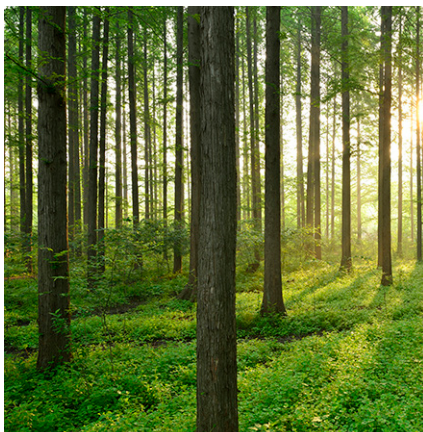


SVENSKT VATTENKRAFTCENTRUM 2018-2022

SYNTERAPPORT

RAPPORT 2023-929



SVENSKT
VATTENKRAFTCENTRUM

Syntesrapport SVC
Bild framsidan: Bergeforsen, foto: Vattenfall

ISBN: 978-91-7673-929-7

© Energiforsk mars 2023



FÖRORD

Svenskt vattenkraftcentrums historia sträcker sig tillbaka till 2005, då vattenkraftbranschen kunde konstatera att undervisningen och forskningsmiljöer inom vattenkraftområdet vid våra svenska lärosäten i stort sett hade försvunnit. Med tanke på hur viktig vattenkraften är för vårt samhälle stod det helt klart att något måste göras. Svenskt vattenkraftcentrum bildades av branschen, tillsammans med Energimyndigheten, Svenska kraftnät och fyra lärosäten: KTH, Chalmers, Uppsala universitet (UU) och Luleå tekniska universitet (LTU). Verksamheten bedrevs inom två verksamhetsområden: Vattenbyggnad respektive Turbiner & generatorer, med vardera flera forskarmiljöer vid lärosätena. Finansieringsmodellen har från början varit att myndigheter, industri och akademi står för en tredjedel vardera. SVC kom tidigt att betraktas som en succé och det är nu många personer som har knutit an till vattenkraften och på olika sätt bidragit till den kompetensutveckling som har blivit SVC:s signum. Många är också de som tack vare SVC har kommit att bli anställda och viktiga kuggar vid de olika kraftföretag, konsultbolag och leverantörer som på olika sätt är knutna till SVC.

Den nu föreliggande syntesrapporten för åren 2018-2022 berättar om den verksamhet som har bedrivits. Från att tidigare ha verkat i mer renodlad projektform med Energiforsk som sammanhållande nav, övergick SVC 2018 till formatet kompetenscentrum med LTU som värdunderuniversitet. Verksamheten har styrts av det huvudavtal som alla ingående lärosäten och Energiforsk har tecknat, där Energiforsk utgör länken mellan branschens intressenter och centrumet. Den framgångssaga som SVC utgör fortsatte i det nya formatet och mot slutet av perioden införlivades ytterligare ett lärosäte, Lunds tekniska högskola LTH, i SVC-familjen.

Man kan nu i efterhand konstatera att SVC 2018-2022 har varit fortsatt framgångsrikt, där verksamheten visar upp stor bredd, fokus på viktig forskning och med ett stort engagemang bland de inblandade. Inte minst visar SVC sin styrka med den medverkan i projekten som utgörs av industrirepresentanter, där mycken viktig erfarenhet från dammar och kraftverk vävs in i den akademiska forskningsvärlden. Det noteras också med tillfredsställelse

att samarbetet mellan olika forskarmiljöer och lärosäten har ökat under perioden; något som har varit en strävan från starten.

Under rapportperioden har kraftsystemet förändrats på många sätt, vilket också avspeglas i den forskningsinriktning som SVC har fokuserat på. Många projekt tittar närmare på hur klimatförändringar och tillväxt av väderberoende kraftproduktion påverkar vattenkraften, dess dammar, avbördningsanordningar, turbiner och generatorer. Nu på ett sätt som de ofta inte var konstruerade för. Flera projekt studerar hur dammar påverkas av ökade variationer, flöden och vattennivåer. Andra hur turbiner slits allt hårdare med den mer frekventa reglering som följer av det allt mer volatila kraftsystemet. Med mera. All sådan kunskap förutses bli mycket viktig framöver.

I och med att denna period nu är slut, går vi in i nästa viktiga fas av SVC:s liv, med en utökning som ytterligare visar på en stor anpassningsförmåga till omvärldsförändringar. Den stora omprövning av vattenkraftens miljövillkor som följer av den nationella planen, har gjort att även SVC ser ett stort behov av mer forskning inom miljö och samhälle och därför utökar deltagande lärosäten med Karlstad universitet, Umeå universitet och potentiellt SLU, alla med erkänt viktig forskning inom sagda områden. Verksamheten inleddes redan vid halvårsskiftet 2022 och flera viktiga projekt har redan initierats.

Vi ser framtiden för SVC an med tillförsikt!

Hans Bjerhag

Fortum och ordförande i SVC:s programråd



INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Förord	3
Svensk vattenkraftforskning blir alltmer internationell	5
Samtliga projekt inom vattenbyggnad	6
Samtliga projekt inom turbiner och generatorer.....	7
Försöksdam i Älvkarleby ger viktig kunskap om dammsäkerhet.....	8
Vindkraftsmetoden som kan optimera transienta förhållanden i turbiner	9
Ny metod för att minska kavitation i turbiner.....	10
Strömning i vattenturbiner.....	11
Ny realistisk analysmetod kan motverka dammhaverier.....	12
Vattenkraft i kombination med energilagring.....	13
Simuleringar för att minska skadliga flöden för turbiner	14
Tryckavlastningshål kan minska erosion på injektionsridåer	15
Metod för att mäta bergerosion	16
Metod för att bedömma bergsprickor under dammar	17
Ny bildanalysteknik kan mäta 3D-hastighet i strömning	18
CFD – ett verktyg för att öka säkerheten i dammanläggningar	19
Utveckling av generatorer med lång livslängd.....	20
Prediktering av återstående livslängd i kaplannav	21
Numerisk flödesmodellering kan upptäcka defeter i fyllningsdamm	22
Snabbare upptäckt av inre erosion och läckage.....	23
Utveckling av komponenter för ökad dämpning av vattenkraftsrotorer	24
Kontaktuppgifter	25
Tvårvetenskapliga projekt i nya SVC	26



SVENSK VATTENKRAFTFORSKNING BLIR ALLTMER INTERNATIONELL

Det är med glädje jag ser detta ax-plock av forskningsprojekt som pågår inom svensk vattenkraft. Vattenkraften har under åren fått en ökad roll som ett dragspel i energisystemet då lagringskapaciteten är stor och då vattenkraften kan svara upp mot mycket korta variationer i tillgång av el på nätet såväl som säsongsvariationer.

Vattenkraftens framtida roll

Energisystemet har många spelare och det är därför inte lätt att prediktera vattenkraftens roll i framtiden. Ett inte orimligt scenario är ändå att vattenkraften behöver bli ännu mer flexibel för att svara upp mot mer icke-planerbar produktion av elektricitet och mot nya förhållanden när klimatet förändras. Det är i bägge fallen globala skiften och det är därför viktigt att, ännu mer än idag, bedriva forskning och utveckling ur ett internationellt perspektiv tillsammans med partners från hela världen generellt och speciellt inom Europa. Det finns exempelvis flera samarbeten med Hydrocen som är Norges motsvarighet till SVC och målet är att öka detta samarbete de närmsta åren. Det kan exempelvis innebära att parter från respektive centrum driver forskningsprojekt på EU-nivå tillsammans.

Även miljö och samhälle

Forskningen inom SVC har till och med denna period varit tekniskt inriktat på turbiner, generatorer och vattenbyggnad. När vi nu går in i en ny etapp kommer även miljö och samhälle in som tydliga ingredienser vilket blir mycket spännande.

Akademi och industri

Om man nu tittar på de resultat som presenteras i denna syntesrapport är det ett brett spektrum av metoder som används allt från analys, numeriska beräkningsmetoder, experiment i laboratorium och experiment på full skala. Det är en av styrkorna inom SVC att blanda universitetens mer teoretiska kompetens och vetenskapliga verktyg med industrins kompetens om anläggningarna och förståelse för vilken forskning som har betydelse för vattenkraften. Det är utvecklande för alla och det är roligt att se att det hela tiden finns ett kompetensutbyte, inte minst genom att personer rör sig mellan parterna inom SVC.

Staffan Lundström

Lärosätetsansvarig Luleå tekniska universitet





Seismic investigations and monitoring of Vattenfall's experimental dam at Älvkarleby Evaluation of seismic investigations performed at Vattenfall's experimental dam	Chris Juhlin Chris Juhlin
Sannolikhetsbaserad beräkning för fyllningsdammar Utveckling av metodik för bestämning av storskalig skjuvhållfasthet hos naturliga bergsprickor Utveckling av designkoncept för injekteringsridåer Optimering av underhåll för vattenkraftstunnlar i berg Evaluation of internal erosion of fracture infilling materials in dam foundations by coupled CFD-DEM approach Storskaliga skjuvförsök på sprickprover från Krångede Remedial grouting in rock foundations under dams – Development of a design methodology for remedial grouting Modelling scour of rock spillways	Fredrik Johansson Fredrik Johansson Fredrik Johansson Fredrik Johansson Fredrik Johansson Fredrik Johansson Fredrik Johansson Fredrik Johansson Fredrik Johansson
Realistic Failure Modes of Concrete Dams Safe dams – an holistic approach for improved safety of concrete dams	Gabriel Sas Gabriel Sas
Trovärdiga CFD-simuleringar på vattenbyggnadshydrauliska problem Fotogrammetri för anläggningsnära flödesmätning utan driftspåverkan eller begränsningar Flood discharge safety through CFD modeling in combination with experiments, forts. Fotogrammetri för anläggningsnära flödesmätning utan driftspåverkan eller begränsningar, forts. Implementation investigation	Gunnar Hellström Gunnar Hellström Gunnar Hellström Gunnar Hellström Gunnar Hellström
Undersökning av vattentunnlar i drift	Robin Andersson
Two-phase flow modeling: Evaluations and simulations for safer discharge Investigation of air blowout (geyser) from a bottom outlet Quality and Trust of Numerical Modeling of Water-Air Flows for Safe Spillway Discharge (forts. Two-phase flow modeling)	James Yang James Yang James Yang
Maximum gradient and repetitive hydraulic load effects on suffusion of glacial till cores Simulering av fyllningsdammars beteende (inkluderat två tillägg) Reparationsinjektering i fyllningsdammar Tailing behaviour (krossmaterial) The use of vane tests in silty soils and tailings Identifiering av injekterade zoner Krossmaterial i dammar – Inre erosion av krossat filtermaterial vid naturliga spänningar	Jan Laue Jan Laue Jan Laue Jan Laue Jan Laue Jan Laue Jan Laue
Anpassning av övervakning med DCIP tomografi för förvaltning av fyllningsdammar Integrating electrical resistivity results interpretation with numerical flow modelling for detection of internal defects in embankment dams	Torleif Dahlin Torleif Dahlin
Prediktion av nedbrytning av betong vid vattenvägar Metodik för bestämning av islaster på betongdammar Brottmöder och brottförlopp hos betongdammar grundlagda på berg Dimensionerande islaster på betongdammar, forts. Lastförutsättningar avseende islast, fördjupning Realistic Failure Modes of Concrete Dams, Lic	Richard Malm Richard Malm Richard Malm Richard Malm Richard Malm Richard Malm

