



UNIVERSITATEA POLITEHNICA DIN BUCUREȘTI
FACULTATEA DE ENERGETICĂ

Departamentul de Hidraulică, Mașini Hidraulice și Ingineria Mediului

CONFERINȚA HIDROENERGETICIENILOR DIN ROMÂNIA

DORIN PAVEL

Ediția a X-a

18 MAI 2018



Exploatarea optimă a amenajărilor hidroenergetice de mică putere

autor:

dr. ing. Cristian Purece
INCDE ICEMENERG București
cristianicemenerg@yahoo.com

18 mai 2018

INTRODUCERE

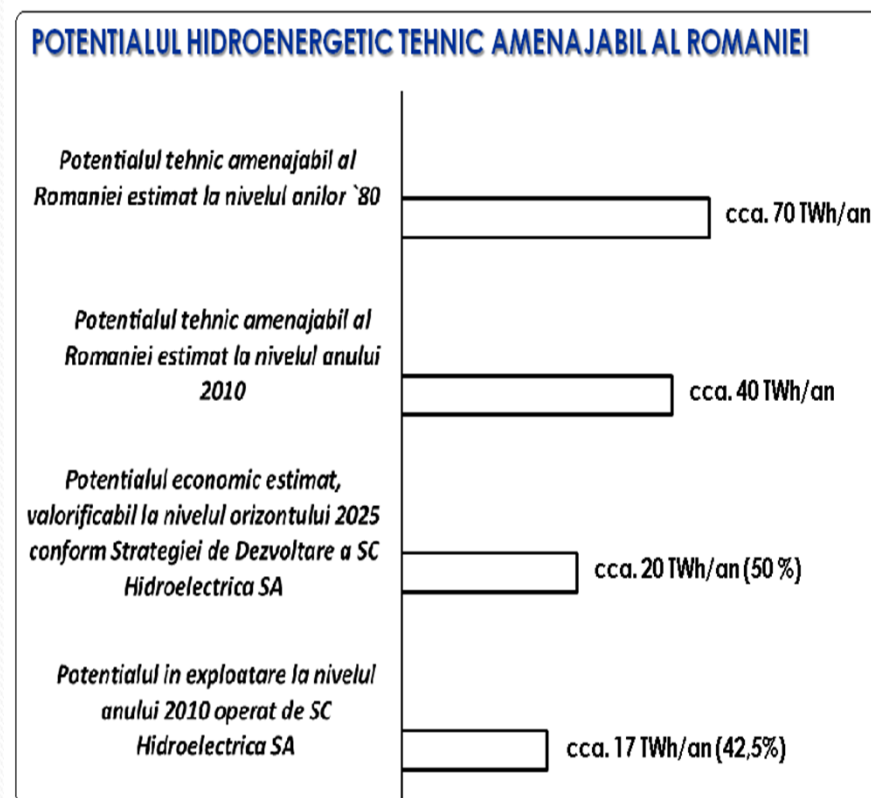
Microhidroagregatele ce echipează centralele hidroelectrice de mică putere (CHEMP) și microhidrocentrale (MHC) din cadrul amenajărilor hidroenergetice de mică putere au fost concepute să funcționeze pe baza principiului "tot sau nimic" (TSN), avându-se în vedere exploatarea lor la randamente optime cât și simplificarea schemei de automatizare. Acest principiu s-a dovedit a fi inadecvat datorită faptul că râurile mici se caracterizează printr-o scurgere zilnică, lunară sau sezonieră cu variație însemnată de debit. De asemenea, majoritatea microhidrocentralelor construite în România după 1980 au coeficienți de instalare mari (putere instalată de 2-3 ori mai mare decât puterea care s-ar putea obține în funcționarea continuă la debitul mediu multianual), acest lucru având ca efect o producție energie electrică discontinuă repartizată în ore de funcționare puține în cea mai mare parte a anului.

ENERGIE ELECTRICĂ DIN SURSE REGENERABILE

Conform directivei (2009/28/CE) privind producerea de energie din Surse regenerabile de Energie, se stabilește ca obiectiv obligatoriu la nivel național pentru toate țările UE, ca până în anul 2020, energia provenită din surse regenerabile să reprezinte 20 % din energia consumată. În cadrul surselor de energie producția din surse hidro este estimată la cca. 18200 GWh/an, din care 1100 GWh în centrale cu puteri < 10 MW.

