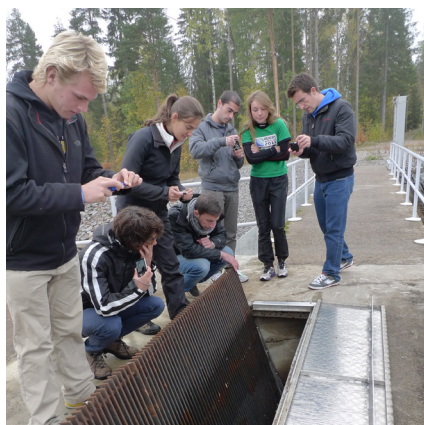
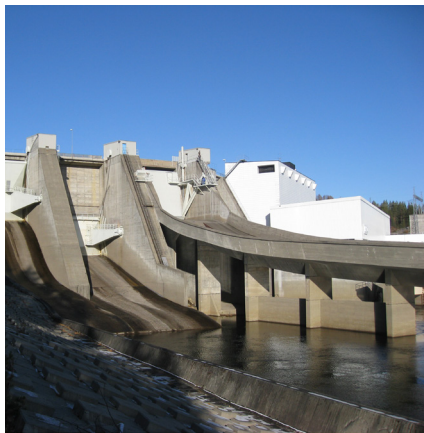


SVENSKT VATTENKRAFTCENTRUM

STATUSRAPPORT 2017/2018



Innehåll

Svenskt vattenkraftcentrum – en framgångssaga.....	3
Svenskt vattenkraftcentrum i siffror	4

Vattenbyggnad

Vattenbyggnad	6
Hydrologi och vattenbyggnadshydraulik, Anders Wörman KTH	7
Geoteknik och bergmekanik – grundläggning av dammar, Fredrik Johansson KTH	9
Geoteknik och bergmekanik – fyllningsdammar, Jenny Lindblom LTU	11
Vattenbyggnadshydraulik, Gunnar Hellström LTU	13
Konstruktionsteknik, Richard Malm KTH	15

Vattenturbiner och generatorer

Vattenturbiner och generatorer	19
Elektromekanik, Urban Lundin UU	20
Rotordynamik, Jan-Olov Aidanpää LTU	22
Strömningsmekanik – beräkning, Håkan Nilsson Chalmers	24
Strömningsmekanik – experimentellt, Michel Cervantes LTU	28
Maskinelement, Kim Berglund LTU	30

Kungliga Tekniska högskolan KTH, Luleå tekniska universitet LTU, Uppsala universitet UU,
Chalmers tekniska högskola Chalmers, Lunds tekniska högskola LTH, Sveriges lantbruksuniversitet SLU



Svenskt vattenkraftscentrum – En framgångssaga

Svenskt vattenkraftcentrum har fokus på forskning och utbildning inom vattenkraft och gruvdammar. Vi tar fram ny kunskap för en effektiv och tillförlitlig vattenkraftproduktion och en tryggad dammsäkerhet, som en viktig del av ett ut hålligt energisystem i Sverige.

Vattenkraft är en kraftkälla som ständigt måste förnyas och anpassas efter en allt mer kvalificerad reglersituation och striktare miljövillkor. I framtiden kommer den roll som vattenkraften har, att reglera både konsumtion och produktion av el, att bli ännu större och viktigare.

Nyttan med SVC

När Sverige slutade bygga ut vattenkraften på 1970-talet kunde branschen leva vidare på den stora kompetens som då fanns, men det kom inte någon ny kompetens inom området. Därför bildades Svenskt vattenkraftcentrum SVC under 2005 för att säkerställa ny kompetens till branschen samtidigt som forskarna löser de problem som är specifika för vattenkraften tillsammans med ägare och myndigheter.

En mycket betydelsefull person i detta arbete var Cristian Andersson på Elforsk och senare Energiforsk. Vi är många som hade förmånen att arbeta med Cristian under många år.

Svenska kraftnät och Energimyndigheten är viktiga intressenter som driver på och formulerar egna mål för forskning och utveckling.

100-årsperspektiv

Många forskningsfrågor är specifika för vattenkraften. Kraftverken består av stora, tunga och långsamt roterande maskiner som inte finns i någon annan industri. Alla konstruktioner i vattenkraften är speciella och många är utsatta för ett ensidigt vattentryck. Det kräver kunskap och kompetens som tar många år att bygga upp. Inom SVC har vi ett 100-årigt perspektiv, både när det gäller att förlänga konstruktionernas livslängd och att hantera kravet på reglerkraft.

På Vattenfall försöker vi ta till oss såväl kunskap som kompetens från forskningen genom att anställa folk till vår forskningsavdelning där unga forskare från SVC kan jobba vidare praktiskt med frågorna. Därefter flyttar de ofta vidare till vår produktion. Men en stor andel av de unga forskarna från SVC börjar sin karriär som konsulter. Det är så de mindre kraftföretagen får nytta av ny kunskap från forskningen. Dessa kompetenta konsulter kan systemen och kan välja tekniska lösningar som passar det aktuella kraftverket.

