



MINISTERUL EDUCAȚIEI NAȚIONALE
UNIVERSITATEA DIN PETROȘANI
ȘCOALA DOCTORALĂ



Ing. ȚUȚUIANU GABRIEL

TEZĂ DE DOCTORAT

**CERCETĂRI PRIVIND MODERNIZAREA
TEHNOLOGIILOR DE EXECUȚIE A LUCRĂRILOR DE
SĂPARE, AMENAJARE ȘI MONTAJ ÎN CONSTRUCȚIILE
HIDROTEHNICE**

CONDUCĂTOR ȘTIINȚIFIC

Prof.univ.dr.ing. NAN MARIN-SILVIU

PETROȘANI, 2017

CUPRINS

INTRODUCERE	4
CAPITOLUL I CARACTERIZAREA GENERALĂ A LUCRĂRILOR HIDROTEHNICE	5
1.1. Potențialul hidroenergetic al României	5
1.2. Amenajări hidroenergetice	8
1.3. Lucrări hidrotehnice	14
1.4. Alegerea traseului galeriilor hidrotehnice	17
1.5. Caracteristicile secțiunii transversale a galeriilor	19
1.6. Alegerea căptușelii galeriilor	20
1.7. Determinarea diametrului optim a galeriei de aducțiune	24
1.8. Determinarea diametrului optim a conductei forțate	29
1.9. Concluzii	30
CAPITOLUL II CURGEREA APEI PRIN LUCRĂRILE HIDROTEHNICE	32
2.1. Sistemul hidraulic al unei amenajări hidroenergetice	32
2.2. Curgerea apei cu suprafață liberă prin canale	36
2.3. Curgerea apei sub presiune prin conducte	40
2.4. Mișcarea nepermanentă în conducte sub presiune. Lovitura de berbec	46
2.5. Celeritatea	47
2.6. Relația dintre undele de presiune și debit. Relația lui Jukovski	49
2.7. Reflexia și refracția undelor	49
2.8. Aspecte caracteristice ale manifestării loviturii de berbec	50
2.9. Concluzii	54
CAPITOLUL III TEHNOLOGIA DE EXECUȚIE A GALERIILOR BLINDATE ..	55
3.1. Considerații generale privind construcția galeriilor blindate	55
3.2. Tehnologia de execuție a galeriilor blindate	56
3.3. Tehnologia de execuție a blindajului	59
3.4. Tehnologia de montare a blindajului în galerie	66
3.5. Concluzii	72
CAPITOLUL IV MODERNIZAREA TEHNOLOGIILOR DE EXECUȚIE A LUCRĂRIILOR HIDROTEHNICE	73
4.1. Calitatea lucrărilor hidrotehnice	73
4.2. Stabilirea dimensiunilor optime ale conductelor forțate	77
4.3. Sanie pentru transport pe plan înclinat și centrarea tronsonului de conductă	84
4.4. Modernizarea tehnologiei de sudare a tronsoanelor de conductă	93
4.5. Concluzii	95
CAPITOLUL V CONCLUZII FINALE ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE	96
5.1. Concluzii finale	96
5.2. Contribuții personale	99
BIBLIOGRAFIE	101
ANEXA 1 Calculul puterii hidraulice a unei amenajări hidroelectrice.....	1/15
ANEXA 2 Dimensionarea și verificarea saniei de transport și centrare a tronsonului de conductă	1/19

Scopul acestei lucrări este de a concepe și implementa, în contextul actual al dezvoltării științei și tehnologiei, noi soluții de modernizare a tehnologiilor de execuție și întreținere a lucrărilor hidrotehnice. Atenția este îndreptată spre lucrările de interes major, care au un rol esențial în structura amenajărilor hidroenergetice, respectiv galeriile și conductele forțate.

Lucrarea este de actualitate având în vedere potențialul energetic ridicat al țării. Trebuie avut în vedere numărul relativ mare de amenajări hidroenergetice existente, care trebuie întreținute, dar și noile amenajări, care chiar dacă sunt reduse, ele încă există.

Importanța temei este reliefată de rezultatele concrete obținute, care au o aplicabilitate imediată în practică.