La începutul anului 2017 existau 118 operatori economici ce dețineau 317 capacități de producție energie electrică hidro de capacitate mică (sub 10 MW) – CHEMA-uri și MHC-uri. Aceste amenajări hidroenergetice de mică putere au împreună o putere instalată de 341,6 MW, ceea ce reprezintă aproximativ 5 %, din capacitatea totală instalată pe hidro.

Conform unui studiu realizat de Hidroelectrica se estimează că până în anul 2025 producția de energie electrică din surse hidro să fie la cca. 20 000 GWh/an.

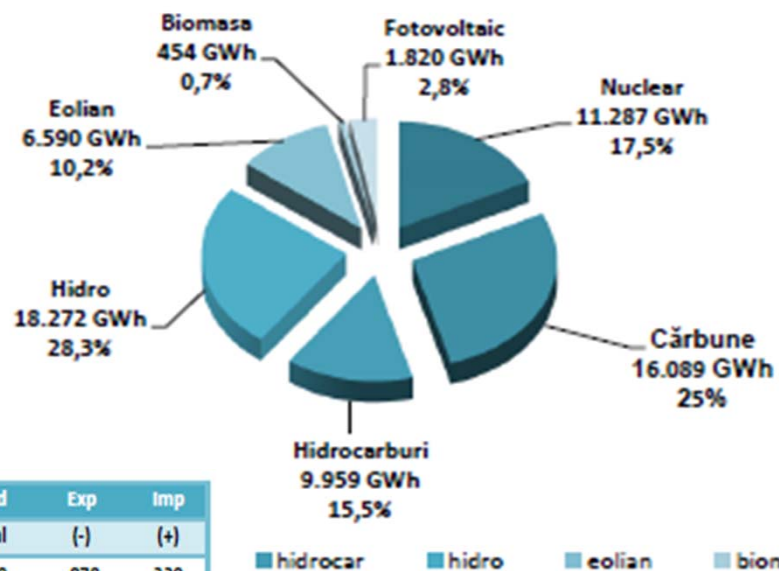


Schema potențialului hidroenergetic tehnic amenajabil al României

Evoluția principalilor indicatori cheie în domeniul hidroenergetic în perioada 2010 ÷ 2016 conform Hidroelectrica S.A.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Putere instalată (MW)	6.438	6.443	6.470	6.464	6.443	6.435	6.432
Producția totală de energie electrică (GWh),	19.852	14.710	12.065	14.823	18.461	16.133	17.573
din care:							
• Energie produsă și livrată (GWh)	19.554	14.472	11.901	14.600	18.145	15.864	17.276
• Energia electrică livrată (GWh)	22.567	18.270	12.824	15.025	18.662	17.107	18.376
Capacități de producție, astfel:							
- Nr. centrale, total, din care:	273	274	275	261	219	212	207
• CHE + CHEMP ($P_i \leq 10\text{MW}$)	162	163	163	149	107	100	95
• CHE ($P_i > 10\text{MW}$)	106	106	107	107	107	107	107
• Stații de pompare	5	5	5	5	5	5	5
- Nr. grupuri, total, din care:	589	591	593	557	483	470	462
• CHE + CHEMP ($P_i \leq 10\text{MW}$)	331	333	333	297	223	210	202
• CHE ($P_i > 10\text{MW}$)	247	247	249	249	249	249	249
• Stații de pompare	11	11	11	11	11	11	11

Structura producției de energie electrică a României în anul 2016, după natura combustibilului – date DEN



