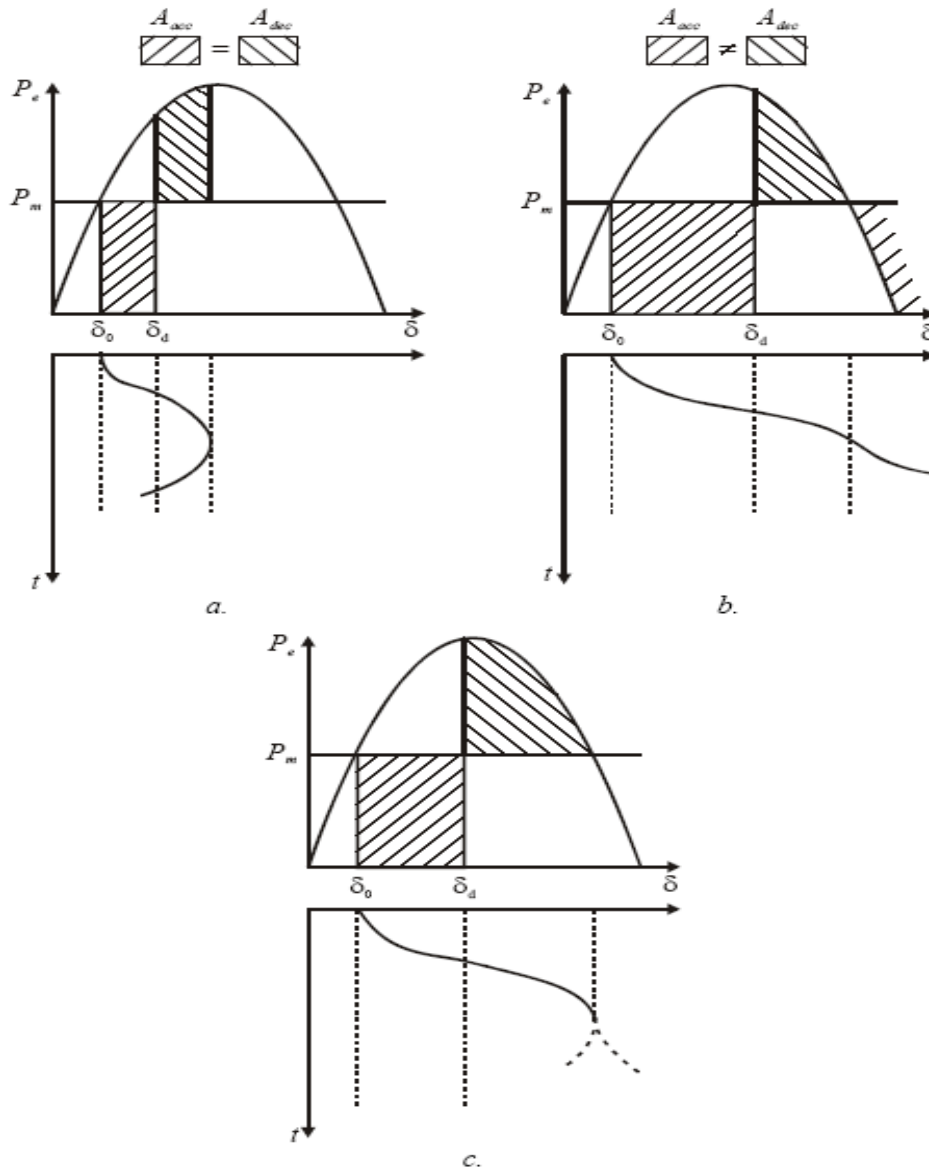
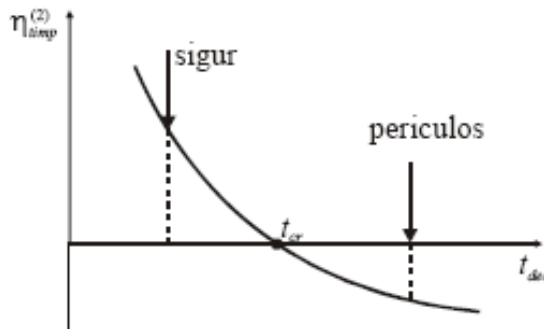


Fig. 5.4 – Criteriul ariilor pentru generatorul conectat la o bară de putere infinită:
a.Cazul stabil; b. Cazul instabil; c. Cazul critic.

În Fig.5.5 se prezintă, din punct de vedere calitativ, evoluția indicelui $\eta_{imp}^{(2)}$ în funcție de timpul de eliminare a defectului t_{dec} .

Fig. 5.5 – Evoluția indicelui $\eta_{timp}^{(2)}$ în funcție de t_{dec}

5.2.4. Cazul a două generatoare sincrone de putere finită

Dacă cele două generatoare sunt interconectate printr-o rețea electrică pasivă, se poate reduce acest caz la cel al unei mașini sincrone conectată la un sistem de putere infinită. În acest sens se consideră ecuațiile de mișcare a celor două mașini sincrone:

$$\frac{2H_1}{\omega_0} \cdot \frac{d^2 \delta_1'}{dt^2} = P_{a1} = P_{m1} - P_{e1}$$

$$\frac{2H_2}{\omega_0} \cdot \frac{d^2 \delta_2'}{dt^2} = P_{a2} = P_{m2} - P_{e2}$$

Prin scăderea celor două ecuații diferențiale se obține ecuația de mișcare a unei mașini sincrone echivalente:

$$\frac{2H}{\omega_0} \cdot \frac{d^2 \delta_{12}'}{dt^2} = P_a = P_m - P_e \quad (5.13)$$

în care:

$$\delta_{12}' = \delta_1' - \delta_2'$$

$$H = \frac{H_1 H_2}{H_1 + H_2},$$

$$\text{iar } P_a = \frac{H_2 P_{a1} - H_1 P_{a2}}{H_1 + H_2} \text{ (relație valabilă și pentru } P_{m1}, \text{ respectiv } P_{e1})$$

Expresiile puterilor electrice produse de cele două generatoare sincrone sunt date de relațiile:

$$\begin{aligned}
 P_{e1} &= Y_{11} E_1'^2 \sin \alpha_{11} + Y_{12} E_1'^2 E_2'^2 \sin(\delta_{12}' - \alpha_{12}) \\
 P_{e2} &= Y_{22} E_2'^2 \sin \alpha_{22} + Y_{21} E_2'^2 E_1'^2 \sin(\delta_{21}' - \alpha_{21})
 \end{aligned}
 \tag{5.14}$$

în care:

$$\delta_{21}' = -\delta_{12}' \text{ și } Y_{12} = Y_{21} .$$

Ecuția diferențială (5.13) are aceeași formă cu ecuația de mișcare a unei mașini sincrone conectată la un sistem de putere infinită; în consecință criteriul ariilor devine:

$$\int_{\delta_{120}'}^{\delta_{12m}'} (H_2 P_{a1} - H_1 P_{a2}) d\delta_{12}' = 0 \tag{5.15}$$

5.3. Studiu de caz – Analiza stabilității generatorului sincron de la CHE Râul Mare Retezat.

Mărimile care urmează a fi analizate au fost înregistrate cu ajutorul unui sistem de tipul Perturbografelor Digitale Modulare (PDM). Sistemele pentru înregistrarea evenimentelor electrice sunt structuri modulare de înregistrare, monitorizare și analiză a evenimentelor din sistemele electrice. Sunt constituite pe baza unor module numerice de achiziție dedicate – PDM.

Perturbograful digital modular face parte din seria de echipamente electronice programabile destinate echipării panourilor de protecție, măsură și automatizări aferente celulelor de linii, transformatoare, generatoare, bare colectoare din Sistemul Energetic.

Cu acest echipament se realizează achiziția mărimilor analogice (curenți, tensiuni etc.) și binare (stare contacte). Dispozitivul permite stocarea temporară a informației și transferul acesteia la un echipament de calcul local sau la distanță, în vederea prelucrării ulterioare. Folosind mai multe echipamente din familia PDM se pot realiza diverse structuri modulare flexibile de achiziție, monitorizare și analiză.

5.3.1. Prezentare generală a echipamentelor PDM

Echipamentele de tip PDM sunt module digitale de achiziție care conțin următoarele blocuri funcționale:

- bloc de traductoare (configurabil la cerere)
- bloc de procesare
- bloc de memorie
- bloc de achiziție a mărimilor analogice și binare
- ceas de timp real și memorie pentru păstrarea parametrilor configurabili
- bloc pentru adaptarea liniei de comunicație la distanță (max. 1 Km)
- bloc sursă de alimentare
- bloc de serializare locală sau la distanță

Realizarea unui sistem bazat pe PDM-uri necesită folosirea unor dispozitive dedicate din aceasta familie. Acestea sunt:

A) PDM-03

- mărimi analogice de intrare: 9 canale (curenți, tensiuni configurabile, $I_N=1$ sau 5A c.a., $U_N=60$ sau 100V c.a.); rezoluție 12 biți;
- mărimi binare de intrare: 16 canale;
- frecvență de eșantionare a intrărilor : 1000 Hz.;
- tensiunea de alimentare: 220 Vcc sau ca;
- declanșarea înregistrărilor: tranziția intrărilor binare (programabil), depășire praguri mărimi analogice de intrare (programabil), de către un alt echipament de tip PDM, manual;
- timpi de înregistrare: max. 21 sec, timpi de preavarie, avarie, postavarie programabili;
- ceas de timp real;
- autotestare bună funcționare și semnalizarea stării de defect;
- linie de comunicație adaptată pentru transmisia la distanță a informației pe conductor obișnuit (max. 1km.);
- linie de sincronizare la eveniment a mai multor echipamente de tip PDM;
- funcționare ON LINE și posibilitatea configurării mai multor echipamente de tip PDM într-un sistem distribuit de supraveghere și înregistrare;
- linie de sincronizare a achiziției mărimilor analogice;
- software de comunicație, analiză, gestiune.;
- dimensiuni de gabarit 220mm/115mm/170mm;
- greutate aprox. 1.5 kg.;
- instalare ușoară atât mecanic cât și electric în zona în care se află mărimile electrice ce urmează a fi achiziționate;

B) PDM-552

Este complet compatibil cu varianta PDM-03. În plus oferă următoarele facilități:

- variantă constructivă mai compactă;
- rezoluție 12 biți la achiziția mărimilor analogice;
- memorie nevolatilă extinsă (pentru păstrarea parametrilor de lucru);
- mărimile analogice de intrare pot fi de tip c.a. sau c.c.
- timp de înregistrare și memorare temporară a înregistrărilor: 21 sec. (extensibil la 55 sec);
- funcționare autonomă max. 15 minute în cazul căderii tensiunii de alimentare (păstrarea înregistrărilor netransferate);
- software-ul dedicat oferă posibilitatea afișării eșantioanelor mărimilor analogice de intrare.

C) PDM-F

Caracteristici în raport cu variantele anterioare:

- control local prin intermediul unei interfețe cu utilizatorul (minitastatură și LCD);
- posibilitatea de a analiza local un defect fără a mai fi necesar transferul înregistrărilor la un sistem de calcul;
- gestiunea înregistrărilor se face local prin intermediul interfeței cu utilizatorul;

- transferul înregistrărilor via modem, linie de comunicație adaptată (max. 1km.) sau pe dischetă;
- capacitate de stocare locală a evenimentelor mult mărită (evenimentele înregistrate sunt stocate automat pe un hard-disk propriu);
- vizualizare pe afișorul local a mărimilor analogice de intrare (valori efective și defazaje);
- modem (opțional);
- interfață imprimantă locală (opțional);

D) SERIAL-MUX

Este un modul compatibil PC-AT/XT, care permite conectarea la mai multe echipamente PDM la același sistem de calcul.

Este necesar în cazul în care se proiectează un sistem integrat de monitorizare și analiză bazat pe mai multe echipamente PDM.

5.3.2. Structuri de sisteme de înregistrare

Folosind dispozitivele din familia PDM pot fi realizate mai multe structuri în funcție de cerințe sau locul de instalare. Acest lucru este posibil datorită structurii modulare a acestora.

Cea mai simplă soluție este aceea în care numărul mărimilor măsurate este acoperit de numărul intrărilor disponibile la un perturbograf. În acest caz este necesară folosirea a numai unui perturbograf, cuplat sau nu permanent la un sistem de calcul, Fig.5.6.



Fig.5.6. Numărul intrărilor disponibile acoperă numărul mărimilor măsurate.

În cazul în care perturbograful este instalat într-un loc greu accesibil sau trebuie să lucreze un interval de timp relativ lung de timp nesupravegheat este recomandată înlocuirea sistemului de calcul cu un dispozitiv de tip PDM-F.

Pentru situațiile în care numărul mărimilor achiziționate este mai mare, perturbografele se pot monta în cascadă, lucrând sincron, Fig.5.7. Perturbografele componente pot fi cuplate la un calculator central realizându-se și funcția de monitorizare sau la un dispozitiv de tip PDM-F.

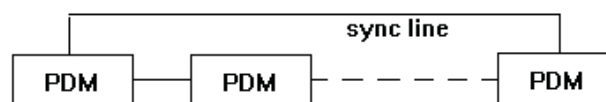


Fig.5.7. Perturbografe montate în cascadă.

Un sistem de achiziție și monitorizare complex se poate realiza prin instalarea perturbografele în locurile în care sunt accesibile mărimile de intrare și conectarea tuturor acestora la un sistem de calcul, Fig.5.8.

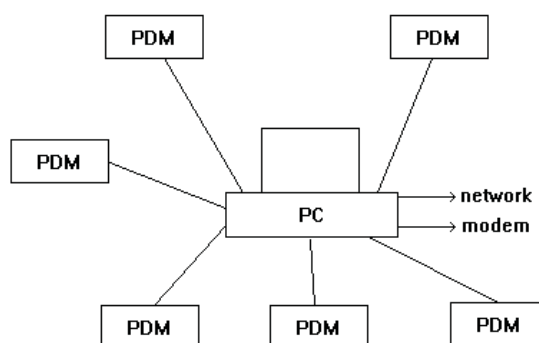


Fig.5.8. Sistem de achiziție și monitorizare complex.

Conectarea echipamentelor la sistem se face prin intermediul SERIAL-MUX-ului. Un astfel de dispozitiv poate conecta până la 16 perturbografe. Prin folosirea mai multor SERIAL-MUX-uri se pot controla până la 64 de perturbografe.

Echipamentele se mai pot conecta pe o magistrala tip master-slave(RS485) permițând conectarea și altor tipuri de echipamente pe o astfel de magistrală.

Dispozitivele pot fi localizate la distanțe de până la 1 km. prin intermediul liniei de comunicație adaptate care oferă o bună imunitate la zgomot.

Fiecare perturbograf gestionează local achiziția și înregistrarea mărimilor analogice și numerice corespunzătoare. Dacă se dorește sincronizarea PDM-urilor constituate pe eveniment, acestea se pot cascada utilizând intrarea de sincronizare.

Topologia lui depinde de cazul concret de instalare, numărul de mărimi de intrare și locurile unde acestea sunt accesibile. Tot în funcție de acești parametri se determină și numărul de PDM-uri constituate.

Toate înregistrările sunt transferate și înregistrate automat pe hard-diskul sistemului de calcul. Tot în sarcina sistemului de calcul revine și sarcina resincronizării ceasurilor modulelor și actualizarea arhivei, la intervale de timp programabile. De asemenea, la nivelul echipamentului de calcul au loc funcțiile de monitorizare, analiză și gestiune. Înregistrările pot fi transferate către alte sisteme de calcul prin modem sau prin rețea.

5.3.3. Analiza unor cazuri reale

În continuare sunt analizate două situații în ceea ce privește apariția unor evenimente pe linia electrică aeriană de evacuare a puterii de la centrala hidroelectrică Râul Mare Retezat.

5.3.3.1. Scurtcircuit bifazat pe linia de evacuare a puterii

LEA Retezat – Hăjdat cu tensiunea nominală de 220kV este calea de evacuare către Sistemul Energetic Național a puterii produse în CHE Retezat. Așa cum se poate observa din imagine, defectul s-a manifestat prin creșterea curenților pe fazele R și respectiv T și scăderea curentului pe faza S.

Echipamentul PDM cu ajutorul căruia s-a realizat această înregistrare oferă posibilitatea afișării datelor înregistrate atât sub formă grafică, ca în Fig. 5.9, cât și sub forma de valori efective (Anexa 26) sau defazaje (Anexa 27), pentru a facilita o cât mai bună analiză a datelor înregistrate.

În momentul realizării defectului, echipamentul PDM era setat pentru a înregistra 100 ms înainte avariei și respectiv 300 ms după stabilizare, astfel oferind o imagine de ansamblu asupra evenimentului.

Analizând datele oferite, prezentate atât sub formă grafică cât și valorile efective, prezentate în Fig.5.9 și Anexa 26, se pot observa, pe fiecare fază, următoarele abateri de la valorile nominale ale generatorului:

- Pe faza R:
 - Curentul crește în momentul producerii defectului de aproximativ 1,6 ori față de curentul dinaintea producerii defectului;
 - Tensiunea scade de aproximativ 1,2 ori față de cea dinaintea avariei;
- Pe faza S:
 - Curentul scade de aproximativ 1,3 ori;
 - Tensiunea nu este afectată în mod semnificativ (scade de 1,02 ori);
- Pe faza T:
 - Curentul crește în momentul producerii defectului de aproximativ 1,6 ori față de curentul dinaintea producerii defectului;
 - Tensiunea nu este afectată în mod semnificativ (scade de 1,05 ori).

Se va avea în vedere faptul că măsurile sunt achiziționate după reductoarele de curent și de tensiune, astfel fiind necesară aplicarea factorilor de transformare:

$$I_{generator} = I_{reductor} \cdot \frac{7500}{5} \text{ A} \quad (5.16)$$

$$U_{generator} = U_{reductor} \cdot \frac{15,75 \cdot \sqrt{3}}{100} \text{ kV}$$

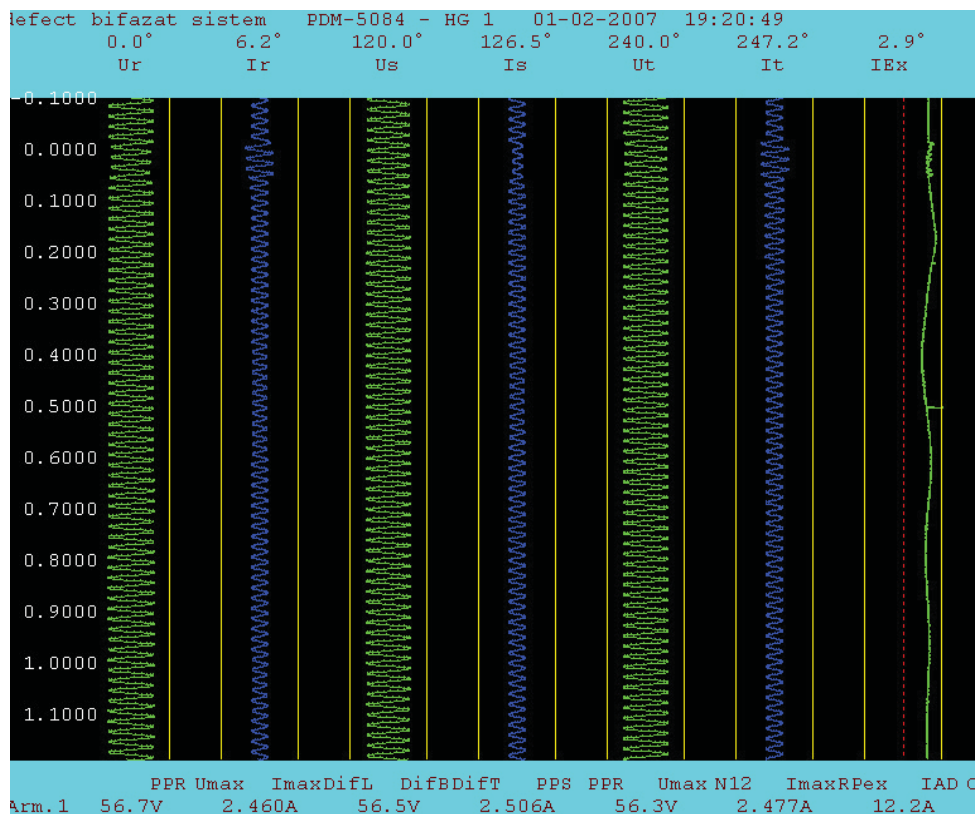


Fig.5.9. Vedere de ansamblu asupra defectului.

Se poate observa deci că scurtcircuitul bifazat s-a manifestat preponderent pe fazele R și T, mărimile de pe faza S fiind destul de puțin afectate. Totuși, din Anexa 27, în care sunt prezentate defazajele curenților și tensiunilor pe parcursul desfășurării evenimentelor, se poate observa că întregul sistem de mărimi trifazate este afectat, prezentând abateri de până la 42° față de regimul normal de funcționare, în cazul lui I_r sau 34° în cazul lui I_s . Sistemul tensiunilor, cea mai afectată fiind U_t cu abateri de până la 4° , abateri relativ mici în comparație cu cele prezentate de sistemul curenților.

Încă de la prima manifestare a defectului, din imaginile prezentate se poate observa creșterea bruscă a lui I_{ex} , curentul de excitație, care comandat de regulatorul automat al hidrogenatorului, se modifică în consecință pentru a putea menține tensiunile și implicit curenții în intervale admisibile, care să nu ducă la ieșirea din sincronism a generatorului. De această dată acest lucru este realizat, generatorul trecând cu bine peste acest regim tranzitoriu, fără a ieși din sincronism. În figura 4.8 observându-se clar variațiile amortizate ale curentului de excitație care readuce toți parametrii generatorului în intervalele normale.

În consecință se constată că HG1 și-a redobândit stabilitatea în urma acestui regim tranzitoriu pe termen scurt dovedind o bună corelare a reglajelor protecțiilor hidrogenatorului, astfel încât acesta să nu fie deconectat decât atunci când una dintre mărimile urmărite ar atinge valori peste cele critice.

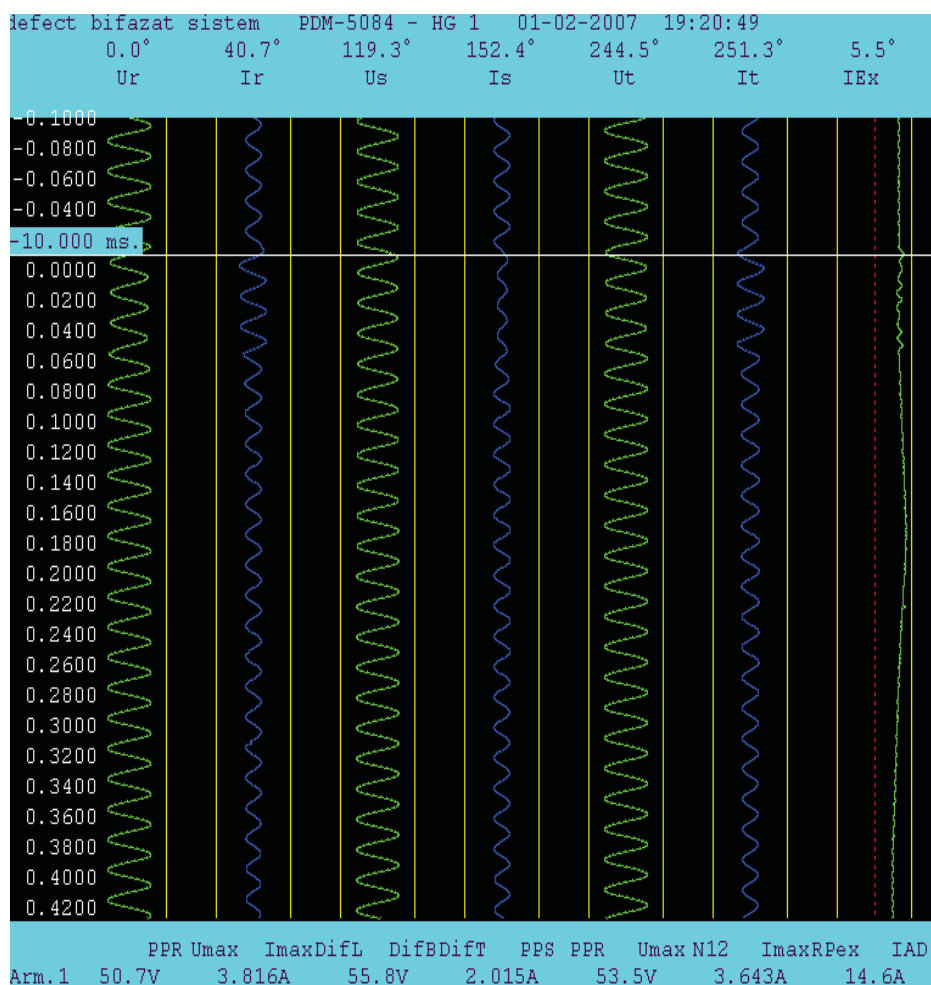


Fig.5.10. Vedere de ansamblu asupra defectului.

5.3.3.2. Descărcări atmosferice pe linia de evacuare a puterii

În cele ce urmează ca și analiză pe caz real, vom prezenta comportamentul generatorului sincron nr.2 de la CHE Retezat, la avaria ce a constat în deconectarea hidrogregatului de la sistem, datorită unui defect extern pe LEA 220 kV, provocat de descărcări atmosferice.

Analizând timpul critic de izolare, definit ca intervalul maxim de timp între momentul apariției perturbației (-35 ms) și momentul izolării porțiunii avariate (125 ms), se observă că sistemul electric a fost capabil să revină la un regim oarecum stabil post-perturbație (după eliminarea defectului). Sistemul de excitație (SAREX T50) s-a comportat adecvat, modificând rapid curentul de excitație al generatorului sincron în concordanță cu capacitatea pe termen scurt a acestuia, prin variația rapidă până la valoarea de plafon a tensiunii de excitație.

Pentru o mai bună detaliere a fenomenului simțit la bornele generatorului, în Anexa 28 este dată lista de valori cu un interval de eșantionare de 5 ms. Valorilor de curent și tensiune li se va aplica același raport de transformare ca și în Anexa 26.

Din Fig.5.11 și Fig.5.12 se observă următoarele :

- defectul s-a manifestat doar pe fazele R și T;
- pe faza T valorile curenților s-au triplat iar pe faza R s-au dublat.
- curentul de excitație crește brusc, menținând astfel generatorul în sincronism.

- tensiunea pe fazele afectate (R și T) scade proporțional cu mărirea curentului pe faza respectivă.

Este știut faptul că în timpul defectelor monofazate și setul trifazat de tensiuni și curenți suferă deformări, prin alunecarea vectorilor celor trei faze. Pentru aceasta, în Anexa 29 se poate vedea evoluția celor două seturi trifazate în grade.

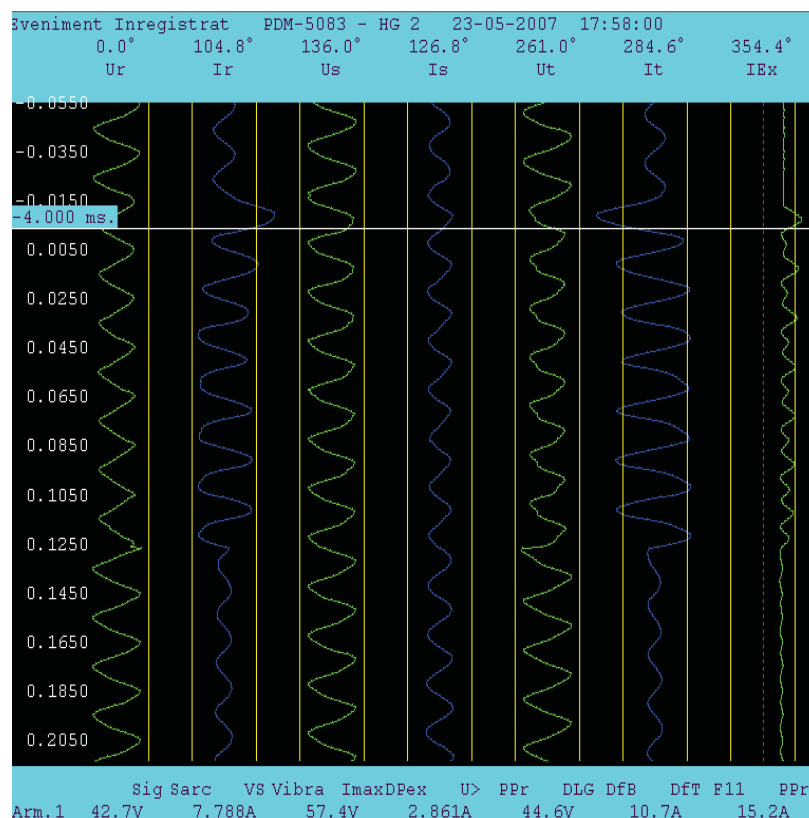


Fig.5.11. Eveniment - Descărcări atmosferice.

Din analiza diagramelor se poate observa că generatorul sincron a rămas în sincronism, fiind capabil să revină la regimul permanent de funcționare.

Înregistrarea întregului eveniment este prezentată în Fig.5.12. Se poate observa că după stingerea defectului generatorul intră în pendulări stabilizate (fără efecte cauzatoare de pierdere sincronism) datorate reguletoarelor (tensiune și turație) care tind să stabilizeze hidroagregatul. Curentul creștere după stingerea defectului pe faza S, fază care inițial nu a fost afectată.

Deși în regimul tranzitoriu de scurtă durată, datorat descărcărilor atmosferice, generatorul sincron nu a pierdut stabilitatea, el rămânând în sincronism, se poate observa că el totuși este deconectat de la sistem din alt motiv, care nu este legat de stabilitatea tranzitorie. Din diagramă se poate observa că deconectarea este dată de o protecție tehnologică și anume creșterea vibrațiilor pe carcasa generatorului peste limita admisibilă (pista roșie „Vibra”). Această protecție a lucrat datorită forțelor electrodinamice mari și mai ales datorită solicitării nesimetrice a hidroagregatului din timpul defectului, fapt ce a condus la mișcarea întregului generator, traductoarele de pe carcasa generatorului simțind acest lucru și comandând deconectarea întrerupătorului de grup. Evenimentul în sine a fost simțit de personalul de exploatare.

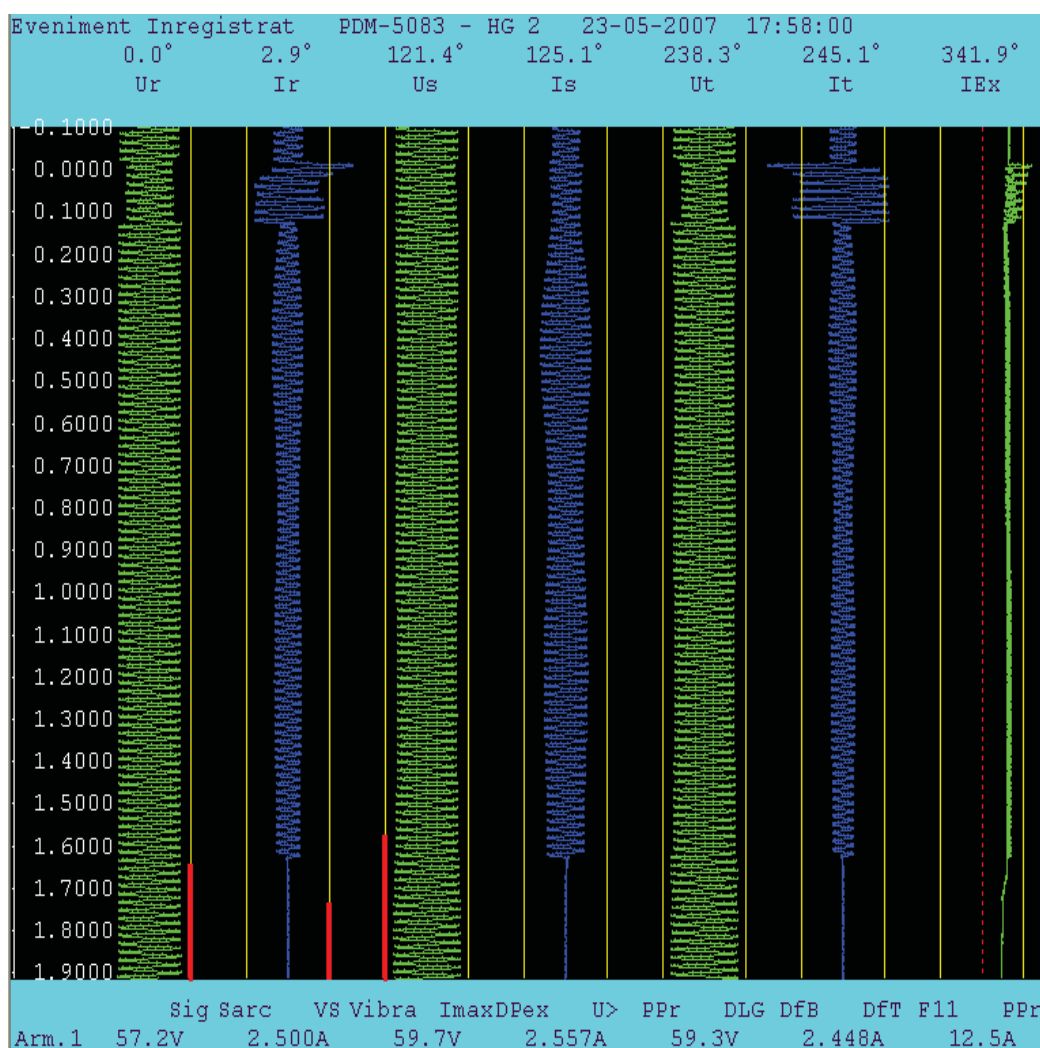


Fig.5.12. Evoluție eveniment.

Se observă din diagramă procesul de oprire al hidroagregatului, și anume deconectarea electrodistributorului SIGMA (pista roșie „Sig”) care determină închiderea bruscă a aparatului director și începerea procesului de închidere a vanei sferice (pista roșie „VS”), procesul de oprire urmând astfel cursul normal.

5.4. Concluzii și contribuții personale.

În cadrul acestui capitol a fost analizată stabilitatea generatoarelor sincrone la două evenimente produse pe linia de evacuare a puterii: un scurt circuit bifazat și respectiv o descărcare atmosferică. Scopul acestor analize de stabilitate este de a determina valorile critice până la care pot varia anumite mărimi electrice sau mecanice fără a pune în pericol stabilitatea generatoarelor, a sistemului sau calitatea energiei electrice livrate.

Având în vedere performanțele tot mai crescute ale echipamentelor de achiziție și stocare de date și multiplele posibilități grafice sau tabelare de vizualizare a acestor date, avem posibilitatea de a efectua analize cât mai exacte a proceselor ce se petrec în timpul regimurilor tranzitorii.

Aceste analize contribuie în mare măsură la o modelare cât mai exactă a mașinilor sincrone și a sistemelor energetice din care acestea fac parte, pentru a putea simula cât mai exact diferitele regimuri de avarie ale sistemelor electroenergetice, cu scopul de a preveni și reduce daunele provocate de aceste regimuri anormale de funcționare.

Din analizele efectuate pe cazurile concrete rezultă următoarele concluzii:

- Micile perturbații exterioare, provocate de diverse evenimente ce se petrec în vecinătatea generatorului, la o distanță electrică relativ mare de acesta, nu conduc neapărat la ieșirea din sincronism sau la pierderea stabilității generatorului conectat la un sistem ce poate fi considerat ca fiind de putere infinită.
- Stabilitatea tranzitorie a unui hidrogenerator la perturbații și rămânerea sa în sincronism nu este suficientă pentru rămânerea în paralel. Acest fapt este condiționat în mare parte de reglajul celorlalte protecții ale generatorului, atât cele electrice cât și cele hidraulice – mecanice. Acest lucru fiind condiționat de determinarea cât mai exactă a valorilor critice ale acestor mărimi și a legăturilor între acestea.
- Deși echipamentul cu care a fost efectuată achiziția de date, stocarea și vizualizarea acestora oferă posibilitatea înregistrării mai multor mărimi de natură electrică sau binară (stări ale diferitelor contracte), se simte nevoia, în cadrul procesului de analiză a datelor, de a corela cu acestea alte mărimi, în special de natură mecanică. Una dintre acestea ar fi variația puterii la arbore, (determinată de poziția palelor aparatului director) și corelarea acesteia cu unghiul de sarcină al generatorului sincron.

În continuare se prezintă o sinteză privind contribuțiile personale din cadrul acestui capitol:

- sinteza critică a unui număr mare de referințe bibliografice privind stabilitatea sistemelor electroenergetice;

- descrierea celor mai noi metode și mijloace utilizate în domeniul monitorizării generatoarelor electrice;
- identificarea mărimilor, parametrilor și a regimurilor de defect esențiale necesare studiului;
- elaborarea planului de lucru pentru efectuarea monitorizărilor și măsurărilor propuse;
- alegerea, configurarea și utilizarea aparaturii de măsură necesare;
- coordonarea directă a efectuării măsurărilor precum și analiza și interpretarea rezultatelor.

6. ÎNCERCĂRI LA PUNEREA ÎN FUNCȚIUNE A HIDROAGREGATULUI 1 ȘI SIMULAREA SOFTWARE A FUNCȚIONĂRII CENTRALEI HIDROELECTRICE RÂUL MARE RETEZAT

Pentru optimizarea regimurilor de funcționare a hidrogeneratoarelor din CHE Retezat s-au efectuat probele de calificare pe mașina nr. 1. Este foarte important, să se evalueze prin verificări complexe, performanțele reale de funcționare atât din punct de vedere mecanic cât și din punct de vedere electric. La punerea în funcțiune după finalizarea reparației s-au efectuat următoarele verificări și măsurători: încercări în regim de mers în gol, încercări în regim de mers în sarcină, caracteristica de mers în scurtcircuit trifazat simetric, descărcări parțiale. În finalul capitolului se prezintă o aplicație software, în limbaj Delphi, pentru simularea proceselor dinamice din centrală.

6.1. Prezentarea echipamentelor de măsură și monitorizare utilizate.

Puterea activă, tensiunile și curenții la bornele generatorului au fost măsurate cu un analizor de parametrii electrici și parametrii de proces.

Caracteristicile tehnice ale echipamentului sunt:

➤ **Intrări de măsură:**

- 1 analizor de putere trifazat, CA/CC, 100V/600V, 5A, separare galvanică pe fiecare canal;
- 12 intrări ± 20 mA sau ± 10 V;
- 10 intrări ± 10 V;
- 3 intrări de vibrații tip IEPE;
- 1 intrare turație și referință viteză;
- Rezoluție 16 biți, rata de eșantionare 25 kS/s/ch, precizie 0,1%.

➤ **Alimentare:**

- 230/150V – 50 Hz/60 Hz

➤ **Intrări/ieșiri digitale:**

- 4 intrări tip optocuplor 0 – 24 Vcc pentru vizualizare stare mașină;
- 4 ieșiri tip optocuplor 0 – 24 Vcc/100 mA cu funcție de avertizare, protecție sau comandă.

➤ **Ieșiri analogice:**

- 2 ieșiri analogice pentru generare de semnale cu formă, amplitudine și frecvență programabile.

➤ **Interfețe:**

- USB (comunicare condiționare PC);
- Ethernet (supraveghere de la distanță prin internet fix);
- GSM – GPRS (supraveghere de la distanță prin internet mobil).

Turația hidrogeneratorului a fost măsurată cu un senzor laser de turație, de tipul QS30LDQ, 120000 rpm, 2 m distanța de sesizare, produs de Banner, prezentat în Figura 6.1.



Fig. 6.1 – Traductor de turație.

Vibrațiile pe lagărul superior al generatorului și lagărul turbinei au fost măsurate cu trei senzori de vibrații, produși de firma Hansford Sensors, având următoarele caracteristici:

- număr serial 066921 cu sensibilitatea de 533,3 mV/g,
- număr serial 066922 cu sensibilitatea de 546,1 mV/g,
- număr serial 066923 cu sensibilitatea de 497,5 mV/g.

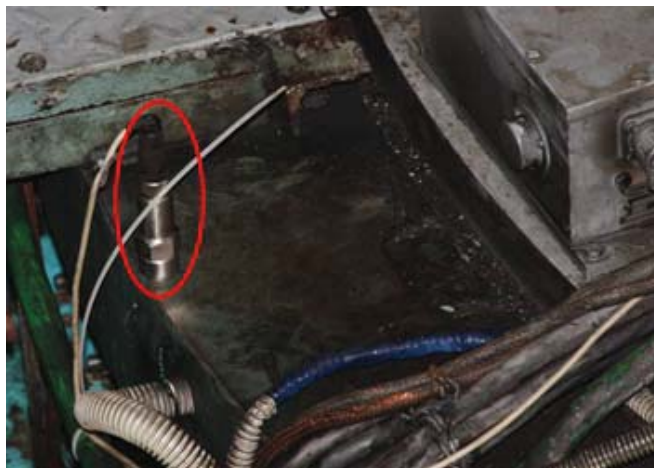


Fig. 6.2 – Traductor de vibrații montat pe lagărul superior al generatorului.

6.2. Încercări în regim de mers în gol

Scopul acestor încercări este de a determina performanțele de funcționare a hidrogeneratorului din CHE Raul Mare Retezat, în regim de mers în gol.

S-au efectuat verificări în diferite regimuri de funcționare cu generatorul deconectat de la rețea.

6.2.1. Verificarea vibrațiilor în regimul de mers în gol neexcitat

Prin această încercare se determină performanțele de montaj mecanic a hidrogeneratorului prin măsurarea vibrațiilor atât în regimul tranzitoriu de pornire cât și în regimul stabilizat de mers în gol. S-au înregistrat următoarele mărimi:

- vibrațiile lagărului axial radial superior pe direcția: **V_LRAG_-Y_rad**
- vibrațiile lagărului axial radial superior pe direcția: **V_LRI_Y_rad**
- vibrațiile lagărului radial inferior pe direcția: **V_LT_Y_rad**

Rezultatele măsurărilor în regimul tranzitoriu de pornire sunt prezentate în Figura 6.3.

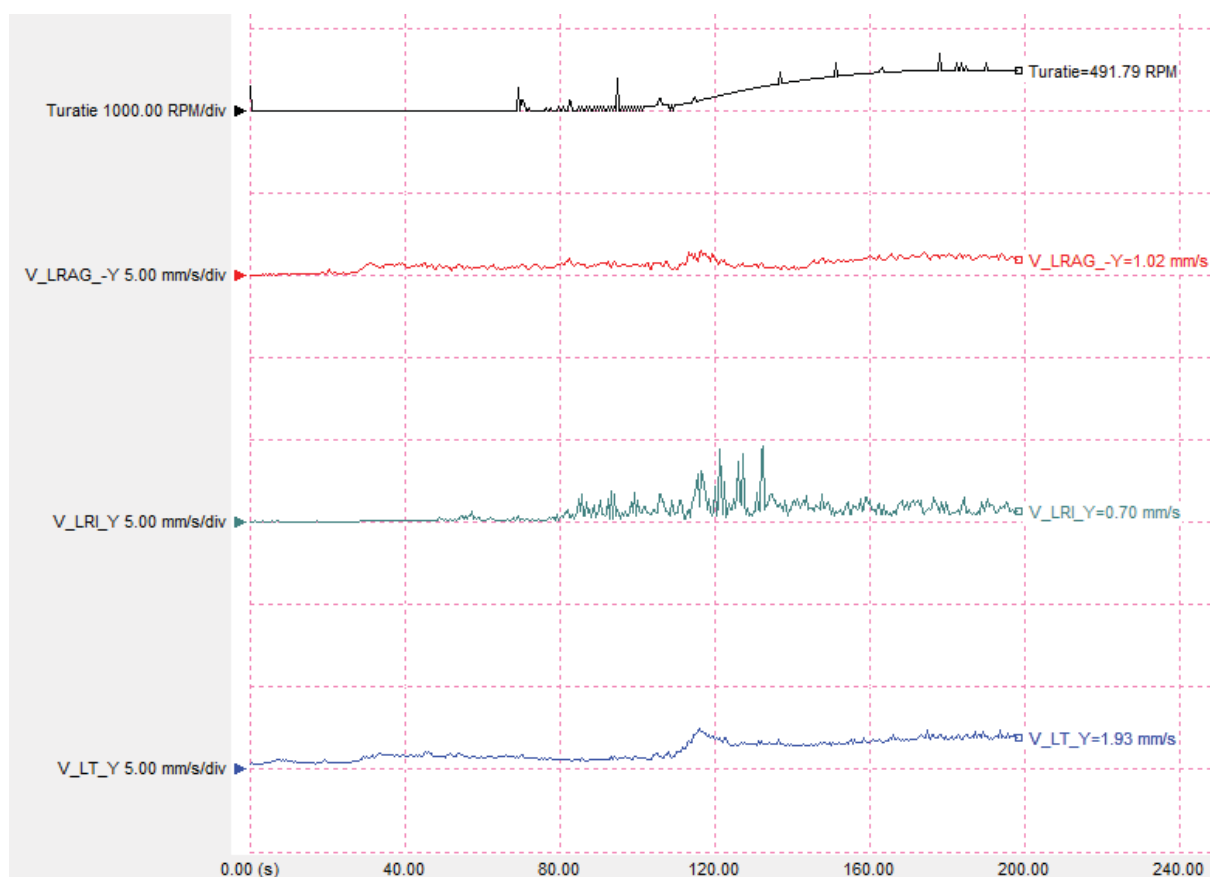


Fig. 6.3 – Variația vibrațiilor în regimul tranzitoriu de pornire.