SAMTLIGA PROJEKT INOM TURBINER OCH GENERATORER

Flow in turbines during new operating procedures	Håkan Nilsson
Flow induced vibrations and failure of axial fan blades in electric generators	Håkan Nilsson
Forts. post doc. Flow in turbines during new operating procedures	Håkan Nilsson
Forts. post doc. Flow induced vibrations and failure of axial fan blades in electric generators	Håkan Nilsson
Unsteady flow and cavitation during off-design and transients in water turbines	Håkan Nilsson
Machine learning for optimization of pump operation under transients in hydraulic turbine rigs	Håkan Nilsson
The BEM-method for fast simulations of transients in hydropower	Håkan Nilsson
Utveckling av komponenter för ökad dämpning i vattenkraftsrotorer	Jan-Olov Aidanpää
Modeller för mekanisk analys av kortslutning i vattenkraftsrotorer	Jan-Olov Aidanpää
Utveckling av komponenter för ökad dämpning i vattenkraftsrotorer - forts	Jan-Olov Aidanpää
Modeller för mekanisk analys av generatorer med flytande generatorring - forts	Jan-Olov Aidanpää
Validering och förenkling av lagermodeller för simulering av vertikala rotor	Jan-Olov Aidanpää
Prediktering av återstående lagerlivslängd	Kim Berglund
Automatiserad turbinövervakning med maskininlärningsmetoder för identifiering av beteendeförändringar	Kim Berglund
Service of glycerol lubricated bearings	Kim Berglund
Miljöanpassade smörjmedel för vattenkraftsapplikationer - en kartläggning av olika alternativ	Kim Berglund
Automatiserad övervakning med maskininlärningsmetoder för identifiering av beteendeförändringar - fortsättning	Kim Berglund
Friktion och nötning av självsmörjande lagermaterial i Kaplannav och effekten av arbetsmedium	Kim Berglund
Loads on Kaplan runner during steady and transient operation	Michel Cervantes
Flow measurements in hydraulic turbines	Michel Cervantes
Steady and transient measurements in a model test rig	Michel Cervantes
Loads on Kaplan runner	Michel Cervantes
Development of the pressure-time method	Michel Cervantes
Steady and transient measurements in a model test rig, forts.	Michel Cervantes
Development of the pressure-time method, forts.	Michel Cervantes
Instabilities at deep-part-load	Michel Cervantes
Development of a methodology to determine added parameters in hydraulic turbines	Michel Cervantes
Guide vanes system to mitigate pressure pulsations in axial turbines at part load operation	Michel Cervantes
Turbine power characteristic predictino with artificial neural network	Michel Cervantes
Aktiv styrning av Rotormagnetisering med hjälp av kraftelektronik	Urban Lundin
Rapid power response to improve electrical grid stability	Urban Lundin
Aktiv styrning av Rotormagnetisering med hjälp av kraftelektronik forts.	Urban Lundin
Optimization of joint operation of fast and slow storage reservoirs	Urban Lundin
Rapid power response to improve electrical grid stability, forts.	Urban Lundin
Generatorer utan dämplidning	Urban Lundin



FÖRSÖKSDAMM I ÄLVKARLEBY GER VIKTIG KUNSKAP OM DAMMSÄKERHET

Hösten 2019 byggde Vattenfall en försöksdamm i Älvkarleby. Försöksdammen ger möjligheter att under realistiska förhållanden, studera defekter i fyllningsdammar. Målet är att undersökningarna i försöksdammen ska leda till rekommendationer för instrumentering av fyllningsdammar.

Försöksdammen i Älvkarleby har geoteknisk utrustning som bland annat består av porttrycksgivare, inklinometrar och optiska fibrer. Det gör det möjligt att följa dammens beteende under uppfyllnad och drift.

Modelleringsarbetet och med tillhörande geotekniska undersökningar i labb har till största delen genomförts av LTU i nära samarbete med Vattenfall R&D. Uppsala universitet har använt de installerade seismikkablarna (vars primära syfte är skadedetektering) för att bestämma tätkärnans elasticitetsmodul.

Deformationer och portryck

Jasmina Toromanovic på LTU undersöker tillsammans med sina forskarkollegor hur deformationer och portryck påverkas vid dämning och fortsatt drift:

– Jag arbetar med detektering, geotermiska mätningar och moduleringar. Jag har studerat hur vattentrycket utvecklades över tid. Det har varit väldigt givande att se hur portrycket fungerade. Vi har 12 givare i dammen och det är fler än det brukar vara och det leder till att vi kan studera portrycket i detalj. Vi har sett fler fördröjningar än vi trodde vi skulle få se.

–Vi mäter också deformationer i dammen. Vi har noterat att deformationerna reagerar på väldigt små förändringar. I botten på dammen finns fiberoptik installerad, via den kan vi studera töjningar i botten på försöksdammen. Det är inte så vanligt att man tittar på det, så det känns lite extra intressant att vara med om det.

– Jag undersöker också hur geomaterial beter sig mot andra material. Det är väldigt intressant. Vi har gjort en serie av mätningar vid sänkning av vattennivån. Data finns kvar för vidare undersökningar, så jag hoppas att det kan bli en fortsättning på projektet.

Resultaten hittills i försöksdammen visar både fördelar och utmaningar med att verifiera designparametrar och prognostisera en fyllningsdamms funktion. Instrumenteringen med porttrycksgivare i tätkärna och filter ger värdefull information om dammens respons vid dämningupptagning och under kontinuerlig drift. Med hjälp av FE-modellering kan det tidiga skedet efter färdigställd konstruktion beskrivas både vad gäller portryck och deformationer med rimlig tillförlitlighet. Det finns potential till förbättringar genom ytterligare materialkaraktisering i labb och genom att förbättra modellens simulering av porundertryck.

– Resultaten av portrycken är väldigt intressanta. Vi har talat om att skala upp resultaten, eftersom den här typen av resultat kan vara viktiga för komma underfund med defekter i mindre dammar i Sverige och utomlands. Resultaten kan också vara viktiga för översvämningssdammar runt om i världen.

– Jag tror att försöksdammen i Älvkarleby kan ge viktig kunskap om hur dammar står kvar över tid och hur de fungerar. Vattenkraften kommer att spela en stor roll i det förnybara energisamhället, så det är viktigt att vi har full koll på hur dammarna mår!

Projektsamarbete

Projektet är ett samarbete mellan Vattenfall Research & Development, Luleå tekniska universitet (LTU), Lunds tekniska högskola (LTH), Uppsala universitet (UU) samt HydroResearch.

Deformationer och portryck
i experimentell fyllningsdamm

Utförare: Jasmina Toromanovic
Handledare: Jan Laue
LTU





VINDKRAFTMETODEN SOM KAN OPTIMERA TRANSIENTA FÖRHÅLLANDEN I TURBINER

En välbeprövad och validerad metod som används för att simulera scenarier och beräkna belastningen på vindkraftsblad kommer snart att kunna användas även inom vattenkraften. Hamidreza Abedi utvecklar en numerisk metod som kommer göra metoden applicerbar på kaplanturbinblad. Resultatet kan både trygga energiförsörjningen och förlänga hållbarheten på kaplanturbinerna.

BEM står för Blade Element Momentum och har använts och validerats i stor utsträckning inom vindkraftområdet. Trots att det finns gemensamma nämnare som skulle göra det möjligt att använda metoden även inom vattenkraften, har metoden inte anpassats och reviderats hittills.

Transienta förhållanden

Eftersom vattenturbiner används för reglering av elsystemet uppstår transienta förhållanden, det vill säga förändringar av driftfall som kan orsaka problem med lasten på turbinerna. BEM-metoden har potential att snabbt bestämma belastningarna på varje sektion av ett blad i ett kaplanturbinblad. Summan av belastningarna på alla sektioner ger belastningen på hela bladet. Det här är värdefull information eftersom det kan ge en bättre förståelse av strömningens belastningar på turbinerna under transienter. Detta kan i sin tur förbättra maskinernas beteende och förlänga deras livslängd.

Snabba simuleringar

BEM-metoden kan också erbjuda snabba simuleringar som kan användas för att optimera de transienta driftprocedurerna för att undvika riskfylld drift, samtidigt som kraven på vattenkraft som regleringsystem uppfylls. Att göra sådana snabba simuleringar är också värdefullt när det finns behov att undersöka många driftförhållanden eller studera många typer av transienta operationer, till exempel vid optimering av eller konstruktion av styrsystem för transient drift. Metoden har olika brister

i noggrannhet under vissa förhållanden, men den låga beräkningskostnaden för BEM-metoden gör den ändå lämpad för modellering av turbinlöphjul.

– Vi är mitt i processen nu. Det tidigare arbetet, som är baserat på ett exjobb, publicerades som ett konferensbidrag på IAHR Symposium on Hydraulic Machinery and Systems, där vi presenterade resultat från implementeringen av BEM. Nu fortsätter vi med att experimentera på riktiga kaplanturbiner, och målet är att färdigställa metoden. Vi skickade en artikel *On the Challenges and Potential of Load Calculation of the Hydraulic Turbine using the Blade Element Momentum Method*, till en tidskrift i början av 2023, säger Hamidreza Abedi.