Luna	Cons	Prod	Prod	Prod	Prod	Prod	Prod	Prod	Prod	Exp	Imp
	total	nuclear	carbune	hidrocar	hidro	eolian	biom	fvolt	total	(-)	(+)
ian	5630	1035	1911	1290	1164	772	37	70	6279	-878	229
feb	4971	965	1242	803	1313	713	33	98	5167	-469	273
mar	5135	1039	1104	716	1523	583	43	148	5156	-387	366
apr	4571	1008	929	519	1598	462	38	202	4756	-492	307
mai	4546	619	933	500	1784	408	38	218	4500	-306	352
iun	4565	565	1325	523	2091	381	35	206	5126	-625	64
iul	4862	1021	1388	802	1804	338	39	235	5627	-865	100
aug	4627	1022	1308	728	1430	529	37	216	5270	-731	88
sep	4565	993	1357	807	1143	328	35	183	4846	-437	156
oct	5087	1041	1512	891	1359	586	38	99	5526	-567	128
nov	5258	941	1455	1077	1635	596	42	73	5819	-657	96
dec	5638	1038	1625	1303	1428	894	39	72	6399	-894	133
Total 2016	59455	11287	16089	9959	18272	6590	454	1820	-7308	2292	-5016

18 mai 2018

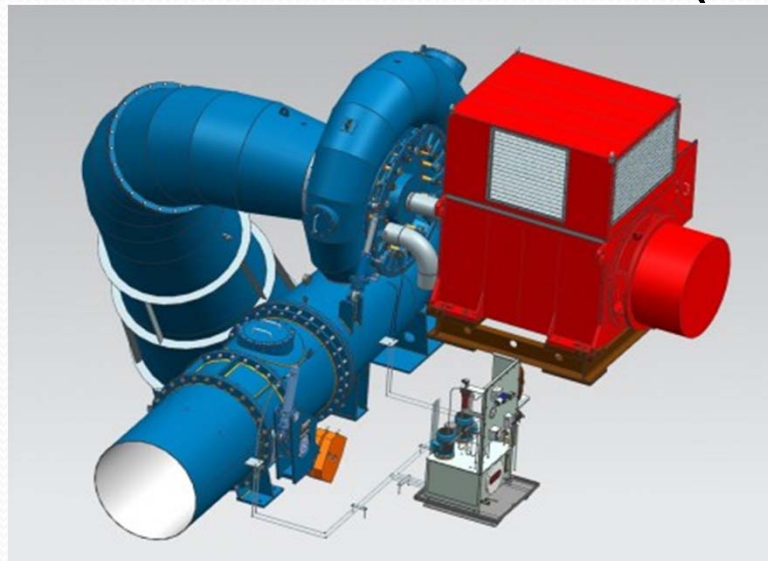
STRUCTURA CONCEPTUALĂ A AMENAJĂRILOR HIDROENERGETICE DE MICĂ PUTERE

Normativul cadru PE 306/86 stipulează principalele condiții tehnice, schemele de amenajare și soluțiile constructive în cazul amenajărilor hidroenergetice de mică cădere. În conformitate cu acest normativ au rezultat următoarele:

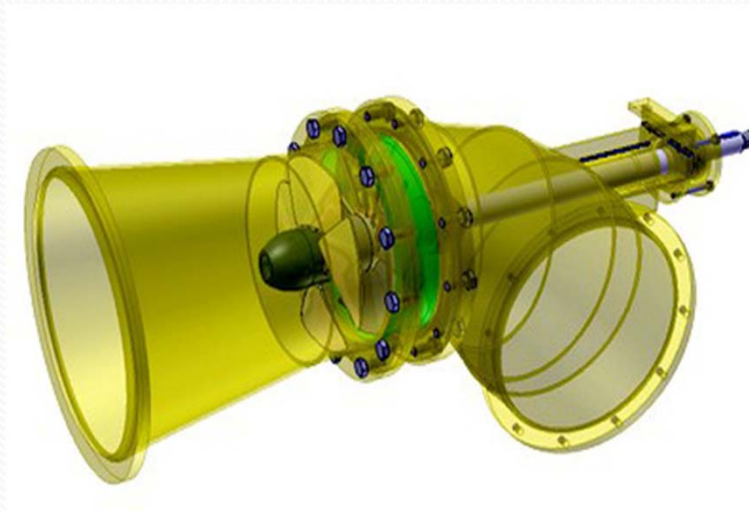
- variabilitatea debitelor râurilor în timpul unui an impune, pentru realizarea unei producții maxime de energie, funcționarea centralei pe baza principiului "totul sau nimic", cu aplicarea unei soluții de acționare electromecanice;
- coeficientul de instalare, definit ca raportul dintre debitul instalat și debitul mediu disponibil energetic (debitul mediu multianual diminuat cu prelevările pentru alte folosințe) cuprins între 1 și 3;
- echipamentele utilizate în construcția MHC-urile sunt în general tipizate, fapt ce a determinat, alături de analiza tehnico-economică a amenajării, alegerea mai multor variante privind sectorizarea râului,