În tabelul 6.1 sunt date valorile parametrilor mășurați în regim tranzitoriu de pornire a hidroagregatului în regim de mers în gol neexcitat.

Tabel 6.1 – Încercări energetice pentru determinarea caracteristicilor de funcționare ale hidroagregatelor

Time	N	VLRAG_-Y	VLRI_Y_rad	V_LT_Y
[s]	[rot/min]	[mm/s]	[mm/s]	[mm/s]
1.	84.33	0.48	0.56	0.84
2.	98.28	0.71	0.26	1.31
3.	128.92	0.87	1.55	2.31
4.	142.05	1.51	3.19	2.34
5.	186.91	0.96	0.4	1.89
6.	210.13	1.01	2.49	1.9
7.	231.63	0.62	0.76	1.43
8.	250.32	0.66	1.38	1.55
9.	270.19	0.6	0.92	1.53
10.	288.04	0.73	0.7	1.51
11.	305.37	0.7	1.7	1.54
12.	330.3	0.57	1.14	1.57
13.	345.49	0.45	1.12	1.54
14.	360.46	0.41	0.85	1.55
15.	374.63	0.48	0.9	1.47
16.	394.14	0.72	0.87	1.46
17.	405.96	0.8	0.97	1.47
18.	417.35	0.84	0.9	1.63
19.	427.33	0.84	0.9	1.63
20.	437.23	0.9	0.8	1.59
21.	446.56	0.92	1.29	1.59
22.	472.25	1.13	0.84	1.74
23.	484.12	1.35	0.47	1.96
24.	486.65	1.07	0.73	1.83
25.	489.21	1.19	1.27	1.86
Val. max.	497.05	1.51	1.7	2.34

În tabelul 6.2. sunt date valorile parametrilor măsurați în regimul stabilizat de mers în gol neexcitat.

Tabel 6.2 – Parametrii măsurați în regim stabilizat

Time	n	VLRAG_-Y	VLRI_Y_rad	V_LT_Y
[s]	[rot/min]	[mm/s]	[mm/s]	[mm/s]
0	493.43	1.2	0.71	1.9
1	493.92	1.15	1.08	1.88
2	493.92	0.88	0.74	1.96
3	543.31	1.03	0.52	1.97
4	493.92	1.05	0.73	1.92
5	493.92	1.2	0.93	1.88

6	493.91	1.08	0.88	2
7	493.91	1.11	0.92	2.05
8	493.91	1.11	0.92	2.05
9	493.92	1.15	1.08	1.88
10	493.92	0.88	0.74	1.96
11	493.92	1.2	0.93	1.88
12	493.91	1.08	0.88	1.99
13	493.95	1.1	0.93	1.88
14	493.91	1.07	0.88	1.97
15	493.93	1.09	0.88	1.95
Medie	493.8622	1.09	0.825555556	1.956667

Figura 6.4 prezintă Forma de undă a vibrațiilor în regim de mers în gol neexcitat



Fig. 6.4 – Forma de undă a vibrațiilor în regim de mers în gol neexcitat.

Se observă în timpul procesului de pornire în gol neexcitat că vibrațiile nu depășesc valoarea de 3.2 mm/s, iar în regim stabilizat de mers în gol neexcitat valoarea maximă a vibrațiilor este în lagărul turbinei (1.956 mm/s)

6.2.2. Verificarea vibrațiilor în regimul de mers în gol excitat

În regimul de mers în gol excitat, conectarea tensiunii de excitație a generatorului determină o anumită valoare a tensiunii în stator, înregistrându-se următorii parametri:

- vibrațiile lagărului axial radial superior pe direcția: **V_LRAG_-Y_rad**
- vibrațiile lagărului axial radial superior pe direcția: **V_LRI_Y_rad**
- vibrațiile lagărului radial inferior pe direcția: **V_LT_Y_rad**
- tensiunea de linie a generatorului: **U_{linie}**
- curentul de excitație: **I_{exG}**
- tensiunea de excitație: **U_{exG}**

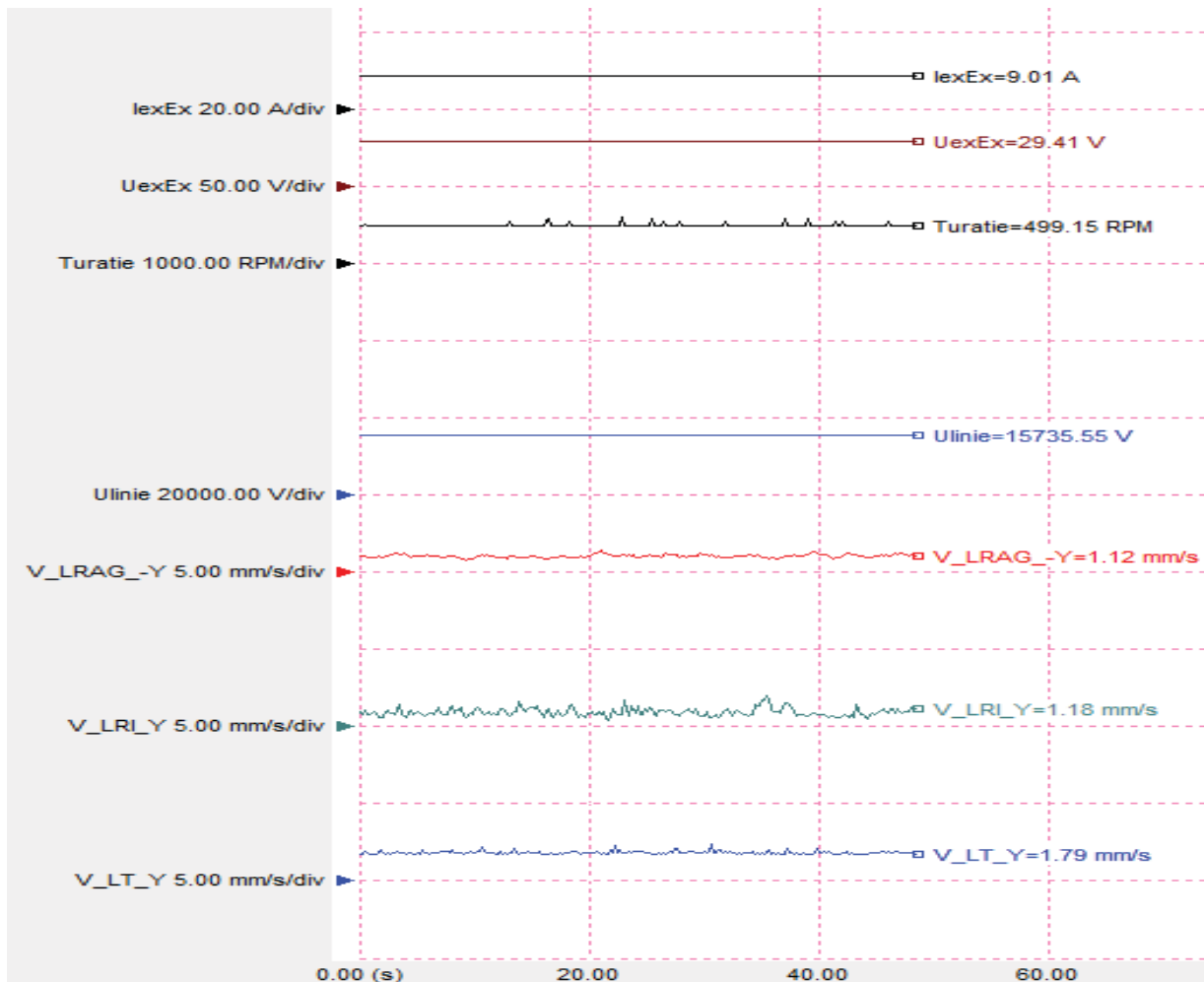
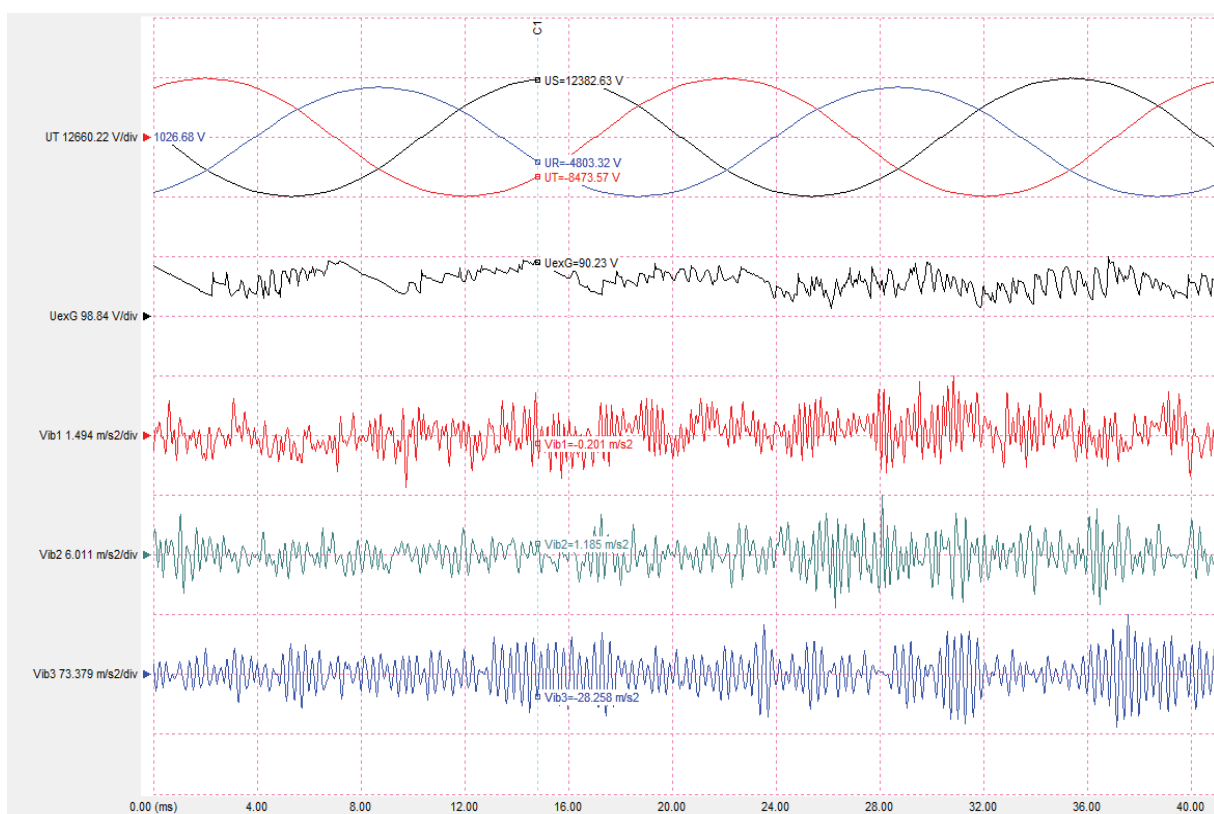


Fig. 6.5 – Variația parametrilor măsurați în regimul de mers în gol excitat, $U_{linie}=15.7$ kV.

Tabel 6.3 – Parametrii măsurăți în regimul stabilizat de mers în gol excitat $U_{linie}=15,7$ kV

Time	Parametrii electrici			Vibrații		
	T	$U_{med-linie}$	U_{exEx}	I_{exEx}	LRAG_y	V_LRI_y
[s]	15744.52	29.55	9.02	1.12	1.03	1.77
0	15744.56	29.49	9.02	1.06	0.78	1.76
1	15744.55	29.47	9.02	1.09	1.1	1.9
2	15744.48	29.5	9.02	1.04	0.84	1.8
3	15744.35	29.53	9.01	1.01	0.84	1.74
4	15744.19	29.53	9.02	1.02	0.87	1.71
5	15744.03	29.53	9.02	1	0.97	1.75
6	15743.9	29.46	9.02	1	0.87	1.74
7	15743.75	29.49	9.02	1.04	0.62	1.83
8	15743.54	29.52	9.02	0.96	0.59	2.03
9	15743.36	29.56	9.02	0.95	0.6	1.86
10	15743.29	29.56	9.02	1.1	1.02	1.78
11	15743.31	29.45	9.02	1.11	1.07	1.87
12	15743.31	29.49	9.02	1.14	0.91	1.78
13	15743.28	29.51	9.02	1.21	0.87	1.8
14	15743.89	29.5	9.019	1.05	0.86	1.8
15	15744.52	29.55	9.02	1.12	1.03	1.77
Medie	15744.56	29.49	9.02	1.06	0.78	1.76

Fig. 6.6 – Variația parametrilor măsurăți în regimul de mers în gol excitat, $U_{linie}=15.7$ kV.

Se observă că în timpul procesului tranzitoriu de magnetizare a generatorului, nu se constată o creștere considerabilă a nivelului vibrațiilor din lagăre, existând chiar o tendință de reducere a acestora la nivelul lagărului turbinei. Acest fapt indică o centrare corectă a rotorului în stator din punct de vedere geometric cât și din punct de vedere magnetic.

6.2.3. Caracteristica de mers în gol

Caracteristica de mers în gol reprezintă relația $U_0=f(I_{exG})$ pentru $n=ct.$, ($f=ct$) și $I=0$, unde U_0 reprezintă tensiunea la bornele generatorului în regim de mers în gol.

Întrucât în regim de mers în gol, curentul de sarcină este nul ($I=0$), tensiunea la bornele generatorului va fi egală cu tensiunea electromotoare U_{eE} , indusă de fluxul de excitație Φ_p determinat de curentul I_{exG} din înfășurarea rotorului.

În diagrama fazorială, tensiunea electromotoare U_{eE} va fi defazată cu $\pi/2$ în urma fluxului de excitație respectiv în urma curentului de excitație (Figura 6.7).

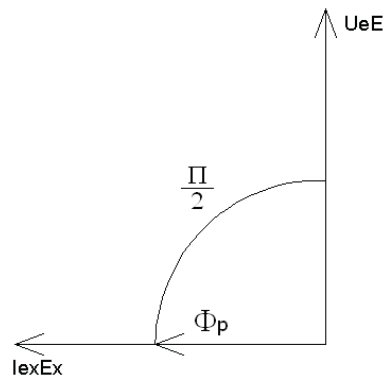


Fig. 6.7 – Diagrama fazorială a generatorului sincron în regim de mers în gol.

În condițiile în care turația generatorului se menține constantă, $n=499.5rpm$, ceea ce corespunde la frecvența $f=50 Hz$, se modifică curentul de excitație I_{exEx} prin înfășurarea de excitație și se citesc valorile corespunzătoare ale tensiunii la borne, U_0 .

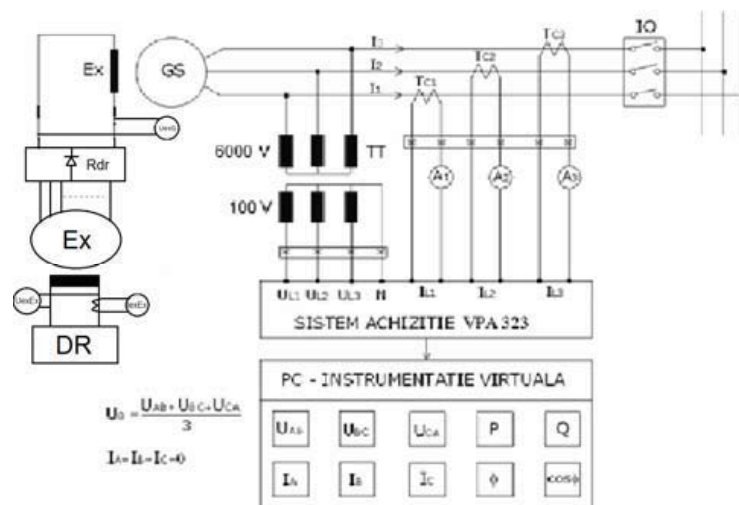


Fig. 6.8 – Schema de măsură în regim de mers în gol.

Valorile pentru caracteristica de mers în gol se înscriu în tabelul 6.4, iar reprezentarea grafică a variației $U_0=f(I_{exG})$ este dată în Figura 6.9 respectiv în Figura 6.10.

Tabel 6.4 – Parametrii măsurai în regimul tranzitoriu de mers în gol excitat

Turație	Parametrii electrici			
	$U_{med-linie}$	U_{exG}	U_{exEx}	I_{exEx}
n	[kV]	[kV]	[KV]	[A]
[RPM]	[kV]	[kV]	[KV]	[A]
493.87	1940.23	5.04	3.84	1.06
492.86	4005.95	12.65	7.3	2.15
492.35	6127.44	21.22	10.96	3.3
492.49	8113.99	28.19	14.23	4.32
498.13	9995.81	34.94	17.48	5.31
498.64	11016.84	38.68	19.14	5.85
498.64	11016.84	38.68	19.14	5.85
498.13	13266.97	49.25	1.03	7.26
497.76	14119.31	53.69	1.02	7.85
498.16	14997.36	59.11	27.83	8.56
498.16	15653.25	63.09	29.61	9.09

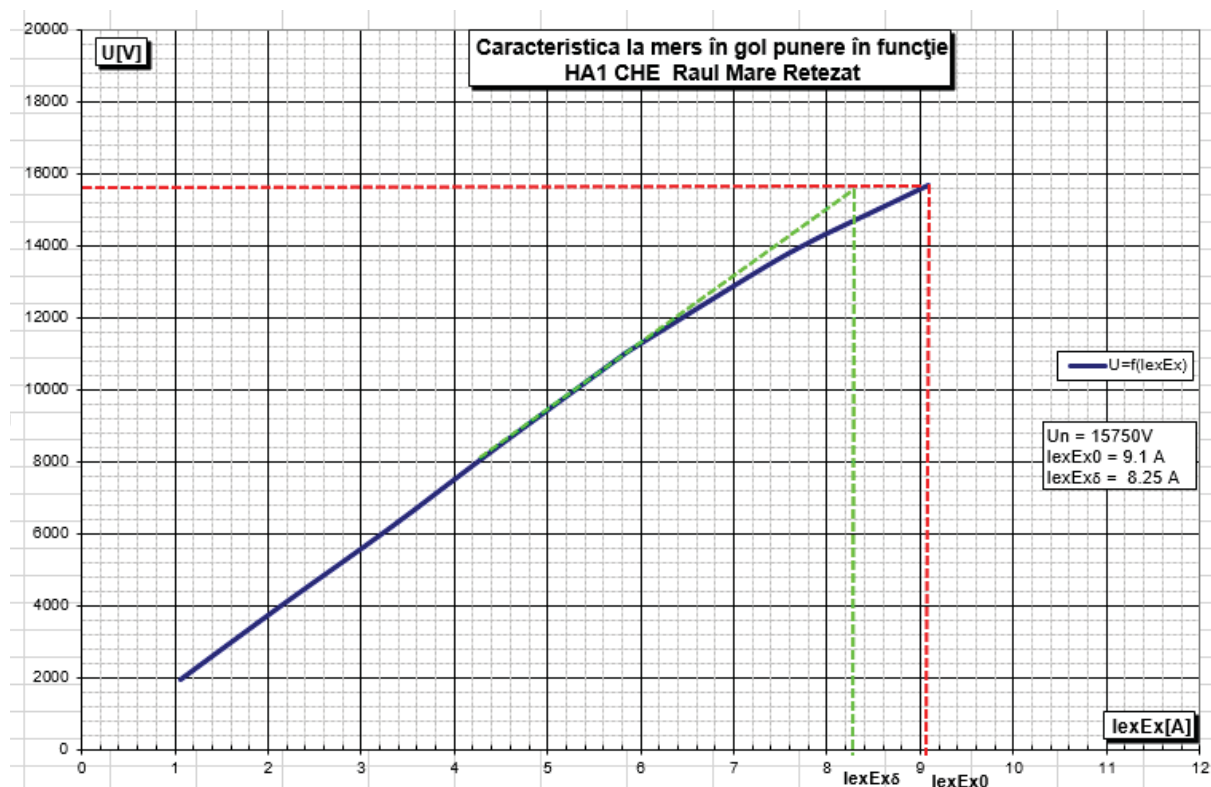


Fig. 6.9 – Caracteristica la mers în gol.

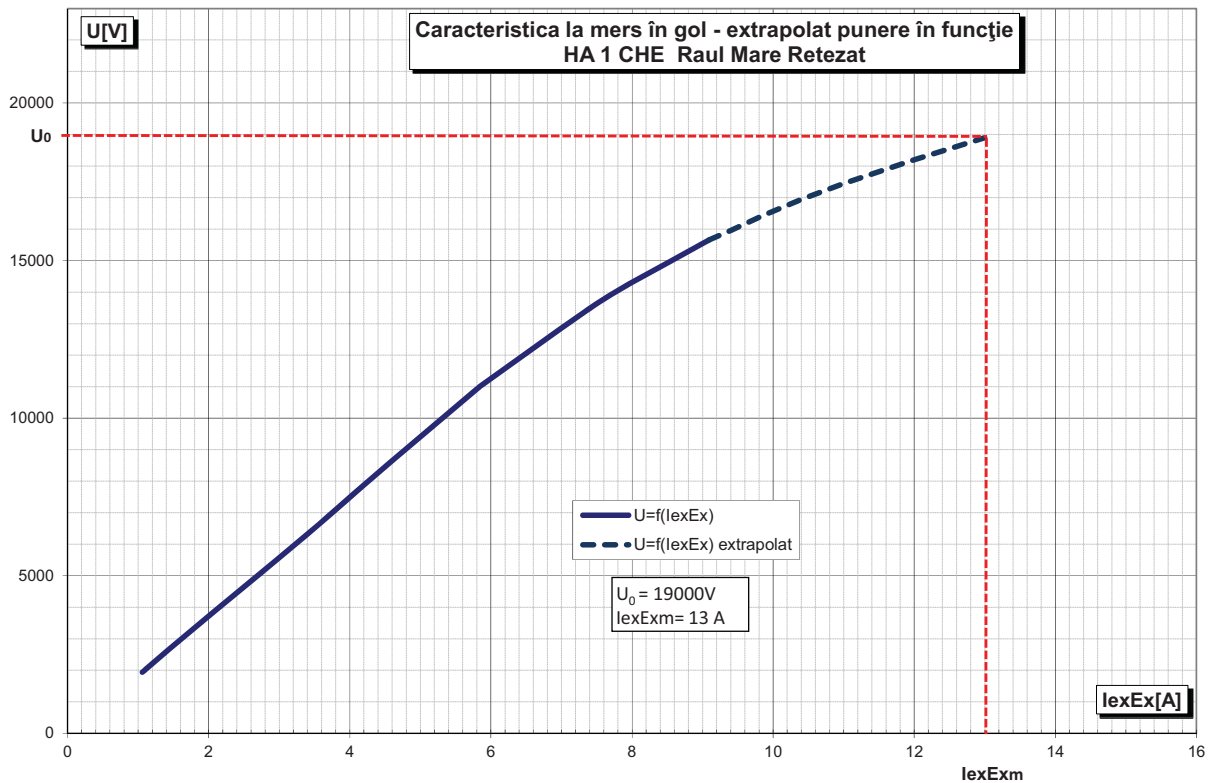


Fig. 6.10 – Caracteristica la mers în gol extrapolată.

6.3. Încercări în regim de mers în sarcină

Încercările au în vedere determinarea performanțelor de funcționare a hidrogeneratorului din CHE Raul Mare Retezat, în regim de mers în sarcină.

În acest regim s-au înregistrat următorii parametri:

- vibrațiile lagărului axial radial superior pe direcția: **V_LRAG_-Y_rad**
- vibrațiile lagărului axial radial superior pe direcția: **V_LRI_Y_rad**
- vibrațiile lagărului radial inferior pe direcția: **V_LT_Y_rad**
- tensiunea de linie a generatorului: **U_{linie}**
- curentul de excitație: **I_{exG}**
- tensiunea de excitație: **U_{exG}**
- puterea activă: **P**
- curentul statoric: **I**
- turația: **n**

6.3.1. Verificarea vibrațiilor în regimul de mers în sarcină

Rezultatele măsurătorilor sunt trecute în tabelul 6.5, tabelul 6.6, tabelul 6.7 și tabelul 6.8, iar variația în timp a parametrilor măsurați este dată în Figura 6.11, Figura 6.12, Figura 6.13. și Figura 6.14.

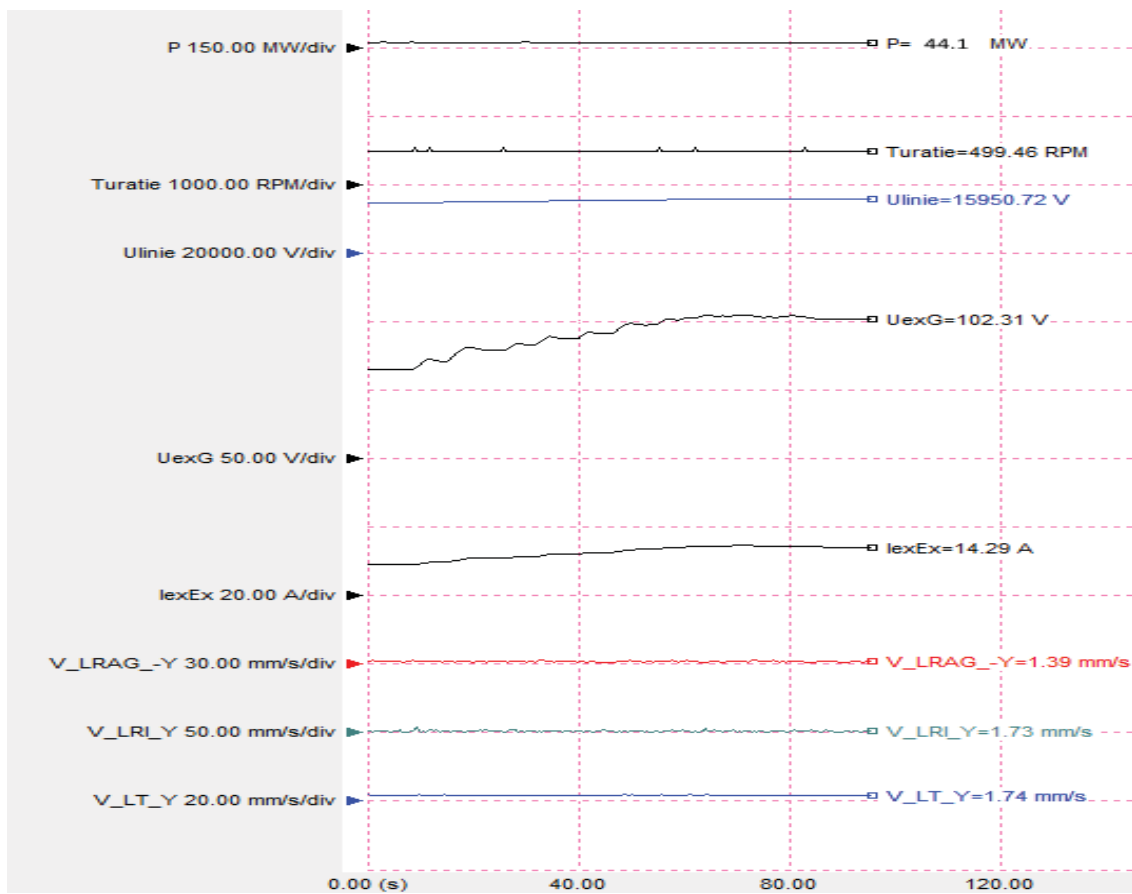


Fig. 6.11 – Variația parametrilor la pornire și în regim stabilizat la mers în sarcina P=45 MW.

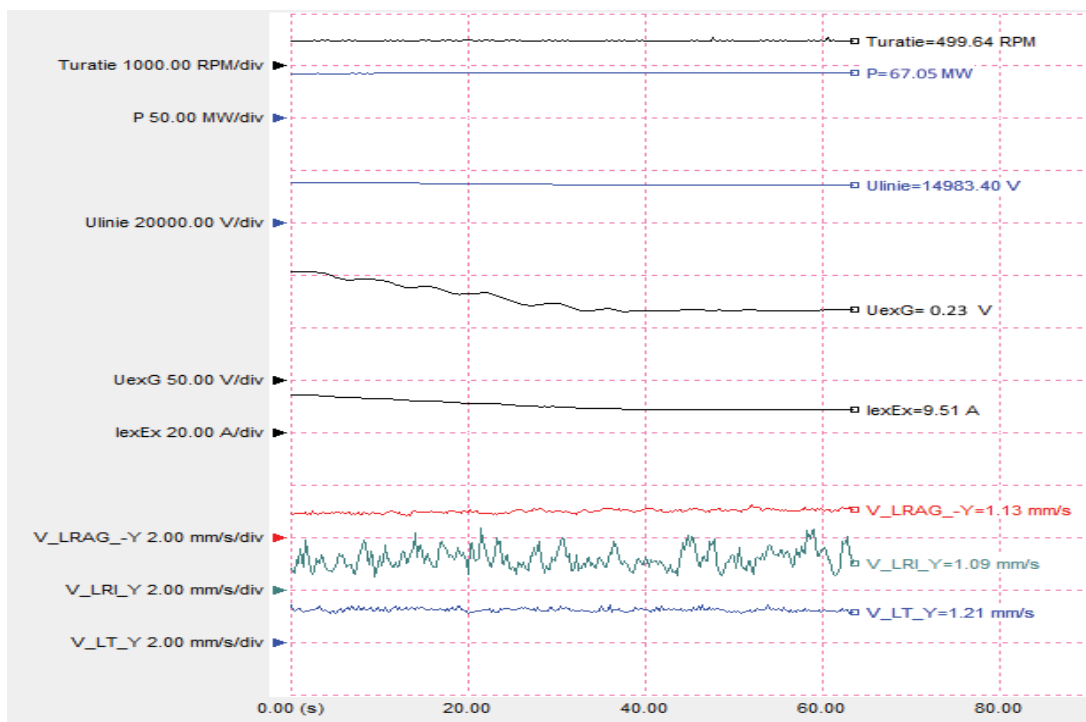


Fig. 6.12 – Variația parametrilor la pornire și în regim stabilizat la mers în sarcina P=65 MW.

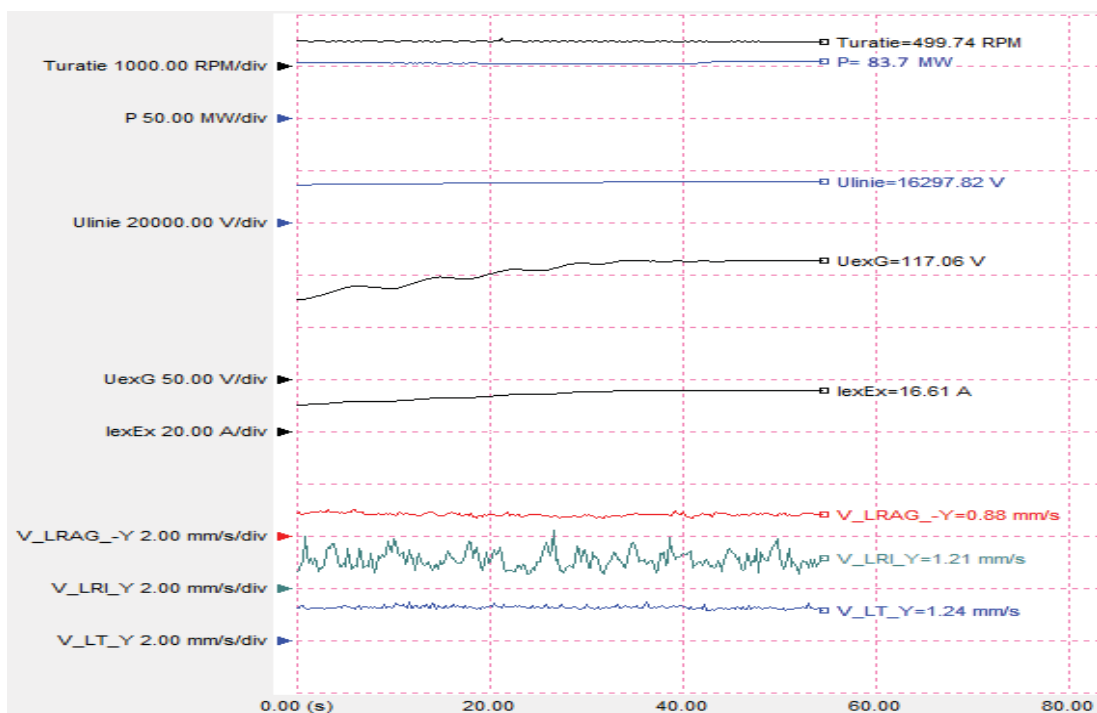


Fig. 6.13 – Variația parametrilor la pornire și în regim stabilizat la mers în sarcina P=84 MW.

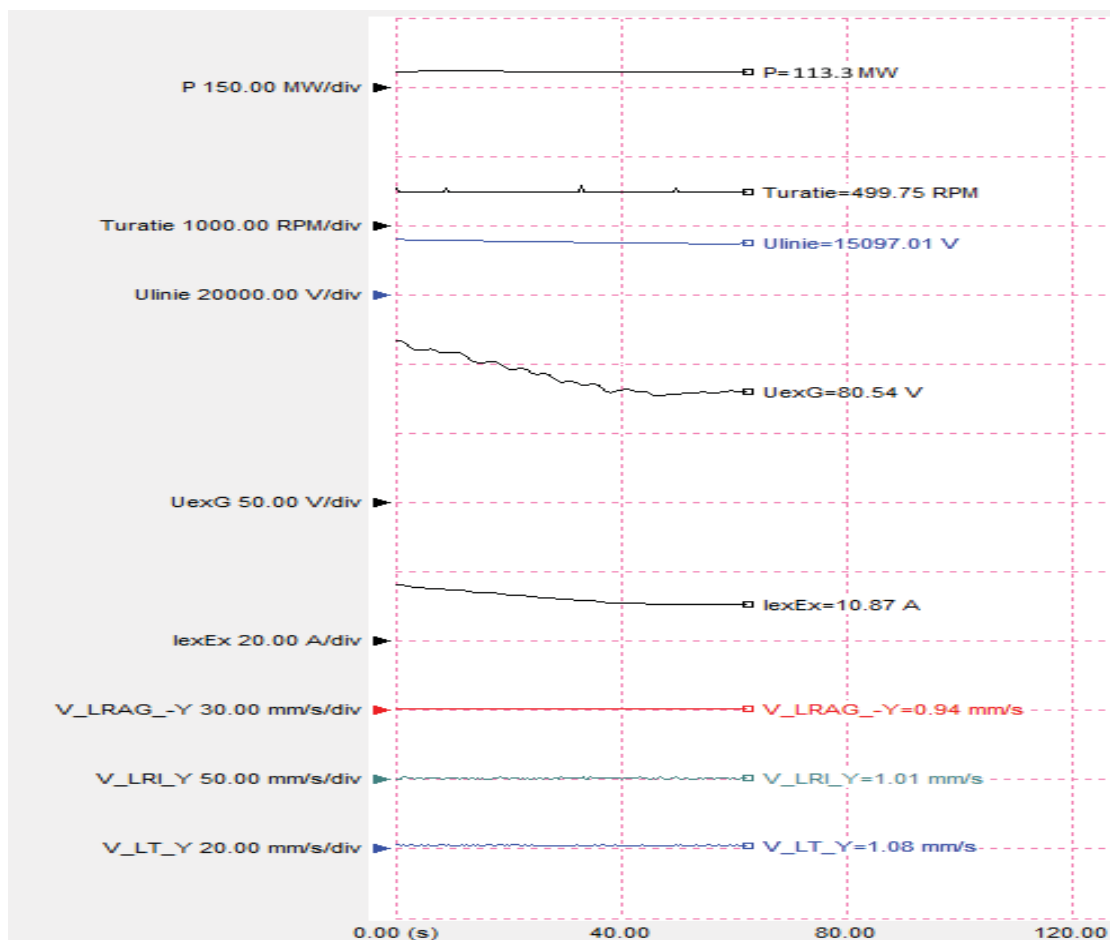


Fig. 6.14 – Variația parametrilor la pornire și în regim stabilizat la mers în sarcina P=110 MW.

Tabel 6.5 – Variația parametrilor mășurați la regimul de mers în sarcină stabilizat la P=45 MW

Nr. crt.	Parametrii electrici					Vibrații		
	U _{linie}	I	P	U _{exG}	I _{exEx}	V_LRAG_Y	V_LRI_Y	V_LT_Y
	[kV]	[kA]	[MW]	[kV]	[A]	[mm/s]	[mm/s]	[mm/s]
1	14.95	1.707	44.1	2.73	9.15	1.59	1.03	2.09
2	14.95	1.708	44.16	2.76	9.15	1.62	1.26	1.75
3	14.95	1.709	44.19	2.73	9.14	1.75	0.83	1.81
4	14.95	1.714	44.31	2.61	9.14	1.39	1.01	1.74
5	14.95	1.717	44.4	2.55	9.13	1.36	1.23	1.66
6	14.95	1.719	44.46	2.34	9.13	1.16	1.1	1.6
7	14.95	1.717	44.4	2.34	9.12	1.14	1.01	1.53
8	14.95	1.708	44.19	2.28	9.12	1.17	0.98	1.57
9	14.95	1.707	44.13	2.31	9.12	1.32	1.23	1.63
10	14.95	1.699	43.95	2.31	9.11	1.34	1.52	1.65
V.med.	14.95	1.710	44.229	2.496	9.131	1.384	1.12	1.703

Tabel 6.6 – Variația parametrilor mășurați la regimul de mers în sarcină stabilizat la P=65 MW

Nr. crt.	Parametrii electrici					Vibrații		
	U _{linie}	I	P	U _{exG}	I _{exEx}	V_LRAG_Y	V_LRI_Y	V_LT_Y
	[kV]	[kA]	[MW]	[kV]	[A]	[mm/s]	[mm/s]	[mm/s]
1	16.04	3.548	67.05	106.53	15.03	0.94	0.74	1.3
2	16.03	3.532	67.02	106.44	14.99	0.97	1.23	1.29
3	16.02	3.509	66.84	106.36	14.94	0.98	1.62	1.36
4	16.02	3.496	66.93	106.28	14.9	0.99	0.92	1.21
5	16.02	3.481	66.84	106.2	14.87	0.95	1.6	1.26
6	16.01	3.469	66.99	106.17	14.84	0.94	0.82	1.29
7	16.01	3.460	66.93	105.96	14.81	0.96	0.75	1.3
8	16.01	3.449	67.08	105.93	14.78	0.95	1.16	1.35
9	16.00	3.435	66.9	105.53	14.73	0.97	1.38	1.31
10	16.00	3.419	66.69	104.83	14.65	0.99	0.92	1.3
V.med.	16.02	3.480	66.927	106.023	14.854	0.964	1.114	1.297

Tabel 6.7 – Variația parametrilor mășurați la regimul de mers în sarcină stabilizat la P=84 MW

Nr. crt.	Parametrii electrici					Vibrații		
	U _{linie}	I	P	U _{exG}	I _{exEx}	V_L _{LAG} _Y	V_L _{RI} _Y	V_L _T _Y
	[kV]	[kA]	[MW]	[kV]	[A]	[mm/s]	[mm/s]	[mm/s]
1	15.21	3.2312	83.91	79.22	10.88	0.96	0.74	1.31
2	15.21	3.2352	84.06	79.14	10.88	0.86	1.09	1.39
3	15.22	3.2350	84.06	79.79	10.93	0.94	1.43	1.28
4	15.23	3.2268	83.88	80.83	11.01	0.97	1.22	1.33
5	15.25	3.2224	83.88	81.82	11.08	0.99	1.21	1.3
6	15.26	3.2214	83.91	82.66	11.16	0.99	0.71	1.31
7	15.28	3.2214	83.88	83.52	11.24	0.97	0.83	1.3
8	15.29	3.2230	83.82	84.6	11.34	0.96	1.46	1.29
9	15.30	3.2270	83.76	85.91	11.46	0.97	1.6	1.3
10	15.31	3.2361	83.79	87.36	11.59	1	1.79	1.3
V.med.	15.25	3.2279	83.895	82.485	11.157	0.961	1.208	1.311

Tabel 6.8 – Variația parametrilor mășurați la regimul de mers în sarcină stabilizat la P=110 MW

Nr. crt.	Parametrii electrici					Vibrații		
	U _{linie}	I	P	U _{exG}	I _{exEx}	V_L _{LAG} _Y	V_L _{RI} _Y	V_L _T _Y
	[kV]	[kA]	[MW]	[kV]	[A]	[mm/s]	[mm/s]	[mm/s]
1	16.24	4.686	111.21	117.86	16.59	0.91	0.88	1.16
2	16.24	4.676	111.3	117.88	16.52	0.89	0.73	1.41
3	16.23	4.670	111.45	117.53	16.44	0.89	0.91	1.13
4	16.23	4.663	111.6	116.73	16.34	0.86	2.28	1.26
5	16.22	4.662	111.93	115.39	16.22	0.9	1.89	1.12
6	16.20	4.660	112.23	114.25	16.08	0.9	1.48	1.11
7	16.19	4.655	112.5	112.96	15.93	0.94	1.54	1.2
8	16.17	4.647	112.74	111.76	15.79	0.94	1.4	1.15
9	16.15	4.635	112.86	111.01	15.67	1.04	0.87	1.09
10	16.13	4.624	112.95	110.8	15.59	1.03	1.47	1.11
V.m.	16.20	4.658	112.077	114.617	16.117	0.93	1.345	1.174

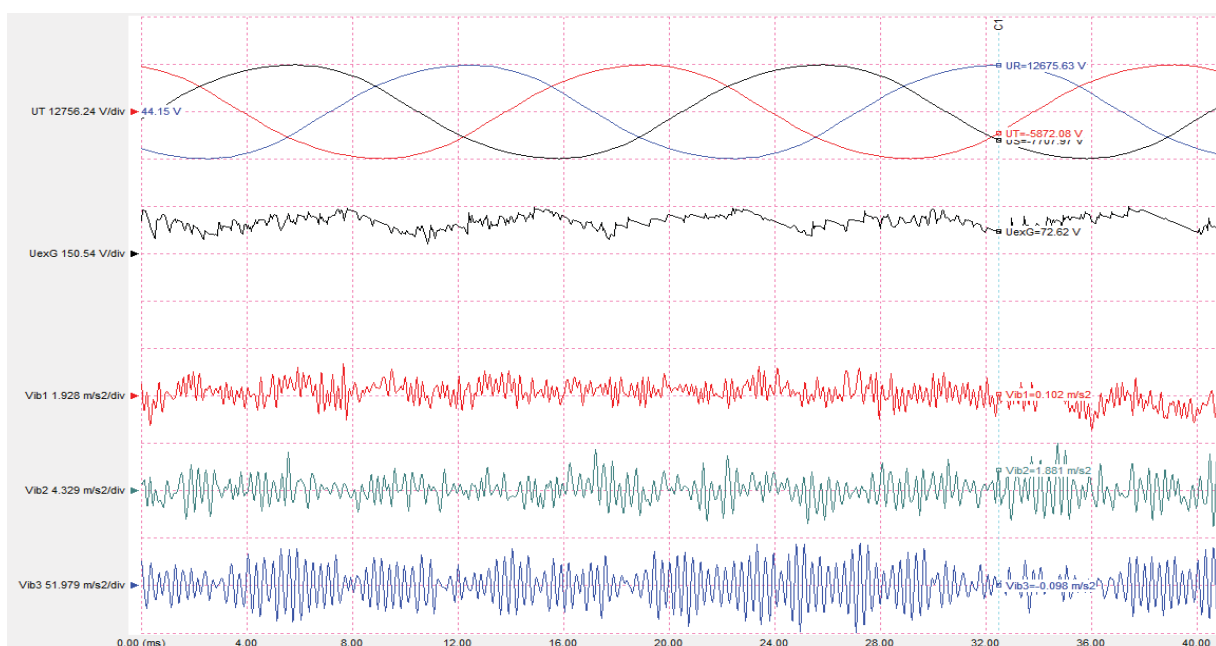


Fig. 6.15 – Forma de undă la regim de mers în sarcină P=45 MW.