Scopul primului capitol, „*Caracterizarea generală a lucrărilor hidrotehnice*” este de a caracteriza și clasifica după importanță multitudinea de lucrări întâlnite în cadrul amenajărilor hidrotehnice.

În prima parte a capitolului este analizat potențialul hidroenergetic al României. Analiza arată că potențialul teoretic liniar mediu al râurilor din România, inclusiv partea din potențialul Dunării ce revine țării noastre, se ridică la 70 TWh/an . Din acest potențial teoretic, 36 TWh/an este reprezentat de potențialul tehnic amenajabil, din care $1/3$ se află pe Dunăre.

Dintre lucrările hidrotehnice cele mai importante sunt galeriile. Comparativ cu alte lucrări acestea ocupă primul loc din punct de vedere al volumului investițiilor și al manoperei.

Galeriile hidrotehnice sunt construcții subterane executate în masivul de roci și care sunt destinate transportului apei. Ele sunt folosite pe scară largă la amenajările hidroenergetice, dar și pentru amenajările hidroedilitare și irigații.

Galeriile de aducțiune realizează transportul apei de la priza lacului de acumulare la castelul de echilibru. Aceste galerii se regăsesc la majoritatea amenajărilor hidroelectrice.

Galeriile forțate asigură transportul apei între castelul de echilibru și centrala hidroelectrică. Lungimea galeriilor forțate este de ordinul sutelor de metri, iar diferența pe înălțime între extremitățile galeriei poate fi, de asemenea, foarte mare.

Galeriile de fugă realizează transportul debitului de apă turbinat de la centrala hidroelectrică în albia râului. Pentru majoritatea amenajărilor hidroenergetice acestea sunt amenajate cu nivel liber.

Galeriile secundare realizează transportul debitului de apă de la prizele secundare la lacul de acumulare sau în galeria de aducțiune principală.

Forma secțiunii transversale a galeriilor se alege din considerente hidraulice, statice și

funcționale. Considerentele de ordin hidraulic impun asigurarea de debite maxime cu o suprafață de curgere minimă. Considerentele statice se referă la preluarea în condiții optime a solicitărilor exterioare, iar cele funcționale impun îndeplinirea condițiilor de gabarite impuse la execuție și exploatare.

Alegerea dimensiunilor geometrice ale secțiunii transversale, respectiv a tipului căptușelii se face pe baza calculelor tehnico-economice, soluțiile preliminare bazându-se pe lucrări similare aflate în exploatare.

Derivațiile uzinelor hidroelectrice sunt reprezentate de galeria de aducțiune, camera de echilibru și galeria forțată sau conductele forțate.

Pentru determinarea dimensiunii optime a galeriei de aducțiune și a conductei forțate se consideră cunoscute căderea brută și debitul instalat al uzinei. Dacă se aleg diametre mici costul de investiție scade, dar vitezele de curgere cresc, rezultând pierderi de energie mari.

Sunt recunoscute și aplicate două criterii de optimizare a diametrului conductelor de aducțiune, criteriul cheltuielilor anuale totale minim și criteriul beneficiului maxim.

Diametrul optim al conductei forțate se determină, ca și în cazul galeriei de aducțiune, folosind criteriile cheltuielilor anuale totale minime și a beneficiului maxim.

În capitolul, „**Curgerea apei prin lucrările hidrotehnice**”, sunt prezentate problemele teoretice și practice legate de curgerea apei prin lucrările hidrotehnice. Capitolul cuprinde relațiile teoretice de bază care explică curgerea apei și care stau la baza dimensionării și construcției diverselor lucrări.

Este analizată curgerea apei cu suprafață liberă prin canale și conducte, situații întâlnite des în cadrul amenajărilor hidrotehnice. La curgerea prin conducte sunt analizate regimurile delimitate de numărul Reynolds în mișcări laminare stabile, mișcări turbulente și mișcări tranzitorii. De asemenea, sunt studiate pierderile hidraulice longitudinale, ce apar pe o conductă dreaptă de secțiune circulară. La acestea se adaugă pierderile locale apărute la schimbarea secțiunii sau direcției de curgere.

Este studiată mișcarea nepermanentă a apei în conducte, care constituie un caz frecvent în funcționarea instalațiilor hidraulice ce transportă lichide sub presiune. Acest regim, cunoscut sub numele de lovitură de berbec apare ori de câte ori se schimbă rapid regimul de mișcare.