Öppen källkod

Den numeriska modellen och metodutvecklingen som Hamidreza utvecklar kommer att ske i ett ramverk med öppen källkod, som är fritt och öppet tillgängligt för vattenkraftindustrin och akademien.

The BEM-method for fast simulations of transients in hydropower

Utförare: Hamidreza Abedi
Handledare: Håkan Nilsson
Chalmers





NY METOD FÖR ATT MINSKA KAVITATION I TURBINER

Vattenkraften har blivit det kraftslag som kontinuerligt måste variera driftförhållandena för att reglera elnätet. Det leder till flödesinstabilitet med tryckfluktuationer, lastvariationer och kavitation, som kan försämra turbinerna och minska effektiviteten.

– Det är av högsta prioritet att aktörerna inom vattenkraftindustrin lär sig mer om flöde och kavitation under transienter, så att ursprunget till problemen identifieras och kan undvikas när kraftverken är i drift. Kunskapen behövs också vid renovering av vattenkraftverk, berättar Mohammad Hossein Arabnejad.

Omfattande tester

Renoveringar av vattenkraftverk involverar vanligtvis modelltester. Historiskt har tester av turbinmodeller gjorts under stabila driftförhållanden, men nu är det också viktigt att studera transient drift. Vattenfall har därför byggt om sin labbrigg för att även göra tester under transient drift, och planerar att göra omfattande experimentella tester de kommande åren.

Numeriska studier

Mohammad Hossein Arabnejad har utfört numeriska studier som validerats med experimentella resultat:

– Det jag har kommit fram till kan användas för att få en ökad förståelse av flödet och kavitationen i systemet, säger Mohammad Hossein Arabnejad.

För att studierna ska vara relevanta måste de förväntade drift-procedureerna i prototypskala skalas ned till modellskalen, och modellskaledata måste uppskalas till prototypskalan. Vattenfall kommer att upprepa experiment både i modellskala och proto-

typskala, och samma sak kan göras numeriskt för att ytterligare utöka kunskaperna.

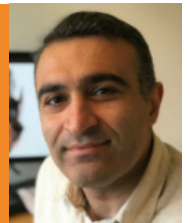
Inte implementerats i industrin än

Resultaten har inte börjat implementeras i industrin ännu.

–Det är i princip möjligt att göra det, men industrin behöver satsa mycket resurser på att göra det eftersom det är riktigt tunga beräkningar och komplex fysik med komplicerade modeller, avslutar Mohammad Hossein Arabnejad.

Unsteady flow and cavitation during odd-design and transients in water turbines

Utförare: Mohammad Hossein Arabnejad
Handledare: Håkan Nilsson
Chalmers





STRÖMNING I VATTENTUBINER

De nya intermittenta kraftslagen gör att vattenkraften körs under mer reglerade driftförhållanden. Det leder till flödesinstabilitet med tryckfluktuationer och lastvariationer som kan påverka turbinerna negativt.

Saeed Salehi utför beräkningar av strömningen i vattenturbiner under transienta förhållanden.

– Det här är något som är av hög prioritet i industrin, eftersom kraftverken körs mer intermittent nu och i framtiden och att det med största sannolikhet bara kommer att öka i framtiden på grund av införsel av mer sol- och vindkraft. Jag har utvecklat en kod som Vattenfall har fått ta del av och som de nu använder för att beräkna strömningen i vattenturbinerna, berättar Saeed Salehi.

Transienter - spänningsfall

Saeed Salehi har tidigare utvärderat turbulens under stabila driftförhållanden.

– Vi har visat att det är möjligt att exakt förutsäga flödesegenskaper under sådana förhållanden. Nu har vi tagit med transienterna (snabba och kortvariga förändringar av spänning) vid kontinuerlig reglering av elnätet, vid byte från ett drifttillstånd till ett annat, vid start/stopp, eller vid plötsligt lastbortfall. Vi har också undersökt hur det ser ut när turbinerna går utan last, redo att anslutas till elnätet med mycket kort varsel.

Viktig kunskap som påverkar turbinernas livslängd

De numeriska resultaten som Saeed Salehi har tagit fram ger viktig ny kunskap om flödesfysik under ostadigt flöde och transienter i vattenturbiner. Kunskapen är viktig för att förstå maskinernas rotordynamik eftersom en koppling mellan rotordynamiska modeller och effektiv modellering av ostadigt flöde då kan uppnås. Vattenturbiner är konstruerade för att fungera bäst i Best Efficiency Point (BEP). Nu används de oftare under varierande driftförhållanden för att stabilisera elnätet och det kan leda till att turbinens livslängd minska.

Flow in turbines during new operating procedures

Utförare: Saeed Salehi
Handledare: Håkan Nilsson
Chalmers





NY REALISTISK ANALYSMETOD KAN MOTVERKA DAMMHAVERIER

För att motverka de omfattande konsekvenser som ett dammhaveri skulle ha på ett samhälle, behövs ökad kunskap kring beredskapsplanering och konsekvensutredningar. Projektet *Realistic Failure Modes of Concrete Dams* har arbetat för att ta fram en analysmetod för att kunna utföra realistiska dammbrottsanalyser på betonglamelldammar.

Ett dammhaveri betyder att en damm går till brott och att vatten strömmar ut okontrollerat. Stora mängder vatten kan leda till omfattande översvämningar och stora skador på infrastrukturen. Beräkningar av dammhaverier och karteringar av översvämningar är därför viktiga delar av arbetet med beredskapsplanering och konsekvensutredningar för dammhaverier.

– Dagens metoder för stabilitetsanalyser ger en bra uppskattning av betongdammars förmåga i brottgräns men kan inte säga något om dammens beteende under brott, bräschens utbredning eller tiden för brottet. Därför bestämde vi oss för att göra en ny typ av modellförsök i Kungsrännan i Älvkarleby. Modellen utgör en lamelldamm i skala 1:15 som drivs till brott av vattentryck.

Modellförsök

– Med modellförsöken försöker vi, på ett mer realistiskt sätt än vad tidigare metoder möjliggjort, att förutsäga hur ett dammbrott ser ut. Vi kan då säga hur snabbt dammen kan gå sönder och hur stor del av dammen som förstörs, säger Jonas Enzell, doktorand.

Orsaker till haveri

Vanliga orsaker till haveri i betongdammar är nedbrytning, materialbrott och sprickbildning. Idag finns endast begränsad kunskap angående brottets utbredning, brottförloppets hastighet och flodvägens storlek, varaktighet och hastighet. Ökad kunskap behövs vid konsekvensklassificering av betongdammar eller

dammbrottsmodeller för beredskapsplanering. Därför har projektet ”Realistic Failure Modes of Concrete Dams” som mål att ta fram rekommendationer utifrån modellförsöken kring vilka antaganden som bör göras vid dammbrottsberäkningar.

Stabilitetsanalys

Resultat hittills visar att det kan vara bra att titta på större delar av dammar samtidigt i en stabilitetsanalys, snarare än att kolla på separata delar. Interaktionen mellan dammens delar, framför allt mellan monoliterna, och den omkringliggande geografin, har stor påverkan. Det borde tas mer hänsyn till i en stabilitetsanalys. Nästa steg i projektet är att verifiera numeriska modeller utifrån resultaten från de fysiska modellförsöken.

Bättre underlag

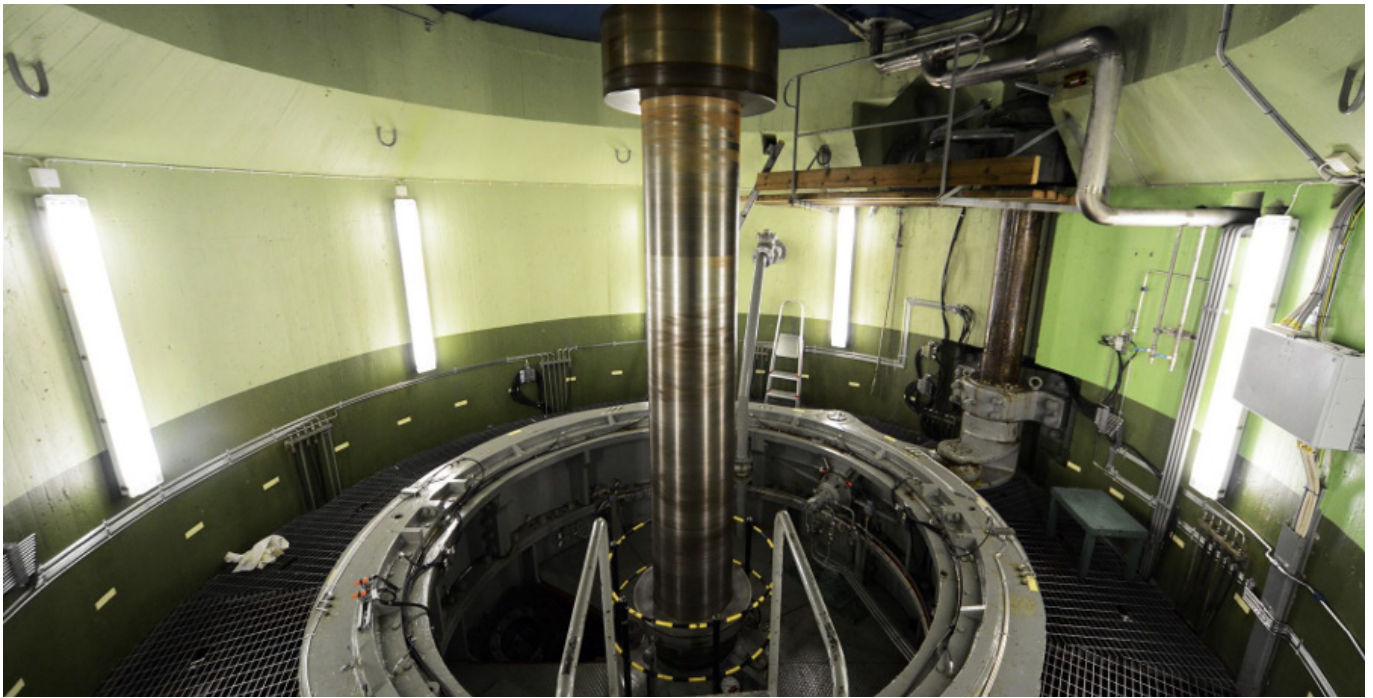
Med hjälp av projektets resultat kan förbättrade bedömningar göras, vilket i sin tur ger bättre underlag till konsekvensklassificering, beredskapsplanering och översvämningsskartering.