- 
- deoarece aceste amenajări hidroenergetice de mică putere nu dispun de acumulări importante de apă, bazinele compensatoare fiind dimensionate la o capacitate care să permită funcționarea unei turbine timp de 0,5 ore, realizarea producției de energie electrică planificată nu este realizată;
 - realizarea componentelor amenajării după soluții constructive simplificate și proiecte tip, având clasa de importanță IV (CHEMP), respectiv V (MHC);
 - utilizarea de echipamente energetice și hidromecanice tipizate din producția internă (turbine, generatoare asincrone, motoare asincrone în regim de generator etc.);
 - această fapt a fost posibil prin realizarea unei producții interne de microhidroagregate, constând în principal din două serii de tipodimensiuni de turbine Francis (FO), și elicoidale (EOS), cuplate cu generatoare asincrone.

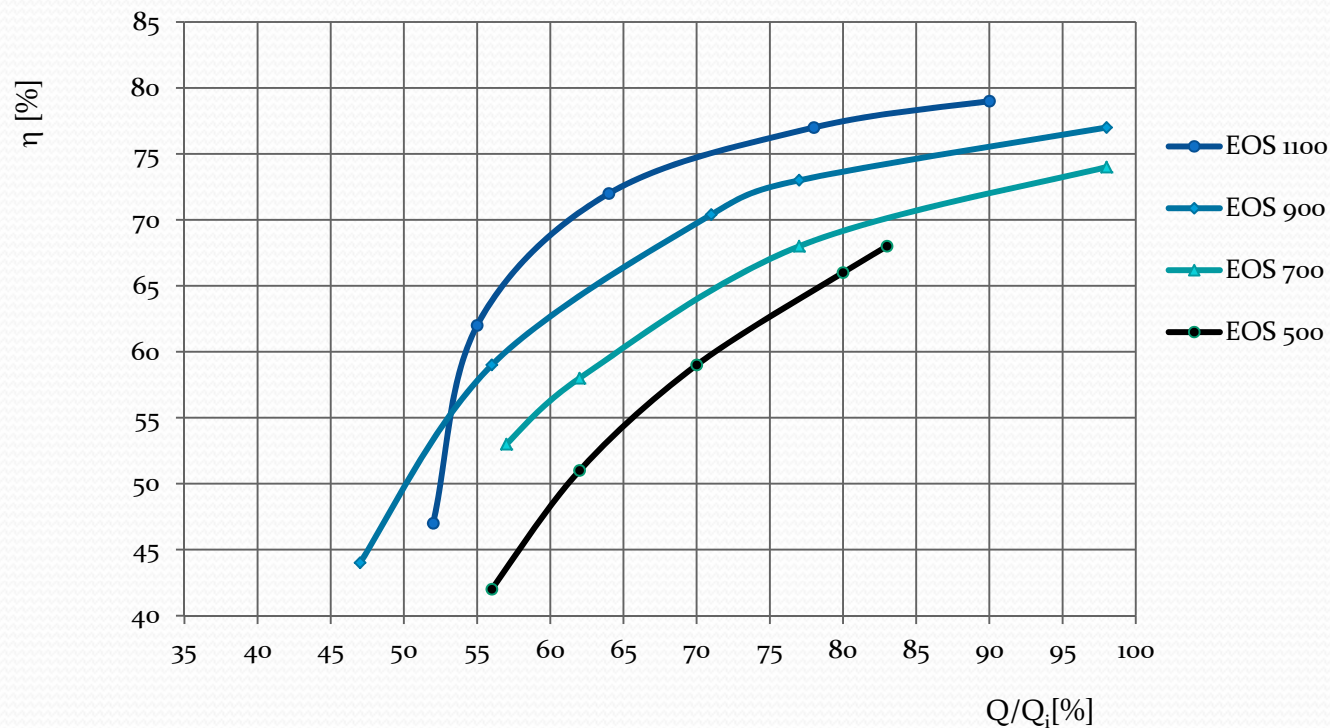
Turbină Francis orizontală (FO)