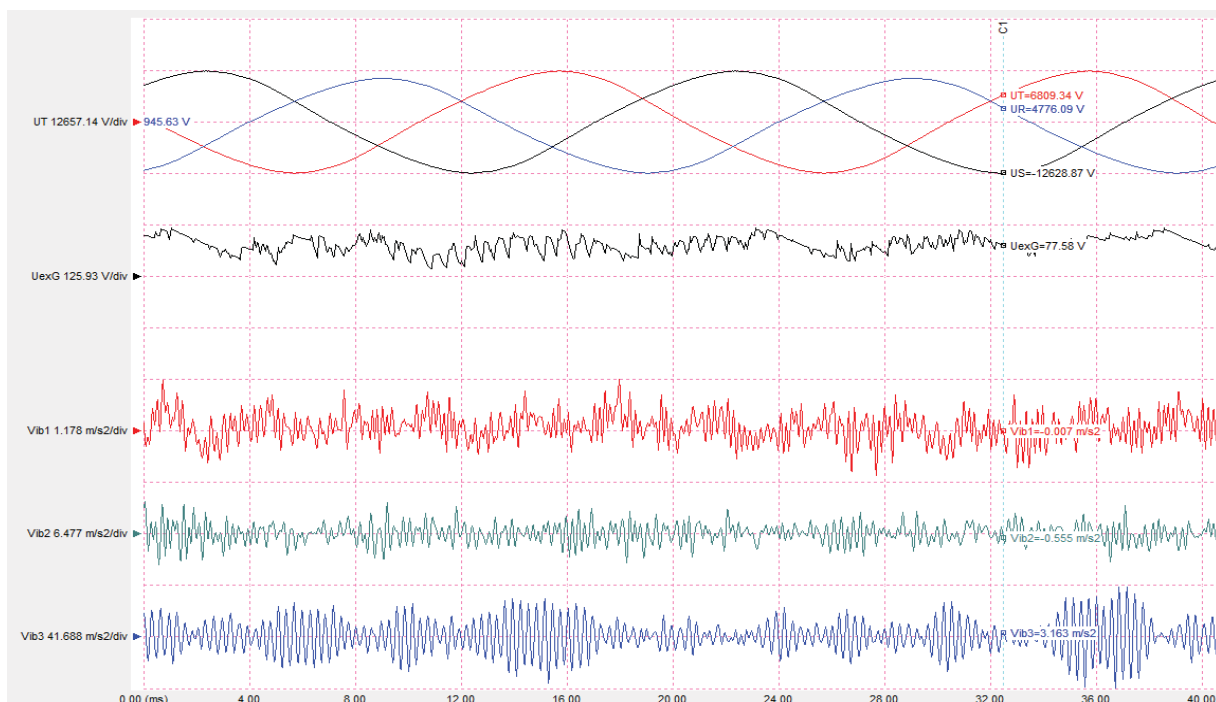


Fig. 6.16 – Forma de undă la regim de mers în sarcină P=110 MW.

Din măsurătorile de vibrații rezultă că în regim de funcționare în sarcină, vibrațiile au tendința de stabilizare la un nivel inferior celui corespunzător la funcționarea în gol neexcitat.

La nivelul lagărului turbinei vibrațiile în regim de mers în gol neexcitat sunt 1.956 mm/sec iar în regim de sarcină la P=110 MW, scad la valoarea de 1.174 mm/s.

De asemenea la nivelul lagărului radial axial se constată o tendință de scădere a vibrațiilor.

6.3.2. Caracteristicile la mers în sarcină (în V)

Caracteristica în V, $I = f(I_{exG})$, pentru $U = ct$, $f = ct$, $P = ct.$, corespunde diagramei fazoriale din figura 6.17.

Condiția de $P = ct.$, impune componenta activă a curentului debitat $I_a = ct.$ și locul vârfului \underline{I} la variația lui $I_{exG}(UeE)$ este dreapta (Δ) . În diagramă, mașina este supraexcitată și debitează putere inductivă în rețea.

Dacă începe să se scadă curentul de excitație, curentul scade către valoarea minimă când generatorul funcționează față de rețea la $\cos \varphi = 1$; scăzând în continuare excitația (subexcitând mașina), curentul crește din nou și $\cos \varphi$ devine capacitiv.

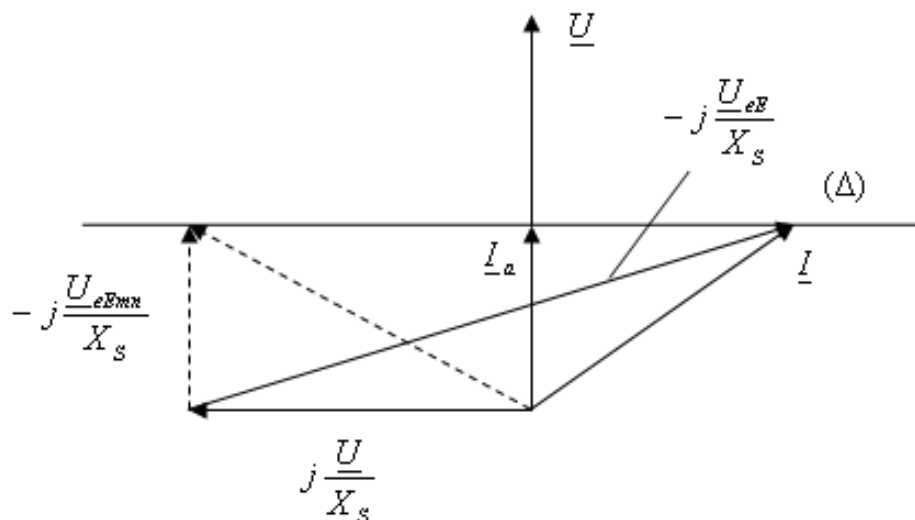


Fig. 6.17 - Diagrama fazorială a generatorului sincron funcționând la $U=ct$, $f=ct$, $P=ct.$

Pentru o putere, P , dată, este necesar ca excitația să nu scadă sub o anumită valoare minimă. În figură s-a reprezentat cu linie întreruptă și valoarea minimă UeE_{minsub} la care funcționarea sincronă nu mai este posibilă pentru puterea considerată. Curba $I=f(I_{exG})$ ce se obține, este de forma unui V.

Pentru altă valoare a puterii $P=ct$ mai mare, dreapta (Δ) se deplasează astfel ca I_a să crească. Curentul de excitație necesar stabilirii noului I_a este de asemenea mai mare și vârful curbei în V în sistemul de axe (I_{exG}, I) se deplasează în sus și spre dreapta.

În figura 6.18 sunt reprezentate caracteristicile $I=f(I_{exG})$ pentru diverse puteri P . Curba reprezentată întrerupt ce unește vârfurile curbelor în V, separă din punctul de vedere al încărcării reactive, zona funcționării ca generator inductiv, de cea de generator capacitiv (de receptor inductiv).

Curba reprezentată întrerupt în zona funcționării capacitive, indică limitele până la care poate fi scăzută excitația pentru diverse puteri $P=ct$, astfel ca funcționarea sincronă să fie posibilă.

Pentru diferite valori ale puterii active, se ridică caracteristicile în sarcină corespunzătoare puterii respective.

Pentru diferite valori ale curentului de excitație, se citesc valorile corespunzătoare a curentului stator, tensiuni statorice, puterile active și reactive. Rezultatele se trec în tabele.

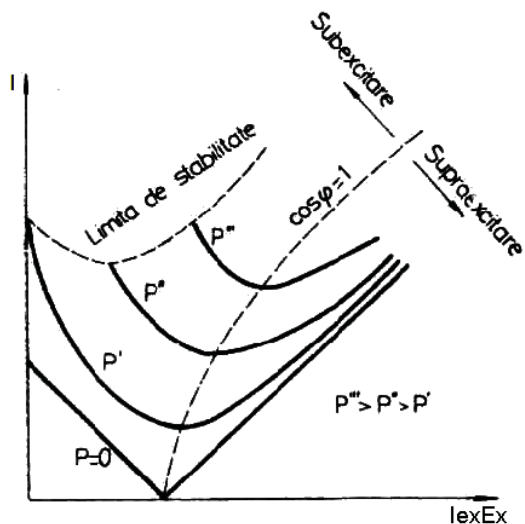


Fig. 6.18 – Curbele în V ale mașinii sincrone pentru diverse valori $P=ct.$

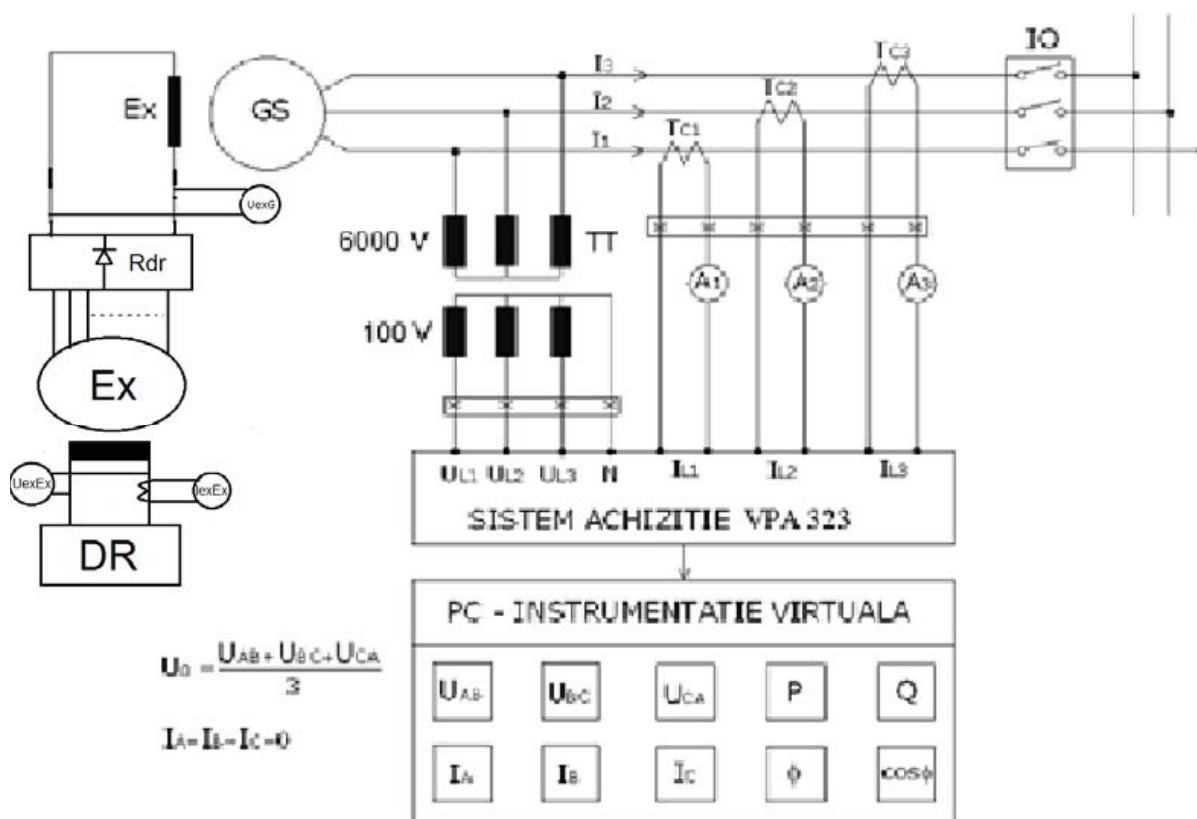


Fig. 6.19 – Schema de măsură pentru regimul de funcționare în sarcină.

6.3.2.1. Caracteristica în regim de mers în sarcină pentru P=44 MW

Generatorul fiind conectat pe rețea, la P=44 MW se modifică curentul de excitație din înfășurarea rotorică măsurându-se valorile corespunzătoare:

- tensiunile de fază U_R, U_S, U_T
- curentul statoric I
- curentul de excitație al generatorului I_{exEx}
- tensiunea de excitație a generatorului U_{exG}
- puterea activă P
- puterea reactivă Q
- factorul de putere $\cos \varphi$
- frecvența f

Tabel 6.9 – Valorile parametrilor electrici la regim de mers în sarcină pentru P=44 MW

Nr. crt.	Parametrii electrici									
	U_R	U_S	U_T	U_{linie}	I	P	Q	$\cos \varphi$	U_{exG}	I_{exEx}
	[kV]	[kV]	[kV]	[kV]	[kA]	[MW]	[Mvar]		[kV]	[A]
1	8.62	8.63	8.63	14.95	1.63	44.16	2.76	1	65.49	9.15
2	8.70	8.71	8.71	15.08	1.66	43.71	10.44	0.97	71.58	9.9
3	8.81	8.81	8.81	15.27	1.80	44.01	21.93	0.89	81.72	11.01
4	8.88	8.90	8.90	15.41	1.91	43.32	30.72	0.85	83.31	11.52
5	8.96	8.97	8.97	15.53	2.10	43.53	40.92	0.79	88.19	12.24
6	9.05	9.06	9.06	15.69	2.39	43.02	49.62	0.69	97.4	13.25
7	9.15	9.16	9.15	15.86	2.71	42.99	61.47	0.59	102.12	14.13
8	9.20	9.21	9.21	15.95	2.95	42.75	70.17	0.52	104.2	14.68

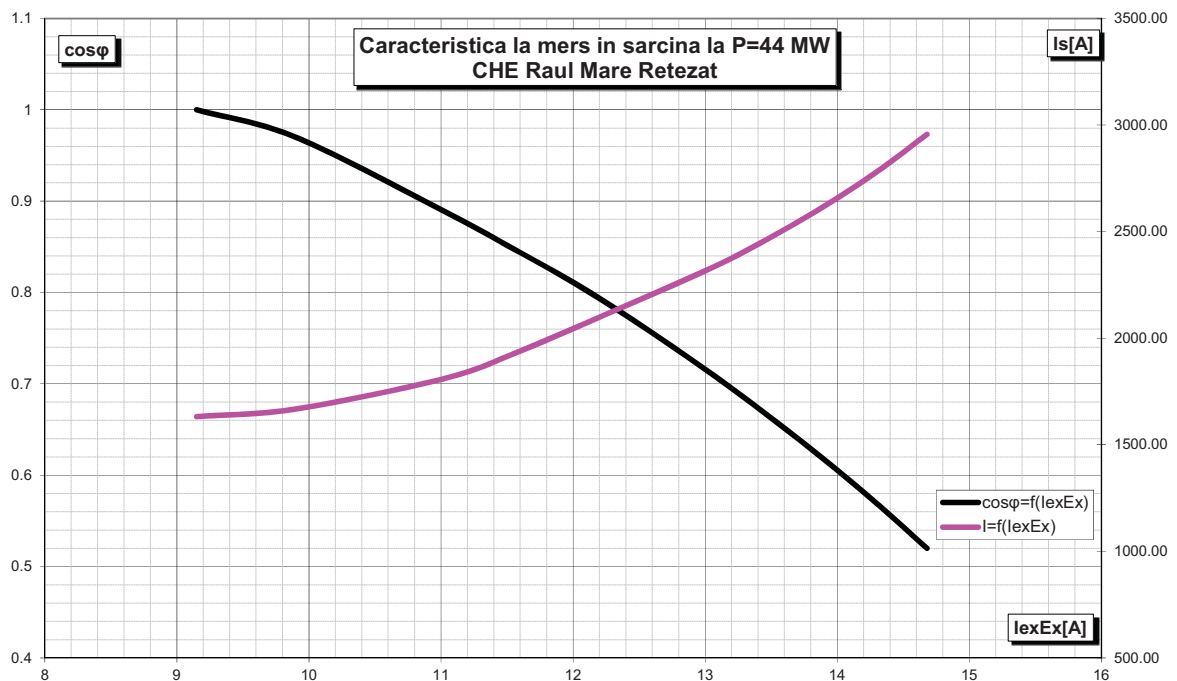


Fig. 6.20 – Caracteristica la mers în sarcină la P=44 MW.

6.3.2.2. Caracteristica în regim de mers în sarcină pentru P=65 MW

Generatorul fiind conectat pe rețea, la P=65 MW se modifică curentul de excitație din înfășurarea rotorică măsurându-se valorile corespunzătoare:

- tensiunile de fază U_R, U_S, U_T
- curentul statoric I
- curentul de excitație al generatorului I_{exEx}
- tensiunea de excitație a generatorului U_{exG}
- puterea activă P
- puterea reactivă Q
- factorul de putere $\cos \varphi$
- frecvența f

Tabel 6.10 – Valorile parametrilor electrici la regim de mers în sarcină pentru P=65 MW

Nr. crt.	Parametrii electrici									
	U_R	U_S	U_T	U_{linie}	I	P	Q	$\cos \varphi$	U_{exG}	I_{exEx}
	[kV]	[kV]	[kV]	[kV]	[kA]	[MW]	[Mvar]		[kV]	[A]
1	9.26	9.26	9.26	16.04	3.55	67.05	72.21	0.68	106.53	15.03
2	9.17	9.17	9.17	15.89	3.25	6	27517	0.765	98.4	13.9
3	9.14	9.14	9.14	15.84	3.16	67.26	55.89	0.79	97.54	13.57
4	8.91	8.91	8.91	15.71	2.98	67.74	47.31	0.84	91.8	12.77
5	9.03	9.03	9.03	15.64	2.90	67.68	43.32	0.87	87.72	12.31
6	8.97	8.97	8.97	15.54	2.83	67.71	36.48	0.9	85.05	11.84
7	8.89	8.88	8.88	15.39	2.72	67.65	27.36	0.95	76.47	10.92
8	8.81	8.81	8.81	15.26	2.69	68.49	18.36	0.97	75.1	10.48

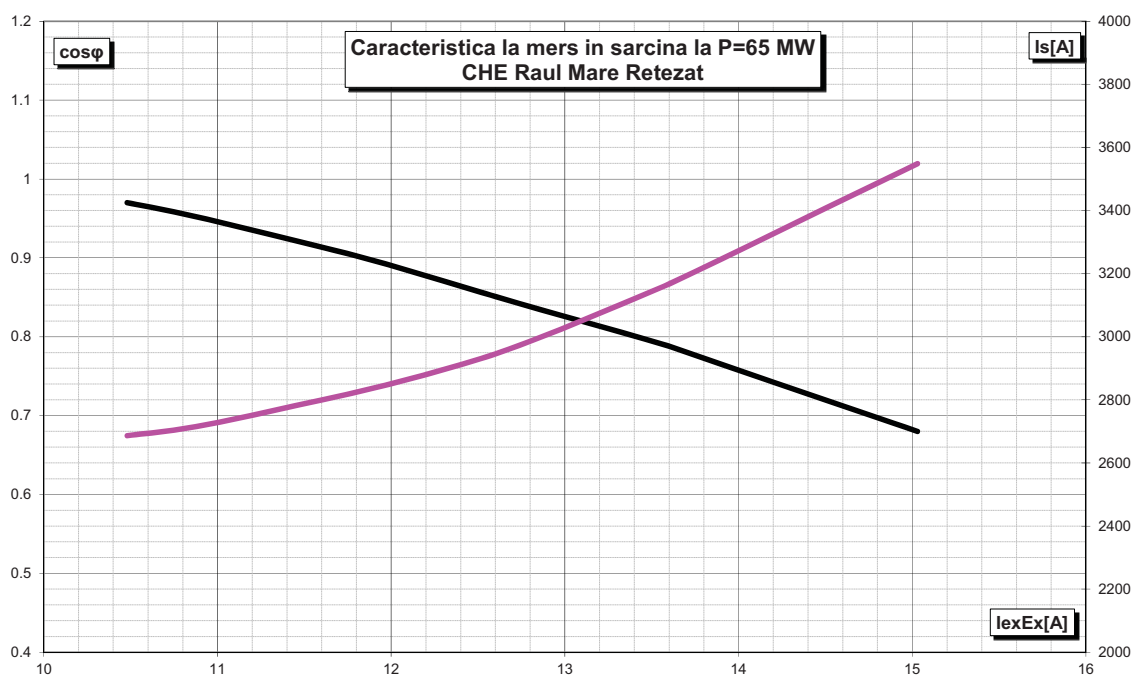


Fig. 6.21 – Caracteristica la mers în sarcină la P=65 MW.

6.3.2.3. Caracteristica în regim de mers în sarcină pentru P=84 MW

Generatorul fiind conectat pe rețea, la P=84 MW se modifică curentul de excitație din înfășurarea rotorică măsurându-se valorile corespunzătoare:

- tensiunile de fază U_R, U_S, U_T
- curentul statoric I
- curentul de excitație al generatorului I_{exEx}
- tensiunea de excitație a generatorului U_{exG}
- puterea activă P
- puterea reactivă Q
- factorul de putere $\cos \varphi$
- frecvența f

Tabel 6.11 – Valorile parametrilor electrici la regim de mers în sarcină pentru P=84 MW

Nr. crt.	Parametrii electrici									
	U_R	U_S	U_T	U_{linie}	I	P	Q	$\cos \varphi$	U_{exG}	I_{exEx}
	[kV]	[kV]	[kV]	[kV]	[kA]	[MW]	[Mvar]		[kV]	[A]
1	8.63	8.64	8.63	15.21	3.23	83.91	13.95	0.99	79.22	10.88
2	8.70	8.71	8.71	15.46	3.29	83.76	27.21	0.95	92.53	12.31
3	8.81	8.82	8.82	15.57	3.34	83.46	35.01	0.93	95.8	12.88
4	8.89	8.90	8.91	15.72	3.43	83.34	44.31	0.9	100.75	13.65
5	8.97	8.98	8.97	15.85	3.55	83.31	51.99	0.86	105.66	14.37
6	9.05	9.06	9.06	16.04	3.65	83.16	60.36	0.83	107.69	14.95
7	9.15	9.16	9.16	16.13	3.82	82.98	67.14	0.78	114.53	15.8
8	9.21	9.22	9.22	16.27	4.01	82.74	77.01	0.73	116.68	16.51

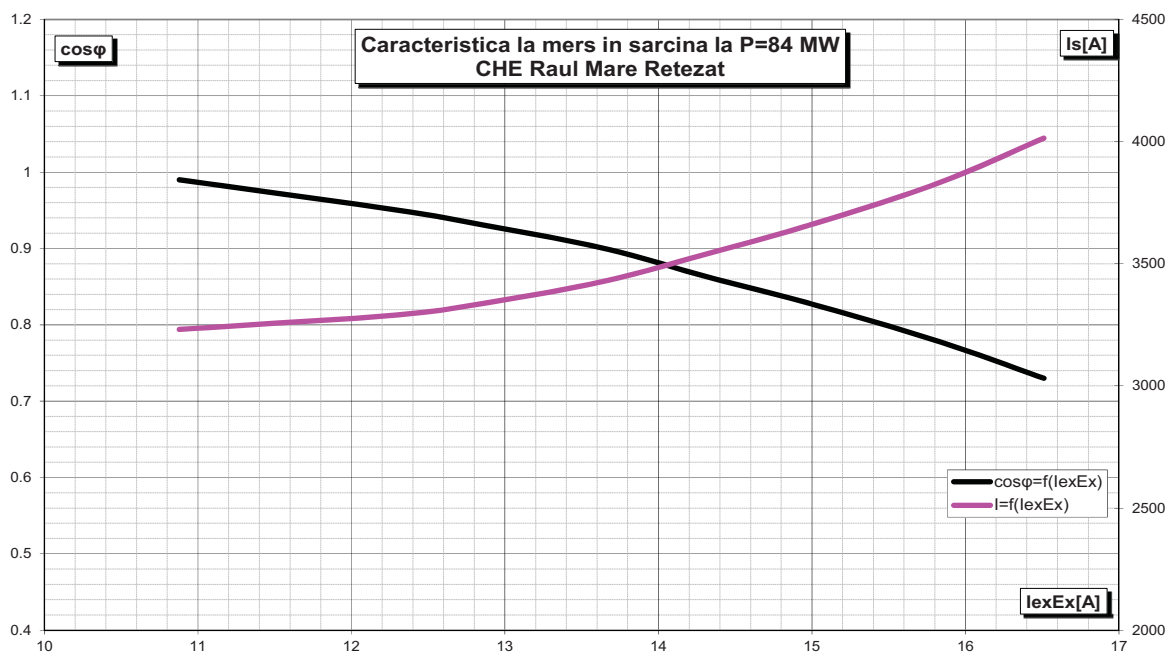


Fig. 6.22 – Caracteristica la mers în sarcină la P=84 MW.

6.3.2.4. Caracteristica în regim de mers în sarcină pentru P=100 MW

Generatorul fiind conectat pe rețea, la P=100 MW se modifică curentul de excitație din înfășurarea rotorică măsurându-se valorile corespunzătoare:

- tensiunile de fază U_R, U_S, U_T
- curentul statoric I
- curentul de excitație al generatorului I_{exEx}
- tensiunea de excitație a generatorului U_{exG}
- puterea activă P
- puterea reactivă Q
- factorul de putere $\cos \varphi$
- frecvența f

Tabel 6.12 – Valorile parametrilor electrici la regim de mers în sarcină pentru P=100 MW

Nr. crt.	Parametrii electrici									
	U_R	U_S	U_T	U_{linie}	I	P	Q	$\cos \varphi$	U_{exG}	I_{exEx}
	[kV]	[kV]	[kV]	[kV]	[kA]	[MW]	[Mvar]		[kV]	[A]
1	8.81	8.81	8.81	15.27	3.86	101.5	9.54	0.99	83.09	11.27
2	8.94	8.94	8.94	15.49	3.87	101.1	22.92	0.96	95.54	12.64
3	9.01	9.01	9.01	15.61	3.90	100.9	31.29	0.947	98.26	13.19
4	9.07	9.07	9.07	15.72	3.94	100.7	38.79	0.93	102.04	13.76
5	9.14	9.14	9.14	15.83	4.02	100.7	46.26	0.91	106.98	14.45
6	9.18	9.18	9.18	15.91	4.11	100.4	52.02	0.89	110.93	15.06
7	9.22	9.22	9.22	15.98	4.15	100.3	56.7	0.883	110.41	15.23
8	8.81	8.81	8.81	15.27	3.86	101.5	9.54	0.99	83.09	11.27

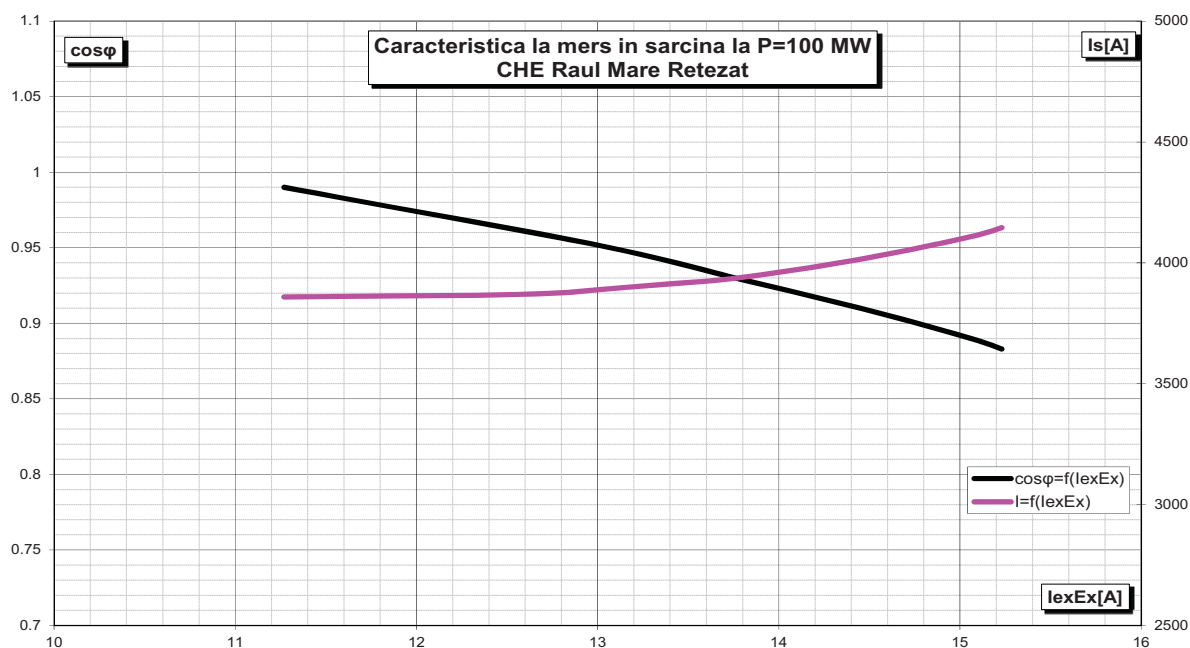


Fig. 6.23 – Caracteristica la mers în sarcină la P=100 MW.

6.3.2.5. Caracteristica în regim de mers în sarcină pentru P=110 MW

Generatorul fiind conectat pe rețea, la P=110 MW se modifică curentul de excitație din înfășurarea rotorică măsurându-se valorile corespunzătoare:

- tensiunile de fază U_R, U_S, U_T
- curentul statoric I
- curentul de excitație al generatorului I_{exEx}
- tensiunea de excitație a generatorului U_{exG}
- puterea activă P
- puterea reactivă Q
- factorul de putere $\cos \varphi$
- frecvența f

Tabel 6.13 – Valorile parametrilor electrici la regim de mers în sarcină pentru P=110 MW

Nr. crt.	Parametrii electrici									
	U_R	U_S	U_T	U_{linie}	I	P	Q	$\cos \varphi$	U_{exG}	I_{exEx}
	[kV]	[kV]	[kV]	[kV]	[kA]	[MW]	[Mvar]		[kV]	[A]
1	9.38	9.37	9.38	16.25	3.09	111.2	70.62	0.855	117.86	16.59
2	9.34	9.34	9.34	16.19	3.00	112.5	65.91	0.88	112.96	15.93
3	9.30	9.30	9.30	16.12	2.96	113	61.53	0.895	110.74	15.54
4	9.25	9.25	9.25	16.03	2.92	113.3	56.07	0.91	108.85	15.13
5	9.18	9.18	9.18	15.91	2.86	113.5	48.45	0.935	101.93	14.23
6	9.11	9.11	9.11	15.79	2.82	112.7	40.32	0.95	98.5	13.6
7	9.03	9.03	9.03	15.65	2.78	109.5	33.3	0.96	93.42	12.9

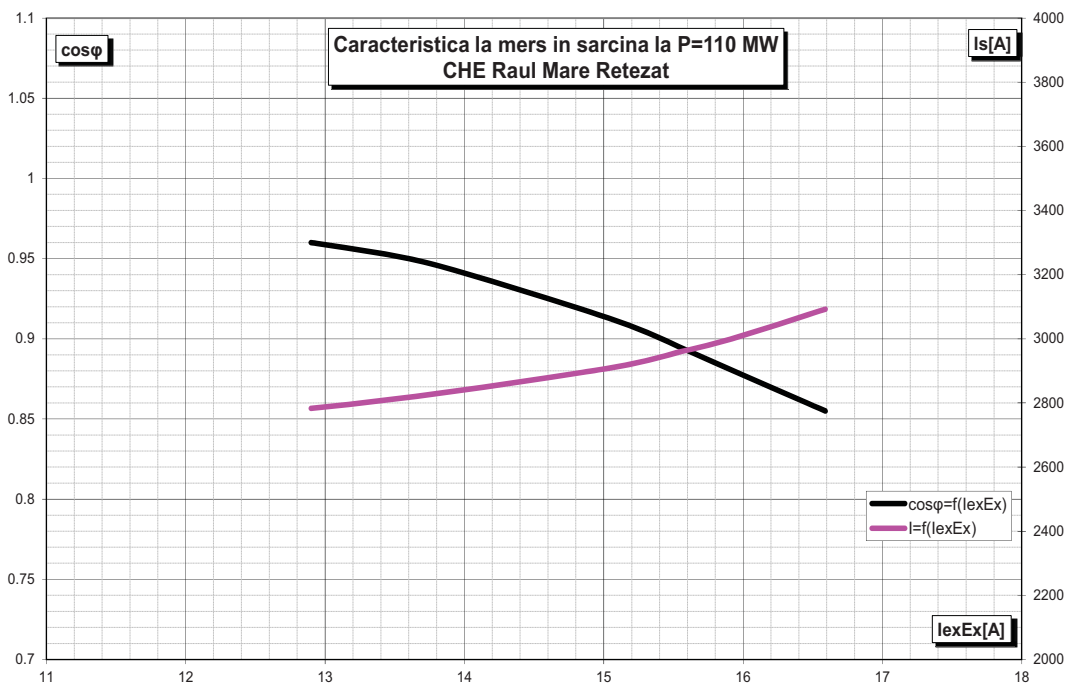


Fig. 6.24 – Caracteristica la mers în sarcină la P=110 MW.

În regim de funcționare în sarcină la $P=110$ MW se constată că hidroagregatul funcționează corespunzător din punct de vedere electric, toți parametrii electrici încadrându-se în limitele prevăzute în documentația tehnică. În același timp se constată că și din punct de vedere mecanic hidrogeneratorul se comportă corespunzător, nivelul de vibrații fiind cel corespunzător unei funcționări în clasa „bine”.

6.4. Caracteristica de mers în scurtcircuit trifazic simetric.

Caracteristica de scurtcircuit simetric trifazat reprezintă variația $I_{sc} = f(I_E)$ pentru $n=ct.$ ($f=50\text{Hz}$) și $U=0$, bornele de ieșire ale înfășurării induse fiind scurtcircuitate.

Dacă în diagrama de funcționare în sarcină a mașinii sincrone, din fig. 6.25, se proiectează fazorii după direcțiile U_{eE} și I_E , se obține:

$$U_{eE} - X_d I_d - R_s I_q = U \cos \theta_0, \quad X_q I_q - R_s I_d = U \sin \theta_0 \quad (6.1)$$

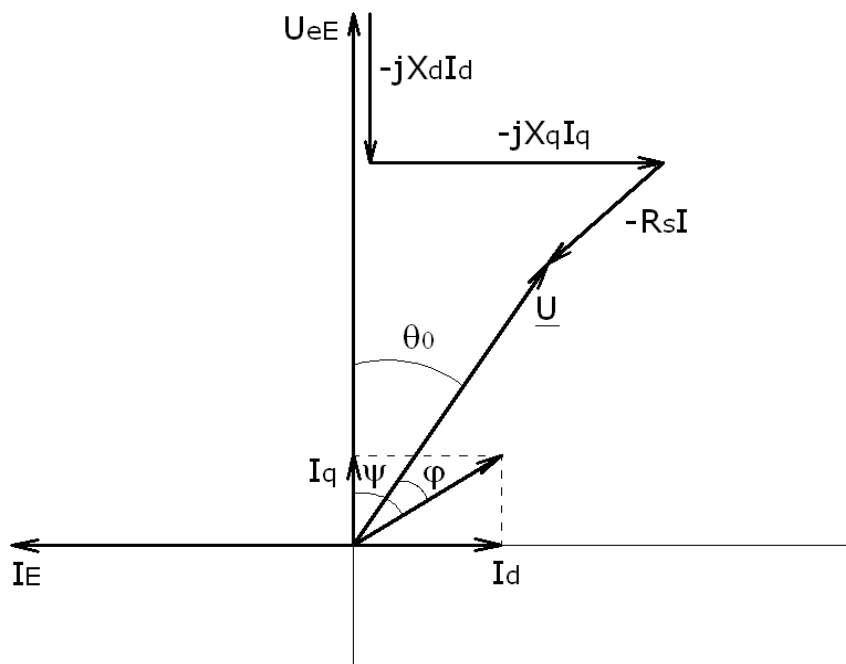


Fig. 6.25 – Diagrama de funcționare în sarcină a mașinii sincrone.

Dacă se introduce condiția: $U = 0$, și se neglijează rezistența R_s , se obține:

$$I_{qsc} = 0, \quad I_{sc} = I_{dsc} = \frac{U_{eE}}{X_d} \quad (6.2)$$

Diagrama fazorială corespunzătoare scurtcircuitului este reprezentată în fig.6.26.

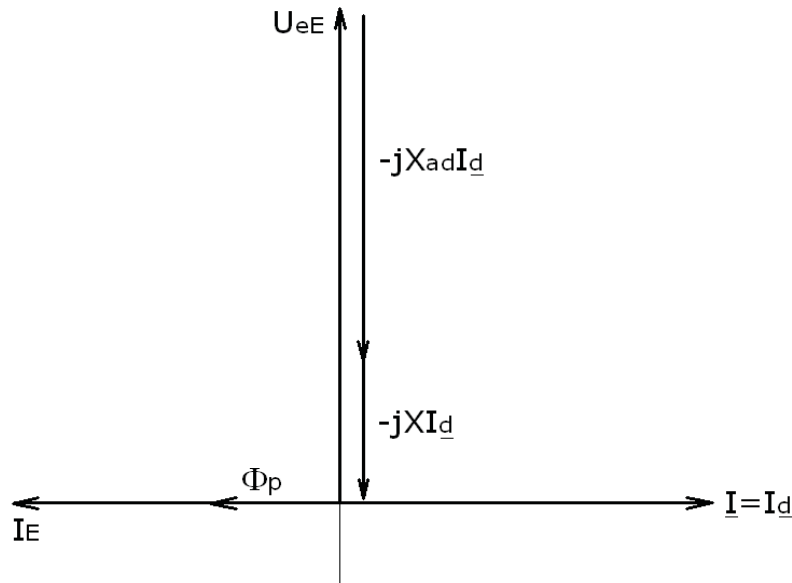


Fig. 6.26 – Diagrama fazorială a mașinii sincrone în regim de scurtcircuit

Tensiunea electromotoare \underline{U}'_e indusă de câmpul rezultat din întrefier la funcționarea în scurtcircuit, va fi:

$$\underline{U}'_e = \underline{U}_{eE} - jX_{ad}\underline{I}_d = jX\underline{I} \quad (6.3)$$

Această tensiune electromotoare este de valoare redusă, cât să acopere căderea de tensiune pe reactanța de dispersie a statorului, fiind mult mai mică decât t.e.m. U_{eE} indusă de câmpul de la mers în gol.

Reacția de indus are un caracter complet demagnetizant. Întrucât câmpul magnetic din întrefier se reduce simțitor față de situația de la mers în gol, la scurtcircuit mașina apare nesaturată pe calea câmpului magnetic principal. Pe această bază se poate admite că $X_d = ct$, și o relație liniară între U_{eE} și I_E (caracteristica de gol considerată prin dreapta suprapusă porțiunii nesaturate). Relația $I_{SC} = f(I_E)$ reprezintă o dreaptă.

La valori peste cele nominale, intervine la un moment dat saturația, pe căile câmpului de dispersie, și caracteristica de scurtcircuit se abate de la forma liniară.

Dacă pentru un curent de excitație I_E dat, se cunoaște t.e.m. U_{eE} și curentul de scurtcircuit I_{SC} corespunzător, se poate determina experimental reactanța longitudinală X_d .

După cum U_{eE} se consideră pe caracteristica de mers în gol reală sau liniarizată, se obține valoarea saturată sau nesaturată a lui X_d . Întrucât reacția de indus are un caracter complet demagnetizant, scurtcircuitul staționar la mașina sincronă nu este periculos; chiar pentru curentul nominal de excitație, curentul de scurtcircuit corespunzător este de valori apropiate de cea nominală.

Generatorul funcționând la turație $n=499,5$ rpm și bornele înfășurării induse scurtcircuitate, se modifică curentul de excitație măsurându-se valorile corespunzătoare ale curentului prin înfășurarea scurtcircuitată.

Tabel 6.14 – Parametrii electrici ai generatorului la scurtcircuit

Timp	Parametrii electrici				
	U_{linie}	I	U_{exG}	U_{exEx}	I_{exEx}
t	[kV]	[A]	[kV]	[kV]	[A]
0	9.31	3130.12	30.82	15.48	4.68
1	10.01	4162.54	42.98	22.58	6.85
2	11.42	5898.38	61.85	32.73	9.94

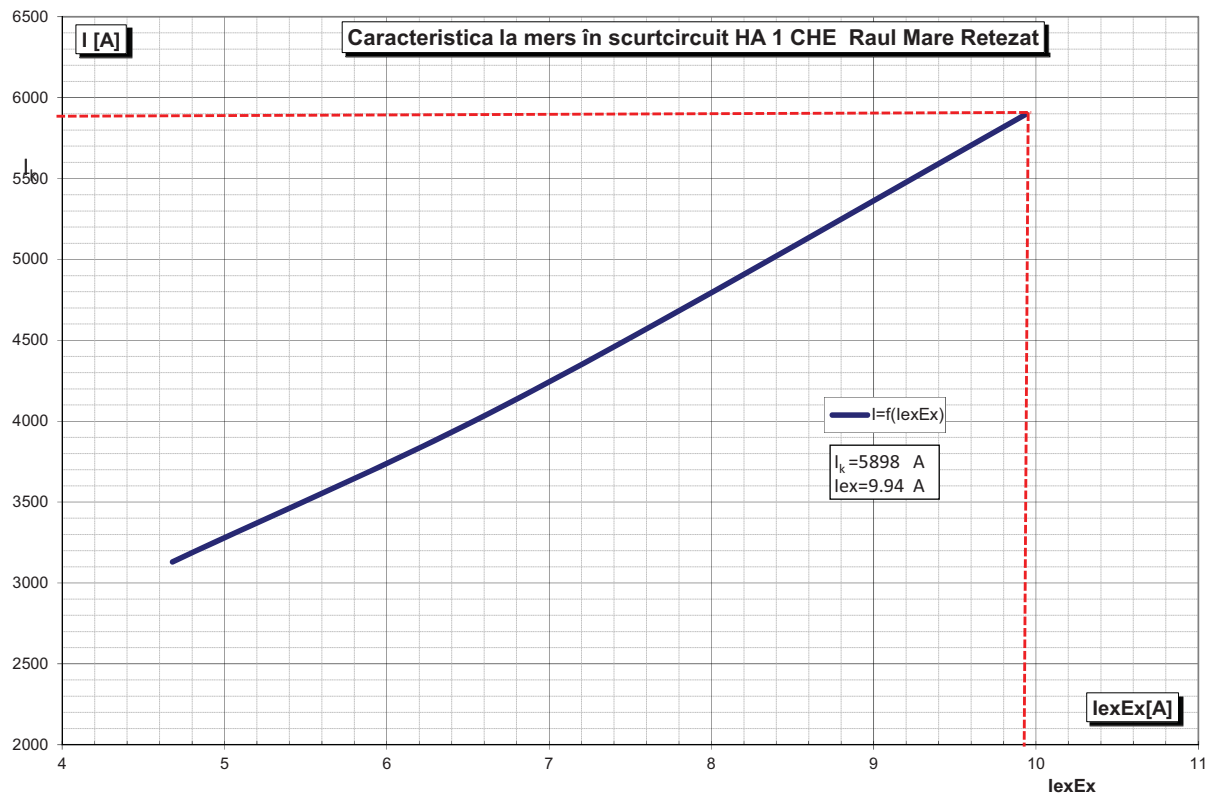


Fig. 6.27 – Caracteristica la mers în scurtcircuit

6.5. Descărcări parțiale.

Descărcările parțiale sunt în general consecința unei concentrări locale de solicitări electrice în izolație sau pe suprafața izolației. În general astfel de descărcări apar sub formă de impulsuri cu o durată mult mai mică de $1\mu s$. Totuși pot apărea și forme continue de descărcări, cum sunt așa numitele descărcări de mică intensitate ("pulse-less") în dielectrici gazeși.