Realistic failure modes of concrete dams

Utförare: Jonas Enzell

Handledare: Richard Malm samt Erik Nordström
KTH





VATTENKRAFT I KOMBINATION MED ENERGILAGRING

I dag står vattenkraften för ungefär 90 procent av frekvenshållningsreserven. Flera vattenkraftverk håller på att nå sin maxgräns, eftersom många start och stopp för att balansera intermittenta energikällor, sliter på maskinerna.

Danilo Laban är industridoktorand på Uppsala universitet och jobbar samtidigt på Fortum. Projektet handlar om att installera ett lagringssystem, som till exempel batterier, och använda det tillsammans med vattenkraftenheten. På det sättet skulle flera fördelar uppnås:

- En snabbare och mer stabil frekvenshållningsreserv.
- Minskat slitage på vattenkraftaggregatet jämfört med fristående drift.
- Mindre storlek och längre livslängd på lagringsenhet, jämfört med fristående lagringssystem.

Mer kunskap om det förnybara energisystemet

–Mitt projekt handlar om att kombinera vattenkraft med energilagring. Vi måste få större insikter i hur vi ska hantera det kommande helt förnybara energisystemet. Vi har en god förståelse för vårt kraftsystem och hur man producerar förnybar energi, men förståelsen är mindre för hur vi underhåller och kontrollerar det här förnybara systemet. Mitt mål med projektet är att föreslå gemensamma regleringsstrategier och ta fram en riktlinje för dimensionering av energilagret. Jag kommer också försöka implementera hybridssystemet i experiment i labbskala.

Flera kunskapsluckor kvar

Danilo Laban hoppas få möjlighet att arbeta vidare med projektet i 4-5 år till.

– Det finns ett stort intresse för de här metoderna. Projektet

uppstod ur industrins önskan om att få mer kunskap om vattenkraften i kombination med energilagring. Ett av målen med projektet är att det lätt ska gå att implementera i industrin. Det är tydligt och intressant att se att alla aktörer inom vattenkraften har liknande problem.

Samdrift med lagringssystem

Resultaten hittills visar att samdrift med lagringssystem är ett effektivt sätt att förbättra FCR-tjänster. Det blir ett minskat mekaniskt slitage och minskad påverkan av FCR på vattenvägar.

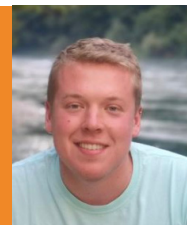
– Vi behöver jobba vidare med riktlinjer för hur man bygger upp de här systemen när det gäller styrscheman och dimensionering av lagersystem, avslutar Danilo Laban.

Optimization of joint operation of fast and slow storage reservoirs reducing hydropower wear and tear for Grid benefits

Utförare: Danilo Laban

Handledare: Urban Lundin

UU





SIMULERINGAR FÖR ATT MINSKA SKADLIGA FLÖDEN FÖR TURBINER

Vattenturbiner är föremål för ett ökande antal start och stopp på grund av att mer vindkraft införs i kraftsystemet. Med hjälp av numeriska simuleringar är målet att minska förekomsten av skadliga flöden som påverkar turbinernas livslängd negativt.

Jelle Kranenborg analyserar en prototyp av Porjus Ug med hjälp av numeriska simuleringar. Målet är att studera och förstå hur flödesförändringar uppstår:

– När mer vindkraft införs i systemet leder det till att turbiner utsätts för ett ökande antal start och stopp eftersom det är vattenkraften som får balansera elsystemet. Vattenkraften är den kraft som kan reglera hur mycket el som produceras och skapar på så sätt en balans på elnätet mellan produktion och konsumtion.

Speed-no-load (SNL)

När turbinen måste arbeta under tomgångsförhållanden, (speed-no-load), dvs. turbinen arbetar med sin synkrona hastighet utan kraftgenerering sliter det mycket på turbinen.

– Att man kör turbinen i läget SNL, betyder att den roterar, men det finns ingen last. Man kör i det läget för att ha en buffert. Eftersom turbinen är i gång, blir det lätt att koppla in den på elnätet och det går snabbt!

Skadliga pulsationer

Vissa turbiner kan behöva arbeta vid djuplast under längre tid. Ett instabilt återcirkulerande område kan då utvecklas. Det instabila området kan producera lågfrekventa tryckpulsationer som kan minska livslängden på turbinen och ibland störa rotorns naturliga frekvens, vilket begränsar turbinens funktion. Det behövs mer kunskap om det här flödesfenomenet med tanke på att turbinerna kommer att belastas hårdare i framtiden med mer vindkraft i energisystemet.

Porjus Ug-modellen

Det här projektet syftar till att i detalj undersöka orsakerna till de här flödesfenomenen med hjälp av experimentella och numeriska verktyg. Porjus Ug-modellen kommer att användas för

undersökningen eftersom mätningar på motsvarande prototyp indikerar förekomsten av det här fenomenet.

Flödesstruktur

Experimentella mätningar kommer att användas för att få insikter i flödesstrukturen och validera de numeriska resultaten. De numeriska resultaten kommer att användas för att förstå mekanismen som leder till pulsationerna.

– Jag började med att köra simuleringar av modellen vid maximal verkningsgrad, alltså den last som modellen är optimerad för med ett visst flöde av vatten. När jag drog ned på lasten, insåg jag att fler och fler problem uppstår ju längre vi kommer från punkten för maximal verkningsgrad.

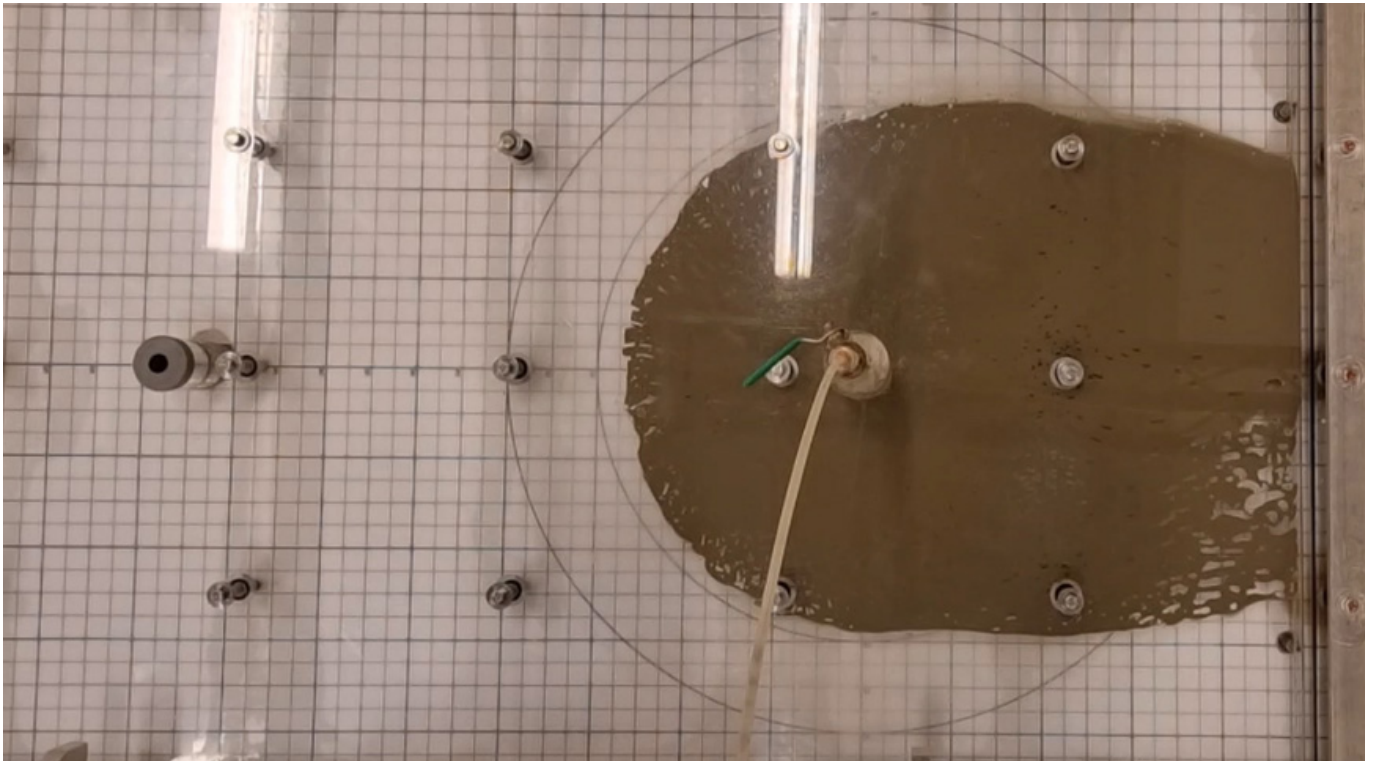
Jelle Kranenborg använder olika typer av turbulensmodeller för att modulera flödet.

– Det går oftast fort att simulera. De här modellerna används inom vattenkraftindustrin också. Modellerna klarar enkla flöden hyfsat bra, men blir det mer roterande flöden, uppstår genast problem. Uppstår det väldigt mycket turbulens kan inte modellen återskapa vad som händer i flödet. I det här projektet försöker vi alltså utveckla de modeller som finns, för att återskapa vad som händer i flödet. Det här projektet är viktigt för att förstå vad som händer med turbinerna vid låg last. Det är ett verkligt problem som vattenkraftsindustrin nu via SVC tar tag i.

Instabilities at deep part load and speed no load conditions in axial turbines

Utförare: Jelle Kranenborg
Handledare: Michel Cervantes
LTU





TRYCKAVLASTNINGSHÅL KAN MINSKA EROSION PÅ INJEKTERINGSRIDÅER

Svenska dammar är gamla och deras åldrande injekteringsridåer kan äventyra dammens säkerhet. Därför är det av stor betydelse att undersöka hur injekteringsridåer påverkas av strömmande vatten i bergsprickor när reparationsinjektering utförs. I det här projektet undersöks hur injekteringsridåer interagerar med endimensionellt vattenflöde under dammar.