În finalul capitolului sunt prezentate aspecte caracteristice ale desfășurării loviturii de berbec, întâlnite la aducțiunile gravitaționale pentru alimentarea cu apă a centralelor hidroelectrice.

Scopul capitolului III, „*Tehnologia de execuție a galeriilor blindate*”, este de a prezenta în detaliu tehnologia de execuție a galeriilor blindate. Galeria blindată face legătura dintre castelul de echilibru cu casa vanelor și uzina hidroelectrică. Are același rol funcțional ca și conductele forțate montate la suprafață

În general, lucrările mai importante care contribuie la realizarea unei galerii blindate sunt: excavarea profilului; susținerea provizorie a excavației; excavarea și betonarea radierului; introducerea blindajelor (virolelor) metalice, montarea și asamblarea lor; betonarea tolei metalice; injectarea inelului din beton; curățirea blindajului și protejarea suprafeței de curgere împotriva acțiunii agresive a apei.

Excavarea galeriei se face, în general, cu front ascendent, atacând lucrarea de jos în sus, și foarte rar cu front descendent. Frontul ascendent prezintă avantajele transportului ușor al materialului derocat și evacuarea gravitațională a apelor de infiltrare

La realizarea galeriei se execută trei tipuri de betonări. Un prim tip se referă la betonarea profilului excavat cu șpriț-beton pentru susținerea provizorie. Celelalte presupun betonarea radierului pentru montarea șinelor de cale ferată și betonarea virolelor metalice.

În principal, execuția blindajului unei galerii forțate necesită parcurgerea următoarelor faze: executarea virolelor în uzină, tratarea, controlul și ambalarea lor; transportul la șantier, manipularea și depozitarea; asamblarea intermediară prin sudură, tratamentul și controlul tronsoanelor obținute, care se face pe o platformă special amenajată; transportul dintr-o galerie de acces la partea superioară a galeriei forțate în casa vanelor; asamblarea tronsoanelor finale, verificarea sudurilor; lansarea în galeria forțată; asamblarea finală (calarea, sudarea tronsoanelor, tratarea sudurilor și controlul acestora) în galeria forțată; betonarea blindajului; controlul betonării; efectuarea injecțiilor; verificarea căptușelii; protejarea finală.

Scopul acestui capitol, „*Modernizarea tehnologiilor de execuție a lucrărilor hidrotehnice*”, este de a prezenta în detaliu principalele contribuții ale autorului lucrării privind modernizarea tehnologiilor de execuție a unor lucrări hidrotehnice.

În prima parte a capitolului sunt reliefate câteva aspecte generale cu privire la calitatea lucrărilor hidrotehnice. Sunt precizate cauzele care influențează calitatea lucrărilor, aspectele de proiectare a acestora, precum și calitatea execuției, supravegherii și exploatării lor. Partea generală se încheie cu evidențierea folosirii programului Solide Edge în proiectarea în domeniul mecanic.

O primă problemă rezolvată în acest capitol este aceea a stabilirii dimensiunilor optime ale conductelor forțate. Pentru rezolvarea problematicii s-a întocmit un program în MathCAD care permite determinarea dimensiunii interioare optime a conductei forțate pe baza puterii hidraulice

disponibile a unei amenajări hidroelectrice. Se precizează că relațiile de calcul care stau la baza programului sunt cele prezentate în capitolele I și II al acestei lucrări.

Programul permite evidențierea puterii hidraulice în funcție de debitul instalat și căderea brută, pentru diferite viteze de curgere a apei. Reprezentările grafice obținute permit determinarea rapidă a puterii hidraulice la turbină, precum și a pierderilor hidraulice totale pe conducta forțată.

Diametru interior al conductei este determinat de asemenea în funcție de debit și cădere, luând în considerare inclusiv aspectul economic al investiției avute la dispoziție. Grosimea calculată a peretelui conductei, coroborată cu diametrul interior permite determinarea caracteristicilor geometrice și de rezistență, ce asigură verificarea rezistenței sudurilor conductei.