Acest tip de descărcare nu este în mod normal detectată de metodele de măsurare descrise în acest standard.

6.5.1. Considerații teoretice privind descărcările parțiale

În condițiile în care intensitatea câmpului electric într-un mediu dielectric, depășește o anumită valoare, apare fenomenul de străpungere a spațiului dielectricului prin crearea unei punți conductoare în mediul respectiv.

Acest fenomen de străpungere poartă denumirea de descărcare electrică.

Descărcările electrice se clasifică în trei mari categorii:

- **descărcări interne**

Există mai multe categorii de defecte interne, dintre care cele mai importante sunt în incluziunile încorporate în masa izolației. Aceste incluziuni sau cavități se pot prezenta în mai multe vacuole după cum urmează:

- cavități sferice (fig. 6.28.a)

- cavități plate cu înălțime mult mai mică, pe direcția linilor de câmp electric (fig. 6.28.b)

- cavități înguste, având înălțimea mult mai mare pe direcția câmpului electric (fig. 6.28.c)

În general, într-o izolație se găsesc toate cele trei forme de cavități (fig.6.28.d)

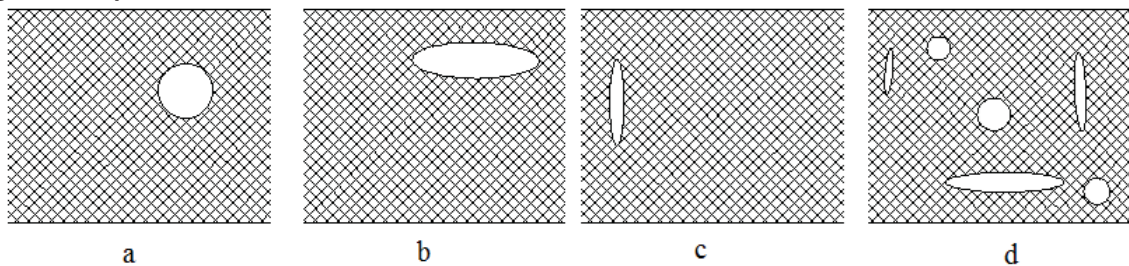


Fig. 6.28 – Tipuri de descărcări interne

A doua categorie de defecte o constituie aceea a incluziunilor din zona de separație dintre dielectric și electrodul conductor (fig.6.29 b) sau dintre două straturi dielectrice defecte (fig. 6.29a).

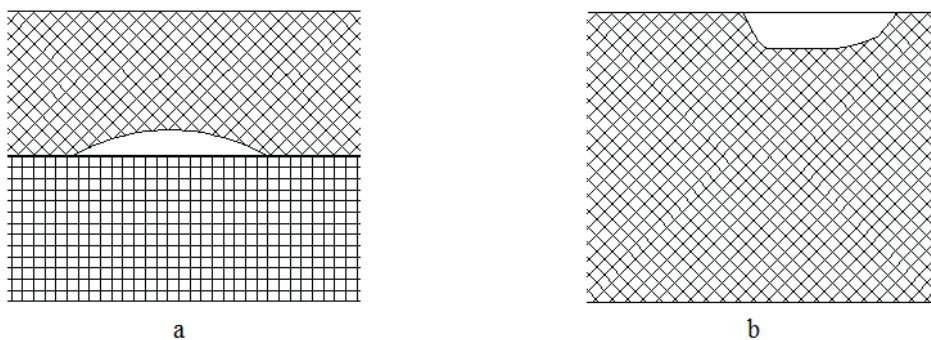


Fig. 6.29 – Defecte de suprafață dintre straturi

În același timp, în izolație mai pot apărea defecte sub forma unor arborescențe electrice, care la rândul lor, pot lua naștere, fie de la o proeminență a unuia din electrozi (fig.6.30.a) sau într-un punct al unei cavități (fig.6.30.b) de felul celor prezente în fig. 6.30.

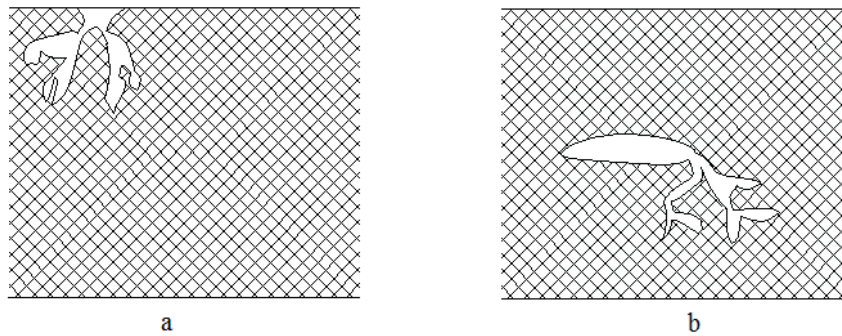


Fig. 6.30 – Defecte sub formă de arborescențe

- **descărcări superficiale**

În condițiile în care componenta tangențială a câmpului electric poate să atingă valori mari, se creează premisele apariției unor descărcări superficiale prin străpungeri parțiale în mediul adiacent dielectricului după cum se observă în fig. 6.31(aer, gaz sau ulei).

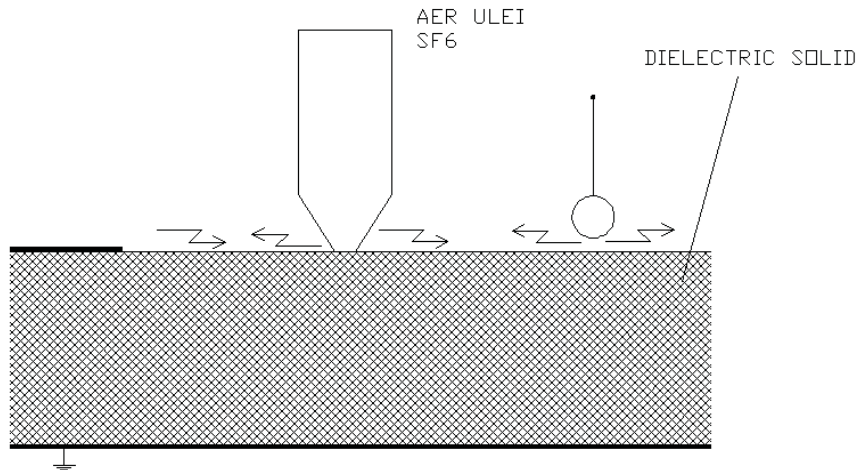


Fig. 6.31 – Descărcări superficiale

- **descărcări corona**

În condițiile în care există o zonă puternic ionizată compusă din ioni pozitivi sau negativi (electroni), poate să apară o deplasare a acestora în câmpul creat, spre electrozi negativi și pozitivi. Această deplasare de sarcini electrice reprezintă un curent real și are semnificația unei componente suplimentare a semnalului DP.

Efectul corona, apare astfel ca o sursă de semnal DP, prin:

- ionizare puternică
- deplasarea rapidă a electronilor spre electrodul pozitiv
- deplasarea ionilor pozitivi

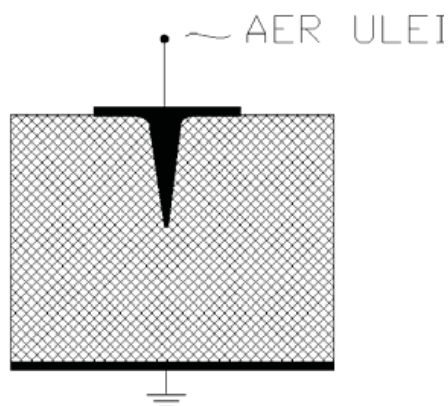


Fig. 6.32 – Descărcări corona

În general se poate considera că descărcările parțiale în sistemele de izolație sunt "simptomele" unor fenomene ce se produc în izolația respectivă și în majoritatea cazurilor pot fi asociate cu defectele de izolație datorate fie tehnologiei de fabricație, fie unor solicitări complexe (mecanice, electrice, termice, chimice etc.) asupra materialului din care este realizată izolația.

Durata în timp a descărcărilor parțiale este foarte mică, de ordinul nanosecundelor, spre deosebire de durata unui arc electric care se menține până la dispariția tensiunii de alimentare.

Descărcările parțiale pot fi de două tipuri:

- descărcări de tip "Townsend" care sunt specifice defectelor cu dimensiune mare, de ordinul milimetrilor, unde presiunea gazului este mică, sub 1bar.
- descărcările de tip "Streamer" care sunt specifice defectelor cu dimensiuni geometrice mici, cel mult câțiva milimetrii, în care presiunea gazului poate atinge valori mari.

La descărcările de tip Townsend, lățimea impulsului este de ordinul 10²-10³ ns și depinde de grosimea spațiului în care are loc, iar înălțimea lui depinde de valoarea supratensiunii aplicate, respectiv de diferența dintre tensiunea aplicată și tensiunea de amorsare al DP, adică tensiunea de amorsare a descărcărilor .

Aceste descărcări apar în medii gazoase la presiuni mari și distanțe mici între fețele opuse pe direcția liniilor de câmp electric.

Aceste descărcări se deosebesc față de cele de tip Townsend prin următoarele:

- durata impulsurilor este de aproximativ 10 ori mai mică
- descărcarea nu depinde de materialul din care este construit peretele incluziunii, datorită faptului că procesele de emisie secundară nu mai au nici un rol
- canalele de descărcare sunt subțiri

6.5.2. Condiții tehnice de încercare

Încercările experimentale de determinare a nivelului de descărcări parțiale au la bază prevederile specificate în următoarele standarde:

- SR EN 60270 Mai 2003 – Tehnici de încercare la înaltă tensiune – măsurarea descărcărilor parțiale
- IEC 60060 -1 Tehnici de încercare la înaltă tensiune Partea 1: Definiții generale

- IEC 60060 – 2 Tehnici de încercare la înaltă tensiune – Partea 2: Sisteme de măsurare

Se au în vedere următoarele mărimi asociate impulsurilor de descărcări parțiale:

- **sarcina aparentă q a unui impuls de DP** ce este acea sarcină care dacă ar fi injectată într-un timp foarte scurt între bornele obiectului de încercat ar da aceeași indicație a aparatului de măsurat ca însuși impulsul de curent DP. Sarcina aparentă se exprimă în picocoulombi (pC)
- **rata de repetiție a impulsurilor n** , care este raportul dintre numărul total de impulsuri de DP înregistrate într-un interval de timp ales și durata acestui interval
- **frecvența de repetiție a impulsurilor N** , care reprezintă numărul de impulsuri de descărcări parțiale pe secundă
- **unghi de fază ϕ_i și timp de apariție t_i** ale unui impuls de DP
- **curent mediu de descărcare I** exprimat în [C/s], care reprezintă suma valorilor absolute ale amplitudinilor sarcinilor aparente individuale q_i într-un interval de referință ales T_{ref} , împărțită la acest interval de timp:
- **puterea de descărcare P** exprimată în [W] este media puterii impulsurilor transmise la bornele obiectului de încercat datorită amplitudinilor q_i ale sarcinilor aparente într-un interval de timp de referință ales T_{ref}
- **debitul pătratic D** exprimat în [C²/s], care este suma pătratelor amplitudinilor sarcinilor aparente individuale q_i într-un interval de timp de referință ales T_{ref} .

6.5.3. Date tehnice ale sistemului de măsurare a descărcărilor parțiale

Sistemul utilizat la măsurarea descărcărilor parțiale este constituit din mai multe subsisteme: dispozitiv de cuplaj, sistem de transmisie (de ex. cablu de legătură sau legătură optică) și aparat de măsurat.

Dispozitivul de cuplaj este parte integrantă a sistemului de măsurare și a circuitului de încercare, componentele sale fiind special concepute pentru a obține o sensibilitate optimă cu un circuit de încercare specific.

Prin urmare se pot folosi diferite dispozitive de cuplaj în combinație cu un singur aparat de măsură.

Dispozitivul de cuplaj (figura 6.33.a) este în general o rețea activă sau pasivă cu patru borne (cuadripol) și convertește curentul de intrare în semnale de tensiune de ieșire.

Aceste semnale sunt transmise la aparatul de măsurat printr-un sistem de transmisie. Răspunsul în frecvență al dispozitivului de cuplaj, definit de raportul dintre tensiunea de ieșire și curentul de intrare este ales astfel încât să împiedice frecvența tensiunii de încercare și armonicele sale să ajungă la aparatul de măsurat. Împreună cu dispozitivul de cuplaj, aparatul de măsura DP (figura 6.33.b) constituie un sistem de măsurare a DP în bandă largă caracterizat de o impedanță de

transfer $z(f)$ având valori ale frecvențelor limită inferioară f_1 și una limită superioară f_2 și o atenuare adecvată până la f_1 și peste f_2 . Valorile recomandate pentru f_1 , f_2 și Δf sunt:

$$20\text{kHz} \leq f_1 \leq 100\text{kHz}, f_2 \leq 500\text{kHz}, 100\text{kHz} \leq \Delta f \leq 400\text{kHz}$$



Fig. 6.33 – Sistem de măsurare a descărcărilor parțiale

Răspunsul acestui aparat la un impuls de curent (neoscilant) datorat unei descărcări parțiale este în general o oscilație puternic amortizată. Atât sarcina aparentă cât și polaritatea impulsului de curent al DP pot fi determinate din acest răspuns. Timpul de rezoluție al impulsurilor este mic și este în mod obișnuit între 5 și 20 pC.

Schema electrică pentru măsurarea descărcărilor parțiale DP la hidrogeneratorul nr. 1 din CHE Raul Mare Retezat este prezentată în figura 6.34.

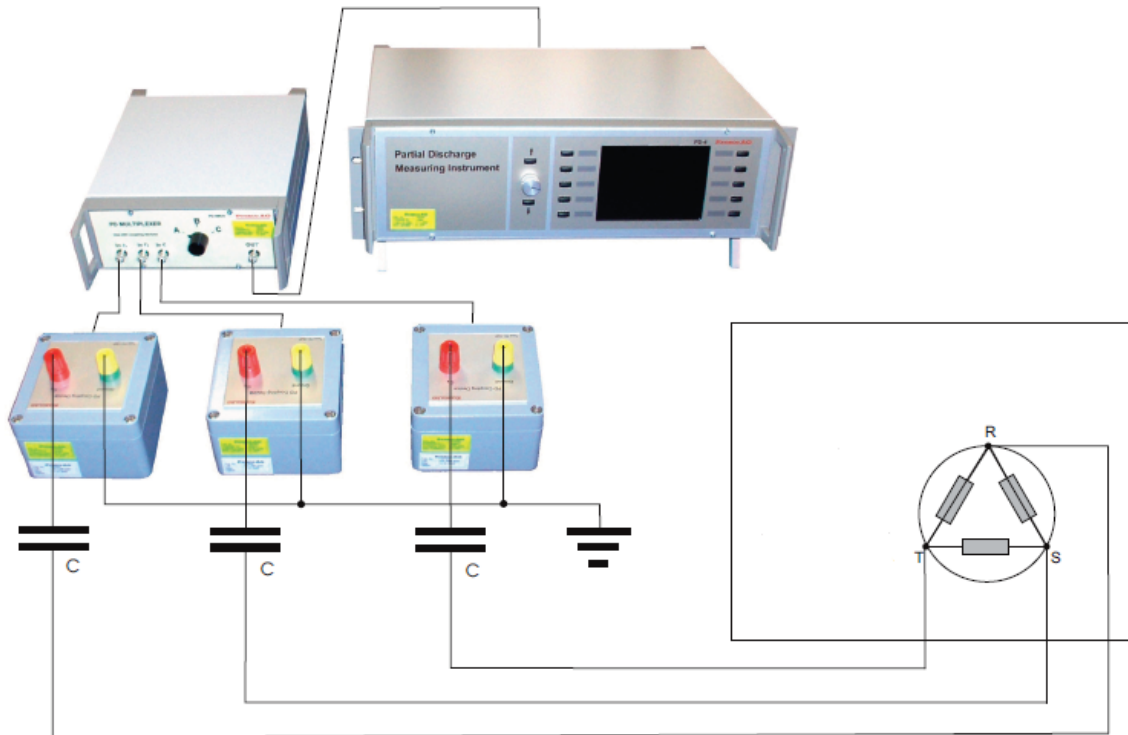


Fig. 6.34 – Schema electrică a instalației de măsurare a descărcărilor parțiale

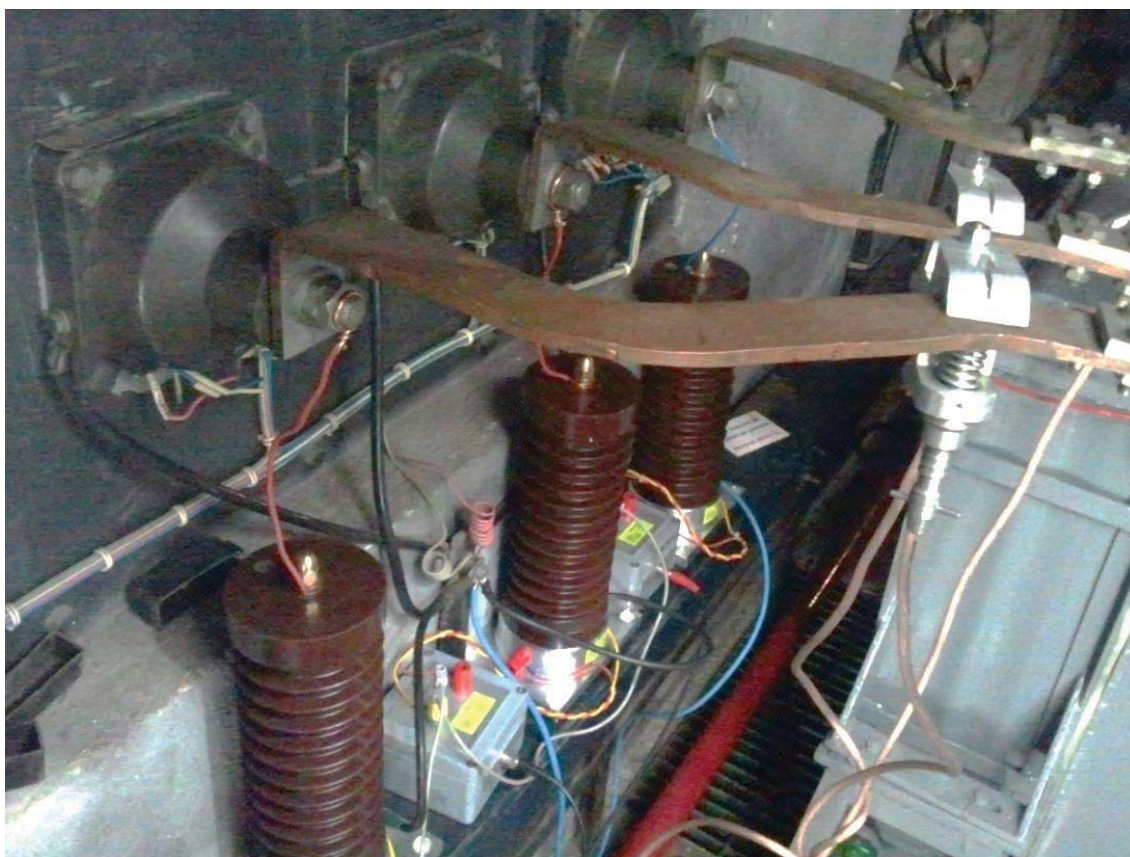


Fig. 6.35 – Modul de conectare a izolatorilor

6.5.4. Rezultatele măsurătorilor

Încercările s-au efectuat cu generatorul funcționând în regim de mers în gol. Determinarea nivelului de descărcări parțiale s-a efectuat la diferite valori a tensiunii la bornele generatorului:

Ulinie=1.74 kV;

Ulinie=4.34 kV;

Ulinie=5.7 kV;

Ulinie=7.3 kV;

Ulinie=9.1 kV;

Ulinie=11.7 kV;

Ulinie=13.9 kV.

Pentru fiecare nivel de tensiune s-au măsurat descărcările parțiale pe fiecare fază, considerându-se un număr de 30 de înregistrări. Din valorile medii măsurate în timp s-au determinat valorile medii pe fiecare fază. Rezultatele nivelului de descărcări parțiale pentru diferite valori ale tensiunii sunt date în următoarele tabele:

Tabel 6.15 – Descărcări parțiale la $U_{linie} = 1.74 \text{ kV}$

Nr. Crt	Faza A		Faza B		Faza C	
	U_A	PD_A	U_B	PD_B	U_C	PD_C
	[kV]	[pC]	[V]	[pC]	[kV]	[pC]
1	1	201.6	1	243.8	1.00	220.3
2	1	173.4	1	192.2	1.00	150
3	1	206.3	1	187.5	1.00	201.6
4	1	234.4	1	173.4	1.00	225
5	1	281.3	1	182.8	1.00	290.6
6	1	253.1	1	257.8	1.00	187.5
7	1	253.1	1	150	1.00	159.4
8	1	187.5	1	262.5	1.00	225
9	1	300	1	257.8	1.00	145.3
10	1	196.9	1	323.4	1.00	243.8
11	1	234.4	1	285.9	1.00	196.9
12	1	206.3	1	234.4	1.00	215.6
13	1	229.7	1	323.4	1.00	182.8
14	1	215.6	1	281.3	1.00	164.1
15	1	295.3	1	173.4	1.00	182.8
16	1	229.7	1	234.4	1.00	210.9
17	1	210.9	1	178.1	1.00	201.6
18	1	201.6	1	196.9	1.00	215.6
19	1	220.3	1	150	1.00	210.9
20	1	295.3	1	210.9	1.00	173.4
21	1	309.4	1	187.5	1.00	206.3
22	1	206.3	1	220.3	1.00	239.1
23	1	328.1	1	220.3	1.00	234.4
24	1	290.6	1	187.5	1.10	145.3
25	1	248.4	1	234.4	1.00	192.2
26	1	290.6	1	178.1	1.00	220.3
27	1	285.9	1	248.4	1.00	159.4
28	1	229.7	1	150	1.00	154.7
29	1	276.6	1	206.3	1.00	154.7
30	1	267.2	1	187.5	1.10	215.6
Val.medii	1.00	245.32	1.00	217.34	1.01	197.50

Tabel 6.16 – Descărcări parțiale la $U_{linie} = 4.34 \text{ kV}$

Nr. Crt	Faza A		Faza B		Faza C	
	U_A	PD_A	U_B	PD_B	U_C	PD_C
	[kV]	[pC]	[kV]	[pC]	[kV]	[pC]
1	2.10	398.4	2.10	323.4	2.20	281.3
2	2.10	407.8	2.10	328.1	2.10	337.5
3	2.10	407.8	2.10	365.6	2.10	328.1
4	2.10	398.4	2.10	309.4	2.20	309.4
5	2.10	407.8	2.10	295.3	2.10	356.3
6	2.10	281.3	2.10	332.8	2.10	332.8
7	2.10	323.4	2.10	285.9	2.20	365.6
8	2.10	398.4	2.10	285.9	2.20	337.5
9	2.10	403.1	2.10	360.9	2.10	337.5
10	2.10	407.8	2.10	323.4	2.10	360.9
11	2.10	351.6	2.10	332.8	2.10	304.7
12	2.10	412.5	2.10	323.4	2.10	328.1
13	2.10	370.3	2.10	365.6	2.10	332.8
14	2.10	290.6	2.10	314.1	2.10	281.3
15	2.10	435.9	2.10	337.5	2.10	328.1
16	2.10	398.4	2.10	337.5	2.10	318.8
17	2.10	365.6	2.10	323.4	2.10	300
18	2.10	403.1	2.10	337.5	2.10	393.8
19	2.10	393.8	2.10	332.8	2.10	323.4
20	2.10	407.8	2.10	314.1	2.10	318.8
21	2.10	398.4	2.10	332.8	2.10	332.8
22	2.10	403.1	2.10	337.5	2.10	346.9
23	2.10	300	2.10	300	2.10	337.5
24	2.10	407.8	2.20	337.5	2.10	332.8
25	2.10	351.6	2.10	337.5	2.10	426.6
26	2.10	398.4	2.10	290.6	2.10	346.9
27	2.10	393.8	2.10	318.8	2.10	332.8
28	2.10	398.4	2.10	351.6	2.10	304.7
29	2.10	398.4	2.10	285.9	2.10	276.6
30	2.10	356.3	2.10	328.1	2.10	351.6
Val.medii	3.30	382.33	2.10	324.99	2.11	332.20

Tabel 6.17 – Descărcări parțiale la $U_{linie} = 5.7 \text{ kV}$

Nr. Crt	Faza A		Faza B		Faza C	
	U_A	PD_A	U_B	PD_B	U_C	PD_C
	[kV]	[pC]	[kV]	[pC]	[kV]	[pC]
1	3.30	426.6	3.30	464.1	3.30	525
2	3.30	632.8	3.30	440.6	3.30	431.3
3	3.30	553.1	3.30	435.9	3.30	506.3
4	3.30	632.8	3.30	487.5	3.30	506.3
5	3.30	637.5	3.30	496.9	3.30	510.9
6	3.30	389.1	3.30	496.9	3.30	426.6
7	3.30	642.2	3.30	431.3	3.30	506.3
8	3.30	365.6	3.30	431.3	3.30	510.9
9	3.30	426.6	3.30	421.9	3.30	478.1
10	3.30	637.5	3.30	492.2	3.30	431.3
11	3.30	567.2	3.30	426.6	3.30	426.6
12	3.30	445.3	3.30	417.2	3.30	515.6
13	3.30	403.1	3.30	496.9	3.30	492.2
14	3.30	745.3	3.30	473.4	3.30	515.6
15	3.30	632.8	3.30	496.9	3.30	510.9
16	3.30	562.5	3.30	496.9	3.30	515.6
17	3.30	459.4	3.30	506.3	3.30	520.3
18	3.30	492.2	3.30	501.6	3.30	600
19	3.30	637.5	3.30	398.4	3.30	525
20	3.30	632.8	3.30	468.8	3.30	431.3
21	3.30	632.8	3.30	496.9	3.30	515.6
22	3.30	628.1	3.30	421.9	3.30	506.3
23	3.30	618.8	3.30	492.2	3.30	426.6
24	3.30	698.4	3.30	571.9	3.30	525
25	3.30	759.4	3.30	501.6	3.30	496.9
26	3.30	614.1	3.30	492.2	3.30	435.9
27	3.30	642.2	3.30	604.7	3.30	492.2
28	3.30	642.2	3.30	492.2	3.30	501.6
29	3.30	731.3	3.30	445.3	3.30	450
30	3.30	440.6	3.30	510.9	3.30	525
Val.medii	3.30	577.66	3.30	477.05	3.30	492.04

Tabel 6.18 – Descărcări parțiale la $U_{linie} = 7.33 \text{ kV}$

Nr. Crt	Faza A		Faza B		Faza C	
	U_A	PD_A	U_B	PD_B	U_C	PD_C
	[V]	[pC]	[V]	[pC]	[V]	[pC]
1	4.20	792.2	4.20	543.8	4.3	581.3
2	4.20	735.9	4.20	637.5	4.3	656.3
3	4.20	801.6	4.20	660.9	4.3	651.6
4	4.20	801.6	4.20	581.3	4.3	651.6
5	4.20	768.8	4.20	562.5	4.3	581.3
6	4.20	609.4	4.20	553.1	4.3	548.4
7	4.20	806.3	4.20	543.8	4.3	623.4
8	4.20	764.1	4.20	604.7	4.3	642.2
9	4.20	796.9	4.20	656.3	4.3	590.6
10	4.20	806.3	4.20	632.8	4.3	590.6
11	4.20	600	4.20	562.5	4.3	632.8
12	4.20	801.6	4.20	557.8	4.3	651.6
13	4.20	782.8	4.20	590.6	4.3	614.1
14	4.20	787.5	4.20	632.8	4.3	632.8
15	4.20	670.3	4.20	600	4.3	656.3
16	4.20	806.3	4.20	576.6	4.3	628.1
17	4.20	801.6	4.20	534.4	4.3	651.6
18	4.20	796.9	4.20	529.7	4.3	543.8
19	4.20	501.6	4.20	637.5	4.3	637.5
20	4.20	642.2	4.20	515.6	4.3	632.8
21	4.20	796.9	4.20	600	4.3	660.9
22	4.20	3796.9	4.20	628.1	4.3	646.9
23	4.20	890.6	4.20	534.4	4.3	726.6
24	4.20	750	4.20	604.7	4.3	656.3
25	4.20	792.2	4.20	642.2	4.3	656.3
26	4.20	801.6	4.20	534.4	4.3	567.2
27	4.20	478.1	4.20	618.8	4.3	651.6
28	4.20	464.1	4.20	618.8	4.3	628.1
29	4.20	787.5	4.20	534.4	4.3	581.3
30	4.20	806.3	4.20	628.1	4.3	637.5
Val.medii	4.20	841.27	4.20	588.60	4.30	627.05

Tabel 6.19 – Descărcări parțiale la $U_{linie} = 9.1 \text{ kV}$

Nr. Crt	Faza A		Faza B		Faza C	
	U_A	PD_A	U_B	PD_B	U_C	PD_C
	[kV]	[pC]	[kV]	[pC]	[kV]	[pC]
1	5.20	778.1	5.20	759.4	5.30	764.1
2	5.20	965.6	5.20	759.4	5.30	782.8
3	5.20	970.3	5.20	782.8	5.30	735.9
4	5.20	815.6	5.20	768.8	5.30	750
5	5.20	984.4	5.20	651.6	5.30	698.4
6	5.20	740.6	5.20	768.8	5.30	792.2
7	5.20	810.9	5.20	768.8	5.30	792.2
8	5.20	942.2	5.20	660.9	5.30	773.4
9	5.20	731.3	5.20	693.8	5.30	956.3
10	5.20	975	5.20	750	5.30	754.7
11	5.20	979.7	5.20	745.3	5.30	768.8
12	5.20	970.3	5.20	759.4	5.30	787.5
13	5.20	965.6	5.20	717.2	5.30	792.2
14	5.20	567.2	5.20	764.1	5.30	745.3
15	5.20	642.2	5.20	646.9	5.30	792.2
16	5.20	862.5	5.20	646.9	5.30	656.3
17	5.20	937.5	5.20	754.7	5.30	759.4
18	5.20	782.8	5.20	600	5.30	745.3
19	5.20	970.3	5.20	684.4	5.30	740.6
20	5.20	975	5.20	754.7	5.30	698.4
21	5.20	970.3	5.20	754.7	5.30	707.8
22	5.20	956.3	5.20	637.5	5.30	792.2
23	5.20	745.3	5.20	656.3	5.30	773.4
24	5.20	810.9	5.20	754.7	5.30	787.5
25	5.20	975	5.20	656.3	5.30	810.9
26	5.20	745.3	5.20	768.8	5.30	787.5
27	5.20	740.6	5.20	871.9	5.30	773.4
28	5.20	960.9	5.20	759.4	5.30	778.1
29	5.20	637.5	5.20	637.5	5.30	768.8
30	5.20	815.6	5.20	764.1	5.30	745.3
Val.medii	5.20	857.49	5.20	723.30	5.30	767.03

Tabel 6.20 – Descărcări parțiale la $U_{linie} = 11.7 \text{ kV}$

Nr. Crt	Faza A		Faza B		Faza C	
	U_A	PD_A	U_B	PD_B	U_C	PD_C
	[kV]	[pC]	[kV]	[pC]	[kV]	[pC]
1	6.70	1218.8	6.70	1546.9	6.80	984.4
2	6.70	2343.8	6.70	1265.6	6.80	984.4
3	6.80	1734.4	6.70	1078.1	6.80	1078.1
4	6.70	2625	6.70	984.4	6.80	984.4
5	6.70	1546.9	6.70	984.4	6.80	984.4
6	6.70	1125	6.80	1640.6	6.80	984.4
7	6.80	984.4	6.70	1125	6.80	1031.3
8	6.80	1453.1	6.70	984.4	6.80	1265.6
9	6.80	1265.6	6.70	937.5	6.80	1078.1
10	6.80	1312.5	6.70	1125	6.80	1828.1
11	6.80	1640.6	6.70	1593.8	6.80	1125
12	6.70	1265.6	6.70	984.4	6.80	1031.3
13	6.80	3093.8	6.80	11953.1	6.80	1171.9
14	6.80	1359.4	6.70	1078.1	6.80	1734.4
15	6.80	1500	6.70	984.4	6.80	1359.4
16	6.80	1453.1	6.70	1546.9	6.80	1875
17	6.80	1265.6	6.70	1500	6.80	984.4
18	6.80	1406.3	6.70	984.4	6.80	1265.6
19	6.80	1265.6	6.70	2015.6	6.80	984.4
20	6.80	1734.4	6.70	843.8	6.80	1453.1
21	6.80	1265.6	6.70	1218.8	6.80	890.6
22	6.70	1265.6	6.80	796.9	6.80	1734.4
23	6.70	1781.3	6.80	1265.6	6.80	1031.3
24	6.70	1218.8	6.80	984.4	6.80	984.4
25	6.80	1500	6.70	1546.9	6.80	984.4
26	6.80	1265.6	6.70	1640.6	6.80	1875
27	6.70	1875	6.70	1875	6.80	1031.3
28	6.80	1781.3	6.70	2578.1	6.80	1828.1
29	6.70	1312.5	6.70	1125	6.80	1218.8
30	6.70	1359.4	6.70	1359.4	6.80	1828.1
Val.medii	6.76	1540.63	6.72	1651.57	6.80	1253.14

Tabel 6.21 – Descărcări parțiale la $U_{linie} = 13.9 \text{ kV}$

Nr. Crt	Faza A		Faza B		Faza C	
	U_A	PD_A	U_B	PD_B	U_C	PD_C
	[kV]	[pC]	[kV]	[pC]	[kV]	[pC]
1	8.00	11953.1	8.00	3703.1	8.10	2156.3
2	8.00	3984.4	8.00	2578.1	8.10	3843.8
3	8.00	11953.1	8.00	11953.1	8.10	4546.9
4	8.00	1453.1	8.00	11953.1	8.10	5296.9
5	8.00	11953.1	8.00	3468.8	8.10	2859.4
6	8.00	8156.3	8.00	8250	8.10	4359.4
7	8.00	11953.1	8.00	3421.9	8.10	2484.4
8	8.00	11953.1	8.00	2578.1	8.10	2296.9
9	8.00	6093.8	8.00	3046.9	8.10	2437.5
10	8.00	11953.1	8.00	3890.6	8.10	4734.4
11	8.00	11953.1	8.00	2718.8	8.10	3750
12	8.00	11953.1	8.00	2203.1	8.10	4406.3
13	8.00	11109.4	8.00	3750	8.10	2625
14	8.00	3234.4	8.00	3187.5	8.10	2203.1
15	8.00	2906.3	8.00	2671.9	8.10	2671.9
16	8.00	3468.8	8.00	3515.6	8.10	4218.8
17	8.00	2578.1	8.00	2109.4	8.10	1968.8
18	8.00	3468.8	8.00	2343.8	8.10	3375
19	8.00	1593.8	8.00	2953.1	8.10	5250
20	8.00	11953.1	8.00	3375	8.10	4359.4
21	8.00	2578.1	8.00	5625	8.10	5484.4
22	8.00	11953.1	8.00	4921.9	8.10	11953.1
23	8.00	11953.1	8.00	3750	8.10	11953.1
24	8.00	11953.1	8.00	2250	8.10	7875
25	8.00	1828.1	8.00	3562.5	8.10	11953.1
26	8.00	1453.1	8.00	1734.4	8.10	11953.1
27	8.00	11953.1	8.00	1921.9	8.10	10781.3
28	8.00	11953.1	8.00	4078.1	8.10	11953.1
29	8.00	11953.1	8.00	3140.6	8.10	4921.9
30	8.00	7593.8	8.00	3656.3	8.10	4453.1
Val.medii	8.00	8026.56	8.00	3943.75	8.10	5437.51

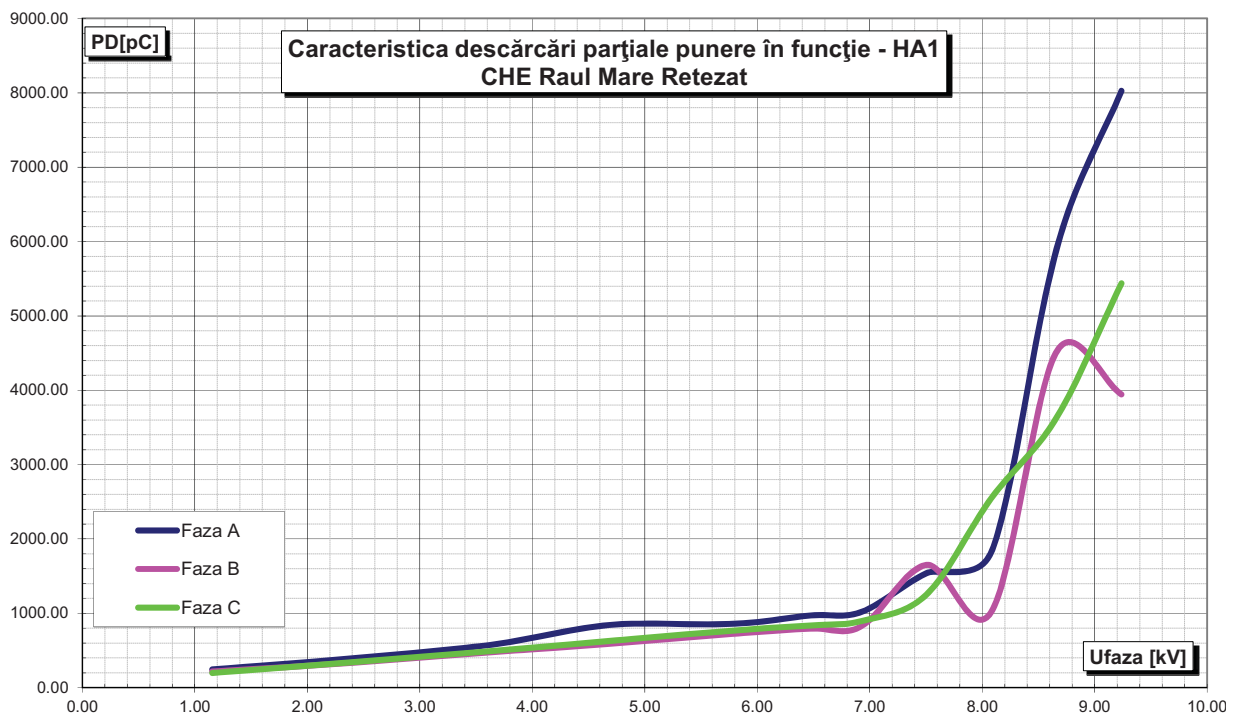


Fig. 6.36 – Caracteristica descărcări parțiale la punerea în funcție a HA 1.

În urma măsurătorilor nivelului de descărcări parțiale se constată că în regim de mers în gol excitat, nivelul de descărcări parțiale depinde în foarte mare măsură de nivelul de tensiune la bornele generatorului. Până la o tensiune de 7 kV pe fază, respectiv 12.1 kV tensiune de linie, nivelul descărcărilor este sub 1000 pC. Nivelul de descărcări începe să crească diferit pe cele 3 faze, când tensiunea depășește această valoare și ajunge la 8000 pC pe faza A la tensiunea nominală.

6.5.5. Încercarea la încălzire la P=110 MW

Încercarea la încălzire are scop determinarea temperaturilor de funcționare în regim termic stabilizat la P=110 MW.

Încercarea a avut loc în următoarele condiții:

- Puterea activă P=110 MW
- Puterea reactivă Q=70 Mvar
- Curentul statoric I=3092 A
- Curentul de excitație excitatoare I_{exEx}=16.59 A
- Tensiunea de excitație generator U_{exG}=117.8 V
- Tensiunea de excitație excitatoare U_{exEx}=54.96 V

În regim termic stabilizat la P=110MW s-au constatat următoarele temperaturi stabilizate:

- Înfășurare stator
 - Faza III
 - TR16=71°C
 - TR18=68°C
 - Faza II
 - TR20=69°C
 - TR21=70°C

Faza I

TR24=55°C

TR26=71°C

- Miez magnetic

Faza III

TR17=62°C

TR26=63°C

Faza II

TR22=60°C

TR23=62°C

Faza I

TR24=70°C

TR27=63°C

- Aer cald

TR28=48°C

TR31=47°C

TR34=47°C

- Aer rece

TR29=23°C

TR30=26°C

TR32=23°C

TR33=26°C

TR35=23°C

TR36=24°C

- Lagăr radial superior

TR1=50°C

TR2=48°C

TR3=53°C

TR4=53°C

TR5=51°C

- Lagăr axial

TR9=62°C

TR10=67°C

TR11=70°C

TR12=61°C

Ulei baie TR15=39°C

- Lagăr radial inferior

TR37=57°C

TR38=63°C

TR39=68°C

Ulei baie TR15=36°C

- Lagăr turbina

TR43=67°C

TR44=67°C

TR45=64°C

Se constată că în regim stabilizat la P=110MW, temperaturile sunt mult sub limitele maxime admise în caietul de sarcini.

6.6. Aplicație.

Pentru simularea proceselor dinamice din centrala Hidroelectrică (CHE) Râul Mare-Retezat, utilizând modelele matematice ale instalațiilor primare hidromecanice, s-a conceput un program soft scris în limbaj Delphi.

Programul a avut drept scop studierea modului în care sistemele de ecuații corespunzătoare modelului matematic satisfac condițiile inițiale corespunzătoare unui regim staționar anteperturbație și ale calculului valorilor inițiale ale variabilelor, modul în care sistemele răspund la o perturbație dată, ajustarea valorilor constantelor modelelor matematice și în final, verificarea stabilității modelelor în vederea cuplării lor la modelele matematice ale generatorului sincron, rețelei și consumatorilor.

Centrala Hidroelectrică (CHE) Râul Mare-Retezat are avantajul de a fi monitorizată în sistem SCADA, rulând o aplicație hidroenergetică ce monitorizează în timp real principalele mărimi hidroelectrice. Acest lucru permite compararea rezultatelor obținute prin simulare software cu cele obținute prin măsurători directe (și înregistrări) cu ajutorul traductoarelor din cadrul aplicației.

CHE Râul Mare-Retezat este o centrală subterană de tip derivație sub presiune, având o putere instalată de 335 MW, concentrată în două grupuri energetice echipate cu turbine Francis, cu puteri instalate de câte 167,5 MW, fiecare. Centrala este alimentată cu apă de la bazinul de acumulare Gura Apei, realizat prin construirea unui baraj de anrocamente în aval de confluența râurilor Șes, Lăpușnicul Mare și Lăpușnicul Mic. Volumul total de apă al acumulării Gura Apei este de 220 milioane m^3 , din care 200 milioane m^3 , volum util de apă.

Debitele de apă din bazinele limitrofe sunt aduse în acumulare Gura Apei prin 21 de captări, care însumează 29,3 km de galerii de aducțiune secundare.

Apa din acumulare Gura Apei este condusă spre centrala hidroelectrică printr-o galerie de aducțiune sub presiune, cu lungimea de 18,4 km, și având un diametru interior de 4,9 m.

Centrala subterană are o cădere brută totală de 582,5 m și un debit instalat de 70 m^3/s . Turbinele Francis sunt cuplate direct la generatoarele sincrone, care au puterea aparentă de 186 MVA, fiecare și turația nominală de 500 rot/min, având un factor de putere nominal, $\cos \varphi_n = 0,9$. Fiecare turbină este protejată de o vană sferică cu diametrul de 2,2 m.

Evacuarea apei uzinate se face printr-o cameră de expansiune urmată de o galerie de fugă în lungime de 789 m cu secțiuni în trei trepte și care se continuă cu un canal cu nivel liber ce constituie canalul de aducțiune al Centralei Clopotiva, situată în aval de CHE Râul Mare-Retezat.

Protecția CHE Râul - Mare - Retezat este realizată cu ajutorul unui castel de echilibru de tipul cu cameră superioară, diafragmă, cameră inferioară și deversor, având înălțimea puțului de 162 m și diametrul de 5,9 m.

Conducta forțată care conduce apa de la castelul de echilibru la turbine are lungimea de 812 m și diametrul de 6,3 m.