Suihan Zhang från KTH som är utförare i projektet har haft tre mål med projektet och det är för det första att utveckla en designmetodik för reparationsinjektering baserat på befintliga teorier. Det andra målet är att undersöka tryckavlastningshål som ett sätt att minska den hydrauliska gradienten i berggrunden av en damm och slutligen att undersöka hur erosion på injekteringsridåer initieras och utvecklas. Testresultaten visar att vattenflöden orsakar betydande erosion på injekteringsridån.

Tryckavlastningshål

Den nya metoden som Suihan utvecklar handlar om att borra ett tryckavlastningshål i berggrunden till uppströmssidan av injektionsridån för att lätta på trycket och minska påfrestningen på injekteringsridån.

– Vi har bara preliminära resultat än så länge men de visar att det hjälper att borra ett hål under dammen. Men innan vi kan dra några slutsatser måste vi göra fler tester och jämförelser vilket är vad vi kommer att ägna oss åt under de kommande månaderna i projektet, säger Suihan Zhang.

Implementering av metoden

När det gäller metodens implementering säger Suihan Zhang så här:

– Referensgruppen har varit till stor hjälp och visat stort intresse för projektet. Det kommer att bidra till att resultaten från projektet kan implementeras snabbare, eftersom vi har haft ett så nära samarbete med branschen.

Injektering

Metodiken som Suihan utvecklar förväntas ge vattenkraftindustrin vägledning och instruktioner om hur injekteringen bör utformas och under vilka förhållanden som den förväntas bli framgångsrik.

Remedial grouting in rock foundations under dams

Utförare: Suihan Zhang
Handledare: Fredrik Johansson
KTH





METOD FÖR ATT MÄTA BERGEROSION

I det här projektet tillämpas numeriska CFD-DEM-beräkningar för första gången på modellering av bergerosion. Jämförelse mot resultat från ett tidigare experiment visar på goda resultat och kan i framtiden leda till en metod för att kunna prediktera blockerosion nedströms utskov.

I flera av Sveriges dammar har man observerat bergerosion i spillfårar i nedströms utskovskanaler, men det är svårt att förutsäga när bergerosion ska inträffa.

– Utmaningen ligger i att processen involverar komplexa interaktioner mellan strömmande vatten och bergblock, berättar Penghua Teng som genomför projektet med kollegor på KTH och LTU.

I nuläget är semi-empiriska och fysiskt baserade metoder de mest populära metoderna för att utvärdera bergerosion. Ett av de semi-empiriska tillvägagångssätten är EIM-metoden som har tillämpats av Persson och Eriksson (2018).

– Persson och Eriksson menar dock att metoden fortfarande är otillräcklig för att utvärdera bergerosion i Sveriges dammar. Å andra sidan har fysiska modelltester av bergerosion svårt att ta hänsyn till både flödet och kraften som påverkar bergblock samtidigt.

Bergerosion i nedströms utskovskanaler

Syftet med projektet att undersöka möjligheterna att använda den kopplade CFD-DEM-metoden för att utvärdera bergerosion i nedströms utskovskanaler, berättar Penghua Teng:

–Jag tycker att det viktigaste resultatet av projektet är att den kopplade CFD-DEM-metoden skulle kunna utvecklas vidare för att tillämpas på mer komplexa bergerosionsprocesser.

Numerisk metod

Projektresultaten har visat att den numeriska metoden kan förutsäga bergerosionsprocesser för ett enskilt bergblock.

– Metoden behöver dock fortfarande vidareutvecklas för att kunna implementeras i branschen, vilket är nästa fas i arbetet. Baserat på resultaten behövs en känslighetsstudie av vilka parametrar som styr bergerosion.

Aktiv referensgrupp

Referensgruppens medlemmar i projektet kommer från olika företag som Vattenfall, Uniper och Norconsult. Vi hade under projektets gång flera möten och medlemmarna gav mycket värdefull feedback.

Viktig metod för säkerheten i dammar

Projektresultaten kommer att publiceras i en vetenskaplig artikel och skrivas som en SVC-rapport. För närvarande är manuskriptet till tidskriftsartikeln färdigt och kommer att skickas till tidskriften "Advances in Water Resources (Impact factor: 4.5)".

– Om den här metoden utvecklas ytterligare kan den verkligen komma till nytta i det förnybara energisystemet, eftersom den kan förutsäga bergerosion i dammar och säkerställa dammens säkerhet, avslutar Penghua Teng.

Modelling rock block scour
using a CFD-DEM approach

Utförare: Penghua Teng
Handledare: Fredrik Johansson
KTH





METOD FÖR ATT BEDÖMA BERGSPRICKOR UNDER DAMMAR

Att kunna bestämma bergsprickors skjuvhållfasthet är viktigt för att kunna bestämma säkerheten för glidning i dammar där det finns utbredda bergsprickor. Det är svårt att bedöma skjuvhållfastheten eftersom den påverkas av sprickornas råhet, vittringsgrad, normalspänning med mera.

Francisco Rios Bayona på KTH har utvecklat en metodik som gör att man på ett mer tillförlitligt sätt kan uppskatta skjuvhållfastheten för storskaliga sprickplan.

– Jag började med att observera parametrar i fält i bergsprickor vid Storfinnforsen och Krångede. Jag använde mig av kärnboring med filmning av borrhål, optisk scanning av spricktytor och studerade spår av sprickor som är synliga på bergväggar.

Ett viktigt resultat är också att vi nu kan visa på det går att bedöma hållfastheten på sprickorna under dammarna via den här typen av undersökningar i fält.

– Det har inte varit självklart att det går. Vi har tagit fram en analytisk ekvation för att kunna prediktera hållfastheten, sen har vi också validerat vår metodik i labbet med tester.

Skjuvhållfastheten för sprickplan i berggrunden är en viktig fråga när man ska göra analyser av stabiliteten i en damm eftersom parametern är direkt avgörande för dammens stabilitet.

– Nu har vi tagit fram en bättre beskrivning av skjuvhållfastheten så att kostnaderna för onödiga förstärkningar av dammar kan minska.

Metodiken är viktig eftersom den ökar kunskapen om dammars verkliga säkerhet på flera plan.

– Vi har ett antal dammar i Sverige och övriga världen som är gamla. Riktlinjerna för hur de skulle byggas, i början och i mitten av 1900-talet, var väldigt annorlunda mot idag. Vi ser ett mer Utmanande klimat idag till följd av klimatförändringarna. I somras såg vi till exempel extremregn i Gävle. Är våra dammar tillräckligt säkra för att klara av stora vädersvängningar? Vad behöver vi veta för att se till att strukturen i dammen är säker? Via den metodik vi har utvecklat kan vi få många svar på det.

Artiklar

Francisco Rios Bayona har fått två artiklar accepterade i den prestigefyllda tidningen Rock Mechanics och Rock Engineering och har fått positiva granskningskommentarer från tidskriften Bulletin of Engineering Geology.

Modelling scour of rock spillways

Utförare: Francisco Rios Bayona
Handledare: Fredrik Johansson
KTH





NY BILDANALYTEKNIK KAN MÄTA 3D-HASTIGHET I STRÖMNING

Tack vare ett nytt fotogrammetriskt tillvägagångssätt är det nu möjligt att mäta flödes hastigheten i anläggningsnära strömning på ett mycket effektivare sätt än vad som tidigare varit möjligt.

Projektet *Fotogrammetri för anläggningsnära flödesmätning* beskriver ett fotogrammetriskt tillvägagångssätt med flera kameror för att mäta 3D-hastigheten för anläggningsnära strömning – något som normalt kräver omfattande utredningsarbete på grund av komplicerad geometri, stora volymer, transienta effekter

Mätning av flöden i närheten av vattenkraftverk är extra viktigt till exempel vid upprustningar, optimering av vattenutnyttjandet eller ändrade driftsförhållanden. Tidigare teknik har inte gett tillräckligt bra information om flödesrelaterade parametrar som till exempel erosion, avbördningskapacitet och hydrauliska laster; information som är viktig för att ge en rättvis bild av anläggningens status och kunna identifiera eventuella avvikelser.

– Vattenhastighet är viktig information när anläggningars status ska bedömas. Men den data som dagens teknik tillhandahåller är inte tillräcklig och ibland omöjlig att använda i vissa situationer på grund av begränsningarna i applikationerna, säger Hang Trieu, utförare i projektet.

Användningen av ny bildanalysteknik gör det möjligt att fånga ytvattenhastighetsfördelningen över ett stort område utomhus utan störningar av normal anläggningsdrift. Syftet med projektet "Fotogrammetri för anläggningsnära flödesmätning" är därför att tillhandahålla fotogrammetriska verktyg för analys och bedömning av till exempel vid upprustning av anläggningar och optimering av förändrade driftförhållanden.

Unikt för de verktyg som nu utvecklas är att de kan nyttja informationen som finns i de strukturer och rörelser som finns på ytan av strömmande vatten. Ambitionen är att använda befintliga metoder för att utveckla nya applikationer och koncept som lätt kan implementeras av tekniska aktörer och företag inom vattenkraften.

2021 uppmärksammades projektet i den internationella tidskriften MDPI, publikationen heter Photogrammetry for Free Surface Flow Velocity Measurement: From Laboratory to Field Measurements.

Fotogrammetri för
anläggningsnära flödesmätning

Utförare: Hang Trieu
Handledare: Gunnar Hellström
LTU





CFD – ETT VERKTYG FÖR ATT ÖKA SÄKERHETEN I DAMMANLÄGGNINGAR

Avbördningsanordningen är otroligt viktig ur säkerhetssynpunkt i en dammanläggning. Forskare på KTH arbetar med att utveckla verktyget CFD – Computational Fluid Dynamics som kan användas för att analysera och utveckla säkerheten i en damm.

För säkerheten runt dammar har korrekt och tillförlitlig modellering av utskovsavgörningen stor betydelse. För att utskoven vid en damm ska vara säkra är det viktigt att det finns tillräcklig kapacitet i utskoven, att känna till rinnans flödesförhållanden och att energi kan avledas på ett effektivt sätt. Studier visar att många befintliga svenska utskov i framtiden kommer att drabbas av högre flöden än vad de ursprungligen är konstruerade för.