Turbină orizontală cu circuitul hidraulic în formă de S (EOS)



Din măsurătorile de randament efectuate de ICEMENERG, se observă că la puterea nominală pentru turbina EOS 500 randamentul a fost de $66 \div 68 \%$, iar pentru EOS 1100 randamentul a fost de $74 \div 77 \%$. La sarcini parțiale, randamentul scade rapid, fapt observat și din graficul din figura de mai jos



Variația randamentului în funcție de debit la turbinele de tip EOS

PRINCIPII DE FUNCȚIONARE: PRINCIPIUL "TOTUL SAU NIMIC", PRINCIPIU FUNCȚIONĂRII CONTINUE

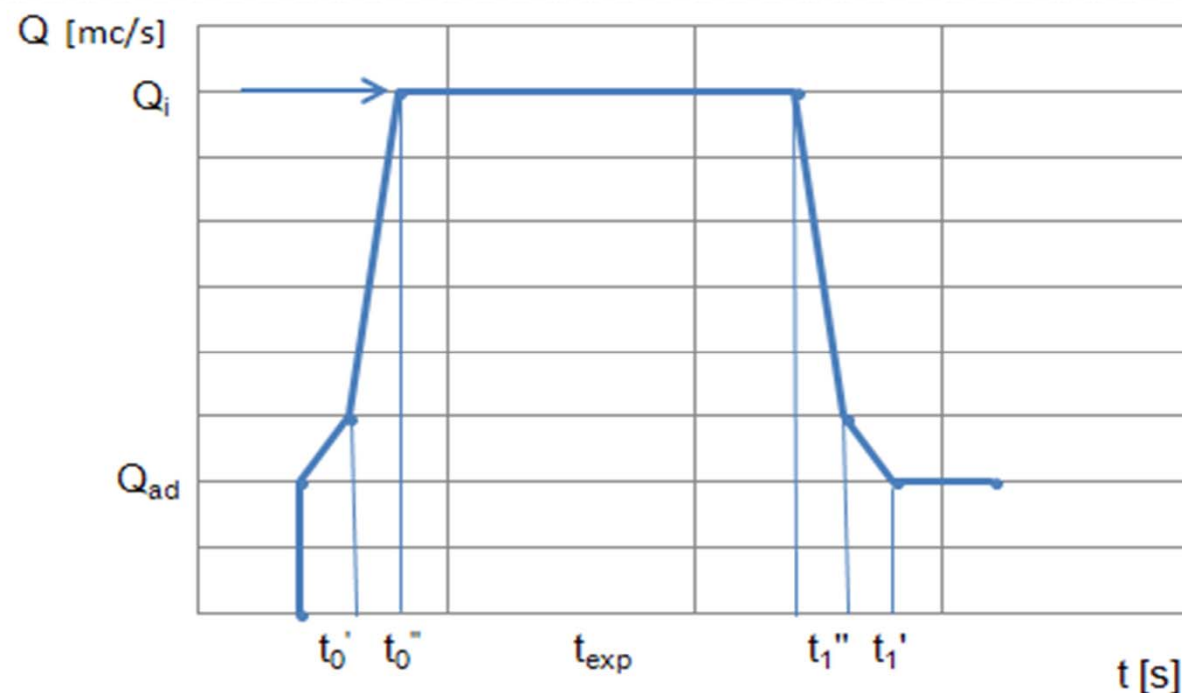
Pentru a putea fi exploatate cu randamente optime, microhidroagregatele ce echipează amenajările hidroenergetice de mică putere au fost concepute să funcționeze pe baza principului "totul sau nimic".

Acest tip de funcționare implică operarea periodică a microhidroagregatelor la debitul instalat, prin efectuarea unui număr de cicluri de porniri-opriri într-o zi, ceea ce are drept consecințe:

- apariția unor suprapresiuni în conducta de aducțiune, la pornire și oprire;
- ambalarea microhidroagregatelor în momentul opririi;
- colmatări ale prizei și bazinului compensator;
- blocarea vanelor flutur de admisie în turbină;
- apariția unor solicitări dese ale instalațiilor electromecanice (întrerupător, mecanismul de acționare a aparatului director)

Aceste solicitări au efecte negative, precum spargeri ale conductei de aducțiune prin cedarea etanșărilor, distrugerea lagărelor etc.