Pentru simularea matematică a comportării dinamice a CHE Râul-Mare-Retezat s-a considerat că centrala funcționează cu un singur grup hidroenergetic, celălalt fiind în rezervă, prin aceasta reproducându-se cele mai frecvente situații reale de funcționare a centralei. Principalele date inițiale pentru simularea matematică s-au considerat următoarele: puterea nominală a turbinei Francis (puterea mecanică), $P_{nm}=167,5$ MW cu turația nominală $n_0=500$ r/min la frecvența $f = 50$ Hz (52,36 rad/s), raza de referință a turbinei $R=1,425$ m, iar timpul de lansare a grupului, $T_1=7,5$ s. Pentru debitul nominal, $Q_k=35$ m^3/s a rezultat cifra de

viteză, $v_0=0,408$, iar parametrii unghiulari corespunzători ai turbinei, la funcționare nominală, sunt $t_1 = 0.47$; $t_2 = 0.6$; $t_3 = -0.03$; $t_4 = -0.23$. Amenajarea hidroenergetică este formată din conducta de aducțiune, cu lungimea $L_g=18400$ m și secțiunea $S_g=18,8$ m², castelul de echilibru cu secțiunea $S_{ch}=109$ m² și conducta forțată, cu lungimea de $L_c = 812$ m și secțiunea $S_c=31,2$ m². Căderea brută a amenajării a fost $H_{b0}=526$ m și căderea în conducta de aducțiune, $H_{g0}=15$ m, rezultând o cădere netă, $H_{k0} = 516$ m. Viteza apei în conducta de aducțiune, în regim nominal, s-a considerat $v_{g0} = 3,52$ m/s, iar în conducta forțată, $v_{c0} = 4,07$ m/s Constantele de timp de inerție pentru conducta de aducțiune, castelul de echilibru și conducta forțată s-au considerat: $T_{gi} = 6.7s$; $T_{ch} = 99s$ și $T_c = 1.15s$.

Simularea numerică a comportării dinamice a instalațiilor primare hidroenergetice ale CHE Râul-Mare-Retezat a fost analizată pentru o aplicație constând din modificarea bruscă a puterii electrice la bornele generatorului sincron printr-o creștere cu 10% a acesteia față de valoarea din regi-mul staționar. S-a urmărit evoluția în timp a mărimilor mecanice și hidraulice pe un interval de 200 secunde, iar rezultatele au fost comparate cu cele monitorizate de aplicația SCADA pentru o situație similară.

În Fig.6.37 și Fig.6.38 se prezintă grafic, comparativ, rezultatele obținute prin modelarea matematică cu cele date prin măsurători directe cu traductoarele din cadrul aplicației SCADA.

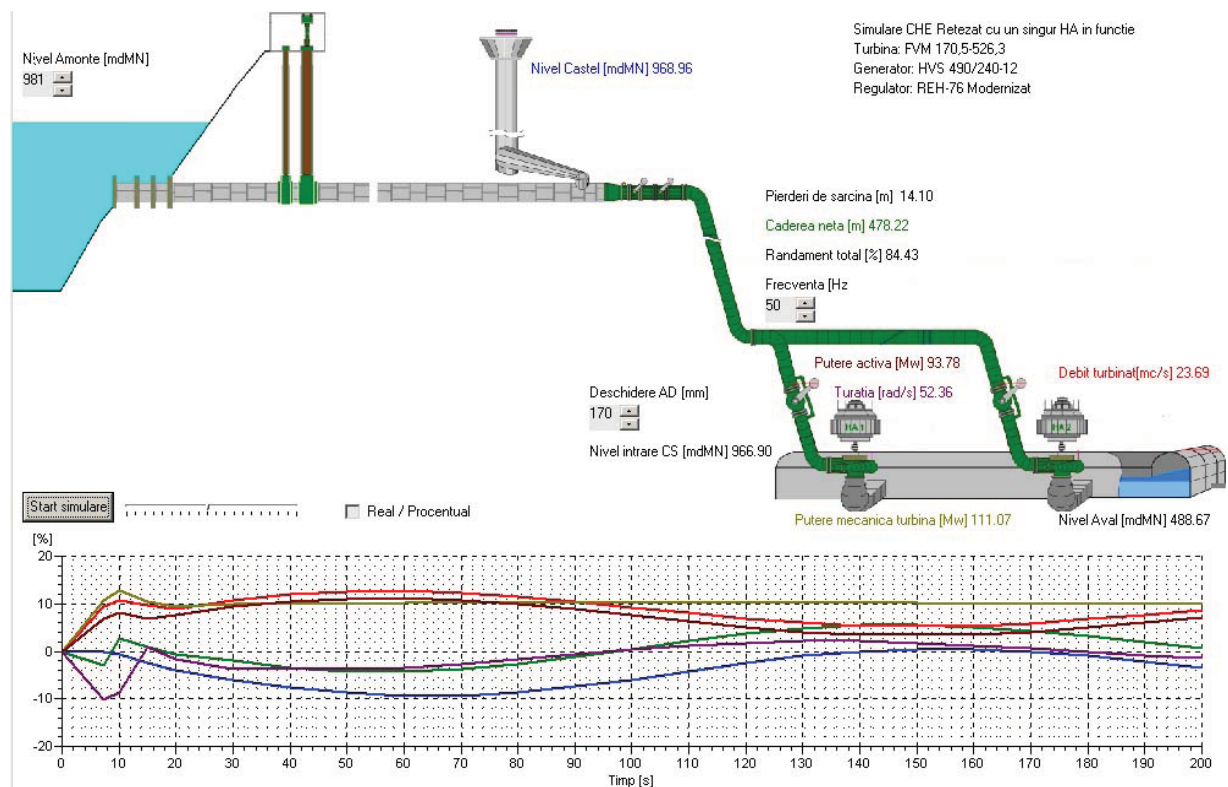


Fig. 6.37 – Variația mărimilor hidromecanice la un salt de putere electrică de 10% – simulare soft –.

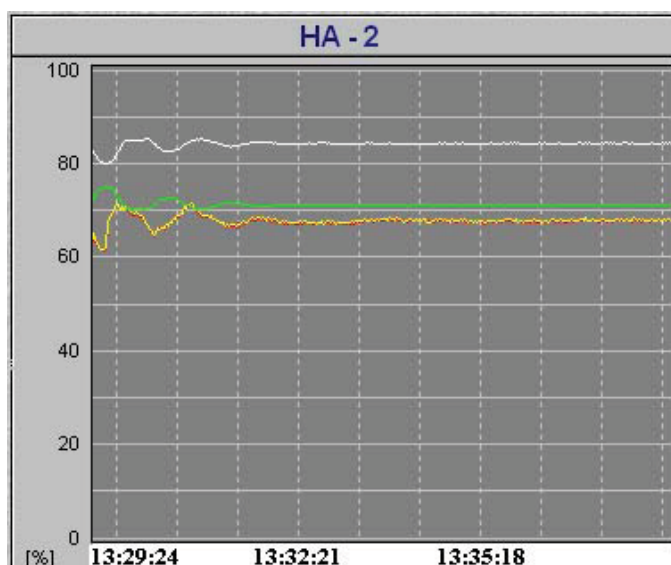


Fig. 6.38 – Variația mărimilor hidromecanice la un salt de putere electrică de 10%
– măsurători reale –.

Din Fig.6.37 și Fig.6.38 se observă că atât în cazul simulării software, cât și în situația reală, monitorizată, procesul dinamic are o desfășurare similară, și anume: la creșterea bruscă a puterii electrice cerute de la bornele generatorului sincron, datorită apariției unui puternic cuplu de frânare, frecvența (turația) scade rapid. Sistemul de reglare a vitezei (SRAV) sesizează scăderea frecvenței și comandă deschiderea vanelor de admisie a apei la turbină (comanda aparatului director). Aparatul director se deschide la început foarte rapid, iar puterea mecanică dată de turbină crește, depășind valoarea puterii electrice cerute, fapt ce conduce la un cuplu de accelerare și frecvența crește. Deschiderea vanelor determină, însă creșterea debitului apei ce trece prin turbină, debit care nu poate fi compensat de apa care se scurge din baraj prin conducta de aducțiune. Acest surplus de apă, necesar, este preluat din castelul de echilibru, iar nivelul apei în castelul de echilibru începe să scadă, conducând la micșorarea căderii nete, adică a presiunii la turbină. Acest proces dinamic, datorită inerției mari a amenajării hidraulice, se produce, însă, mult mai lent decât procesul dinamic de reglare dat de SRAV, care sesizând creșterea frecvenței comandă închiderea vanelor și reduce, astfel, puterea mecanică sub valoarea puterii electrice. Frecvența scade din nou și reîncepe deschiderea vanelor, dar cum nivelul apei în castelul de echilibru este mai redus și căderea netă mai mică, pentru obținerea puterii mecanice necesare este nevoie de un debit mai mare de apă, pe un interval mai mare de timp. Procesul oscilatoriu continuă până la echilibrarea bilanțului puterilor, când se comandă închiderea vanelor, fapt ce conduce la creșterea nivelului apei în castelul de echilibru și a energiei specifice nete, corespunzătoare.

6.7. Concluzii și contribuții personale.

Capitolul descrie modalitatea de efectuare și rezultatele obținute la verificările și măsurătorile aferente punerii în funcțiune după finalizarea reparației la hidrogeneratorul din centrala Hidroelectrică Râul Mare Retezat: încercări în regim de mers în gol, încercări în regim de mers în sarcină, caracteristica de mers în scurtcircuit trifazat simetric, descărcări parțiale. Capitolul se încheie cu o modelare a

centralei în limbajul Delphi și simularea unui regim de supraîncărcare a centralei, rezultatele obținute prin simulare fiind prezentate comparativ cu rezultate obținute prin măsurători.

În urma efectuării probelor funcționale și prelucrării rezultatelor obținute se constată următoarele:

- Schema de automatizare funcționează corespunzător atât în regim manual cât și în regim automat;
- Toate echipamentele hidromecanice au o comportare normală în timpul procesului de pornire și sincronizare la rețea a generatorului;
- Instalațiile de măsură și monitorizare a parametrilor electrici și mecanici funcționează corect, neobservându-se abateri față de indicațiile echipamentelor de precizie conectate în paralel cu acestea pe durata efectuării încercărilor experimentale;
- Instalația de reglaj automat a tensiunii (RAT) a fost adaptată în vederea eliminării salturilor bruște ale tensiunii de excitație la conectarea excitației în regim de mers în gol excitat;
- Au fost verificate pe viu toate protecțiile electrice și tehnologice constatându-se o funcționare corespunzătoare a acestora cu încadrarea în limitele impuse prin documentația tehnică;
- În regim de mers în gol neexcitat vibrațiile se încadrează în calificativul de „bine”, constatându-se o tendință de micșorare a nivelului acestora în regim de mers în gol excitat, fapt ce indică o centrare corespunzătoare și din punct de vedere magnetic;
- La funcționarea în sarcină, se constată o tendință de stabilizare a vibrațiilor la valori mai mici față de regimul de mers în gol;
- Valoarea maximă a vibrațiilor la funcționarea în sarcină se constată la nivelul lagărului radial inferior, 1.345 mm/sec valoare ce încadrează funcționarea hidroagregatului în calificativul „bine” conform STAS SR6910-2012;
- Funcționarea în aceste condiții de vibrații a fost posibilă printr-o echilibrare corespunzătoare a rotorului;
- La funcționarea în sarcină a hidroagregatului se constată o tendință de stabilizare a dinamicii, ansamblului rotitor pe o orbită de mișcare care se încadrează în limitele jocurilor din lagăre. Există astfel certitudinea că în timpul funcționării în sarcină nu există riscul atingerii pastilelor radiale din lagărele generatorului fapt ce explică nivelul redus al vibrațiilor din lagăre;
- În urma încercărilor la diferite nivele ale încărcării active se constată o comportare corespunzătoare din punct de vedere electric, parametrii electrici și mecanici încadrându-se în limitele impuse în documentația tehnică;
- În urma efectuării probelor de aruncare din sarcină la $P=100\text{MW}$ și $P=110\text{MW}$ se constată o comportare corespunzătoare în timpul regimului tranzitoriu de supraturare a rotorului. Turația maximă a rotorului se încadrează în limitele impuse, iar vibrațiile maxime nu depășesc valoarea de 2.8 mm/sec valoare ce corespunde unei funcționări în calificativul „bine”;
- În timpul regimului tranzitoriu de aruncare din sarcină la $P=120\text{MW}$ nu se constată nici o tendință de modificare a axei de rotație a ansamblului rotitor, orbita de mișcare păstrându-și poziția în planul xy;

- Din punct de vedere a izolației, în înfășurarea statorică se constată o tendință de creștere a nivelului descărcărilor parțiale când tensiunea la borne depășește valoarea de 12kV. Nivelul de descărcări diferă pe cele trei faze, nivelul maxim constatându-se pe faza A.

În urma finalizării probelor de calificare se constată următoarele:

- Funcționarea corespunzătoare a hidroagregatului are loc începând de la o putere activă de 100MW debitată în sistem. Sub această putere funcționarea turbinei hidraulice are loc în condițiile unui regim de curgere turbulent însoțit de zgomot caracteristic cavitației în conul aspirator. Din acest motiv nu se recomandă funcționarea grupului din CHE Retezat la putere sub 100MW.
 - La puterea de 110 MW se constată o îmbunătățire a regimului hidraulic de curgere în conul aspirator cu dispariția zgomotelor caracteristice fenomenului de cavitație.
 - În urma încercărilor de funcționare în sarcină la P=110 MW s-au verificat temperaturile de funcționare în regim termic stabilizat, obținându-se următoarele valori ale temperaturilor stabilizate:
- Temperatura cupru:
 - Temperatura maximă 71°C
 - Temperatura minimă 68°C
 - Temperatura fier:
 - Temperatura maximă 70°C
 - Temperatura minimă 55°C
 - Aerul cald
 - Temperatura maximă 55°C
 - Temperatura minimă 55°C
 - Aerul rece
 - Temperatura maximă 35°C
 - Temperatura minimă 35°C
 - Lagărul radial superior
 - Temperatura maximă 53°C
 - Temperatura minimă 48°C
 - Lagărul axial:
 - Temperatura maximă 70°C
 - Temperatura minimă 61°C
 - Lagărul radial inferior:
 - Temperatura maximă 68°C
 - Temperatura minimă 57°C
 - Lagărul turbinei:
 - Temperatura maximă 67°C
 - Temperatura minimă 64°C

Pe baza rezultatelor obținute în urma probelor de calificare se impune ca funcționarea grupului pentru servicii de sistem să aibă loc în limitele de putere P=100-110MW.

Din analiza comparativă a rezultatelor simulării software și a măsurătorilor efectuate cu ajutorul sistemului SCADA rezultă următoarele concluzii:

- Modelarea elementelor unei centrale hidroelectrice și simularea diferitelor regimuri de funcționare a devenit o necesitate dictată de creșterea siguranței în funcționare a acestora. Acest obiectiv poate fi atins prin modelarea software a elementelor componente ale centralelor hidroelectrice utilizând softuri specifice;
- Unul dintre criteriile majore de validare a soluțiilor adoptate este compararea rezultatelor obținute prin simulare soft cu cele obținute prin măsurători;
- Evoluția similară a proceselor dinamice ale amenajării hidraulice descrise de simularea software și de situația reală cunoscută prin măsurători validează modelul matematic utilizat, căruia îi conferă un înalt grad de încredere. Astfel, modelul discutat poate constitui un instrument util pentru studiul teoretic al comportării dinamice a instalațiilor hidroenergetice în cazul unui complex de scenarii prestabilite, cu posibilitatea adoptării de măsuri profilactice corespunzătoare.

În continuare se prezintă o sinteză privind contribuțiile personale din cadrul acestui capitol:

- descrierea metodelor și a echipamentelor utilizate la încercările necesare a fi efectuate la punerea în funcțiune a hidroagregatului;
- elaborarea planului de lucru pentru efectuarea încercărilor propuse;
- alegerea, configurarea și utilizarea aparaturii de măsură necesare;
- coordonarea directă a efectuării măsurătorilor precum și analiza și interpretarea rezultatelor;
- realizarea unui program software pentru simularea regimurilor de supraîncărcare a generatoarelor centralei hidroelectrice Râul Mare Retezat;
- simularea unui regim de supraîncărcare de 10% pentru un generator al centralei;
- analiza comparativă a rezultatelor simulării cu rezultatele înregistrate prin măsurători.

7. CONCLUZII FINALE ȘI CONTRIBUȚII

Teza de doctorat are la bază preocupările și rezultatele autorului în ceea ce privește creșterea siguranței în funcționarea a centralei hidroelectrice Râul Mare Retezat. În calitate de specialist și șef al centralei hidroelectrice Râul Mare Retezat, autorul are contribuții importante la dezvoltarea unor softuri de simulare a regimurilor de exploatare ale celor două grupuri hidroenergetice din cadrul centralei. Softurile au fost testate cu succes și validate prin comparație cu măsurători realizate în instalații.

Studiul bibliografic, cercetările și analizele proprii și rezultatele obținute de autor, referitor la prezentarea și asigurarea siguranței în funcționare a centralei Râul Mare Retezat, permit formularea următoarelor concluzii:

Capitolul II:

- amenajarea hidroenergetică Râul Mare Retezat a fost realizată ca urmare a creșterii cererii de energie electrică datorată dezvoltării industriale a țării din perioada anilor '70;
- amenajarea hidroenergetică Râul Mare Retezat a fost proiectată pentru o centrală cu două grupuri de 167,5 MW fiecare, fiind la acea dată cea mai mare putere instalată într-o centrală de acest tip;
- amenajarea hidroenergetică Râul Mare Retezat a fost concepută pentru o dezvoltare ulterioară a amenajării hidroenergetice a râului Strei.

Capitolul III:

- Hidrogeneratorul vertical sincron tip "HVS 490/240-12", corespunde condițiilor generale pentru mașini electrice rotative din STAS 1893-72 și este destinat pentru funcționarea de durată, în spațiu închis.
- Excitația hidrogeneratorului este de tip rotativ cu diode redresoare. Excitatorul, este montat deasupra hidrogeneratorului pe arborele comun, furnizează curent alternativ la redresorul rotativ. Acesta îl transformă în curent continuu cu care se alimentează înfășurarea de excitație a hidrogeneratorului.
- Stația de evacuare cu tensiunea nominală de 220 kV are funcția de a realiza injecția în sistemul electroenergetic a puterii produse în centrala subterană Retezat, fără a alimenta vreun consumator, astfel întreaga energie electrică produsă este transmisă în sistemul energetic la înaltă tensiune.

Capitolul IV:

- asupra parametrilor reali de funcționare ai hidroagregatelor:

- Datorită regimului de funcționare al centralei, la puteri de cca. 57% din puterea nominală, curbele de randament au fost determinate pe un domeniu restrâns de puteri, nepermițând să fie determinată zona de randament maxim;
 - Ambele turbine nu își realizează randamentul garantat la căderea netă de calcul de 483,500 m, acesta fiind mai mic cu cca. 3,2 procente pentru turbina 1 la $P=100$ MW și 2,6 procente pentru turbina 1 la $P=100$ MW (Anexele 8, 9, 10);
 - Turbina nr.1 realizează randamentul de 0,867 la puterea la bornele generatorului de 109,86 MW la căderea netă de calcul de 483,500 m (Anexa 9);
 - Turbina nr.2 realizează randamentul de 0,868 la puterea la bornele generatorului de 106,126 MW la căderea netă de calcul de 483,500 m (Anexa 10);
 - Hidroagregatul nr.1 realizează randamentul de 0,844 la puterea la bornele generatorului de 109,86 MW la căderea netă de calcul de 483,500 m (Anexa.11);
 - Hidroagregatul nr.2 realizează randamentul de 0,836 la puterea la bornele generatorului de 109,86 MW la căderea netă de calcul de 483,500 m (Anexa.12);
 - Anexele 13 și 14 prezintă caracteristicile de consum QC(PGC) pentru fiecare hidroagregat la căderea netă de calcul de 483,500 m, iar Anexele 15 și 16 caracteristicile de admisie QC(a) și de reglare PGC(a) de asemenea pentru fiecare grup la căderea netă de calcul de 483,500 m. Aceste caracteristici se pot dovedi utile în exploatare.
- asupra pierderilor de sarcină:
 - Mărimea pierderilor de sarcină este normală pentru configurația amenajării, pierderile totale, la funcționarea cu ambele hidroagregate, reprezentând cca. 7,7 % din cădere.
 - Pierderea totală de sarcină pe traseul lac-turbină la funcționarea cu cele două hidroagregate la puterea maximă de exploatare (100 MW) este de 37,522 m la un debit turbinat de $50,71\text{m}^3/\text{s}$ (Anexele 17 și 18).
 - În aceleași condiții, pierderea totală de sarcină pe aducțiune este de 29,175 m, iar pierderea totală de sarcină pe conducta forțată este de 8,347 m (respectiv 6,353 pe porțiunea castel echilibru-distribuitoare și 1,994 m pe porțiunea distribuitor-turbină).
 - În condițiile funcționării cu câte un singur grup, la puterea maximă de exploatare (100 MW), pierderile de sarcină reprezintă numai 2 % din cădere și sunt:
 - Pierderea totală de sarcină pe traseul lac-turbină este de 9,664 m la un debit turbinat de $26,10\text{m}^3/\text{s}$.
 - Pierderea totală de sarcină pe aducțiune este de 6,793 m, iar pierderea totală de sarcină pe conducta forțată este de 2,871 m (respectiv 0,970 pe porțiunea castel echilibru-distribuitoare și 1,901 m pe porțiunea distribuitor-turbină).
 - Din cele de mai sus rezultă că pentru același nivel în lac, o turbină funcționând singură la puterea maximă de exploatare (100 MW), lucrează la o cădere cu 27,86 m mai mare decât atunci când ar funcționa ambele

grupuri la aceeași putere. Aceasta are ca rezultat funcționarea pe o altă caracteristică de exploatare și cu un randament mult mai bun (cu cca. 2% mai mare).

- asupra rugozității aducțiunii și a conductei forțate:
 - Coeficientul de rugozitate medie absolută echivalentă, determinat pentru aducțiune este: $\varepsilon_{med} = 3,6 \text{ mm}$; ($n = 0,017$)
 - Privit ca o valoare medie în secțiune și în lungul conductei, acest coeficient are o valoare acceptabilă; este însă posibil ca rugozitatea să nu fie uniformă și să existe zone cu o rugozitate mai mare decât media.
 - Coeficientul de rugozitate, determinat pentru conducta forțată (pe tronsonul vană sferică-distribuitor) este: $n = 0,0108$.
- asupra nivelului saltului în castelul de echilibru:
 - Nivelul absolut minim de 927,35mdMN, (în camera inferioară), respectiv un salt de -54,166m a fost înregistrat pentru manevra de pornire /încărcare simultană la 100MW a celor două hidroagregate (Anexa 25).
 - Nivelul absolut maxim de 1018,68 mdMN, respectiv un salt de +49,694 m a fost înregistrat pentru manevra de descărcare/oprire a unui hidroagregat cu celălalt oprit (Anexa 21).
 - Saltul maxim de +52,441 m, respectiv nivelul absolut de 1001,32 mdMN a fost înregistrat pentru manevra de descărcare/oprire a unui hidroagregat cu celălalt aflat în funcțiune la $P = 100 \text{ MW}$ (Anexa 22).
 - Atenuarea oscilațiilor este foarte rapidă (2-4 perioade) la manevrele efectuate cu un hidroagregat când celălalt este în funcțiune la $P=100\text{MW}$.
 - Timpii de amortizare totală a oscilațiilor variază între cca.60 min. la manevrele efectuate cu un singur hidroagregat și cca.30 min. la manevrele efectuate cu un hidroagregat când celălalt este în funcțiune la $P = 100 \text{ MW}$.
 - În niciuna dintre manevrele (normale: 1,2,4,5, posibile: 6,7 sau anormale:3 din Tabelul 4.10) saltul minim nu a depășit nivelul situat în camera inferioară. Cu toate acestea, se poate imagina o manevră accidentală în care hidroagregatele să fie pornite și încărcate defazat cu 0÷340 sec. caz în care saltul minim produs de primul HA se va suprapune peste saltul minim produs de cel de al doilea HA, caz în care amplitudinea saltului minim rezultat va depăși nivelul camerei inferioare.

Capitolul V:

- Micile perturbații exterioare, provocate de diverse evenimente ce se petrec în vecinătatea generatorului, la o distanță electrică relativ mare de acesta, nu conduc neapărat la ieșirea din sincronism sau la pierderea stabilității generatorului conectat la un sistem ce poate fi considerat ca fiind de putere infinită.
- Stabilitatea tranzitorie a unui hidrogenerator la perturbații și rămânerea sa în sincronism nu este suficientă pentru rămânerea în paralel. Acest fapt este condiționat în mare parte de reglajul celorlalte protecții ale generatorului, atât cele electrice cât și cele hidraulice – mecanice. Acest

lucru fiind condiționat de determinarea cât mai exactă a valorilor critice ale acestor mărimi și a legăturilor între acestea.

- Deși echipamentul cu care a fost efectuată achiziția de date, stocarea și vizualizarea acestora oferă posibilitatea înregistrării mai multor mărimi de natură electrică sau binară (stări ale diferitelor contracte), se simte nevoia, în cadrul procesului de analiză a datelor, de a corela cu acestea alte mărimi, în special de natură mecanică. Una dintre acestea ar fi variația puterii la arbore, (determinată de poziția paletelor aparatului director) și corelarea acesteia cu unghiul de sarcină al generatorului sincron.

Capitolul VI:

- Modelarea elementelor unei centrale hidroelectrice și simularea diferitelor regimuri de funcționare a devenit o necesitate dictată de creșterea siguranței în funcționare a acestora. Acest obiectiv poate fi atins prin implementarea unor modele matematice ale elementelor componente ale centralelor hidroelectrice utilizând softuri specifice;
- Unul dintre criteriile majore de validare a soluțiilor adoptate este compararea rezultatelor obținute prin simulare soft cu cele obținute prin măsurători;
- Evoluția similară a proceselor dinamice ale amenajării hidraulice descrise de modelul matematic și de situația reală cunoscută prin măsurători validează modelul matematic HIDRO, căruia îi conferă un înalt grad de încredere. Astfel, modelul discutat poate constitui un instrument util pentru studiul teoretic al comportării dinamice a instalațiilor hidroenergetice în cazul unui complex de scenarii prestabilite, cu posibilitatea adoptării de măsuri profilactice corespunzătoare.

Principalele contribuții aduse de autor în cadrul tezei de doctorat, sistematizate pe fiecare capitol sunt următoarele:

Capitolul II:

- prezentarea într-o manieră personală a elementelor componente ale părții hidro a amenajării hidroenergetice Râul Mare Retezat;
- sinteza noțiunilor generale și particulare privind construcția părții hidro a amenajării hidroenergetice Râul Mare Retezat;
- analiza critică a soluțiilor propuse în literatura de specialitate privind amenajările hidroenergetice.

Capitolul III:

- prezentarea într-o manieră personală a elementelor componente ale părții electrice a centralei hidroelectrice Râul Mare Retezat;
- sinteza noțiunilor generale și particulare privind construcția generatorului, transformatorului bloc și a stației de evacuare a centralei hidroelectrice Râul Mare Retezat;
- evaluarea soluției constructive de realizare a părții electrice a centralei hidroelectrice Râul Mare Retezat.

Capitolul IV:

- identificarea mărimilor, parametrilor și a elementelor esențiale necesare studiului;
- elaborarea planului de lucru pentru efectuarea manevrelor și măsurătorilor propuse;
- alegerea, configurarea și utilizarea aparaturii de măsură necesare;
- concepția unui program de simulare a saltului nivelului apei în castelul de echilibru;
- efectuarea de simulări pentru diverse manevre de pornire/oprire a celor două hidroagregate;
- analiza comparativă a rezultatelor simulărilor efectuate cu rezultate ale înregistrărilor obținute din sistemul SCADA;
- coordonarea directă a efectuării manevrelor și măsurătorilor precum și analiza rezultatelor care a condus la formularea unor recomandări:
 - 1) este mai eficient și mai economic ca energia necesară să fie produsă să fie realizată prin funcționarea o perioadă mai îndelungată cu un singur grup și nu prin funcționarea pe perioade mai scurte cu ambele grupuri;
 - 2) este recomandabil să nu se pornească simultan ambele grupuri. În cazul în care este necesară pornirea ambelor grupuri, grupul al doilea se va porni decalat cu un multiplu de 8,5 min sau după o perioadă de cel puțin 22 de min față de primul.

Capitolul V:

- sinteza critică a unui număr mare de referințe bibliografice privind stabilitatea sistemelor electroenergetice;
- descrierea celor mai noi metode și mijloace utilizate în domeniul monitorizării generatoarelor electrice;
- identificarea mărimilor, parametrilor și a regimurilor de defect esențiale necesare studiului;
- elaborarea planului de lucru pentru efectuarea monitorizărilor și măsurătorilor propuse;
- alegerea, configurarea și utilizarea aparaturii de măsură necesare;
- coordonarea directă a efectuării măsurătorilor precum și analiza și interpretarea rezultatelor.

Capitolul VI:

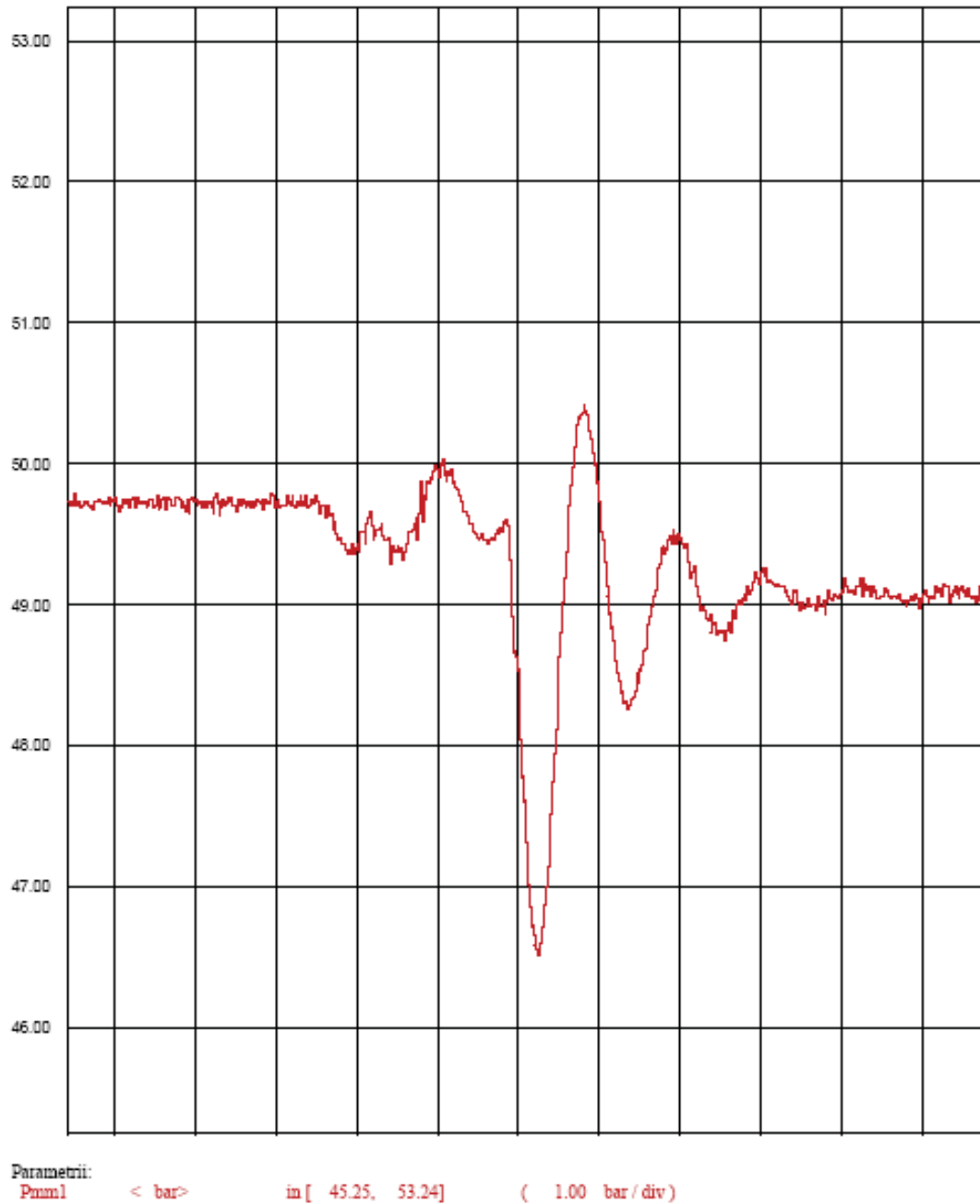
- sinteza critică a unui număr mare de referințe bibliografice privind simularea software a centralelor hidroelectrice;
- identificarea mărimilor, parametrilor și a elementelor esențiale necesare modelării matematice a tuturor elementelor centralei hidroelectrice;
- realizarea unui program software pentru simularea regimurilor de supraîncărcare a generatoarelor centralei hidroelectrice Râul Mare Retezat;
- simularea unui regim de supraîncărcare de 10% pentru un generator al centralei;
- analiza comparativă a rezultatelor simulării cu rezultatele înregistrate prin măsurători.

În încheierea acestei lucrări trebuie menționat faptul că rezultatele cercetărilor obținute de autor au fost publicate la conferințe internaționale de specialitate [19], [28], [32], [39], [49], [56], sau cu prilejul unor manifestări științifice de prestigiu ale energiei românești [27].

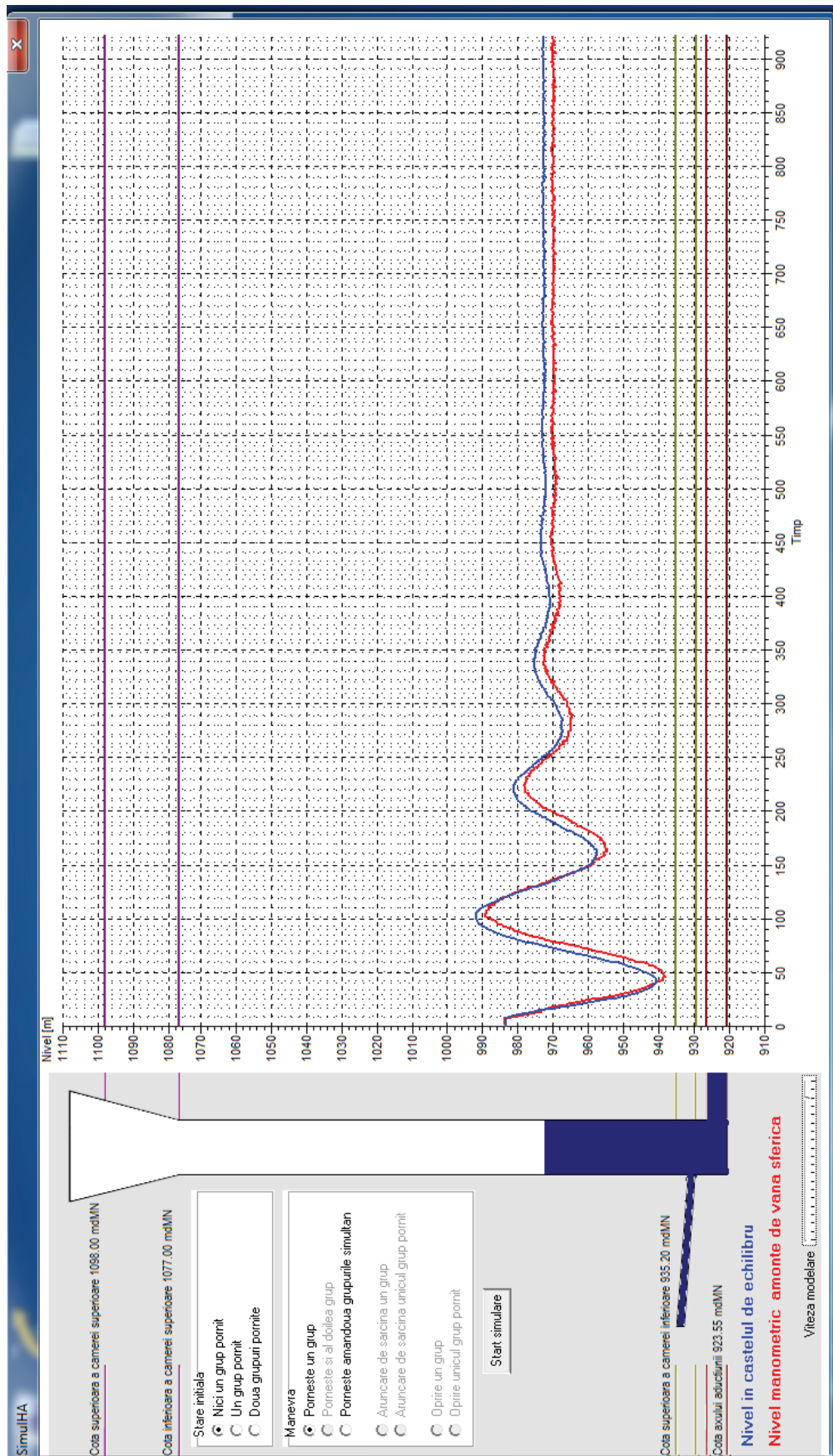
Analizele teoretice și practice prezentate în cadrul tezei de doctorat, precum și rezultatele obținute, deschid perspectiva unei continuări și aprofundări a cercetărilor, cu scopul optimizării și generalizării soluțiilor. În acest sens sunt necesare:

- dezvoltarea de modele matematice general valabile, pentru orice tip de centrală hidroelectrică;
- dezvoltarea de simulatoare soft corespunzătoare;
- testarea și validarea acestor simulatoare soft în condiții reale de funcționare a diferitelor tipuri de centrale hidroelectrice și la diferite regimuri de funcționare.