Att göra modelltester i laboratorium är idag det vanligaste sättet att undersöka utskovets kapacitet och energiförlusten. I en fysisk skalmodell återges dock inte alla parametrar korrekt, eftersom det inte finns några etablerade uppskalningskriterier tillgängliga. Projektet ska undersöka om det är möjligt att göra trovärdiga Computational Fluid Dynamics (CFD)-simuleringar av tvåfasströmning för att få en säker utskovsavgörning.

För att garantera avbördningssäkerheten behöver vi vidareutveckla och anpassa CFD, berättar James Yang på KTH:

– Med hjälp av CFD kan vi undersöka tekniska problem som handlar om till exempel flerfasströmningar i en damm. Vi kan också undersöka hur hydrauliska laster påverkar konstruktioner och berg. CFD gör det också möjligt att utveckla lösningar för energiomvandling vid avbördning.

I projektet anpassar och utvärderar James Yang och hans kollegor, CFD-modeller för utskovsavgörning vid hög flödeshastighet. Numeriska resultat jämförs sedan med experimentella data. Viktiga parametrar är avbördningskapacitet, luftinblandning, luftningsbehov och flöde, dynamiska belastningar, luftkoncentration och säkerhetsmarginal. Målet med projektet är att utveckla kvalitetssäkrade och tillförlitliga

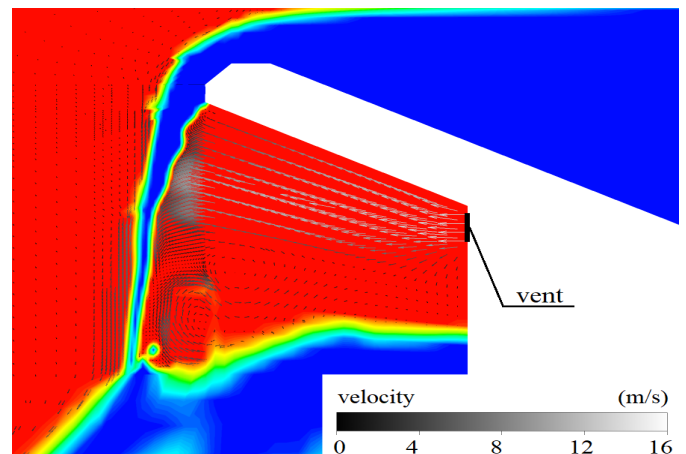


Illustration från CFD som visar flöde över ett pianoutskov.

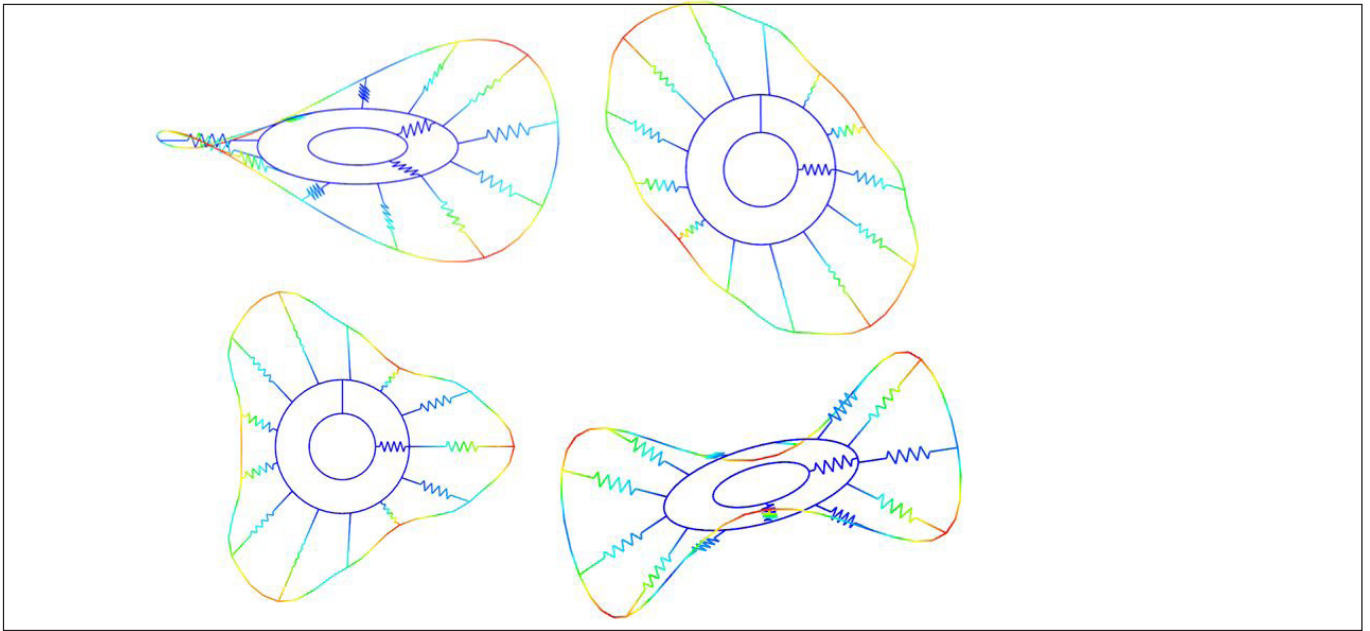
litliga verktyg för modellering av utskovstappningar och bidra till säker avbördning, berättar James Yang:

– CFD är också ett viktigt verktyg för att reducera riskerna vid ombyggnation av dammar, något som är viktigt nu när arbetet med den nationella planen är igång. Om man förstår fysiken vid utskovstappning kan man också göra utsläppen från vattenmagasinen mycket säkrare, avslutar James Yang.

Trovärdiga CFD simuleringar av tvåfasströmning för säker utskovsavgörning

Utförare: James Yang
KTH/Vattenfall





UTVECKLING AV GENERATORER MED LÅNG LIVSLÄNGD

Det är viktigt för framtidens energisamhälle att vattenkraftens generatorer är tillräckligt kraftfulla och har en lång livslängd. Syftet med det här projektet är att utveckla modeller och simuleringsteknik för att bedöma hållfasthet i rotor och generator, särskilt för generator med flytande rotorring.

David Rondon på Luleå tekniska universitet har tagit fram en ny typ av dynamisk modell för en generator. Med hjälp av modellen kan man beräkna funktionalitet och säkerhet hos generatorerna.

– Vi har utvecklat en egen modell, en 2D modell med MATLAB. Med hjälp av modellen kan vi beskriva dynamiken i flytande rotorringar. Vi har jämfört resultaten från modellen med verkliga mätningar i Stornorrfors. Vi kan via modellen se hur rotorringen ska expandera för att vi ska få kraftfulla generatorer som håller länge, berättar David Rondon.

Elektromagnetisk interaktion

Med modellen kan man också beräkna kraft i lagren och hur elektromagnetisk interaktion påverkar dynamiken.

– Det är viktigt för det framtida energisamhället att kunna beräkna funktionalitet och säkerhet så att vi kan konstruera generatorer som är mer kostnadseffektiva och pålitliga än dagens.

Stel kropp

Modeller för vattenkraftgeneratorer har hittills behandlat rotordelen som en stel kropp utsatt för magnetisk dragning, men den verkliga rotorn är betydligt mer elastisk och innehåller flera komponenter som borde vara med i modellen. Nya generatorer är generellt mer elastiska konstruktioner än de äldre och det leder till att vibrationer kan undvikas.

Magnetisk obalans

David Rondon har tillsammans med sina forskarkollegor kommit fram till att den elektromagnetiska kraftfördelningen hos deformerade rotor är ojämn, vilket skapar magnetisk

obalans. Det leder till att höga krafter påverkar generatorns komponenter. I långa loppet leder det till risk för utmattning, och att maskinernas livslängd förkortas.

Magnetiserade poler

David Rondon har också utfört simuleringar med och utan radiella elektromagnetiska krafter för att visa på hur närvaron av magnetiserade poler ytterligare deformerar rotorns former.

Artiklar

David Rondon har publicerat tre vetenskapliga artiklar i ämnet:

- Dynamic model for hydropower generators with floating rotor rim
- Rotordynamic Characterization of Tilting-Pad Bearings With Eight Pads in Vertical Rotors
- Effect of unbalancing mass placement in hydropower generators with floating rotor rim

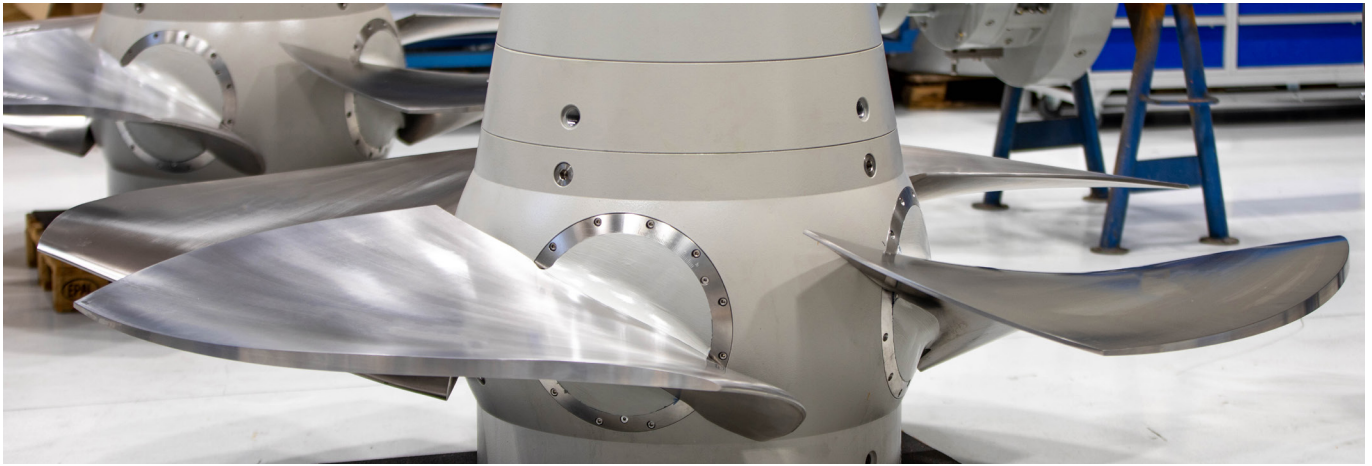
Licentiatavhandling 202-03

Dynamic Modeling of Hydropower Generators, Luleå University of Technology

Modeller för mekanisk analys av flytande rotorring

Utförare: David Rondon
Handledare: Jan-Olov Aidanpää
LTU





PREDIKTERING AV ÅTERSTÅENDE LIVSLÄNGD I KAPLANNÄV

Det här projektet har undersökt hur parametrar som glidhastighet, kontaktryck och glidamplitud påverkar friktion och nötning av de självsmörjande polymera lagermaterial som används i vattenkraftapplikationer.