Graficul funcționării pe baza principiului "totul sau nimic"



- t_0' - este timpul de pornire până când MHA-ul se cuplează la rețea;
- t_0'' - timpul necesar ca MHA-ul să ajungă la regimul nominal;
- t_{exp} - timpul de exploatare la regimul nominal;
- t_1'' - timpul de oprire până la limita de declanșare de la sistem;
- t_1' - timpul de oprire al MHA-ul

Timpul de funcționare este o sumă de timpi parțiali:

$$t_f = t'_0 + t''_0 + t_{exp} + t''_1 + t'_1 = A + t_{exp} \quad \text{respectiv} \quad t_f = \frac{Q_i A + V - V_0 - V_1}{Q_i - Q_a}$$

Timpul de umplere este:

$$t_u = \frac{V}{Q_a - Q_{ad}}$$

Energia electrică produsă într-un ciclu pornire-oprire E_c este dată de relația:

$$E_c = 9,81 Q_i H(Q_i) \eta_{T+G} [Q_i, H(Q_i)] t_{exp} + 2E''_c$$

E''_c este energia produsă în timpul t''_0 și t''_1 și se calculează cu relația:

$$E''_c = 9,81 \int_{t''_0}^{t''_1} Q(t) H(Q) \eta_{T+G}(Q, H) dt = \text{const.}$$

Ținând cont că $t_c = t_f + t_u$ este durata unui ciclu pornire-oprire, numărul de cicluri pornire-oprire (n) dintr-o zi este:

$$n = \frac{24}{t_c}$$

Energia electrică produsă într-o zi funcționând după principiul "totul sau nimic" se calculează cu relația:

$$E_{TSN} = n E_c$$

În cazul funcționării continue energia obținută are expresia:

$$E_{CONT} = 9,81 Q_a H(Q_a) \eta_{T+G} [Q_a H(Q_a)] \times 24$$

Avantajele și dezavantajele funcționării conform principiul "totul sau nimic"

Funcționarea pe baza principiul "totul sau nimic" are avantajul obținerii unui randament maxim prin alegerea de așa natură a turbinei (debit instalat Q_i , cădere de calcul H), dar și prin utilizarea în mod eficient a stocului de apă în cazul în care debitul afluent este mai mic decât debitul instalat ($Q_a < Q_i$).

Dezavantajul acestui mod de funcționare al MHC-urilor se materializează printr-un număr mare de cicluri de pornire-oprire; acest număr depinde de debitul afluent Q_a și conduce la: solicitarea lagărelor întreruptoarelor electrice, șocuri în liniile electrice de transport, blocarea mecanismelor de acționare a aparatului director și deteriorarea motoarelor electrice, eroziunea betonului bazinului de liniștire și al canalului de evacuare, probleme ecologice generate prin debitul fluctuant în aval de MHC, fluctuație care face aproape imposibilă menținerea unei vieți acvatice.

SOLUȚII DE CREȘTERE A RANDAMENTULUI DE FUNCȚIONARE AL MHC-URILOR

Prin renunțarea la exploatarea pe baza principiului "tot sau nimic" și adoptarea funcționării continue la debitul afluent Q_a , acoperirea curbei de durată a debitelor medii zilnice nu se mai realizează în mod optim, rezultând pierderi importante de energie.

Având în vedere faptul că funcționarea continuă a MHA-lor din cadrul MHC-urilor este mai indicată atunci când $Q_a \geq Q_j$, însă de regulă $Q_a \leq Q_j$, ceea ce impune o funcționare intermitentă pe baza principiului "tot sau nimic", trebuie avută în vedere înlocuirea MHA-lor existente cu alte MHA-te cu puteri mai mici.

Acest lucru reiese și din faptul că mare majoritate a cazurilor de amenajări hidroenergetice de mică putere dotate cu mai multe MHA-te oferă o schemă de adaptare la debitul sezonier mult mai elastică. Având la baza proiectarea pe aceleași criterii conform normativului cadru PE 306/86 fragmentarea debitului se face în mod egal rezultând un număr de MHA identice.