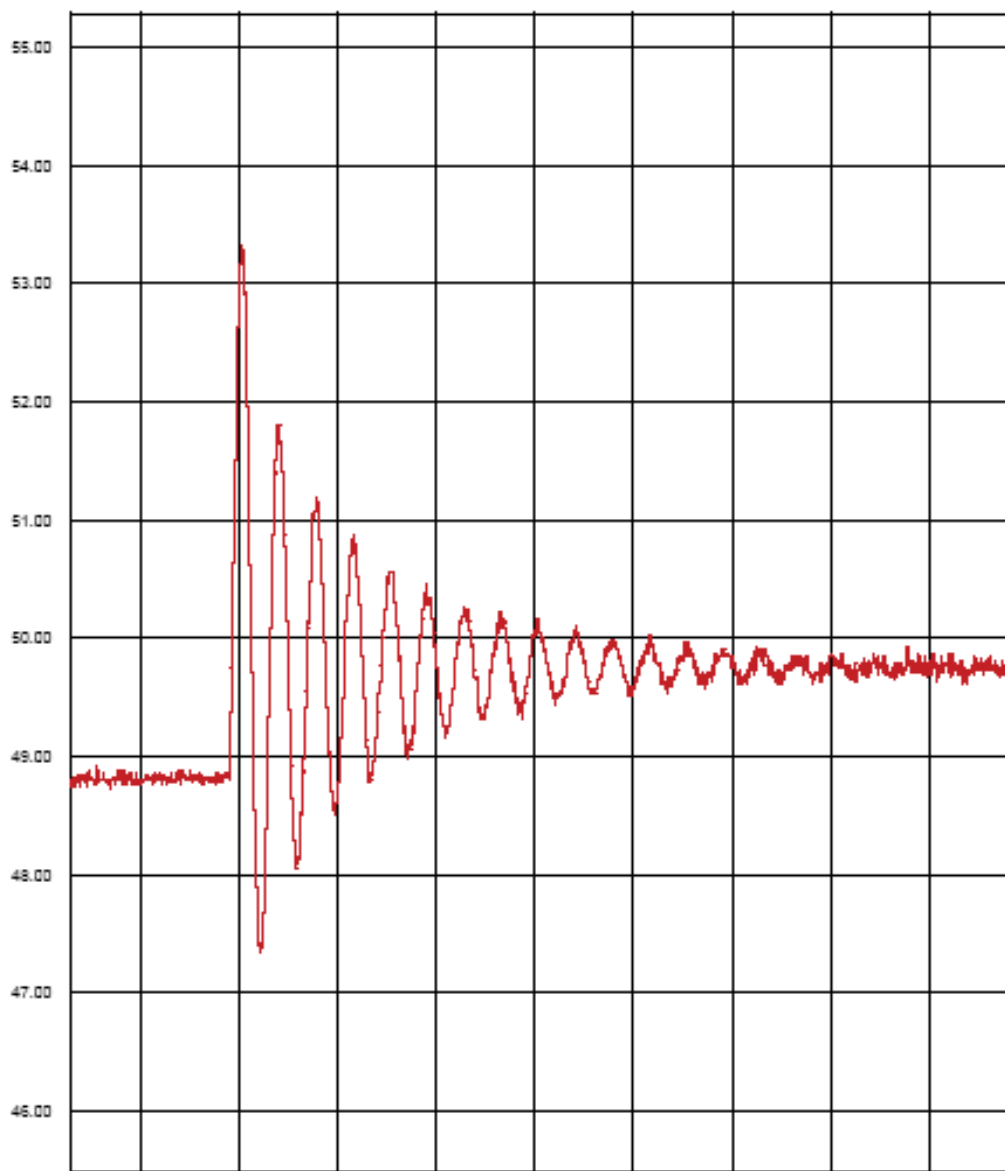
Anexe



Anexa 1. a). Pornire un singur hidroagregat – înregistrare SCADA

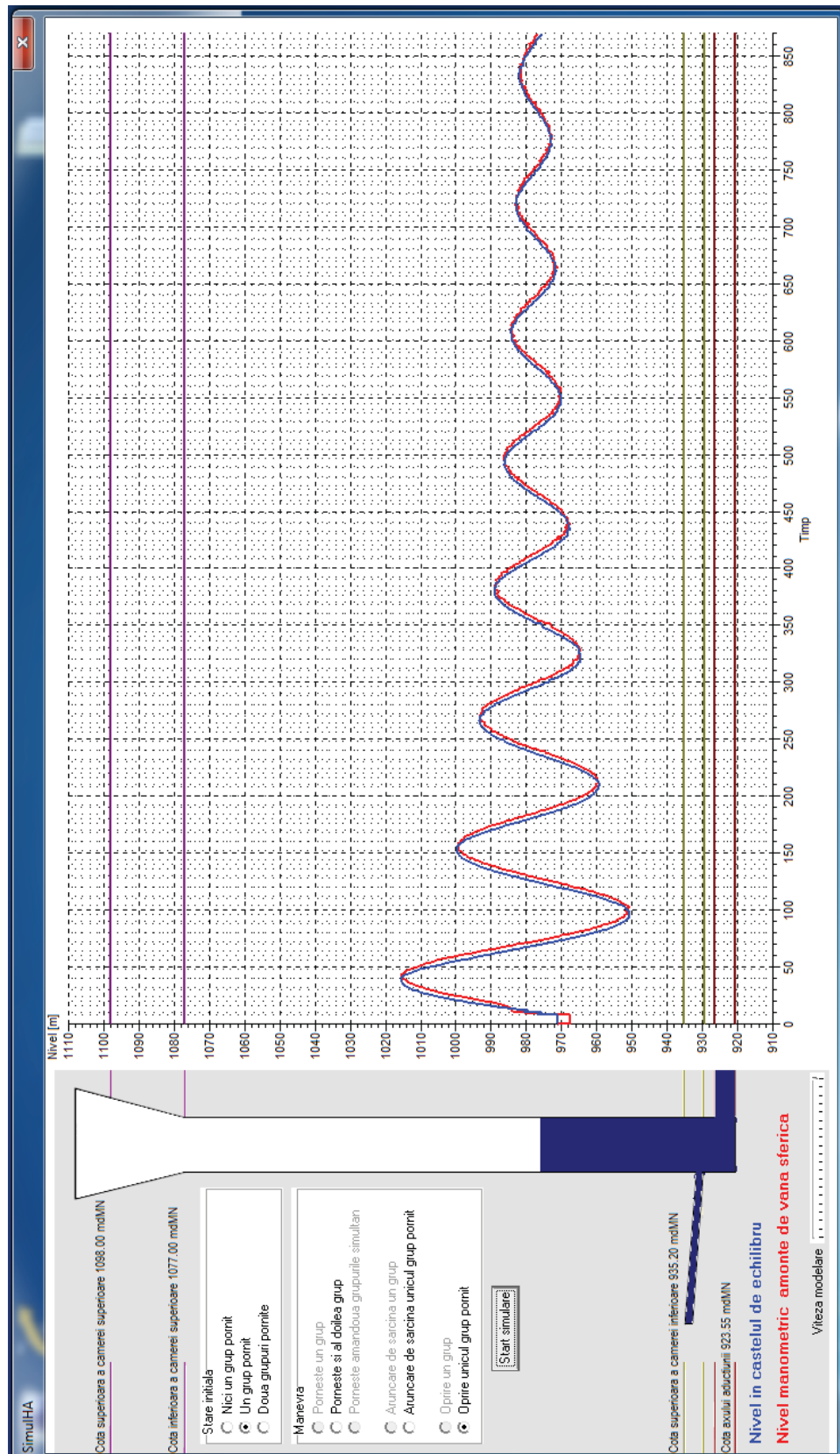


Anexa 1. b). Pornire un singur hidroagregat – simulare

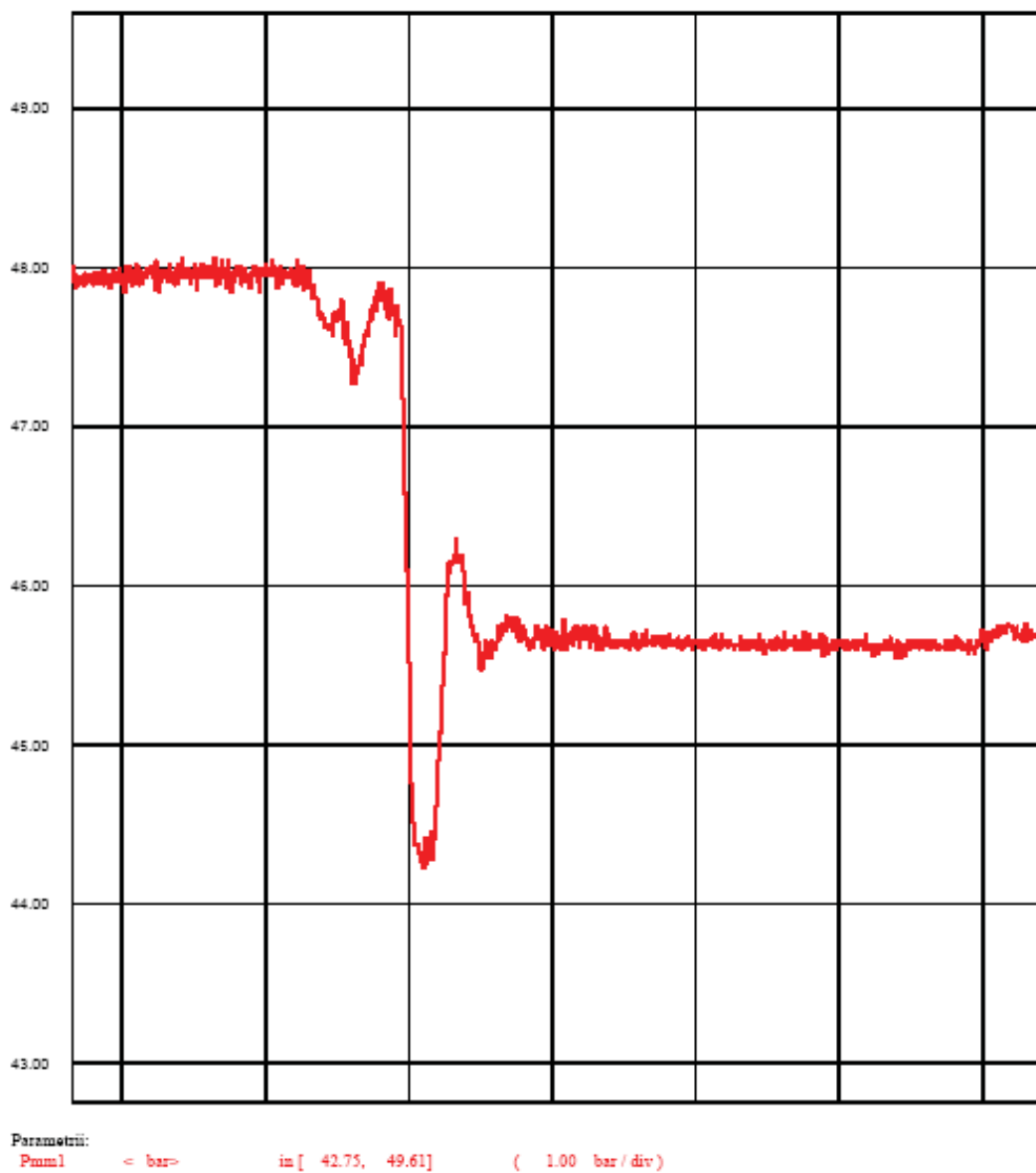


Parametrii:
Puzul < bar> in [45.49, 55.29] (1.00 bar/div)

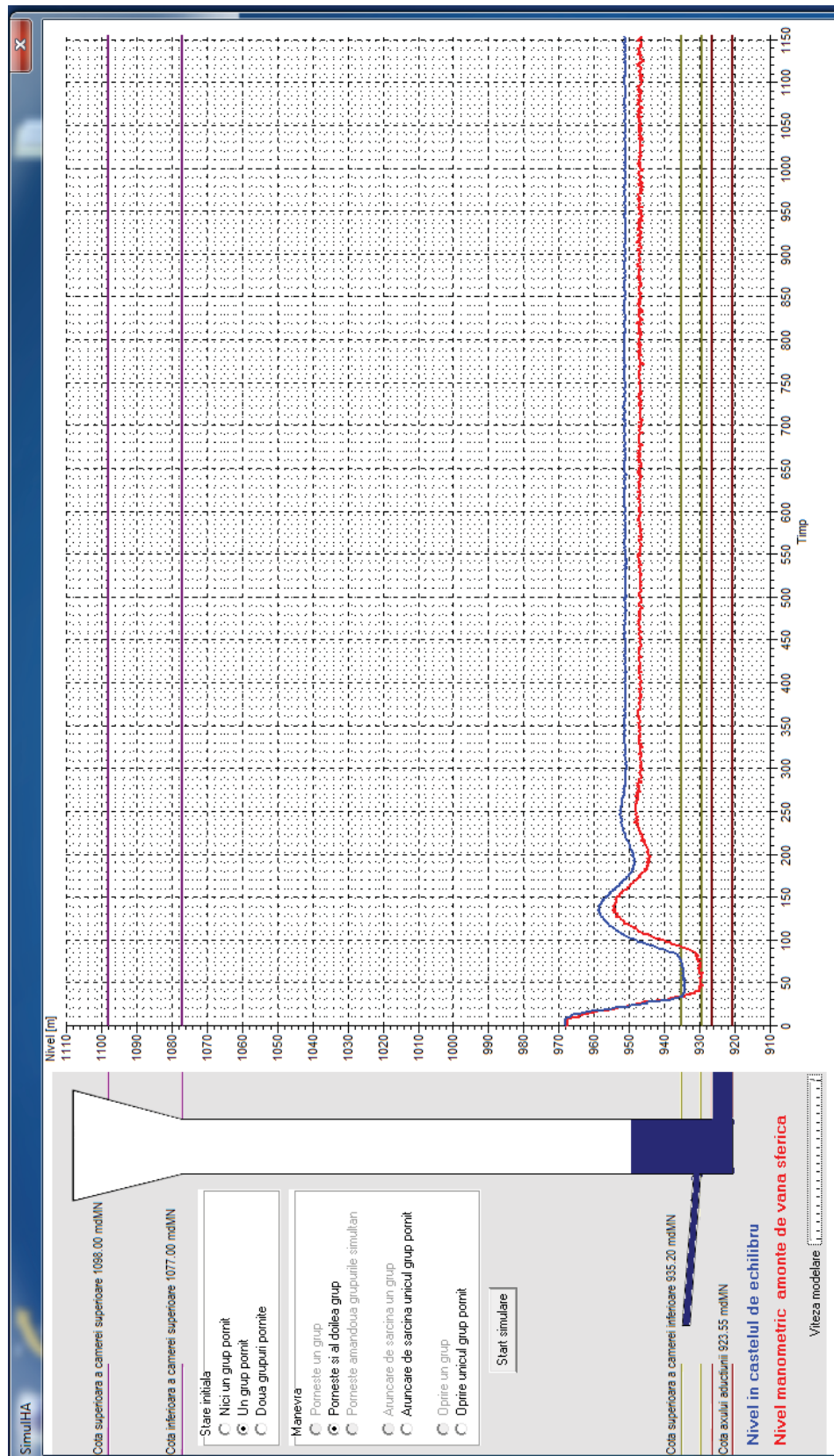
Anexa 2.a). Oprire un hidroagregat, celălit oprit – înregistrare SCADA



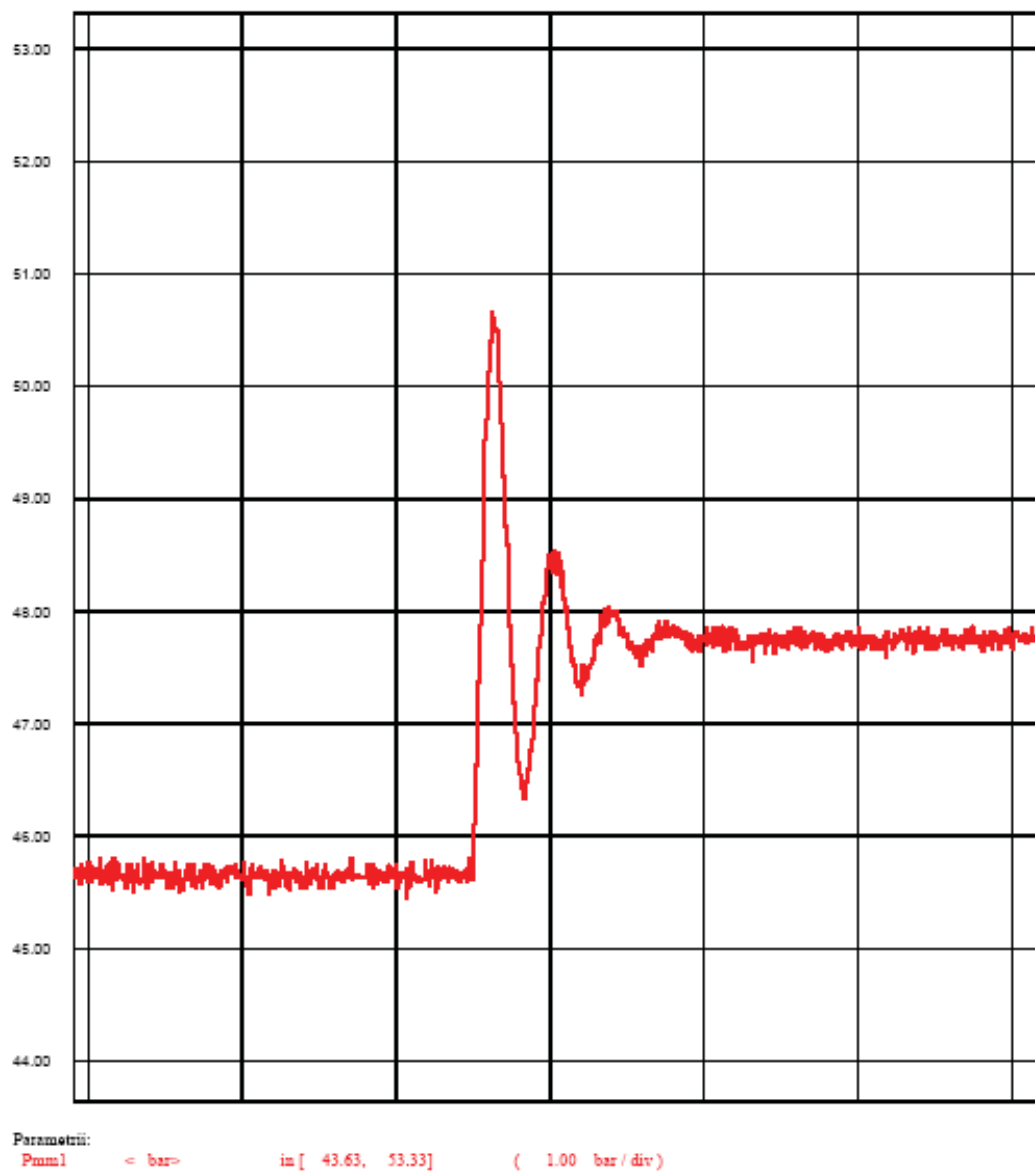
Anexa 2.b). Oprire un hidroagregat, celălalt oprit – simulare



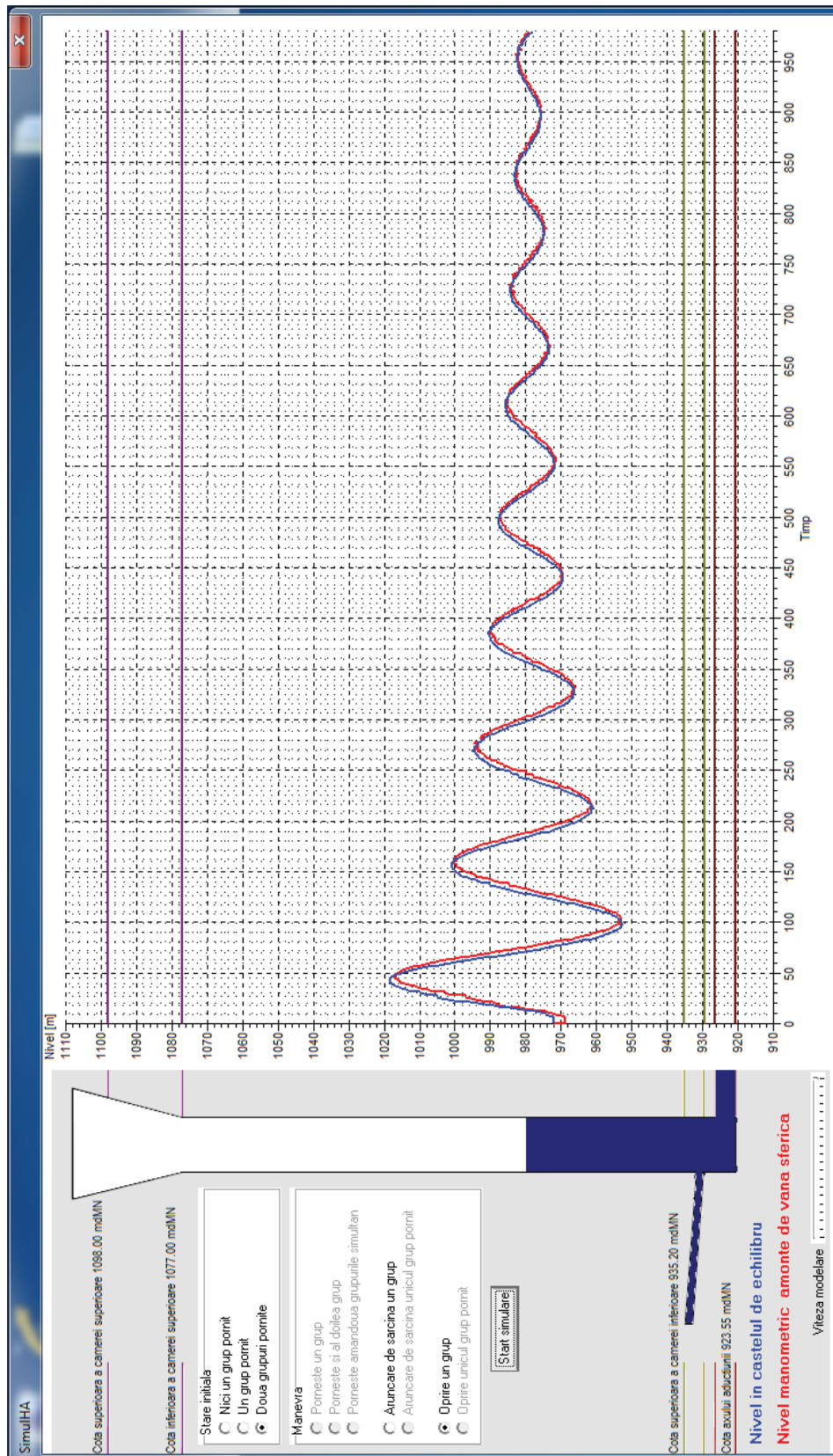
Anexa 3.a). Pornire un hidroagregat, cu celălalt pornit – înregistrare SCADA.



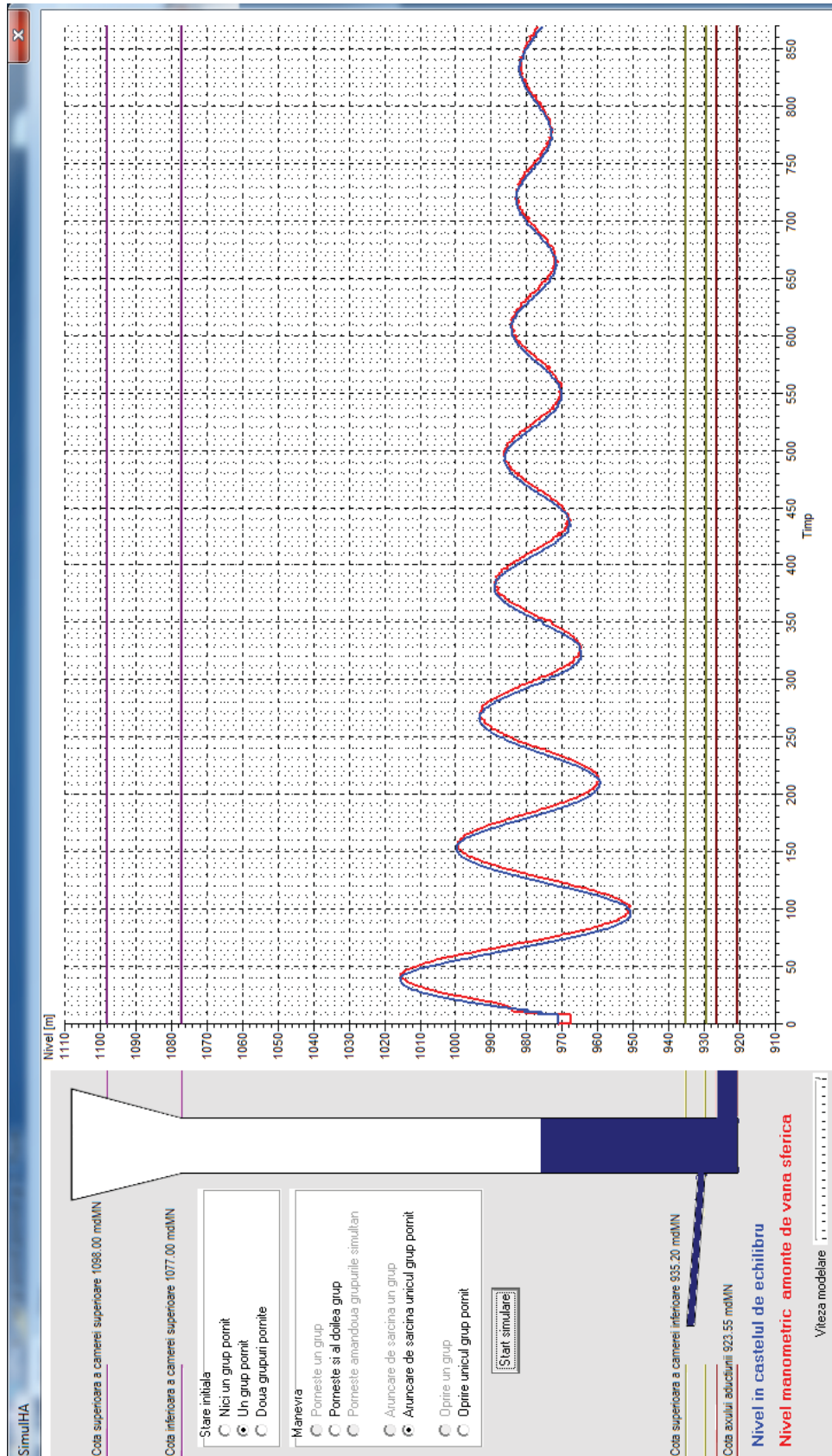
Anexa 3.b). Pornire un hidroagregat, cu celălalt pornit – simulare.



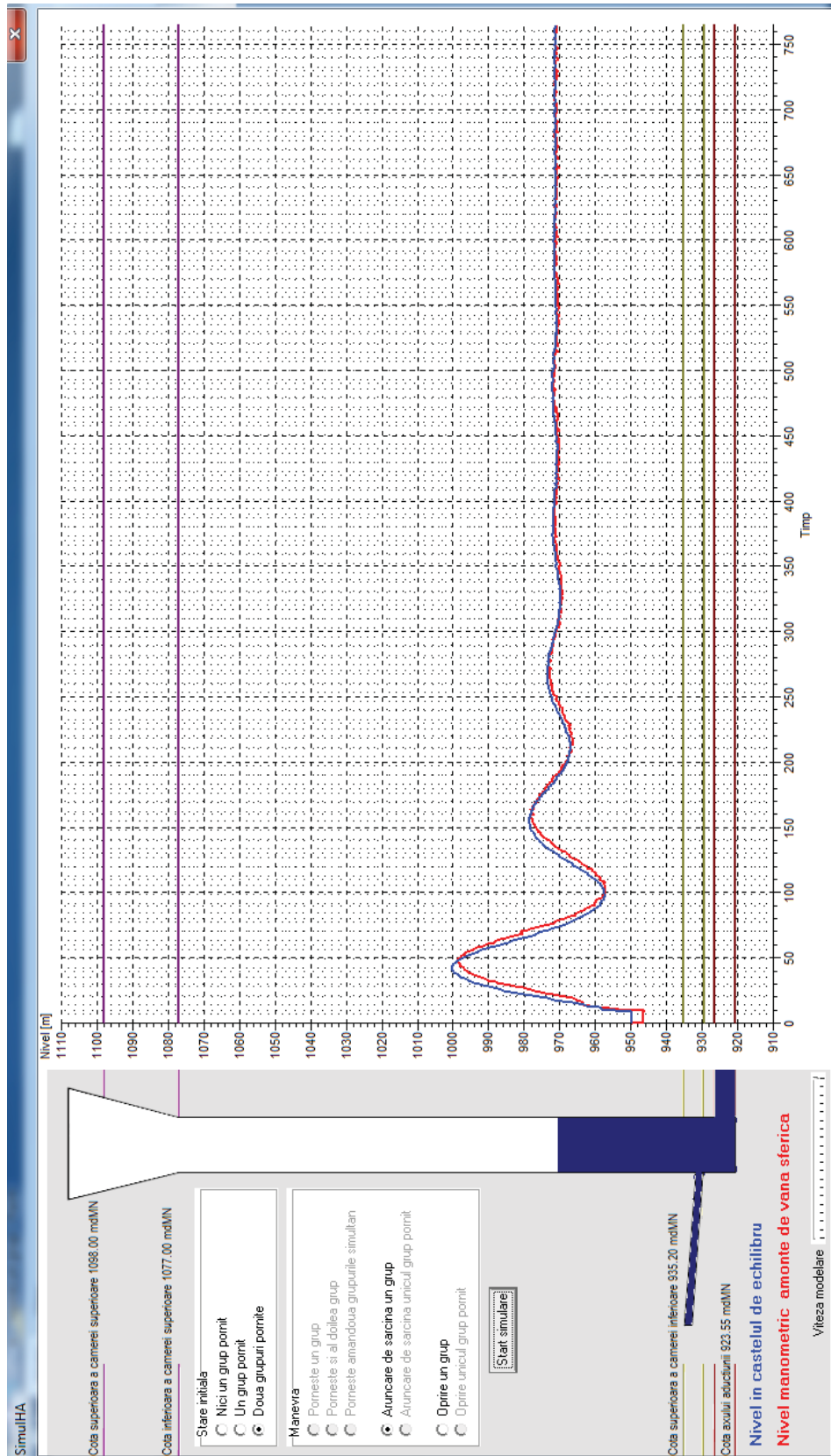
Anexa 4.a). Oprire un hidroagregat, cu celălalt pornit – înregistrare SCADA.



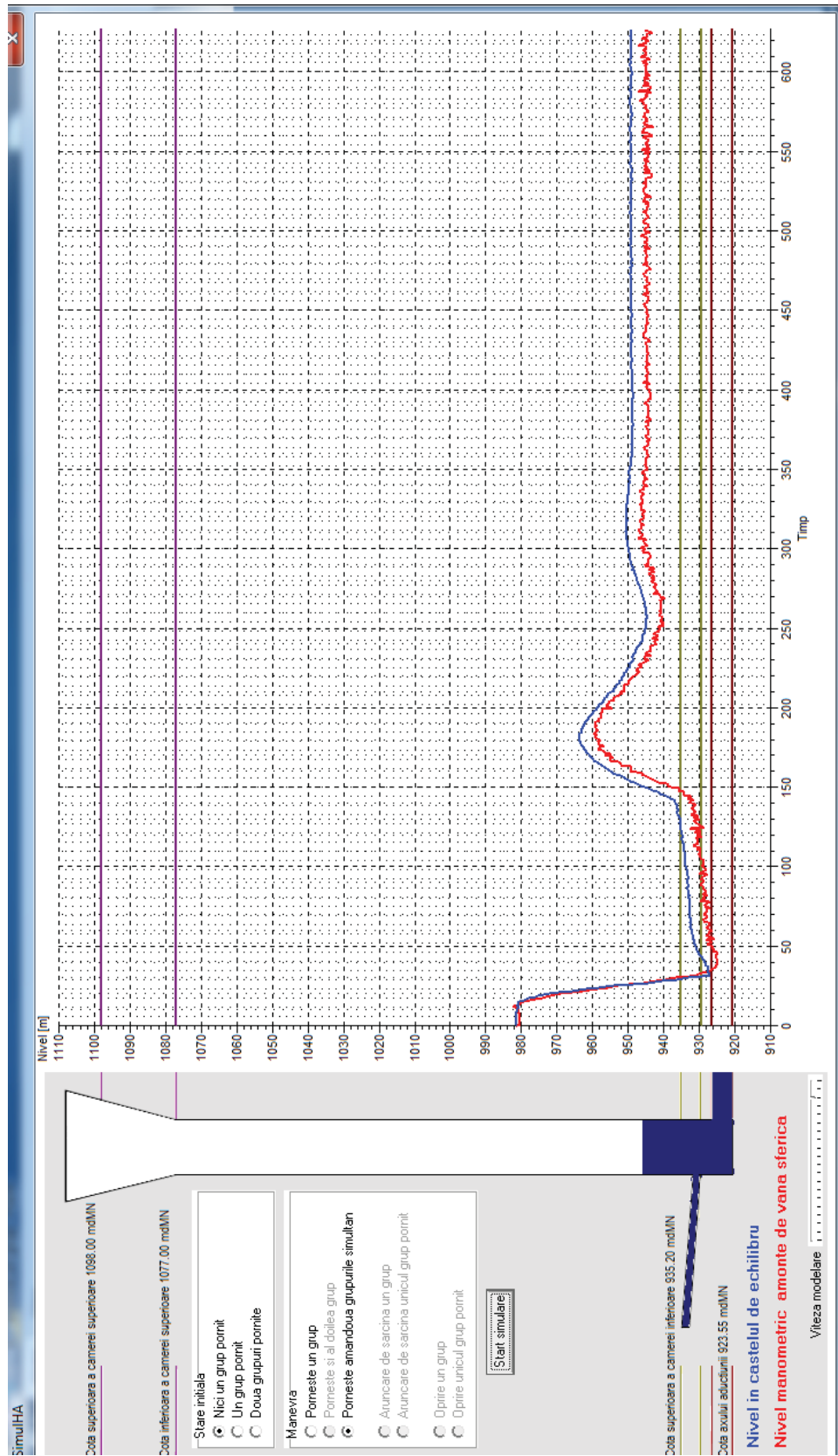
Anexa 4.b). Oprire un hidroagregat, cu celălalt pornit – simulare.



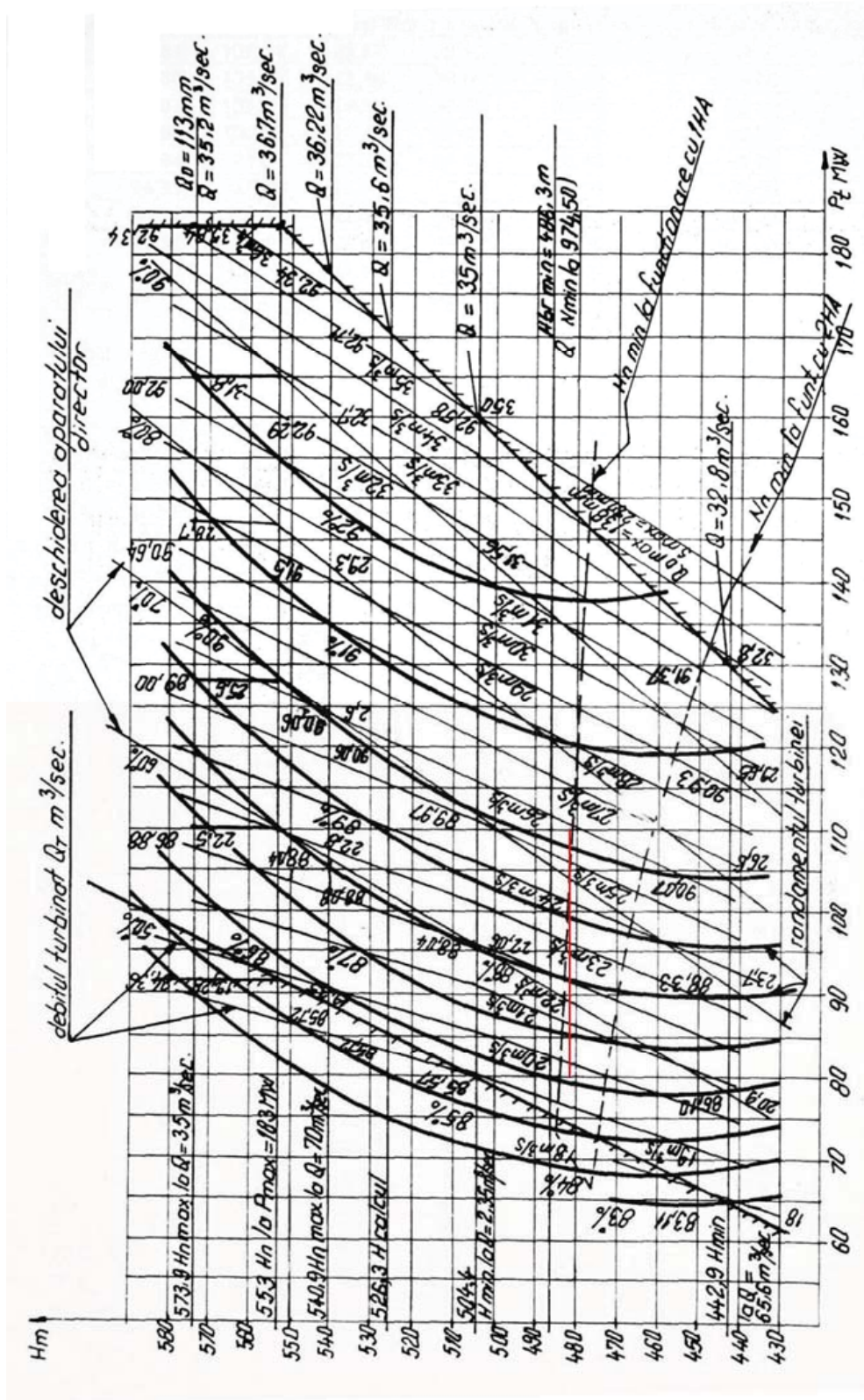
Anexa 5. Aruncare de sarcină pe singurul agregat pornit – simulare.



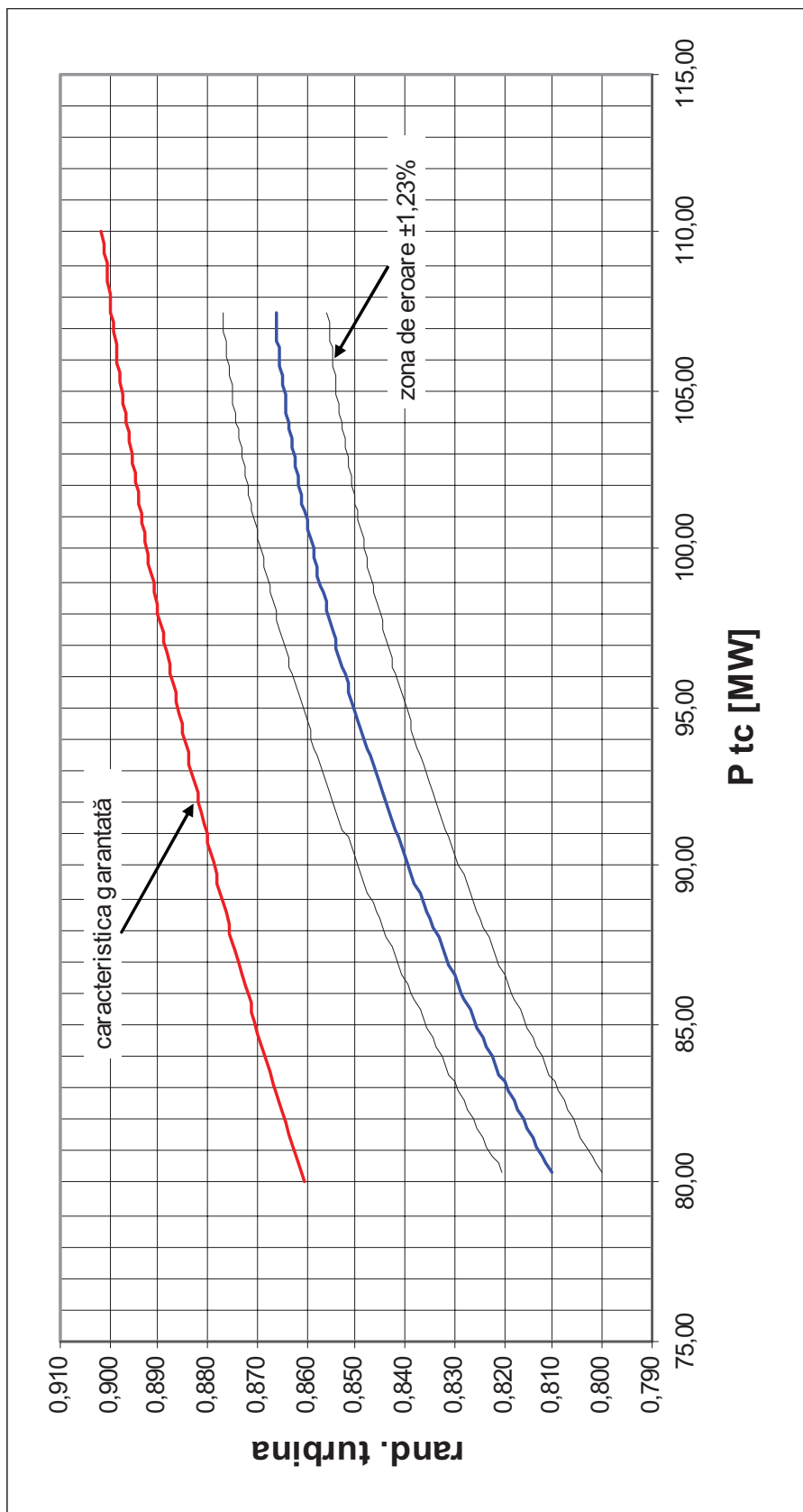
Anexa 6. Două agregate pornite, aruncare de sarcină pe unul dintre ele – simulare.



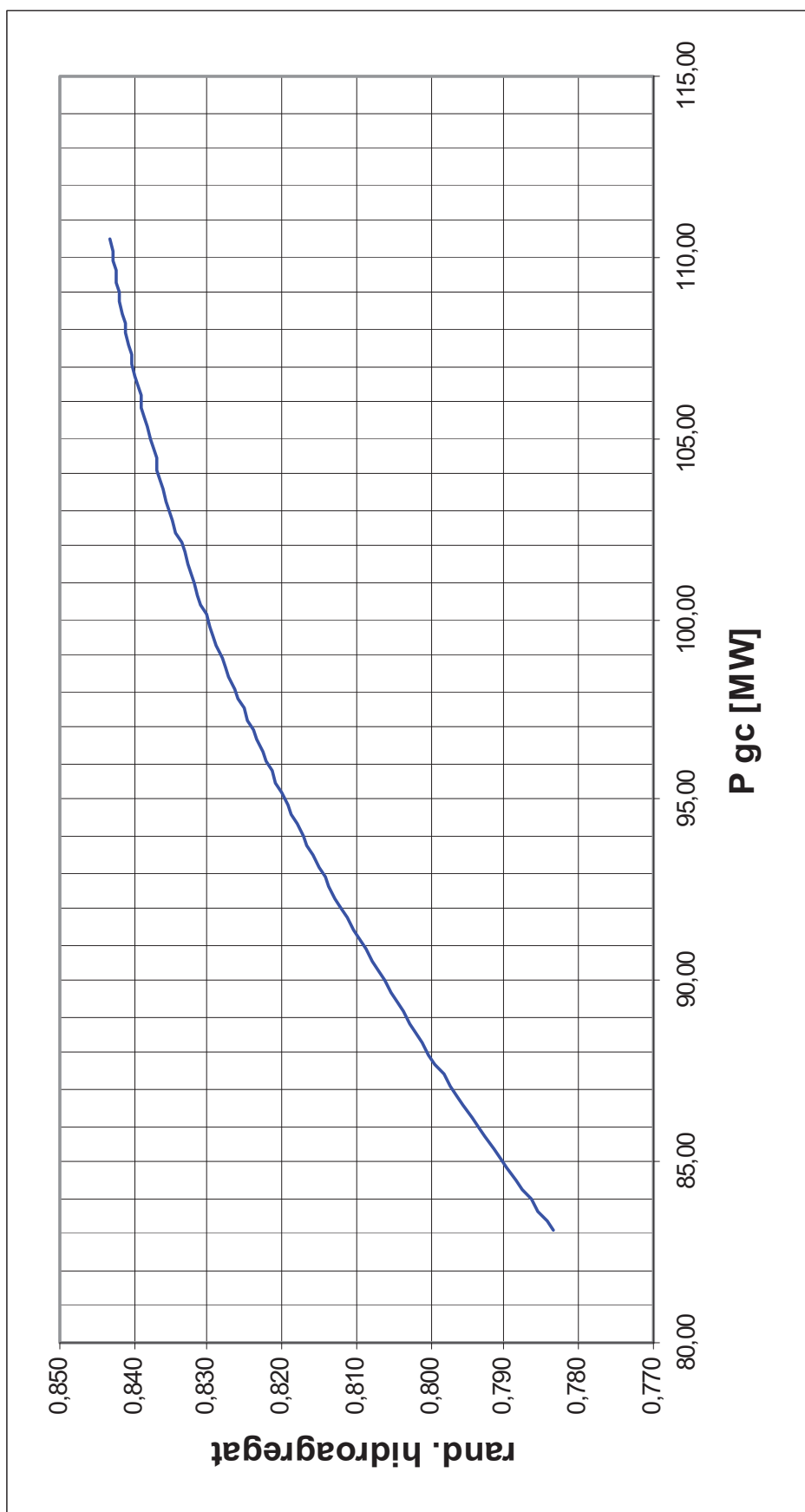
Anexa 7. Pornire două grupuri simultan – simulare.