Determinarea diametrului interior și a grosimii peretelui conductei forțate reprezintă elementele de bază pentru conceperea tehnologiei de montaj a acesteia. Tehnologia de montaj stabilește:

- lungimea tronsoanelor de conductă în funcție de masă, gabarit și spațiu de manevră;
- dispozitivele și utilajele necesare transportului și manevrării tronsoanelor de conductă;
- tehnologia de asamblare prin sudare cap la cap a tronsoanelor de conductă.

Programul de calcul poate fi utilizat pentru cazuri concrete ale amenajărilor pe un traseu de conductă stabilit, sau pentru amenajarea de microhidrocentrale cu debite instalate sub $10\text{m}^3/\text{s}$.

A doua problemă importantă rezolvată în acest capitol se referă la conceperea și proiectarea saniei pentru transport pe plan înclinat și centrarea tronsonului de conductă. Sunt precizate elementele constructiv funcționale ale saniei, inclusiv verificarea rezistenței acesteia.

În finalul capitolului se propune o tehnologie revoluționară de executare a sudurilor tronsoanelor de conductă, având în vedere importanța sudurilor în realizarea conductei forțate.

În partea de „**Concluzii finale, contribuții personale și direcții de cercetare**” s-au sintetizat cele mai importante rezultate obținute în urma finalizării lucrării de doctorat.

În urma elaborării prezentei lucrări s-au desprins o serie de contribuții personale cu caracter original, care sunt prezentate în continuare.

1. Am efectuat o vastă documentare asupra literaturii de specialitate cu privire la lucrările specifice amenajărilor hidroenergetice. Am identificat rolul și importanța galeriilor și conductelor forțate în ansamblul general al funcționalității amenajărilor hidroenergetice. Atenția a fost focalizată spre tehnologia de execuție a acestor două tipuri de lucrări, considerând că acestea sunt predispușe modernizărilor.
2. Am analizat fenomenele de curgere a lichidelor prin canale și conducte în vederea stabilirii caracteristicilor de curgere a apei prin conductele și galeriile forțate. Demersul s-a materializat prin asigurarea suportului tehnic pentru realizare unui programului de calcul. Dificultatea rezolvării acestei probleme constă în faptul că literatura de specialitate în domeniu abundă în aspecte teoretice, dar duce lipsă de considerente practice. De cele

mai multe ori, aceeași problemă este tratată practic prin relații empirice sau experimentale diferite.

3. Am analizat și am contribuit la modernizarea tehnologiei de execuție a galeriilor blindate. Modernizarea apare la tehnologia de sudare a virolelor, pornind de la importanța sudurii în asigurarea blindajului galeriei.
4. Folosind utilitarul MathCAD am realizat un program de calcul ce permite determinarea, în principal, a diametrului interior optim al unei conducte forțate, în funcție de debit și cădere. Acesta este parametrul de bază care influențează toate celelalte caracteristici ale aducțiunii, mai ales caracteristica economică. Programul poate fi utilizat pentru evaluarea preliminară a unei microhidrocentrale în construcție.
5. Am conceput și realizat proiectul tehnic pentru o sanie de transport pe plan înclinat și pentru centrare a unui tronson din conducta forțată. Transportul și punerea la poziție a tronsonului de conductă în vederea sudării sunt două activități dificile, având în vedere gabaritele și caracteristicile traseului de montaj a conductei forțate.
6. Am propus o nouă tehnologie pentru sudarea tronsoanelor de conductă, având în vedere importanța cordoanelor de sudură în funcționalitatea conductei forțate.
7. Am utilizat tehnicile CAD pentru realizarea lucrării. Pentru realizarea programului de calcul am utilizat utilitarul MathCAD. Același utilitar l-am utilizat pentru efectuarea diferitelor calcule de dimensionare și verificare. Am utilizat Solid Edge pentru reprezentările 2D și 3D și pentru calculul caracteristicilor geometrice ale secțiunilor critice. Pentru calculele de rezistență (eforturi și deformații) folosind elemente finite am utilizat utilitarul Cosmos Design

Această parte se finalizează cu unele direcții de cercetare care asigură o imagine privind continuarea cercetării în domeniul studiat pentru edificarea unor soluții științifice valabile atât din punct de vedere teoretic cât și practic.