Cu toate acestea, problema oportunității înlocuirii unui MHA cu un altul disponibil, având un debit nominal mai mic, presupune un studiu atent, alegerea variantei optime fiind o problemă de decizie care se soluționează pe baza analizei multicriteriale, datorită tendințelor divergente referitoare la maximizarea energiei obținute și minimizarea cheltuielilor.

STUDIU DE CAZ - MHC Baru Mare

MHC Baru Mare este echipată cu o turbină de tip FO 125/640 cu următoarele caracteristici:

- Putere instalată 440 kW
- Debit instalat 0,9 mc/s
- Volumul bazinului compensator 1700 mc

După efectuarea măsurărilor in situ s-au determinat:

- Debitul pierdut prin aparatul director $Q_{AD} = 0,026$ mc/s
- Căderea netă $H(Q_a)$, conform tabelului
- Debitul afluent Q_a conform tabelului
- Randamentul hidroagregatului la diferite sarcini parțiale conform tabelului
- Timpul de pornire până când MHA-ul se cuplează la rețea 32 sec
- Timpul necesar ca MHA-ul să ajungă la regimul nominal 100 sec
- Timpul de oprire până la limita de declanșare de la sistem 100 sec
- Timpul de oprire al MHA-ul 32 sec

- Timpul de funcționare $t_f = \frac{1700}{Q_a - 0,026}$

- Timpul de umplere $t_u = \frac{1815}{0,9 - Q_a}$

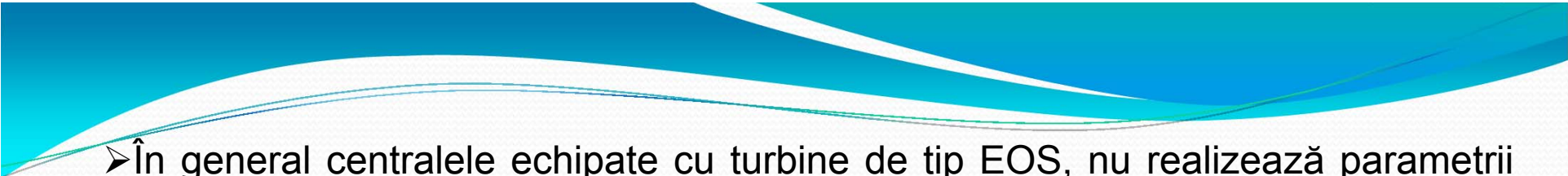
18 mai 2018

Luând ca variabilă debitul afluent rezultă energia pentru MHC Baru Mare obținută pentru fiecare din cele două variante în conformitate cu tabelul:

Q_a [mc/s]	t_u [h]	t_f [h]	t_c [h]	n [-]	t_{exp} [h]	H_n [m]	η_{T+G} [%]	E_{TSN} [kWh]	E_{CONT} [kWh]	$(E_{TSN} - E_{CONT})$ [kWh]
0,3	1,72	0,84	2,56	9,37	0,77	67,9	32	3353	1535	1818
0,4	1,26	1,00	2,26	10,62	0,93	67,4	45	4563	2856	1707
0,5	1,00	1,26	2,26	10,62	1,19	66,9	56	5803	4410	1393
0,6	0,82	1,68	2,5	9,6	1,61	66,3	67	7057	6275	782
0,7	0,7	2,52	3,22	7,45	2,45	65,6	77	8287	8324	-37
0,8	0,61	5,04	5,65	4,25	4,97	64,8	79	9537	9642	-105
0,9	0,54	-	-	-	-	62,8	81	-	10,950	-

CONCLUZII

- Prezenta lucrare oferă o metodologie de calcul a energiei electrice obținute în cazul funcționării MHA-lor după principiul “tot sau nimic” (E_{TSN}) ținând seama de pierderile de apă inerente acestui principiu (pein aparatul director, la pornire și la oprire) și în cazul funcționării în regim continuu (E_{cont})
- Conform analizei cazului prezentat în lucrare rezultă că funcționarea în regim continuu se poate adopta pentru debite afluate având valori mai mari de 75 % din debitul instalat
- Determinarea *in situ* a parametrilor reali de funcționare a MHA ce echipează MHC ar contribui în mod cert la mărirea gamei de debite afluate pentru care este optimă funcționarea continuă
- O funcționare optimă continuă resupune observarea comportării în exploatare a HMC în vederea stabilirii indicatorilor de siguranță, pentru a se putea realiza o bună corelare între disponibilitatea MHC și numărul de cicluri de pornire-oprire într-o anumită perioadă de timp