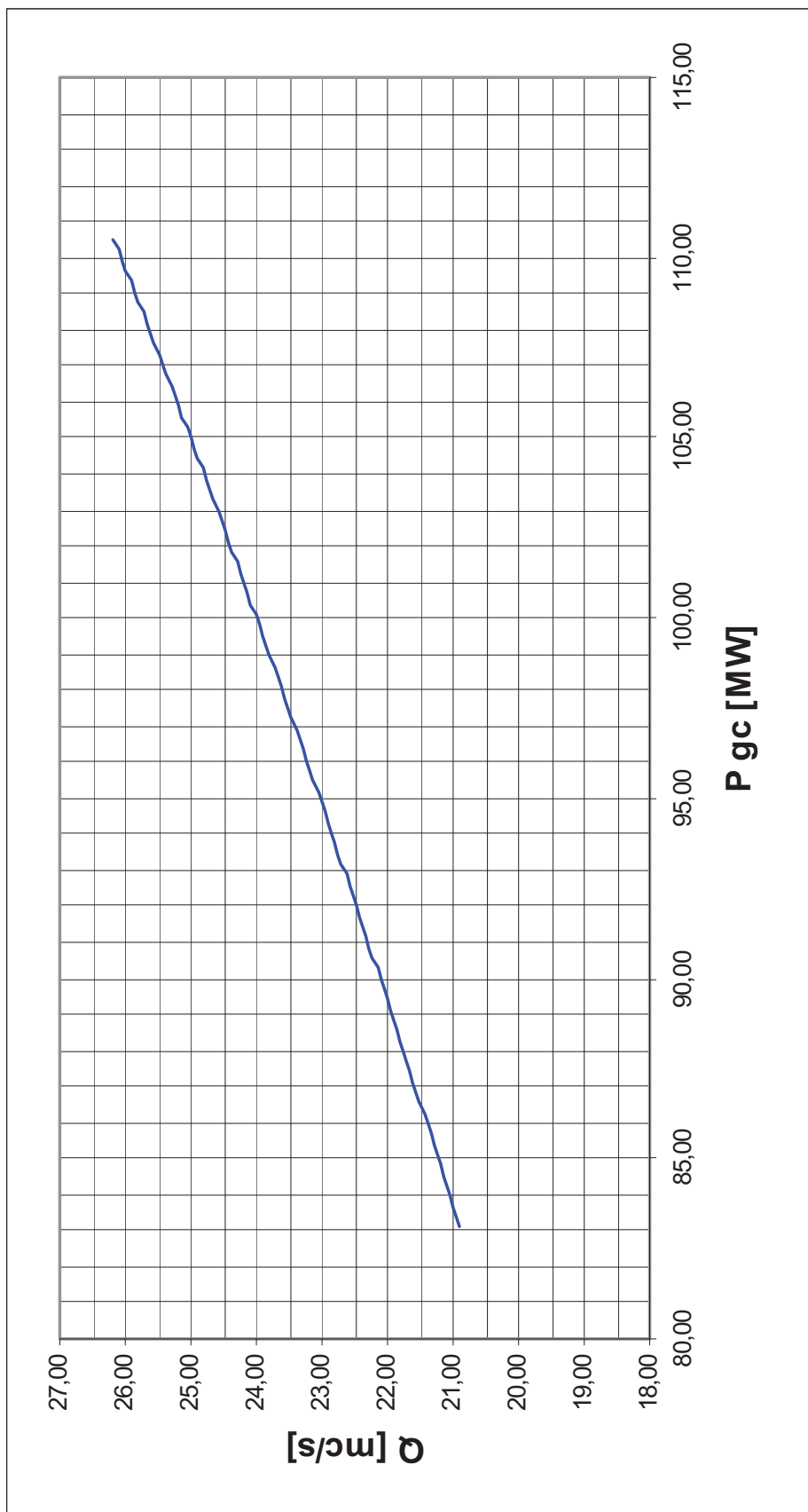
Anexa 8. Caracteristica de exploatare a turbinei FVM 170,5 526,3



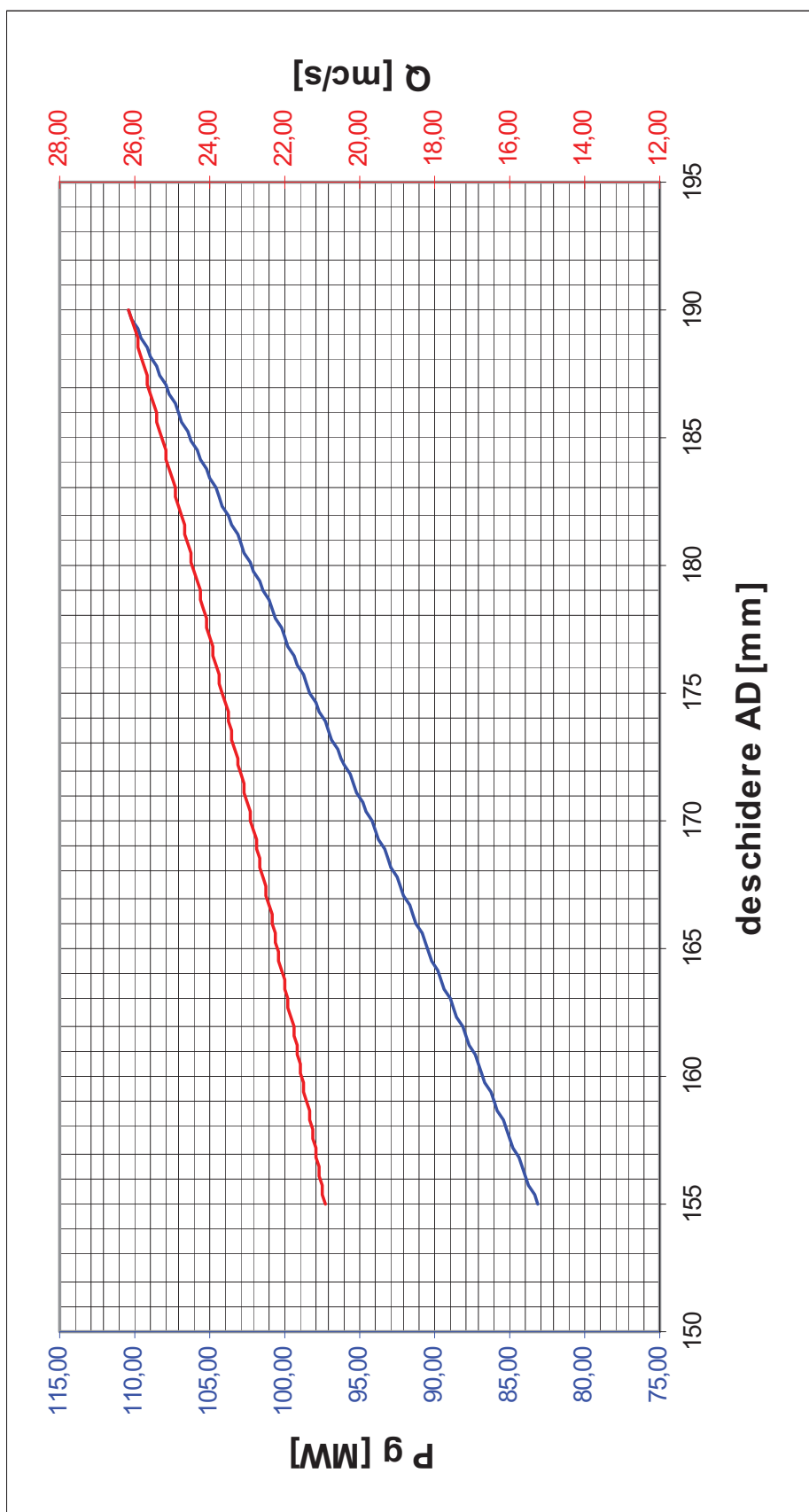
**Anexa 9. Curba de randament a turbinei nr.1 pentru
căderea netă de calcul $H_{netC} = 483,500$ m**



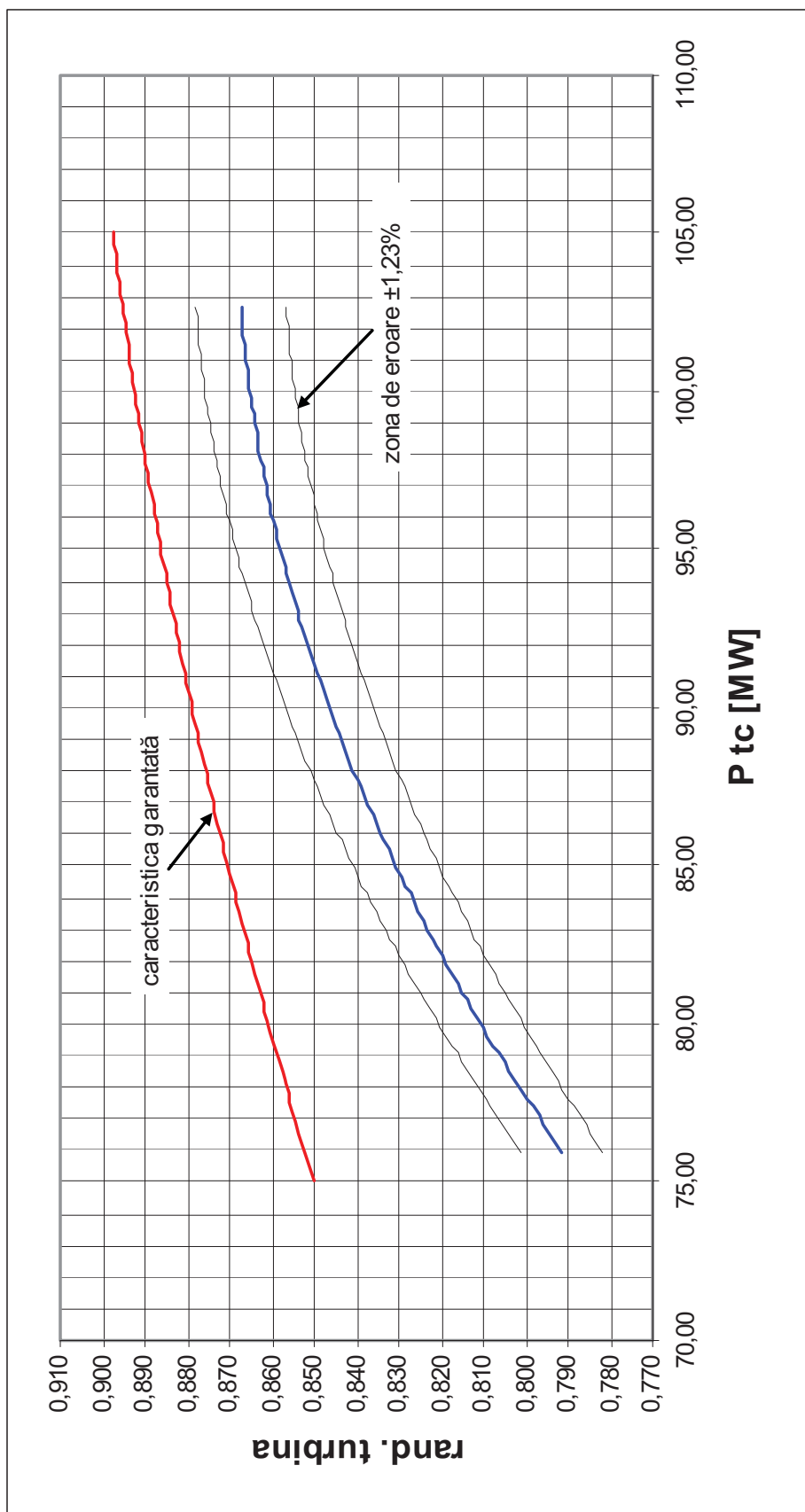
Anexa 10. Curba de randament a hidroagregatului nr.1 pentru căderea netă de calcul $H_{netC} = 483,500$ m

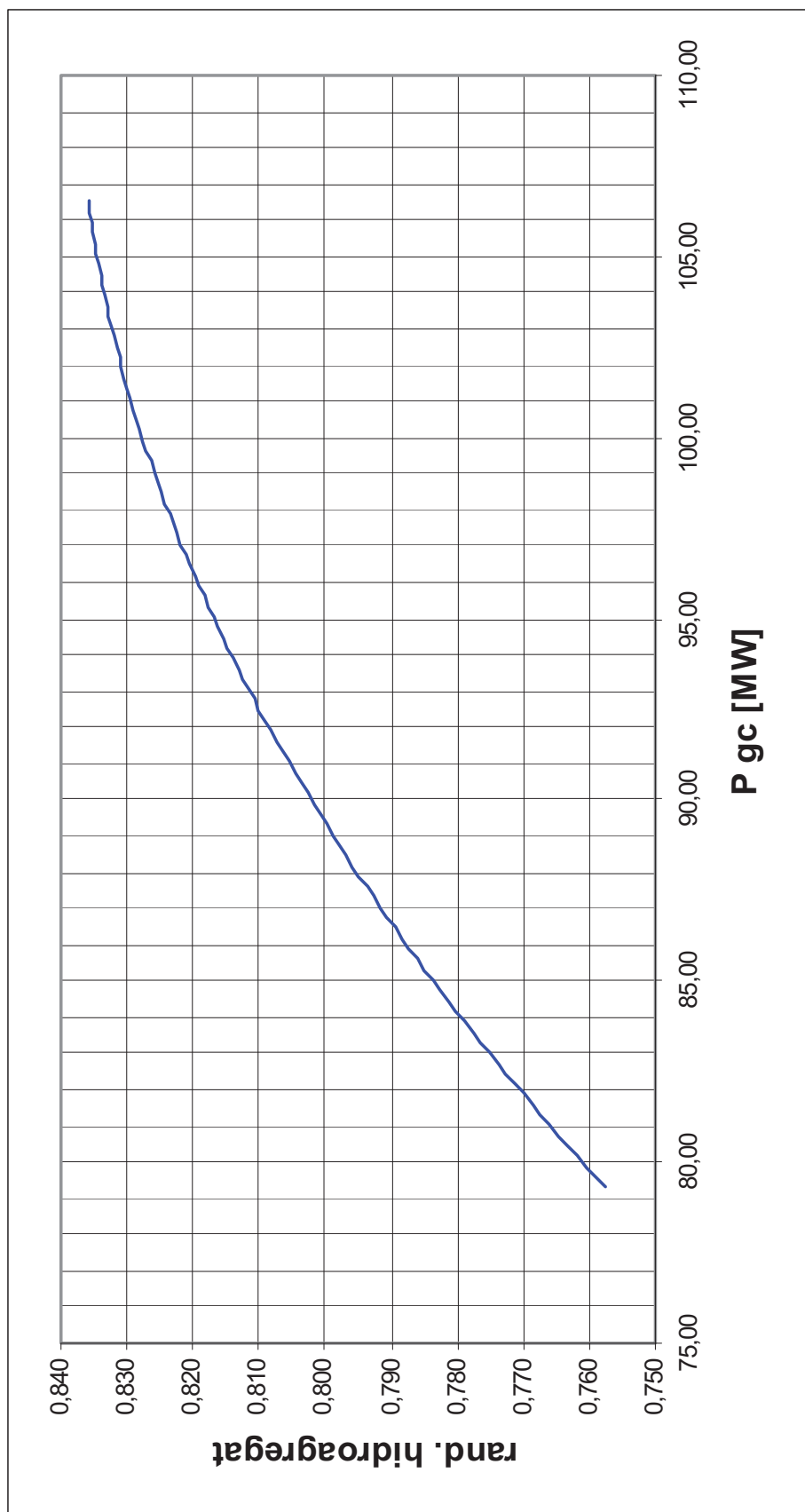


Anexa 11. Curba de consum Q_c (P_{gc}) a hidroagregatului 1 pentru căderea netă de calcul $H_{netc} = 483,500$ m

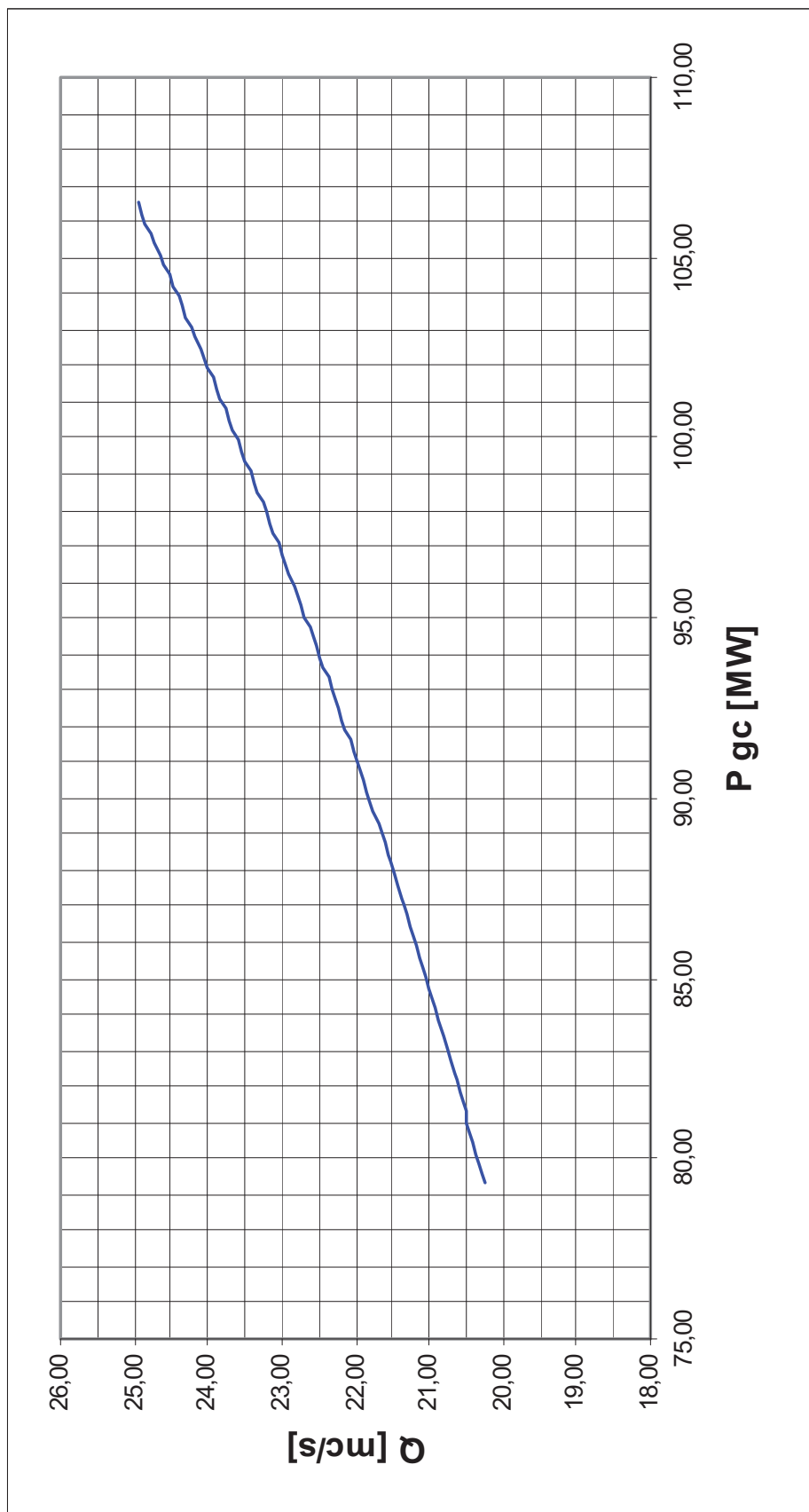


Anexa 12. Curbele de admisie Q_c (a) și de reglare P_{gc} (a) ale hidroagregatului nr.1 pentru căderea netă de calcul $H_{netC} = 483,500$ m

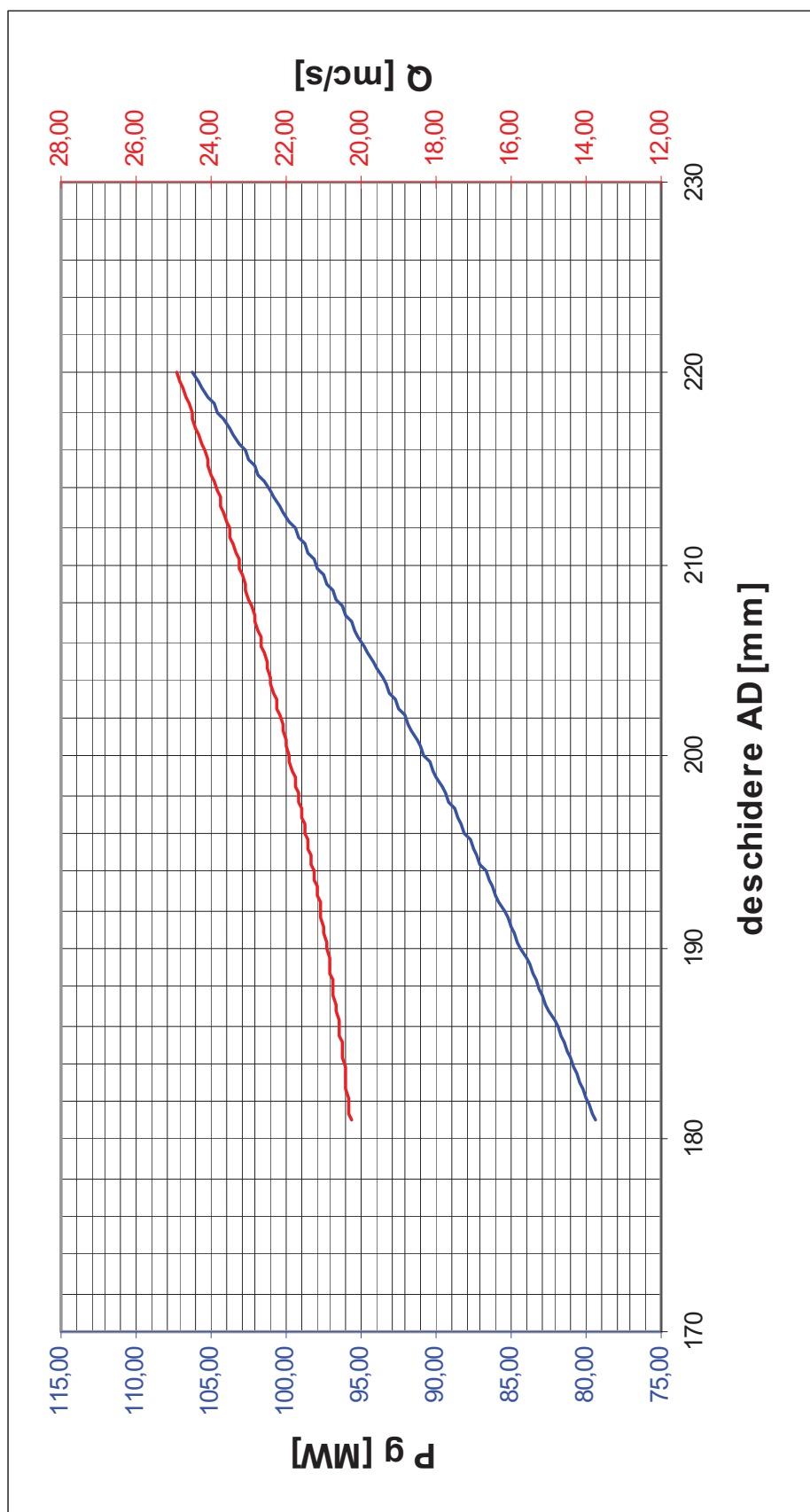
Anexa 13. Curba de randament a turbinei nr.2 pentru căderea netă de calcul $H_{netC} = 483,500$ m



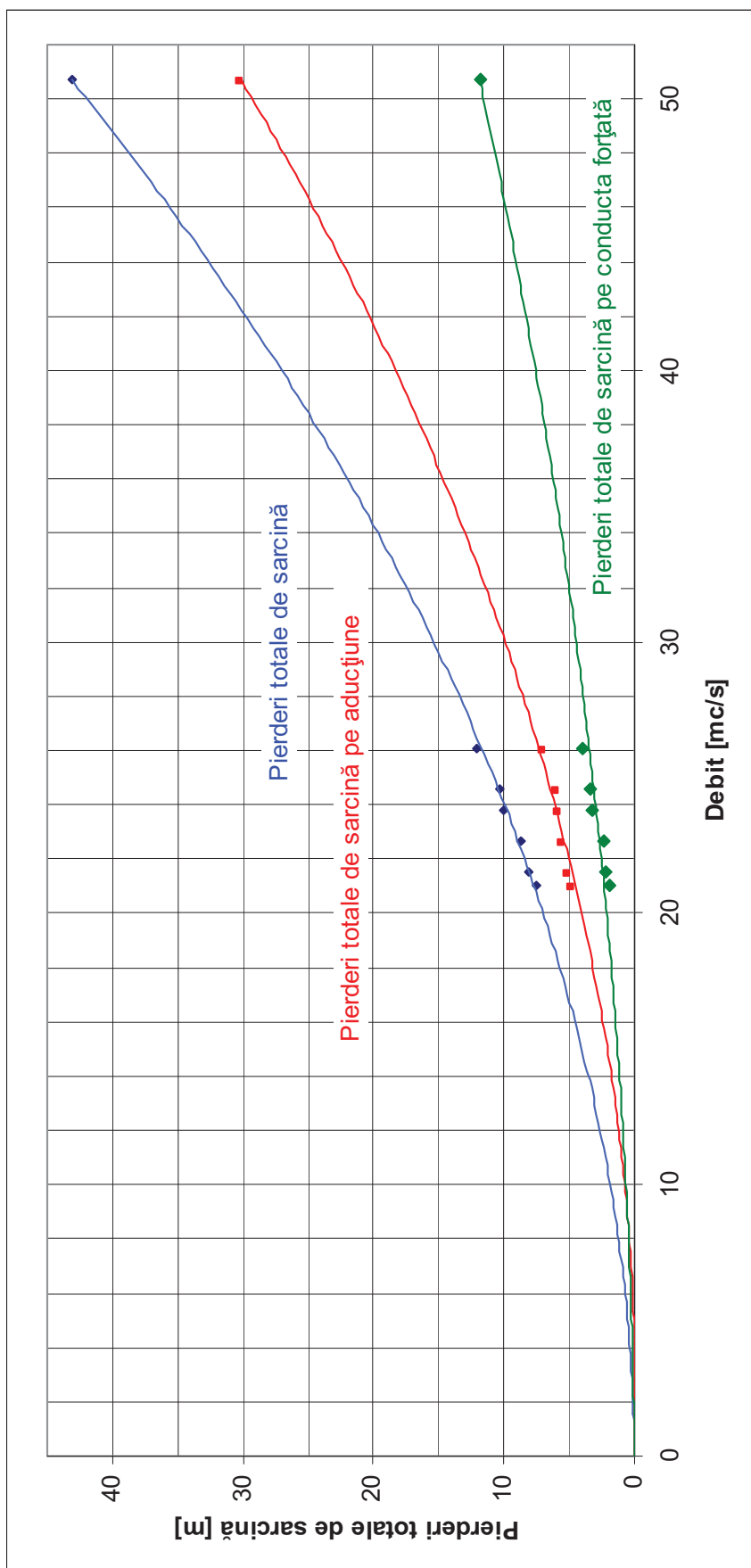
**Anexa 14. Curba de randament a hidroagregatului nr.2
pentru căderea netă de calcul $H_{netC} = 483,500$ m**



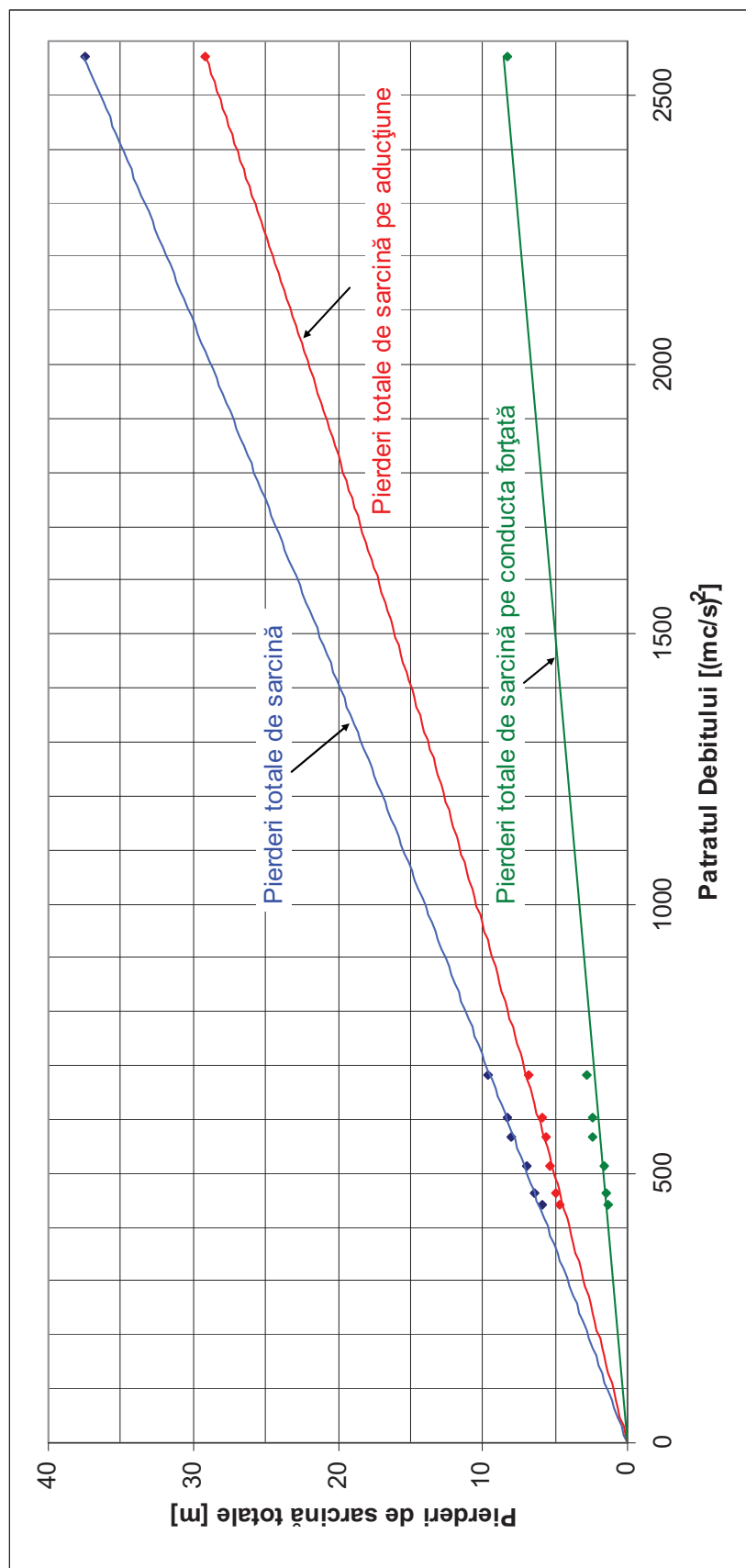
**Anexa 15. Curba de consum Q_c (P_{gc}) a hidroagregatului nr.2
pentru căderea netă de calcul $H_{netC} = 483,500$ m**



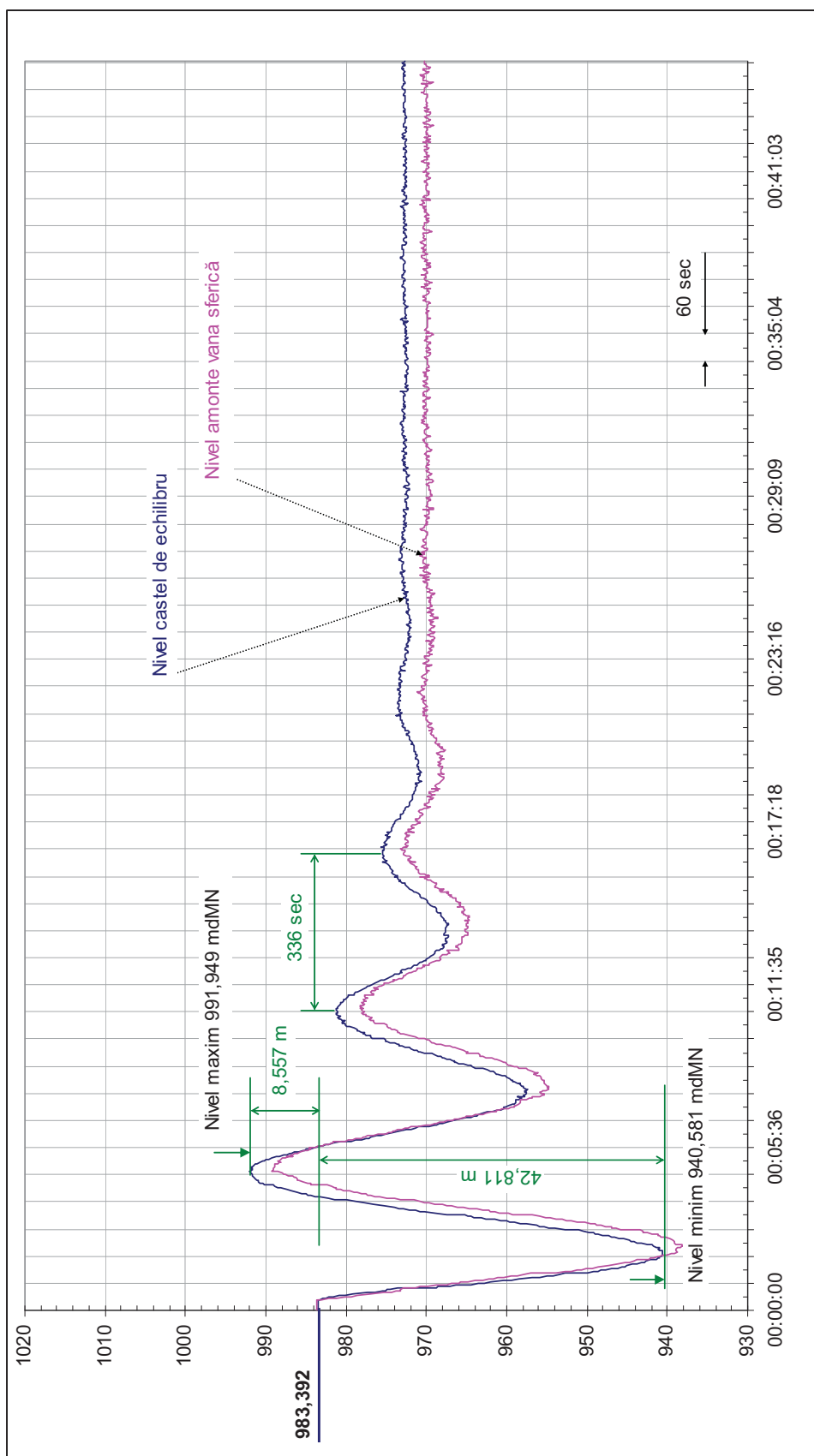
Anexa 16. Curbele de admisie Q_c (a) și de reglare P_{gc} (a) ale hidroagregatului nr.2 pentru căderea netă de calcul $H_{netC} = 483,500$ m



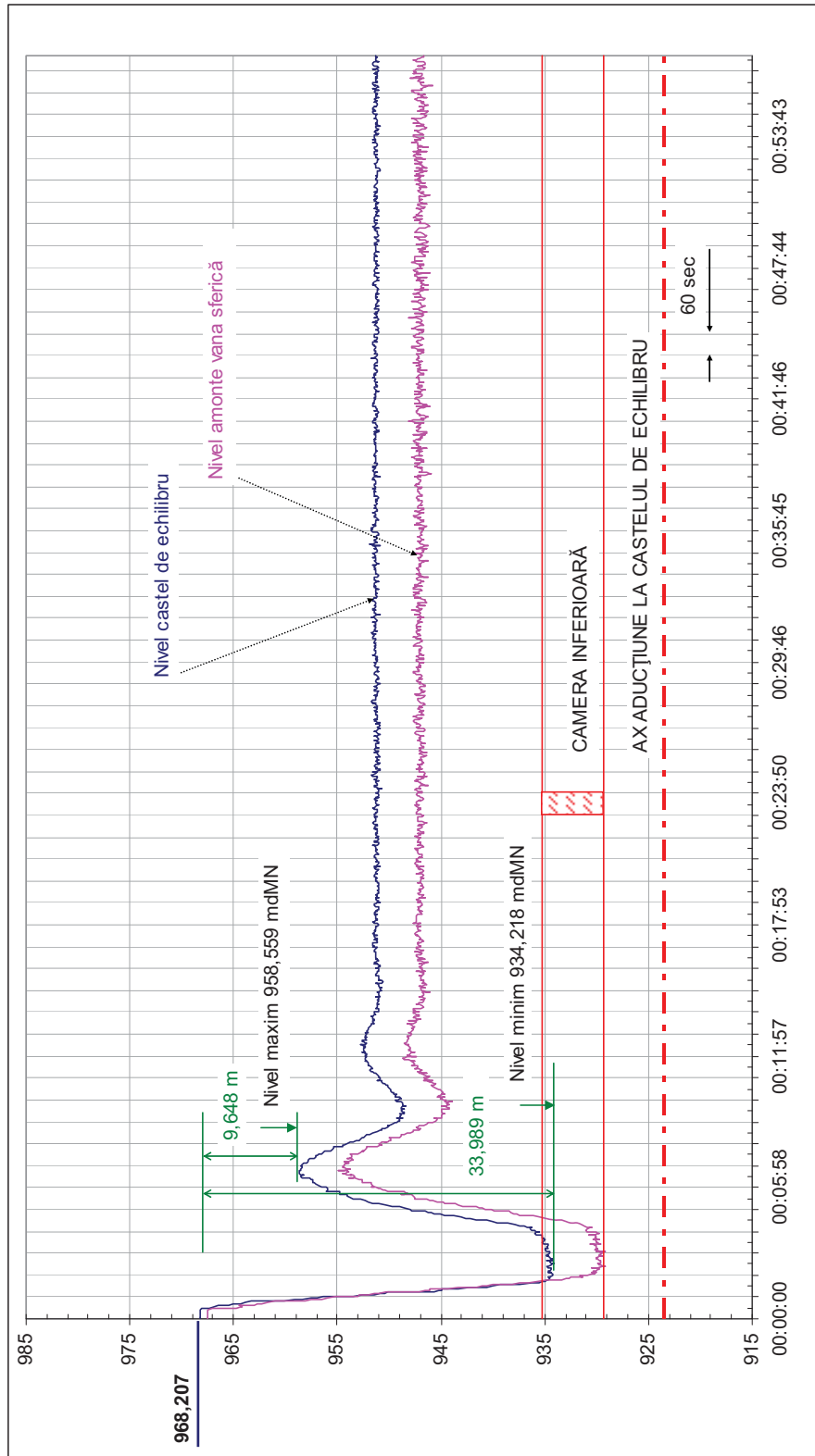
Anexa 17. Curbele de pierderi de sarcină totale $\Delta h_{r_{tot}}(Q)$, $\Delta h_{r_{ADtot}}(Q)$ și $\Delta h_{r_{CFtot}}(Q)$



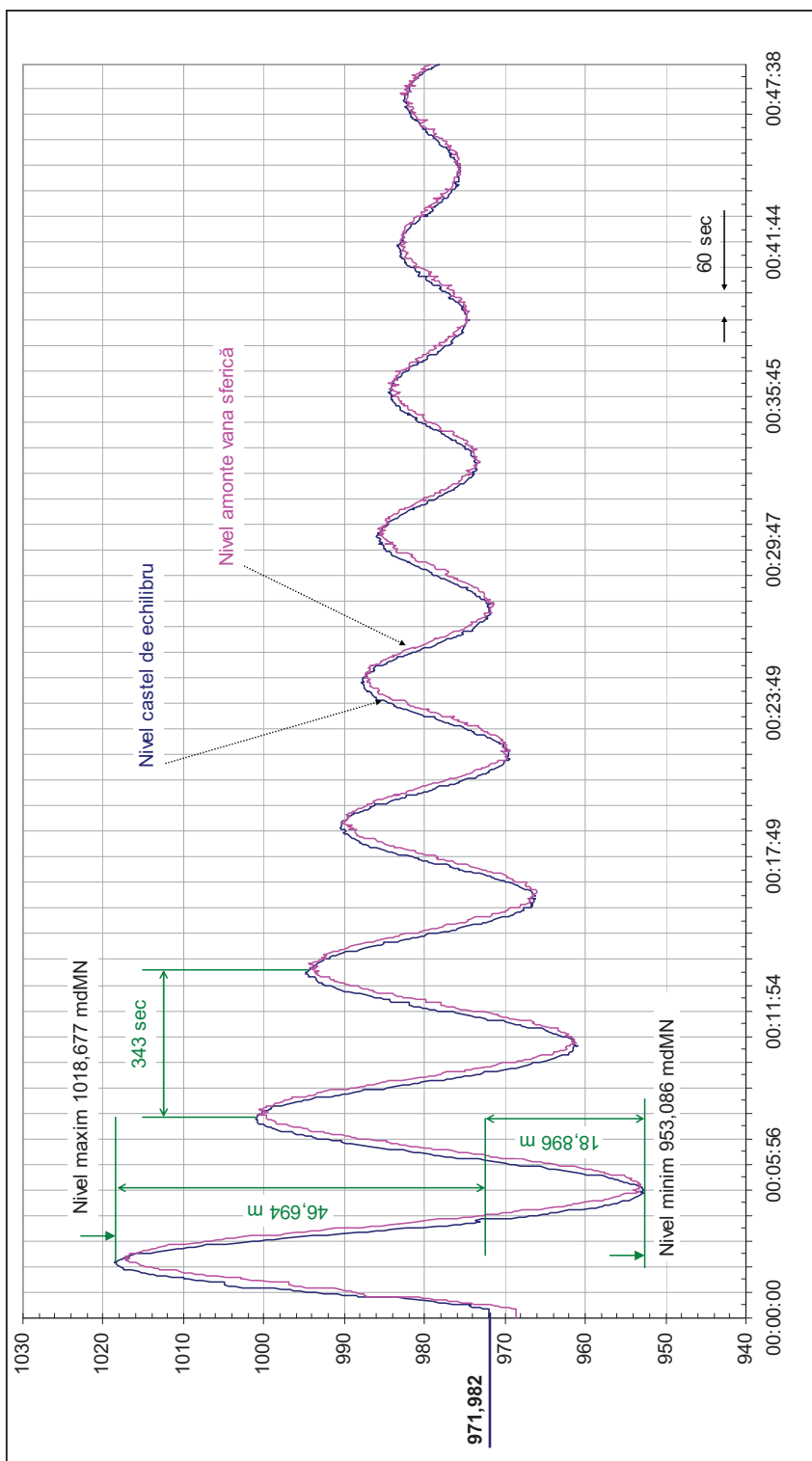
Anexa 18. Curbele de pierderi de sarcină totale $\Delta h_{r\text{tot}} (Q^2)$, $\Delta h_{r\text{ADtot}} (Q^2)$ și $\Delta h_{r\text{CFtot}} (Q^2)$



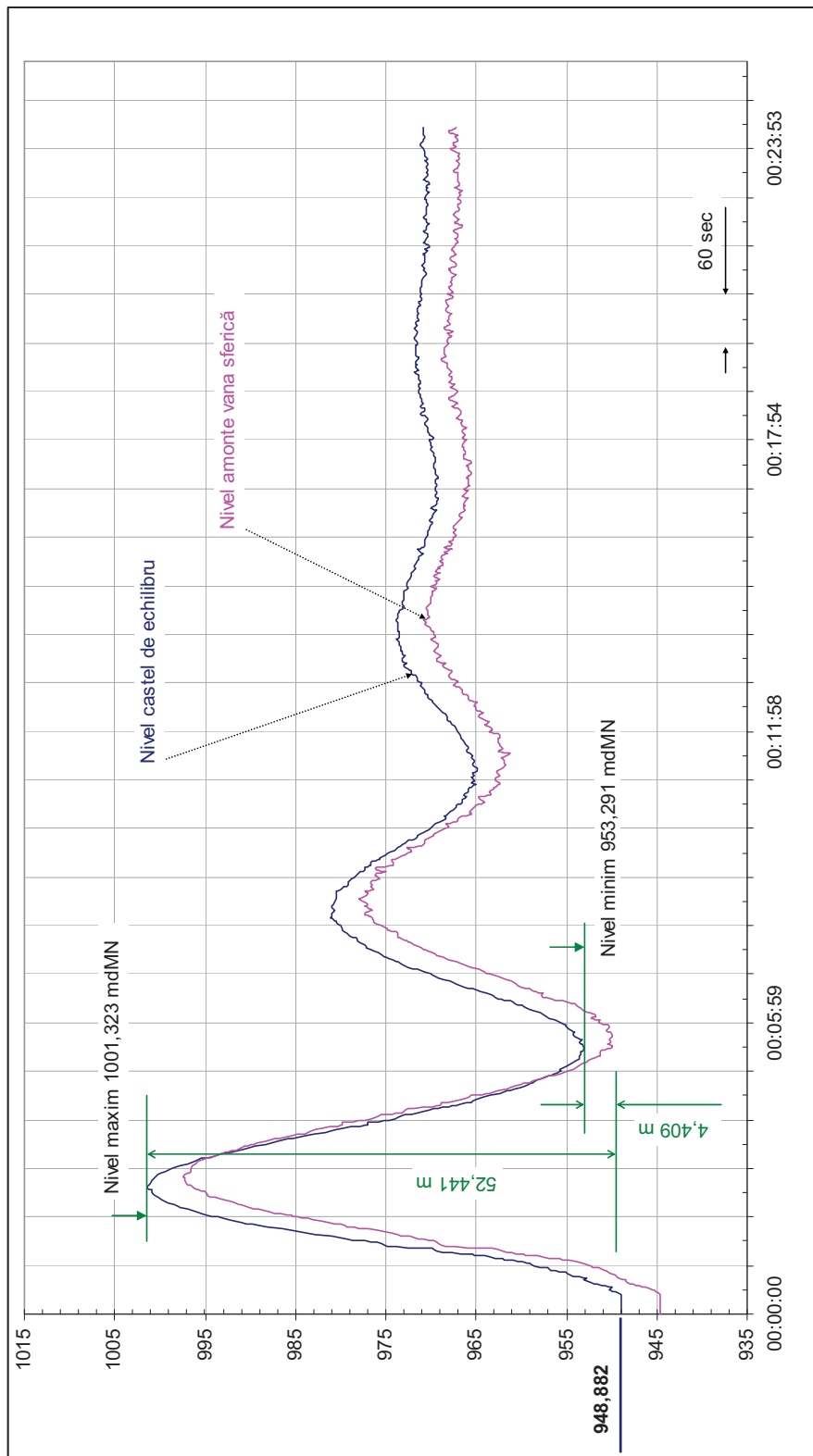
Anexa 19. Variația nivelului în castelul de echilibru la manevra de pornire normală și încărcare la 100 MW a HA1 cu HA2 oprit