Kunskap om hur lagermaterial i vattenkraftapplikationer nöts och vilka friktionsegenskaper de förväntas ha under olika typer av driftförhållanden, är mycket viktig för att kunna bedöma haveririsk, planera underhåll och undvika för tidiga utbyten av material. Energiomställningen bidrar till tuffare krav på vattenkraften med fler start och stopp, och den upptrappade frekvensregleringen har bidragit till ett ökat antal belastningscykler på kritiska komponenter såsom självsmörjande lager i vattenkraftturbiner.

Industrin rapporterar om lagerhaverier

En del av vattenkraftens förändrade driftförhållanden är att traditionellt oljesmörjda bronslager till stor del har ersatts med självsmörjande polymera kompositlager för att minska risken för oljeläckage från löphjulet. Livslängden för dessa lager är ca 40 år men industrin har rapporterat om fler lagerhaverier långt innan beräknad lagerlivslängd. Det finns alltså ett stort behov av ökad kunskap om hur olika arbetsförhållanden påverkar friktion och slitage av de självsmörjande lagren i en kaplanturbin.

Friktion och nötning

Maria Rodiouchkina på Luleå tekniska universitet har undersökt hur olika parametrar påverkar friktionen och nötningen och hon har utvecklat en testmetodik för att utvärdera lagermaterial som används i ledskenor och skovelregleringen i kaplanturbiner. I projektet studerades även mikrostruktur och sammansättning av tre kommersiella lagermaterial som används i vattenkraftturbiner.

Drift vid lägre hastighet rekommenderas

Resultaten visar en ökad nötningstakt med ökad slaglängd för lagermaterialen. I studien om effekten av glidhastighet och kontaktryck visar resultaten att låga glidhastigheter och höga kontaktryck ger lägsta friktions- och nötningkoefficienter för de testade lagermaterialen. Drift vid lägre glidhastigheter kan därför rekommenderas, då de ger lägre friktionskoefficient. Genom att optimera lagerutformning utifrån arbetsförhållanden samt underlätta materialval för lager i kaplanturbiner, kan lagerlivslängden optimeras, vilket är bra både för miljön och även

ur ett ekonomiskt perspektiv. Dessutom kan man säkerställa bättre tribologiska prestanda hos lagren.

– Resultaten från det här projektet kan användas för att optimera lagerutformning utifrån arbetsförhållanden samt som underlag vid lagermaterialval. De kan dessutom användas för att ta fram numeriska modeller för att prediktera återstående lagerlivslängd, säger Maria Rodiouchkina.

Publikationer

Doktorsavhandling

Tribology of self-lubricating polymer composites for hydropower applications Luleå University of Technology, 2022.

Artiklar

- A novel reciprocating tribometer for friction and wear measurements with high contact pressure and large area contact configurations, *Lubricants*, vol. 9, no. 12, 2021.
- Tribological behaviour and transfer layer development of self-lubricating polymer composite bearing materials under long duration dry sliding against stainless steel, *Wear*, vol. 484–485, 2021.
- Influence of Counter Surface Roughness and Lay on the Tribological Behaviour of Self-Lubricating Bearing Materials in Dry Sliding Conditions at High Contact Pressures, *Lubricants*, vol. 10, no. 8, 2022.
- Effect of stroke length on friction and wear of self-lubricating polymer composites during dry sliding against stainless steel at high contact pressures, *Wear*, vol. 502–503, 2022.

Prediktering av återstående lagerlivslängd i kaplannäv

Utförare: Maria Rodiouchkina
Handledare: Kim Berglund
LTU





NUMERISK FLÖDESMODELLERING KAN UPPTÄCKA DEFEKTER I FYLLNINGSDAMMAR

Det här projektet utvecklar förbättrade övervakningstekniker för tidig upptäckt av inre erosion i fyllningsdammar. Syftet är att med hjälp av 3D-inversionsmodeller av ERT-data upptäcka begynnande erosion i tåtkärnan i ett tidigare skede än vad som är möjligt idag.

Flera svenska fyllningsdammar har drabbats av inre erosion i tåtkärnan. Dagens instrumenterings- och övervakningssystem kan ofta inte upptäcka skador relaterade till inre erosion vid ett tidigt stadium, vilket har lett till att händelseförloppet gått mycket längre än vad det hade behövt göra.

Mäta erosion i tidigt skede

De tekniker och metoder som finns tillgängliga idag är begränsade i sina möjligheter att installera sensorer i eller nära kärnan av befintliga dammar. Det finns därför ett betydande behov av att utveckla instrumenteringstekniker som har förmågan att upptäcka erosion i ett tidigt skede.

Projektet utvecklar förbättrade övervakningstekniker för tidig upptäckt av inre erosion i fyllningsdammar. Studien utvecklar tekniken för 3D-inversionsmodellering av ERT-data (electrical resistivity tomography) från fyllningsdammar, och utvärderar metodens kapacitet att upptäcka och lokalisera defekter orsakade av konstruktionsbrister eller inre erosion.

Data från Älvkarleby

Resultaten från ERT-utvärdering ligger tillsammans med andra tillgängliga data till grund för en FEM-modell (finita elementmetoden) för numerisk flödesmodellering i 3D som ska utvärderas mot läckagemätningar. Studien genomförs med data från testdammen i Älvkarleby som testexempel, vilken har ett antal inbyggda simulerade defekter.

– Projektet ska koppla ihop resultat från geofysisk övervakning med flödesmodellering genom att basera den numeriska flödesmodellen på bland annat de geofysiska resultaten, säger Torleif Dahlin, utförare i projektet.

Projektet startade under hösten 2022 och fortsätter under ett år i det nya centret. Projektresultat ska presenteras i en vetenskaplig artikel och konferensbidrag.

Working group for Integrating electrical resistivity results interpretation with numerical flow modelling for detection of internal defects in embankment dams:
Torleif Dahlin, Engineering Geology, LTH Reyhaneh Norooz, Engineering Geology, LTH /SWECO Sverige AB Léa Lévy, Engineering geology, LTH Per Ivar Olsson, Engineering Geology, LTH Aristeids Nivorlis, Engineering geology, LTH Thomas Günther, LIAG (Leibnitz Institute of Applied Geophysics), Hannover.

Integrating electrical resistivity results interpretation with numerical flow modelling for detection of internal defects in embankment dams

Handledare: Tor-Leif Dalin
LTH





SNABBARE UPPTÄCKT AV INRE EROSION OCH LÄCKAGE

Det här projektet utvecklar teknik för övervakning av tåtkärnan i fyllningsdammar så att inre erosion och onormalt läckage kan upptäckas och åtgärdas i tidiga skeden.

Inre erosion är den vanligaste orsaken till stabilitetsproblem i fyllningsdammar och det är ofta svårt eller omöjligt att upptäcka innan det gått så långt att det uppstår sjunkhål i dammen. Övervakning genom instrumentering med elektrisk resistivitetstomografi (ERT), eller DCIP-tomografi som är en vidareutveckling av ERT, kan följa processer inne i tåtkärnan i dammar, något som är av extra stort behov i åldrande fyllningsdammar. Instrumentering kommer vara ett viktigt verktyg för att kunna upptäcka förändringar i ett tidigt skede så att lämpliga åtgärder kan införas med minsta möjliga påverkan på produktionen.

Hög datakvalitet krävs

Resultaten från tidigare instrumenteringsundersökningar från bland annat Vattenfalls testdamm i Älvkarleby visar att det behövs hög datakvalitet för att kunna detektera inre erosion och onormalt läckage. Därför har projektet Anpassning av övervakning med DCIP tomografi för förvaltning av fyllningsdammar, som avslutas i slutet av 2023, haft som mål att utveckla mätmetodik och mätteknik för geoelektrisk övervakning av fyllningsdammar med hjälp av med förbättrad och kvantifierad datakvalitet, och utvidgning av metoden från ERT till DCIP-tomografi.

Försök i fyra dammar

Mättekniska försök har utförts på fyra existerande dammar med befintliga installationer av elektrodutlägg. Mätdata från testmätningarna har analyserats med fokus på konditionen för elektrodinstallationer som gjordes för 15-21 år sedan, samt på signalstörningar från till exempel elkraftsanläggningar.

Resultaten visar bland annat att elektroderna som utgörs av rostfria stålplåtar står sig väl och ger mätdata av god kvalitet, medan de så kallade icke-polariserbara elektroderna ger mättekniska problem.

– Det behövs ytterligare forskning kring hur man kan installera de elektrodutlägg som används för övervakningen så att man får tillräckligt bra upplösning av tåtkärnan utan risk för att skada dammen. Det skulle kunna inkludera användning av befintliga metallobjekt i dammarna som elektroder, till exempel rör för vattennivåmätning, som annars utgör en störkälla, säger Torleif Dahlin, utförare i projektet.

Algoritmer anpassas

Algoritmerna för datahantering anpassas och automatiseras nu vidare för att kunna integreras i ett standardiserat system för dammätningar. Dessutom skapas en prototyp till ett kostnadseffektivt mätinstrument, som kan anpassas för fast installation vid dammanläggningar - prototypen ska sen utvärderas i fält.

Projektet är försenat och kommer att fortsätta i det nya kompetenscentret.

Anpassning av övervakning med DCIP tomografi
för förvaltning av fyllningsdammar
Projektledare: Tor-Leif Dalin
Utvecklingsingenjör Per Hedblom
Postdoktor Per-Åke Olsson
Doktorand/utvecklare: Aristeidis Nivorlis





UTVECKLING AV KOMPONENTER FÖR ÖKAD DÄMPNING I VATTENKRAFTROTORER

För stora vibrationer i vattenkraftrotorer kan leda till haveri. Gudeta Benti på LTU undersöker hur komponenter kan utformas för att dämpa vibrationerna.