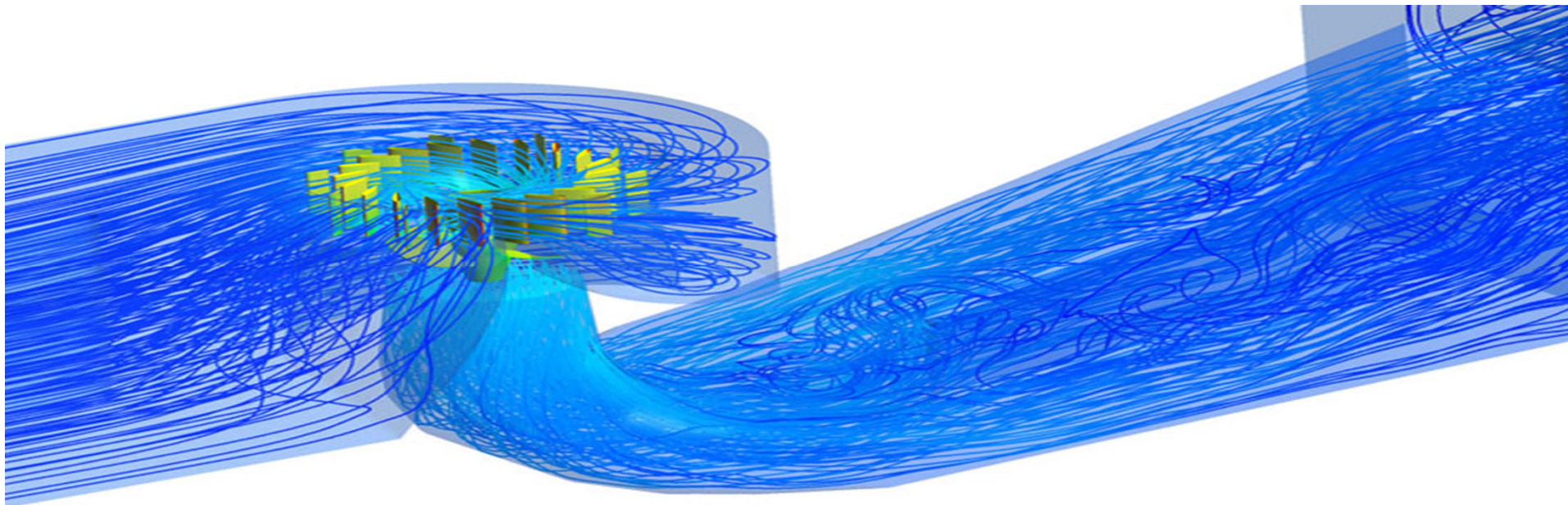
➤ În general centralele echipate cu turbine de tip EOS, nu realizează parametrii de proiect, acest fapt având următoarele cauze:

- majorarea nejustificată a prevederilor de proiect (energia productibilă, durata de funcționare, coeficientul de instalare);
- deficiențe de proiectare și execuție (subdimensionare, abateri, comatări, funcționări la sarcini parțiale etc.).

➤ Acoperirea cu randamente optime a întregii plaje de debite, în etapa actuală se poate face prin:

- completarea gamei de microturbine, cu turbine având dublu reglaj;
- adaptări la turbinele existente (schimbarea rotorului, aparatului director etc.);
- înlocuirea MHA existente cu MHA cu diametru mai mic și cu o putere mai scăzută corespunzătoare debitului afluent.

➤ Alegerea variantei optime se poate face prin studii de oportunitate pentru fiecare amenajare



Vă mulțumesc!

Acestă prezentare a fost finanțată prin Programul-nucleu, derulat cu sprijinul MCI,
contract nr. 41 N din 16.03.2018

18 mai 2018