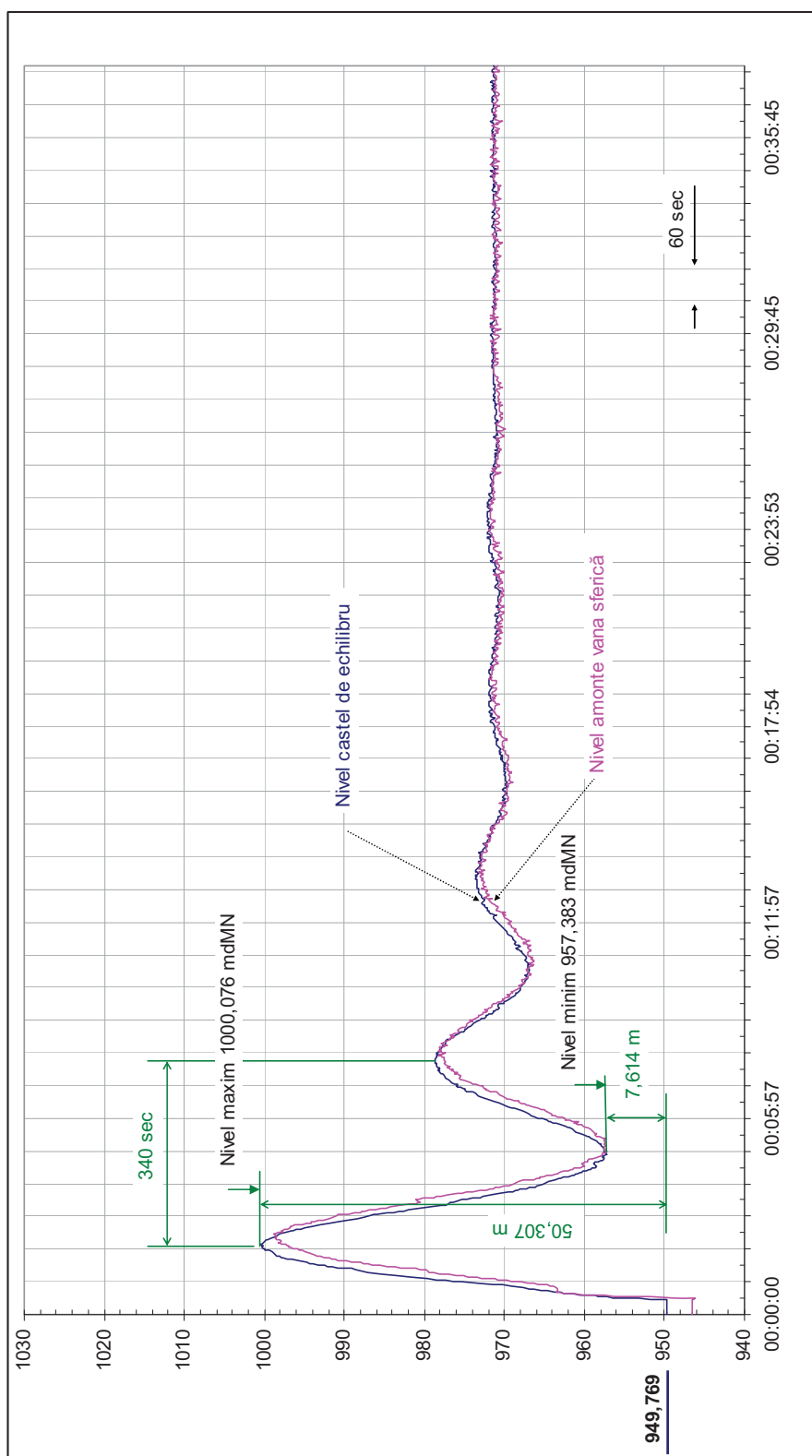
Anexa 20. Variația nivelului în castelul de echilibru la manevra de pornire normală și încărcare la 100 MW a HA2 cu HA1 în funcțiune la 100 MW



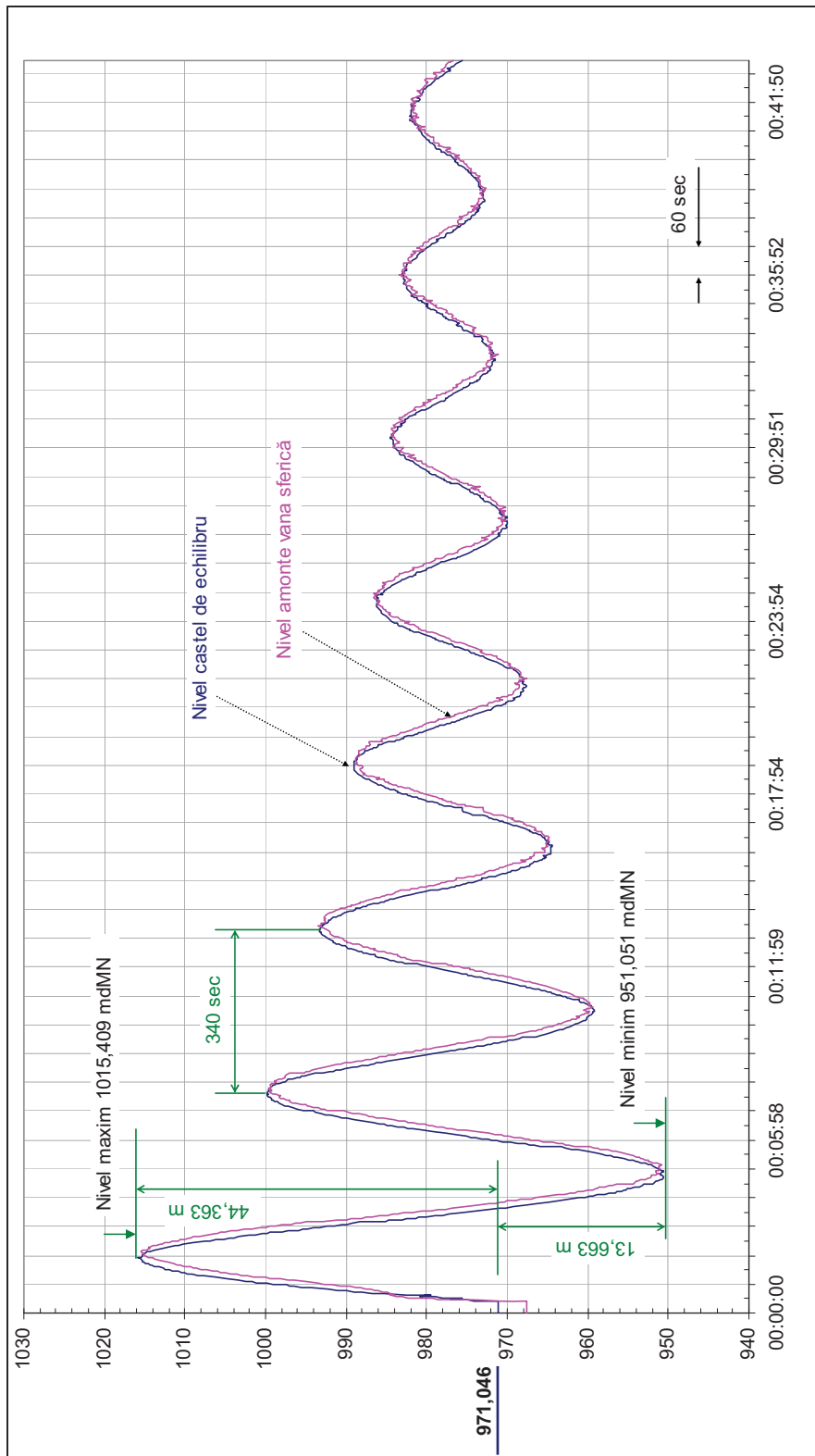
Anexa 21. Variația nivelului în castelul de echilibru la manevra de descărcare de la 100 MW și oprire normală a HA1 cu HA2 oprit



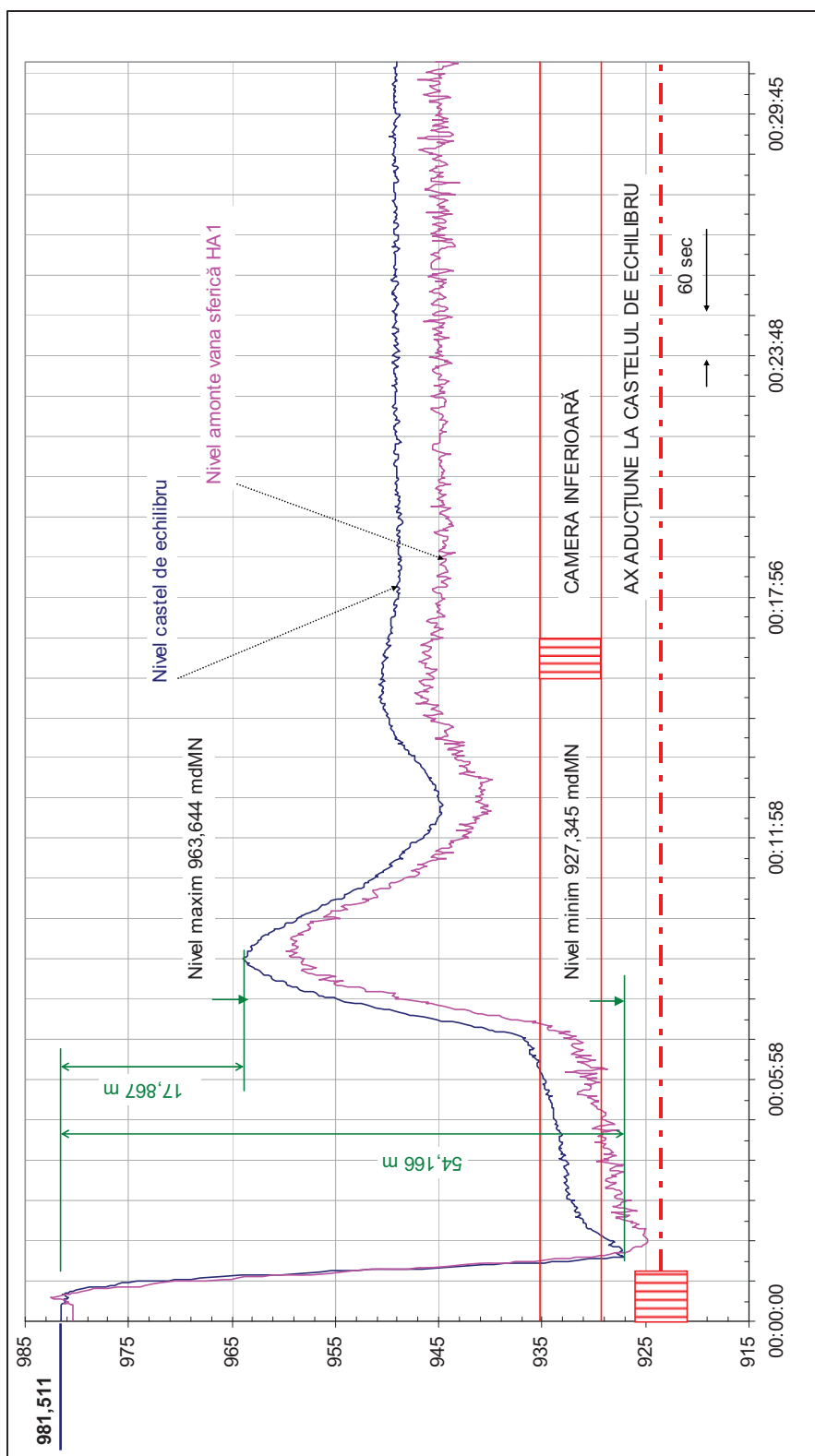
Anexa 22. Variația nivelului în castelul de echilibru la manevra de descărcare de la 100 MW și oprire normală a HA1 cu HA2 în funcțiune la 100 MW



Anexa 23. Variația nivelului în castelul de echilibru la manevra de aruncare de sarcină de la 100 MW a HA1 cu HA2 în funcțiune la 100MW



Anexa 24. Variația nivelului în castelul de echilibru la manevra de aruncare de sarcină de la 100 MW a HA2 cu HA1 oprit



Anexa 25. Variația nivelului în castelul de echilibru la manevra de pornire și încărcare simultană la 100 MW a ambelor HA

Anexa 26. Valori efective înregistrate la un scurtcircuit bifazat.

Moment(ms)	Us(V)	IE _x (A)	I _h (A)	I _t (A)	I _s (A)	I _r (A)	U _h (V)	U _r (V)	U _t (V)
-100.000	56.5V	12.2A	0.006A	2.476A	2.508A	2.457A	0.064V	56.7V	56.2V
-70.000	56.5V	12.1A	0.003A	2.479A	2.502A	2.459A	0.061V	56.7V	56.3V
-40.000	56.5V	12.4A	0.003A	2.477A	2.542A	2.511A	0.063V	56.6V	56.2V
-10.000	55.8V	14.6A	0.004A	3.643A	2.015A	3.816A	0.051V	50.7V	53.5V
20.000	54.2V	13.8A	0.011A	4.028A	1.567A	4.116A	0.070V	48.1V	53.1V
50.000	53.8V	14.1A	0.003A	3.624A	1.627A	3.512A	0.044V	49.5V	54.3V
80.000	55.3V	13.0A	0.004A	2.648A	2.495A	2.617A	0.052V	55.5V	55.6V
110.000	56.1V	14.0A	0.002A	2.654A	2.663A	2.600A	0.083V	56.3V	55.9V
140.000	56.3V	15.0A	0.007A	2.650A	2.674A	2.625A	0.059V	56.5V	56.0V
170.000	56.4V	15.9A	0.005A	2.648A	2.673A	2.621A	0.055V	56.6V	56.2V
200.000	56.5V	15.2A	0.006A	2.644A	2.654A	2.610A	0.072V	56.7V	56.3V
230.000	56.6V	13.7A	0.006A	2.620A	2.650A	2.593A	0.033V	56.8V	56.4V
260.000	56.6V	12.6A	0.003A	2.593A	2.609A	2.547A	0.056V	56.8V	56.4V
290.000	56.6V	11.8A	0.003A	2.561A	2.578A	2.533A	0.048V	56.8V	56.4V
320.000	56.6V	11.0A	0.008A	2.512A	2.534A	2.424A	0.054V	56.8V	56.4V
350.000	56.6V	10.3A	0.003A	2.451A	2.486A	2.426A	0.052V	56.8V	56.4V
380.000	56.7V	9.595A	0.003A	2.396A	2.417A	2.369A	0.080V	56.8V	56.5V
410.000	56.7V	9.320A	0.003A	2.339A	2.350A	2.311A	0.056V	56.8V	56.4V
440.000	56.7V	9.834A	0.003A	2.308A	2.311A	2.264A	0.063V	56.8V	56.5V
470.000	56.7V	10.5A	0.005A	2.282A	2.295A	2.246A	0.037V	56.8V	56.4V
500.000	56.6V	11.3A	0.008A	2.295A	2.297A	2.250A	0.036V	56.8V	56.3V
530.000	56.6V	12.1A	0.008A	2.328A	2.321A	2.269A	0.063V	56.8V	56.4V
560.000	56.6V	12.8A	0.006A	2.369A	2.359A	2.315A	0.059V	56.8V	56.4V
590.000	56.7V	13.5A	0.004A	2.423A	2.411A	2.372A	0.059V	56.8V	56.4V
620.000	56.6V	13.6A	0.003A	2.470A	2.470A	2.428A	0.039V	56.9V	56.4V
650.000	56.6V	13.2A	0.007A	2.518A	2.541A	2.475A	0.053V	56.9V	56.4V
680.000	56.6V	12.6A	0.006A	2.554A	2.569A	2.527A	0.066V	56.9V	56.4V
710.000	56.6V	11.9A	0.001A	2.571A	2.607A	2.549A	0.056V	56.9V	56.4V
740.000	56.6V	11.3A	0.005A	2.588A	2.623A	2.560A	0.037V	56.8V	56.4V
770.000	56.5V	11.0A	0.007A	2.581A	2.617A	2.554A	0.055V	56.8V	56.3V
800.000	56.5V	11.0A	0.002A	2.563A	2.593A	2.539A	0.051V	56.9V	56.4V
830.000	56.6V	11.4A	0.005A	2.539A	2.562A	2.511A	0.061V	56.9V	56.4V
860.000	56.6V	11.7A	0.000A	2.505A	2.537A	2.475A	0.073V	56.9V	56.4V
890.000	56.6V	12.1A	0.005A	2.477A	2.482A	2.433A	0.043V	56.9V	56.3V
920.000	56.6V	12.4A	0.003A	2.458A	2.467A	2.406A	0.044V	56.8V	56.3V
950.000	56.6V	12.7A	0.002A	2.414A	2.431A	2.383A	0.061V	56.9V	56.4V
980.000	56.6V	12.8A	0.007A	2.396A	2.413A	2.377A	0.056V	56.9V	56.4V
1010.000	56.6V	12.5A	0.006A	2.427A	2.402A	2.371A	0.063V	56.9V	56.4V
1040.000	56.5V	12.0A	0.012A	2.399A	2.396A	2.368A	0.034V	56.8V	56.3V
1070.000	56.5V	11.8A	0.005A	2.400A	2.417A	2.377A	0.057V	56.8V	56.3V
1100.000	56.6V	11.7A	0.005A	2.416A	2.432A	2.381A	0.041V	56.9V	56.4V
1130.000	56.5V	11.7A	0.007A	2.436A	2.451A	2.404A	0.059V	56.9V	56.3V
1160.000	56.5V	11.8A	0.005A	2.455A	2.483A	2.424A	0.067V	56.8V	56.2V
1190.000	56.5V	11.8A	0.001A	2.471A	2.496A	2.449A	0.056V	56.8V	56.2V
1220.000	56.4V	11.9A	0.002A	2.502A	2.517A	2.478A	0.053V	56.8V	56.2V

Anexa 27. Defazaje înregistrate la un scurtcircuit bifazat.

Moment(ms)	Us(°)	IEx (°)	Ih(°)	It(°)	Is(°)	Ir(°)	Uh(°)	Ur(°)	Ut(°)
-100.000	120.0°	2.8°	31.5°	247.3°	126.5°	6.0°	217.4°	0.0°	240.0°
-70.000	120.0°	3.0°	79.3°	247.2°	126.6°	6.0°	227.6°	0.0°	240.0°
-40.000	119.9°	3.0°	188.1°	247.1°	127.2°	5.3°	258.9°	0.0°	239.9°
-10.000	119.3°	5.5°	212.8°	251.3°	152.4°	40.7°	247.0°	0.0°	244.5°
20.000	117.6°	4.8°	132.6°	256.0°	159.7°	52.8°	264.4°	0.0°	244.2°
50.000	116.4°	3.3°	219.0°	255.9°	148.9°	47.8°	272.7°	0.0°	242.0°
80.000	119.1°	3.7°	302.9°	245.7°	126.4°	8.0°	240.9°	0.0°	239.4°
110.000	119.9°	4.6°	2.9°	245.4°	124.4°	4.4°	201.3°	0.0°	239.9°
140.000	119.9°	4.9°	48.1°	245.3°	124.6°	4.1°	224.9°	0.0°	240.0°
170.000	119.9°	5.1°	346.3°	245.4°	124.5°	3.9°	228.1°	0.0°	239.9°
200.000	119.9°	5.3°	50.6°	245.5°	124.7°	4.5°	214.3°	0.0°	240.0°
230.000	119.9°	5.3°	16.3°	246.1°	125.0°	4.8°	214.4°	0.0°	239.9°
260.000	119.9°	5.4°	263.6°	246.3°	125.5°	5.9°	223.0°	0.0°	239.9°
290.000	119.9°	5.4°	8.3°	246.5°	125.7°	5.4°	233.9°	0.0°	240.0°
320.000	120.0°	5.4°	305.8°	246.9°	126.2°	7.5°	215.1°	0.0°	239.9°
350.000	119.9°	5.3°	38.1°	247.1°	126.3°	5.8°	243.7°	0.0°	239.9°
380.000	119.9°	5.3°	42.7°	247.0°	126.1°	5.6°	230.0°	0.0°	240.0°
410.000	119.9°	5.4°	273.5°	246.6°	125.7°	5.4°	245.2°	0.0°	240.0°
440.000	119.9°	5.5°	242.4°	246.5°	125.6°	5.4°	252.4°	0.0°	240.0°
470.000	119.9°	5.6°	62.8°	246.3°	125.3°	5.2°	212.5°	0.0°	240.0°
500.000	119.9°	5.8°	16.0°	246.1°	125.0°	5.0°	250.4°	0.0°	240.0°
530.000	119.9°	6.1°	6.2°	245.8°	124.7°	4.9°	215.9°	0.0°	240.0°
560.000	119.9°	6.4°	104.2°	245.8°	124.5°	4.6°	233.3°	0.0°	240.0°
590.000	119.9°	6.7°	8.6°	245.3°	124.2°	4.3°	229.9°	0.0°	240.0°
620.000	119.9°	7.0°	146.4°	245.6°	124.5°	4.5°	218.2°	0.0°	240.0°
650.000	119.9°	7.3°	29.8°	245.5°	124.3°	4.1°	241.0°	0.0°	240.0°
680.000	119.8°	7.6°	43.0°	245.4°	124.5°	4.2°	220.5°	0.0°	239.9°
710.000	119.9°	8.0°	56.2°	245.9°	124.9°	4.4°	235.2°	0.0°	239.9°
740.000	119.9°	8.2°	14.3°	245.8°	124.8°	4.3°	221.8°	0.0°	239.9°
770.000	119.8°	8.4°	93.4°	245.7°	124.8°	4.1°	221.2°	0.0°	239.9°
800.000	119.9°	8.7°	319.4°	245.7°	124.8°	4.2°	223.5°	0.0°	239.9°
830.000	119.9°	8.9°	117.5°	245.4°	124.6°	4.1°	245.7°	0.0°	239.9°
860.000	119.8°	9.0°	180.5°	245.2°	124.6°	4.1°	226.7°	0.0°	239.9°
890.000	119.8°	9.2°	37.1°	245.5°	124.8°	4.4°	201.5°	0.0°	239.9°
920.000	119.8°	9.4°	106.6°	245.7°	125.0°	4.8°	202.9°	0.0°	240.0°
950.000	119.8°	9.6°	326.6°	245.8°	124.9°	4.8°	253.8°	0.0°	239.9°
980.000	119.8°	9.8°	4.9°	246.1°	125.2°	4.6°	251.2°	0.0°	239.9°
1010.000	119.8°	10.0°	117.1°	247.5°	125.8°	5.5°	236.3°	0.0°	239.9°
1040.000	119.8°	10.2°	338.6°	246.6°	125.8°	5.6°	230.0°	0.0°	239.9°
1070.000	119.8°	10.5°	325.5°	246.6°	125.9°	5.6°	233.8°	0.0°	239.9°
1100.000	119.8°	10.8°	22.5°	246.3°	125.4°	5.1°	241.3°	0.0°	240.0°
1130.000	119.8°	11.1°	0.6°	246.3°	125.6°	5.0°	258.0°	0.0°	239.9°
1160.000	119.9°	11.4°	330.2°	246.5°	125.6°	5.0°	250.4°	0.0°	239.9°
1190.000	119.8°	11.7°	313.8°	246.3°	125.6°	5.0°	242.0°	0.0°	239.9°
1220.000	119.9°	12.0°	212.2°	246.1°	125.7°	5.0°	265.2°	0.0°	240.0°

Anexa 28. Valori efective înregistrate la descărcări atmosferice.

Moment(ms)	Us(V)	IEx(A)	Ih(A)	It(A)	Is(A)	Ir(A)	Uh(V)	Ur(V)	Ut(V)
-10.000	58.6V	18.7A	0.007A	8.808A	2.810A	6.416A	0.039V	42.6V	47.0V
-5.000	58.7V	18.3A	0.008A	10.6A	2.854A	7.708A	0.052V	42.6V	44.4V
0.000	57.3V	11.4A	0.010A	10.0A	2.864A	7.200A	0.033V	42.0V	44.4V
5.000	58.3V	12.6A	0.005A	7.999A	2.781A	5.435A	0.068V	41.6V	43.9V
10.000	57.4V	17.1A	0.007A	8.326A	2.782A	5.922A	0.006V	41.8V	44.0V
15.000	57.9V	17.1A	0.007A	8.911A	2.784A	6.731A	0.016V	41.4V	43.6V
20.000	57.1V	11.8A	0.013A	8.708A	2.774A	6.384A	0.061V	41.5V	43.7V
25.000	57.8V	13.1A	0.023A	8.050A	2.715A	5.346A	0.020V	40.9V	43.3V
30.000	57.0V	16.1A	0.017A	8.525A	2.702A	6.102A	0.048V	41.4V	43.5V
35.000	57.6V	16.3A	0.021A	8.640A	2.675A	6.379A	0.049V	40.8V	43.2V
40.000	56.8V	12.1A	0.016A	8.610A	2.669A	6.276A	0.041V	41.2V	43.4V
45.000	57.5V	13.2A	0.010A	8.013A	2.703A	5.595A	0.060V	40.8V	43.0V
50.000	56.8V	15.6A	0.012A	7.795A	2.710A	5.580A	0.037V	41.1V	43.2V
55.000	57.3V	15.9A	0.011A	7.616A	2.687A	5.484A	0.026V	40.6V	42.7V
60.000	56.7V	12.3A	0.014A	7.718A	2.667A	5.623A	0.024V	41.0V	42.9V
65.000	57.4V	13.2A	0.005A	8.367A	2.556A	6.150A	0.028V	40.5V	42.3V
70.000	56.7V	15.2A	0.004A	8.293A	2.534A	6.081A	0.038V	40.6V	42.1V
75.000	57.3V	15.8A	0.002A	8.427A	2.379A	6.279A	0.027V	40.2V	41.4V
80.000	56.5V	12.3A	0.007A	8.378A	2.379A	6.207A	0.040V	40.1V	41.4V
85.000	57.2V	13.4A	0.009A	8.796A	2.395A	6.507A	0.043V	39.8V	41.0V
90.000	56.5V	14.7A	0.012A	8.778A	2.426A	6.438A	0.069V	40.1V	41.3V
95.000	57.0V	15.2A	0.009A	8.893A	2.446A	6.519A	0.039V	39.7V	41.0V
100.000	56.4V	12.4A	0.007A	8.869A	2.455A	6.475A	0.037V	40.0V	41.2V
105.000	57.1V	13.4A	0.005A	9.031A	2.476A	6.607A	0.091V	39.6V	40.9V
110.000	56.4V	14.2A	0.008A	9.024A	2.494A	6.538A	0.042V	40.0V	41.4V
115.000	57.0V	14.8A	0.008A	8.935A	2.537A	6.418A	0.054V	39.2V	41.3V
120.000	56.3V	12.4A	0.008A	8.116A	2.512A	5.527A	0.058V	45.5V	47.9V
125.000	57.8V	13.0A	0.005A	5.308A	2.609A	2.960A	0.039V	45.1V	47.7V
130.000	57.0V	10.2A	0.005A	4.378A	2.641A	1.749A	0.058V	54.2V	54.6V
135.000	57.8V	11.6A	0.005A	1.569A	2.743A	1.384A	0.051V	54.6V	55.1V
140.000	57.4V	10.0A	0.006A	1.491A	2.760A	1.580A	0.025V	57.0V	55.6V
145.000	57.7V	11.5A	0.004A	1.488A	2.808A	1.672A	0.031V	57.2V	56.1V
150.000	57.5V	10.4A	0.005A	1.526A	2.817A	1.702A	0.052V	57.4V	56.2V
155.000	57.8V	11.7A	0.003A	1.593A	2.886A	1.705A	0.075V	57.2V	56.2V
160.000	57.6V	10.1A	0.005A	1.587A	2.897A	1.708A	0.039V	57.6V	56.2V
165.000	57.9V	11.6A	0.005A	1.595A	2.965A	1.774A	0.046V	57.4V	56.3V
170.000	57.6V	10.3A	0.006A	1.627A	2.980A	1.793A	0.052V	57.7V	56.2V
175.000	57.9V	12.0A	0.011A	1.676A	3.054A	1.816A	0.022V	57.5V	56.3V
180.000	57.7V	10.2A	0.007A	1.688A	3.069A	1.824A	0.002V	57.8V	56.3V
185.000	57.9V	11.7A	0.008A	1.701A	3.147A	1.873A	0.027V	57.6V	56.4V
190.000	57.7V	10.5A	0.004A	1.730A	3.161A	1.896A	0.018V	57.9V	56.3V
195.000	58.0V	12.0A	0.003A	1.769A	3.242A	1.929A	0.030V	57.7V	56.4V
200.000	57.7V	10.1A	0.004A	1.789A	3.259A	1.943A	0.017V	58.0V	56.3V
205.000	58.0V	11.9A	0.006A	1.809A	3.332A	1.997A	0.030V	57.8V	56.5V
210.000	57.7V	10.6A	0.009A	1.839A	3.355A	2.016A	0.012V	58.1V	56.3V

Anexa 29. Defazaje înregistrate la descărcări atmosferice.

Moment(ms)	Us(°)	IEx(°)	Ih(°)	It(°)	Is(°)	Ir(°)	Uh(°)	Ur(°)	Ut(°)
-10.000	133.9°	351.7°	331.7°	275.2°	124.8°	94.6°	130.1°	0.0°	259.0°
-5.000	135.8°	353.9°	343.6°	282.2°	126.1°	102.2°	213.8°	0.0°	259.6°
0.000	136.7°	355.2°	358.2°	292.3°	126.9°	114.7°	205.0°	0.0°	261.9°
5.000	136.0°	354.9°	20.5°	289.0°	126.5°	111.2°	205.6°	0.0°	260.6°
10.000	136.6°	355.6°	4.5°	280.5°	125.7°	97.1°	79.1°	0.0°	261.8°
15.000	135.8°	355.0°	355.8°	281.5°	124.9°	99.9°	300.0°	0.0°	260.7°
20.000	137.0°	355.9°	5.5°	285.5°	125.7°	107.3°	348.1°	0.0°	262.2°
25.000	136.0°	355.2°	358.7°	282.4°	124.4°	102.5°	349.4°	0.0°	261.0°
30.000	136.6°	355.8°	339.0°	273.6°	124.7°	86.9°	270.8°	0.0°	262.1°
35.000	135.6°	355.0°	348.1°	273.1°	123.6°	87.5°	277.6°	0.0°	261.1°
40.000	136.7°	355.8°	319.2°	274.2°	124.0°	89.6°	317.1°	0.0°	262.4°
45.000	135.8°	355.2°	338.1°	268.1°	123.8°	78.4°	299.5°	0.0°	261.4°
50.000	136.5°	355.9°	316.5°	268.1°	124.7°	75.6°	13.2°	0.0°	262.4°
55.000	135.9°	355.6°	329.7°	267.2°	124.1°	74.5°	301.4°	0.0°	261.7°
60.000	136.7°	356.5°	332.2°	267.6°	124.8°	74.9°	67.3°	0.0°	262.7°
65.000	136.6°	356.6°	310.3°	271.4°	124.6°	81.0°	87.3°	0.0°	262.3°
70.000	137.0°	357.5°	13.9°	273.8°	125.0°	83.5°	102.5°	0.0°	263.9°
75.000	136.8°	357.7°	63.6°	274.7°	124.2°	85.7°	93.3°	0.0°	263.4°
80.000	137.6°	358.6°	51.3°	276.4°	123.0°	88.1°	160.9°	0.0°	265.2°
85.000	137.0°	358.2°	20.7°	279.1°	122.8°	91.7°	246.5°	0.0°	264.2°
90.000	137.6°	359.0°	22.2°	281.6°	122.4°	94.6°	231.4°	0.0°	265.3°
95.000	137.0°	358.5°	33.0°	281.5°	121.9°	94.6°	239.7°	0.0°	264.4°
100.000	137.8°	359.3°	4.5°	282.8°	121.8°	96.2°	231.9°	0.0°	265.6°
105.000	137.1°	358.8°	18.2°	283.9°	121.6°	97.8°	295.5°	0.0°	264.6°
110.000	137.2°	359.0°	354.7°	285.8°	121.0°	100.4°	351.5°	0.0°	264.9°
115.000	136.8°	358.9°	33.9°	285.2°	121.1°	99.3°	304.7°	0.0°	264.6°
120.000	129.4°	351.6°	352.5°	282.2°	114.2°	97.8°	329.5°	0.0°	252.2°
125.000	129.9°	352.3°	7.6°	276.6°	117.1°	80.8°	7.0°	0.0°	251.3°
130.000	124.3°	347.6°	285.9°	287.3°	113.9°	102.3°	330.9°	0.0°	240.9°
135.000	124.5°	347.8°	335.6°	274.3°	115.3°	322.8°	17.2°	0.0°	239.8°
140.000	125.0°	348.6°	280.1°	268.2°	117.6°	325.0°	274.2°	0.0°	239.0°
145.000	124.5°	348.4°	330.1°	267.1°	117.6°	324.1°	158.5°	0.0°	238.2°
150.000	124.8°	348.7°	334.4°	265.8°	118.3°	326.2°	221.3°	0.0°	238.7°
155.000	124.6°	348.8°	300.6°	267.5°	118.5°	326.6°	177.8°	0.0°	238.3°
160.000	124.8°	349.1°	346.0°	268.5°	119.0°	326.7°	149.3°	0.0°	238.6°
165.000	124.7°	349.2°	340.2°	268.4°	119.3°	326.1°	160.8°	0.0°	238.1°
170.000	124.9°	349.5°	328.7°	267.4°	119.6°	327.5°	115.7°	0.0°	238.5°
175.000	124.7°	349.6°	323.0°	268.4°	119.7°	327.4°	220.7°	0.0°	238.0°
180.000	125.0°	350.0°	299.3°	268.8°	120.0°	327.8°	289.2°	0.0°	238.5°
185.000	124.9°	350.1°	309.2°	268.8°	120.0°	327.3°	323.9°	0.0°	238.0°
190.000	125.0°	350.4°	328.3°	268.2°	120.2°	328.5°	335.1°	0.0°	238.4°
195.000	125.0°	350.5°	327.9°	268.8°	120.3°	328.4°	31.2°	0.0°	237.9°
200.000	125.1°	350.8°	343.1°	268.7°	120.4°	329.1°	285.7°	0.0°	238.4°
205.000	125.1°	351.0°	6.0°	269.0°	120.6°	328.7°	91.9°	0.0°	237.9°
210.000	125.1°	351.3°	321.9°	268.4°	120.5°	329.6°	249.1°	0.0°	238.3°

BIBLIOGRAFIE

1. *** UCM Reșița - *Cartea tehnică Hidrogenerator tip „HVS 500/250 – 12 poli CHE Râul Mare Retezat;*
2. *** UCM Reșița - *Măsurători mărimi electrice și neelectrice HA 2 CHE Râul Mare Retezat;*
3. *** UCM Reșița - *Documentație tehnică însoțitoare hidrogeneratoare CHE Râul Mare Retezat;*
4. *** UCM Reșița - *Turbina hidraulică tip FVM 170,5 -526,3 CHE Râul Mare Retezat. Cartea turbinei;*
5. *** UCM Reșița - *Instalația de vane sferice, vane fluturoase și vane plane aducțiune principală CHE Râul Mare Retezat.*
6. *** Institutul de studii și proiectări hidroenergetice - *Date tehnice baraj Gura Apelor. pentru întocmirea instrucțiunilor de exploatare.*
7. *** ICPE ACTEL - *Documentație tehnică : Sistem numeric pentru reglarea tensiunii SRATN 2009.*
8. *** HydroEngineering - *Raport cu interpretare măsurători descărcări parțiale CHE Râul Mare Retezat. - 2008*
9. *** ISCE - *Studiu privind calificarea instalațiilor de reglaj secundar. - București 2010*
10. *** Universitatea „Eftimie Murgu” Reșița CCHAPT - *Raport tehnic privind determinarea parametrilor de funcționare, după finalizarea lucrărilor de reparație tip LN 3 din CHE Retezat . Reșița 2013.*
11. *** Universitatea „Eftimie Murgu” Reșița CCHAPT - *Studiu privind ridicarea indisponibilității de putere la HA 1 și HA 2 din CHE Retezat. Reșița 2011*
12. *** Universitatea „Eftimie Murgu” Reșița CCHAPT - *Analiza comportării hidroagregatelor din CHE Retezat în regimuri tranzitorii și încărcări parțiale.*
13. *** P.E. 012 /92 - *Regulament privind asigurarea funcționării economice a centralelor electrice - București 1992*
14. *** P.E. 022 /89 - *Prescripții generale de proiectare a amenajărilor hidroenergetice- București 1989*
15. *** SR EN 60041:2003 - *Încercări de recepție efectuate pe mașina reală, pentru determinarea performanțelor hidraulice ale turbinelor hidraulice, pompelor de acumulare și ale turbinelor-pompe;*
16. Agüero, J. L., Arnera, P. L., Barbieri, M. B., Beroqui, M. C., Bianchi Lastra R. E., Mastronardi J. and Molina R., *Hydraulic Transients in Hydropower Plant. Impact on Power System Dynamic Stability*, IEEE Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, 2008;
17. Andea Petru - *Automatizarea și protecția instalațiilor și sistemelor electroenergetice*. Editura Orizonturi Universitare Timișoara 2002
18. Bahrin, V. - *Electrotehnica și mașini electrice*, Tipografia Universitatea tehnica “Gh.Asachi” , Iași 2002;
19. Băloi, A., Molnar-Matei, F.; Pana, A.; Băloi, F.; **Dilertea, F.** *LabVIEW implementation for three-phase voltage dip classification*, 16th International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE), Kouty nad Desnou, Cehia, 2015;

20. Baya, A.- *Hidroenergetica*, Editura "Orizonturi Universitare" Timișoara 1998
21. Baya, A.- *Mecanica fluidelor, mașini hidraulice și acționari*, Editura „Orizonturi Universitare”, Timișoara 2002
22. Biriescu Marius – *Mașini electrice rotative. Parametrii, caracteristici, încercări*. Editura de Vest 1997
23. Botic Alin Ilie – *Controlul curgerii cu rotație în conul tubului de aspirație al turbinelor hidraulice*. Teze de doctorat. Editura Politehnică Timișoara 2011;
24. Bruno Strah, Ognjen Kuljaca, and Zoran Vukic, *Speed and Active Power Control of Hydro Turbine Unit, IEEE TRANSACTIONS ON ENERGY CONVERSION, VOL. 20, NO. 2, JUNE 2005;*
25. Crișan Ovidiu – *Sisteme Electroenergetice*. Editura Didactică și Pedagogică București 1979;
26. Dordea Toma, Biriescu Marius, Liuba Gh – *Mașini electrice. Parte complementară*. Editura "Orizonturi Universitare" Timișoara 2002;
27. **Dilertea, F.**, Șurianu, F., D., *Analiza stabilității generatorului sincron în regimuri tranzitorii*, Conferința Națională și Expoziția de Energetică CNEE, 21-23 Octombrie, Sinaia, 2015;
28. **Dilertea, F.**, Pop, D., *The hydraulic status analysis of the water tower regarding a hydraulic system*, Proceedings of 7-th International Power Systems Conference-PSC, Timișoara, 22-23 November 2007, pp.231-238;
29. Fraile-Ardanuy, J., Wilhelmi, J.R., Fraile-Mora, J.J., and Ignacio Perez, J. *Variable-Speed Hydro Generation: Operational Aspects and Control*, IEEE TRANSACTIONS ON ENERGY CONVERSION, VOL. 21, NO. 2, pp. 569-574, JUNE 2006;
30. Gao H.M., Wang C., *A Detailed Pumped Storage Station Model for Power System Analysis*, IEEE Power Engineering Society General Meeting, 2006;
31. Guzun Basarab, Călin Mucichescu – *Automatizări în Hidroenergetică*. Editura Tehnică București 1995;
32. Hațiegan, C., Jurcu, M.R., Pădureanu, I., Răduca, E., **Dilertea, F.**, Răduca, M., Popescu, C., Augustinov, L., Liuba, Gh., *The study of the partial discharge level from the hydro-generator stator insulation of high power*, Proceedings of the 3rd Central and East European on Thermal Analysis and Calorimetry, 25-28 August 2015, Ljubljana, Slovenia;
33. Hannett Louis N, Feltes James W., Fardanesh, B., Wayne Crean, *Modeling and control tuning of a hydro station with units sharing a common penstock section*, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 14, No. 4, pp.1407-1414, November 1999;
34. Hongesombut, K., Mitani, Y, Tada, Y., Takazawa, T., Shishido, T., *Object-Oriented Modeling for Advanced Power System Simulations*, IEEE Power Tech 2005 Russia;
35. Hongqing Fang, Long Chen, Nkosinathi Dlakavu, and Zuyi Shen, *Basic Modeling and Simulation Tool for Analysis of Hydraulic Transients in Hydroelectric Power Plants*, IEEE TRANSACTIONS ON ENERGY CONVERSION, VOL. 23, NO. 3, pp. 834-841 SEPTEMBER 2008;
36. Huimin. Gao, Chao. Wang, *Effect of Detailed Hydro Turbine Models on Power System Analysis*, IEEE Power Systems Conference and Exposition, PSCE '06. 2006;
37. Idelcik, I.A. - *Îndrumător pentru calculul rezistențelor hidraulice*. Editura Tehnică, București, 1984;
38. Isbășoiu E.C. & colectiv - *Analiza caracteristicilor de exploatare la CHE Râul Mare-Retezat*, UPB, Contract HE.03.13/1999;

39. Kilyeni S., Bărbulescu, C., Jigoria-Oprea, D., Chiosa, N., Ardelean, I., Pop, D., **Dilertea, F.**, *Reactive power balance analysis in the Western and South-Western area of the Romanian Power System*, Proceedings of 7-th International Power Systems Conference-PSC, Timișoara , 22-23 November 2007, pp.339-346;
40. Kiselev, P.G. - *Îndreptar pentru calcule hidraulice*, Editura Tehnică, București,1968;
41. Levin, L.- *Formulaire des conductes forcees, oleoducts et conduits d'aeration*, Dunod, Paris, 1968
42. Lupu Ioan – *Optimizarea funcționării sistemelor electrice*. Editura Lucyd Serv Iasi 2011
43. Mateescu, C. - *Hidraulică*, Ed.Tehnică, București, 1963
44. Moldovan Lucian, Vătău Doru - *Aparate Electrice*. Editura Eurobit 1999
45. Moldovan Lucian, Vătău Doru – *Elemente modern în domeniul echipamentelor electrice de comutație*. Editura Agir 2001
46. Muntean Sebastian – *Analiza numerică a curgerii în turbinele hidraulice Francis*. Editura "Orizonturi Universitare" Timisoara 2008
47. Opaschi Mihai –*Proiectarea Hidrogeneratoarelor și a motoarelor Sincrone*. Editura Mirton Timișoara 2008
48. Pădurean Ioan – *Mecanica Fluidelor. Mașini și acționări Hidraulice. Fundamente teoretice. Aplicații*. – Editura Eurostampa Timișoara 2004;
49. Pădureanu, I., Jurcu, M.R., Hațiegan, C., Pădureanu, L., Răduca, E., **Dilertea, F.**, Popescu, C., *The determination of the hydro-generator efficiency through the calorimetric method*, Proceedings of the 3rd Central and East European on Thermal Analysis and Calorimetry, 25-28 August 2015, Ljubliana, Slovenia
50. Prișcu, R. *Construcții hidrotehnice*, vol.1 și 2, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1974
51. Radovici B –*Electrotehnică, Măsurări și Mașini Electrice*. Editura Didactică și Pedagogică București 1995;
52. Souza Jr, O. H. , Barbieri, N., Santos A. H. M., *Study of hydraulic transients in hydropower plants through simulation of nonlinear model of penstock and hydraulic turbine model*, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 14, No. 4, November 1999;
53. Stancu Marcel, *Sibiul și electrificarea României*, Editura Honterus, Sibiu, 2014;
54. Șurianu Flavius Dan, *Mathematical modelling and numerical simulation of the dynamic behaviour of thermal and hzdro power plants*, Editura Intech, Croația, 2013;
55. Șurianu Flavius Dan – *Modelarea și identificarea elementelor sistemului electroenergetic*. Editura "Orizonturi Universitare" Timisoara 2009;
56. Șurianu, F.D., **Dilertea, F.** -*Using "Hydro" Mathematical Model in Simulating Dynamic Behviour af Hydromechanical Equipments of Hydropower Plant Râul Mare Retezat*, Proceedings of 6-th International Power Systems Conference-PSC, Timișoara , 3-4 November 2005, pp.553-560, ISSN 1582-7194
57. Șurianu, F.D., Orea, L. -*A possible Mathematical Model of the Simulation of the Dynamical Work Regimes of the Hydropower Plant*, Proceedings of the 4th Symposium on System Analysis and Simulations, pp.117-122, Berlin, 1992;

58. Tianmao Xu, Lixiang Zhang, Yun Zeng, Jing Qian, *Hamiltonian Model of Hydro Turbine with Sharing Common Conduit*, IEEE Power and Energy Engineering Conference (APPEEC), 2012 Asia-Pacific;
59. Trokolanski, A.- *Theorie et pratique de mesures hydrauliques*, Dunod, Paris,1960;
60. Weber H. and Prillwitz F., *Simulation models of the hydro power plants in Macedonia and Yugoslavia*, IEEE Bologna PowerTech Conference, June 23-26, Bologna, Italy, 2003;
61. Xianshan Li, Chunli Zhang, Jianguo Zhu, and Xiangyong Hu, *The Effect of Hydro Turbines and Governors on Power System Low Frequency Oscillations*, International Conference on Power System Technology, 2006;
62. Yun Zeng, Lixiang Zhang, Tianmao Xu, Hongkui Dong, *Building and Analysis of Hydro Turbine Dynamic Model with Elastic Water Column*, IEEE Power and Energy Engineering Conference (APPEEC), 2010 Asia-Pacific;
63. Zhou Jianxu, Ming Hu, Fulin Cai, Rong Hu, *Experimental Research on Stability of Hydromechanical-electrical System in Hydropower Station*, IEEE Power and Energy Engineering Conference, 2009. APPEEC 2009. Asia-Pacific.