I projektet ingår undersökningar av lager och andra dämpningssystem där egenskaperna ska optimeras för vattenkraftsrotorer. Dessutom utvecklas en förenklad lagermodell för vertikala rotorer.

– Jag studerar dynamiska egenskaper hos stödstrukturer, bestående av till exempel lager och squeeze-filmdämpare, i vertikala maskiner. Dessa komponenter är avgörande för en systemdämpning som kan minska vibrationer. I vattenkraftverk är det viktigt att undvika vibrationer som kan leda till haverier eftersom det kan leda till stora ekonomiska förluster, säger Gudeta Benti.

Utvärdera lager och squeeze-film dämpare

Generellt sett är stödstrukturer en av de viktiga komponenterna som måste beaktas när man studerar rotordynamik. De kan dämpa vibrationer, men kan också vara en källa till vibrationer.

– Vi studerade och jämförde de dynamiska egenskaperna hos olika glidlager experimentellt och numeriskt. Andra dämpningssystem, till exempel squeeze-film spjäll, undersöker vi också, för att se om de kan vara användbara inom vattenkraft.

Förenkling av simuleringsmetoden

Gudeta Benti jobbar med att förenkla simuleringsmetoden för vertikala rotorer:

– De klassiska metoderna som har använts till de här beräkningarna är väldigt tidskrävande så jag utarbetar en förenklad beräkningsmodell. Förenklingen gjorde simuleringen snabbare och modellen är användbar för tunga simuleringar som är opraktiska att lösa med den klassiska numeriska proceduren. Startförlopp simulerades med den utvecklade modellen och utvärderades i en testrigg som genomfördes i Älvkarleby vid Vattenfalls provanläggning.

Viktigt för framtida vattenkraft

Förhoppningen är att vattenkraftindustrin ska få stor nytta av de här beräkningarna:

– Det är centralt för framtidens vattenkraft att kunna minska de här vibrationerna i rotorerna och det blir särskilt viktigt när det nu är kris i elbranschen.

Konferensbidrag

• Experimental Investigation on Dynamics of a Flexible Rotor (2022) Benti. G, Gustavsson. R, Aidanpää. J. Ingår i: Svenska Mekanikdagar 2022, Luleå tekniska universitet, 2022.

Artiklar i tidskrifter

- Numerical and experimental study on the dynamic bearing properties of a four-pad and eight-pad tilting pad journal bearings in a vertical rotor (2022) Benti. G, Rondon. D, Gustavsson. R, Aidanpää. Journal of energy resources technology, Vol. 144, nr. 1.
- Speed-Dependent Bearing Models for Dynamic Simulations of Vertical Rotors (2022) Benti. G, Gustavsson. R, Aidanpää. J. Machines, Vol. 10, nr. 7.

Licentiatavhandling

Nonlinear dynamic analysis of vertical rotors with tilting pad journal bearings, Luleå University of Technology 2022-01.

Utveckling av komponenter för ökad dämpning i vattenkraftsrotorer

Utförare: Gudeta Benti
Handledare: Jan-Olov Aidanpää
LTU





KONTAKTUPPGIFTER

Vattenbyggnad

Uppsala universitet
Chris Juhlin
christopher.juhlin@geo.uu.se

Kungliga tekniska högskolan
Fredrik Johansson
fredrik.johansson@byv.kth.se

Richard Malm/Erik Nordström
enords@kth.se

Luleå tekniska universitet
Gabriel Sas
gabriel.sas@ltu.se

Gunnar Hellström
Gunnar.Hellstrom@ltu.se

Jan Laue
jan.laue@ltu.se

Robin Andersson
robin.andersson@ltu.se

Lunds tekniska högskola
Torleif Dahlin
torleif.dahlin@tg.lth.se

Vattenfall

James Yang
james.yang@vattenfall.com

Turbiner och generatorer

Chalmers
Håkan Nilsson
hani@chalmers.se

Luleå tekniska universitet
Jan-Olov Aidanpää
Jan-Olov.Aidanpaa@ltu.se

Kim Berglund
kim.berglund@ltu.se

Michel Cervantes
Michel.Cervantes@ltu.se

Uppsala universitet



TVÄRVETENSKAPLIGA PROJEKTET I NYA SVC

Nu drar det nya centret Svenskt centrum för hållbar vattenkraft igång. Centret är en vidareutveckling av det tidigare Svenskt vattenkraftcentrum. Nytt är att vattenkraftcentret nu även arbetar med området Miljö och samhälle, utöver de tidigare kompetensområdena Vattenbyggnad respektive Vattenturbiner och generatorer. Centret ska även driva ett antal tvärvetenskapliga projekt där olika kompetenser möts och arbetar tillsammans.

Svenskt centrum för hållbar vattenkraft ska bidra med kunskapsbaserade lösningar för att:

- Säkerställa säkra vattenkraftanläggningar med fortsatt långa livslängder.
- Förenkla implementation av miljöförbättrande åtgärder i ekosystem som påverkats negativt av vattenkraften.
- Optimera hur vattnet används i reglerade vattendrag med avseende på förnybar och fossilfri elproduktion, biodiversitet och ett klimat i förändring.

Svenskt centrum för hållbar vattenkraft är resultatet av en utlysning om kompetenscentrum (KC) för ett hållbart energisystem som Energimyndigheten genomförde under 2020 och 2021. Det var ett stort intresse för utlysningen och av de 29 ansökningar som lämnades in beslutade Energimyndigheten att dela ut stöd till 11, varav Svenskt centrum för hållbar vattenkraft var en av de större satsningarna med en totalbudget på 279 miljoner kronor fördelade över fem år.

Säkra anläggningar med hög leveranssäkerhet

En ständigt aktuell utmaning för vattenkraften är att bibehålla säkra anläggningar och samtidigt erbjuda hög leveranssäkerhet av el i den åldrande vattenkraftsparken. Det berättar Emma Hagner som är programansvarig på Energiforsk för kompetenscentret.

–Många vattenkraftverk byggdes ut på mitten av 1900-talet. De börjar uppnå sin tekniska livslängd. Det är en utmaning att se var de mesta kostnadseffektiva insatserna ska göras. Det finns stora behov av underhåll och det handlar mycket om att lära sig att tolka utrustningen och anläggningen, håller det här? Kan vi vänta ytterligare några år med att byta ut turbinen? Eller riskerar vi att maskinen havererar och vi inte kan producera någonting? Det här tänket finns med hela tiden ute hos kraftverksägarna.

Miljöaspekterna i fokus

I fokus just nu är miljöaspekterna på vattenkraften och de kommande miljöprövningarna oavsett det faktum att prövningarna pausas enligt ett regeringsbeslut. Det behövs mer kunskap om effekter av miljöåtgärder, biologiska effekter och hur de i sin tur påverkar produktion och effekttillgång.

– Att hitta mer kunskap om det är en superutmaning och här har SVC en stor och viktig roll att spela. I Sverige har rent historiskt inte teknik- och miljöteam jobbat så mycket tillsammans, man har istället jobbat lite på sin egen kammare. Samarbetet måste bli starkare och nu finns kompetensen samlad i ett center. Tillsammans kan vi arbeta för att få fram ett bättre kunskapsunderlag kopplat till de kommande omprövningarna av vattenkraften så att vi tar kloka beslut där, säger Emma Hagner.



Modeller som bättre speglar verkligheten behövs

Emma Hagner tycker att vattenkraftmodellerna som används i energisystemstudierna är väl trubbiga och att de inte visar verkligheten på ett tillräckligt bra sätt:

– Både branschen och Energimyndigheten måste få en bättre förståelse kring hur energisystemet påverkas av omprovningarna av vattenkraften. Det måste till en förståelse på älv- och systemnivå istället för att bara studera vad som händer på ett kraftverk. Vad händer om man gör de förändringar uppströms i älven och hur påverkar de längre ner. Hur förändras körsättet i en älv av begränsningar i en annan? Här ser jag att vi behöver mer kunskap och SVC kan medverka till att arbeta fram underlag till modeller som ger en mer realistisk bild av hur produktionen påverkas av olika åtgärder och i förlängningen hur energisystemet i Sverige påverkas.

Miljö och samhälle

I nya SVC, som har miljö och samhälle med, är redan ett tvärvetenskapligt projekt igång. Det handlar om att man ska göra en digital tvilling av en älvsträcka, där man kan modulera olika flöden och se hur det påverkar olika miljöaspekter i älven.

– I praktiken kan vi då visa på vad följden skulle kunna bli av att Länsstyrelsen till exempel föreslår att vi ska tappa av ett antal kubikmeter vatten per sekund bredvid kraftverket för att förbättra miljön nedströms för en särskild art. Då kan vi kanske återkoppla att det enligt modellering inte verkar blir så fantastiska resultat för miljön som man kan tro, och att vi istället kan föreslå en mer dynamisk tappning och att man släpper på mer

vatten under vissa tillfällen under året. På det sättet får vi kunskapsbaserade villkor istället för trubbiga medelvärden.

Klimatförändringarna

En annan stor utmaning är hur klimatförändringar kommer att påverka vattenkraften. Redan i ansökan för centret till Energimyndigheten formulerades en tvärvetenskaplig projektidé med målet att förstå hur klimatförändringarna påverkar vattenkraftens roll i kraftsystemet och hur klimatförändringarna påverkar miljökonsekvenserna från vattenkraften i älvarnas ekosystem.

Workshop 2023

Under 2023 kommer centret genomföra en workshop för att föra samman centrets olika kompetensområden och för att arbeta fram ett skarpt projektförslag.

– Klimatförändringarna kommer få en stor påverkan på vattenkraften: säkerhetsmässigt för dammarna, för miljön och för produktionen. Det kommer att bli ett av de viktigaste områdena att ta itu med i SVC under de kommande åren!

Emma Hagner

Ansvarig för
Svenskt centrum för hållbar vattenkraft
Energiforsk



SVENSKT VATTENKRAFTCENTRUM 2018-2022 – SYNTESRAPPORT

Den här syntesrapporten berättar om den verksamhet som har bedrivits i Svenskt vattenkraftcentrum under åren 2018-2022. En lista över alla projekten som genomförts presenteras och vi har också valt att djupdyka i några av projekten för att ge en brederare bild av verksamheten.



SVENSKT
VATTENKRAFTCENTRUM



Energiforsk

Energiforsk AB | www.energiforsk.se

LULEÅ
TEKNISKA
UNIVERSITET