Bred förankring

De organisationer och företag som är aktiva i SVC är, vid sidan om Energimyndigheten och Svenska Kraftnät, Andritz Hydro, Fortum, GE Renewable Energy, Holmen Energi, Jämtkraft, Jönköping Energi, Karlstads Energi, Mälarenergi, Norconsult, Rainpower, Skellefteå Kraft, Sollefteåforsen, Statkraft Sverige, Sweco Energuide, Sweco Infrastructure, SveMin, Tekniska verken i Linköping, Umeå Energi, Uniper, Vattenfall Research and Development, Vattenfall Vattenkraft, Voith, WSP Samhällsbyggnad och ÅF Industry. Medverkande lärosäten är Luleå tekniska universitet, Uppsala universitet, KTH och Chalmers.

Vision

Vår vision är att vara en av världens ledande utbildnings- och forskningsmiljöer inom vattenkraft och dammar. Och Svenskt vattenkraftcentrum är verkligen en framgångssaga! Läs mer om forskningsmiljöerna och alla våra projekt åren 2013 till 2017.

Lars Hammar

Vattenfall och
ordförande i Svenskt vattenkraftcentrums styrelse

Svenskt vattenkraftcentrum i siffror



FAKTA OCH RESULTAT

SVC är ett samarbete mellan vattenkraftföretag, myndigheter och högskolor. Programmet har en seniorforskare i varje stark forskningsmiljö. Förutom forskningsprojekt har miljöerna innehållit adjungerade professorer, experimentell verksamhet och internationell samverkan. SVC har också haft en gemensam forskarskola.

Våra 11 seniorforskare koordinerar och utvecklar kontinuerligt sina respektive forskningsmiljöer och arbetspaket. Varje år har ett 30-tal ingenjörsstudenter genomfört sitt examensarbete i de olika miljöerna. Under 2016 hade vi drygt 20 doktorandprojekt. Dessutom är fem adjungerade professorer och en affilierad fakultet knutna till programmet vid Luleå tekniska universitet och Kungliga tekniska högskolan.

En uppföljning av målen visar att mellan 2013 och 2016 har vi

- examinerat 35 forskarstuderande med licentiat- eller doktorsexamen inklusive tre mittseminariumrapporter
- publicerat cirka 100 konferensbidrag, varav cirka 65 med SVC-doktorander
- publicerat cirka 115 vetenskapliga artiklar, varav cirka 80 av SVC-doktorander

Positiv utvärdering

Den utvärdering av SVC som gjordes 2016 konstaterade att satsningen är framgångsrik. Vårt långsiktiga åtagande har skapat högkvalitativa forskningsmiljöer som producerat resultat i internationell världsklass och att ange seniorforskare inom de olika miljöerna är en framgångsfaktor. De vetenskapliga målen är uppfyllda och de framgångskriterier som vi arbetar efter är relevanta för verksamheten. Styrning, arbetssätt och koordinering upplevs fungera mycket väl av de som berörs. Organisationens struktur och finansiering är unikt i ett internationellt perspektiv och centret bedöms vara ett bra sätt att bygga broar mellan

akademi och industri. Däremot visar utvärderingen att det är en utmaning att etablera en systemorienterad verksamhet, och det internationella samarbetet behöver utvecklas. Företagen behöver bli mer aktiva i styrgruppernas arbete med nya projekt och SVC rekommenderas att delta mer i de ingående företagens praktiska verksamhet. Uppdraget att skapa ett stadigt fundament för utbildning och kompetensförsörjning inom vattenkraftområdet fungerar bra och utvärderingen rekommenderar en fortsättning av SVC. Rapporterna från utvärderingen finns att ladda ner på Energiforsks webbsida.





Vattenbyggnad

En grundförutsättning för en väl fungerande vattenkraft och gruvdammsdrift som är långsiktigt hållbar är möjligheten att kunna magasinera vatten. Det förutsätter säkra dammar vilket kräver kunskap om exempelvis hydrologiska modeller för hantering av höga flöden och geotekniska och bergmekaniska egenskaper i dammar och grundläggning.

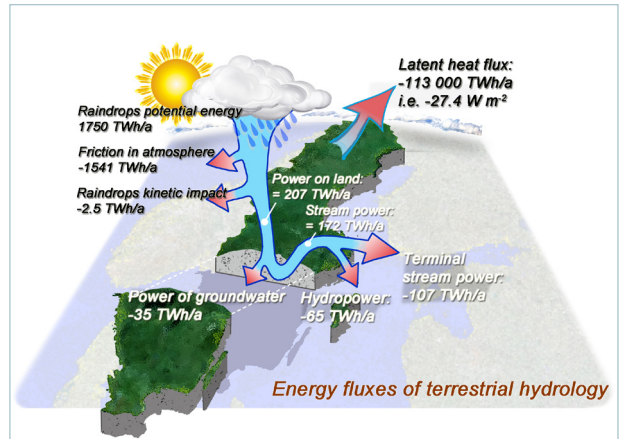
Vattenbyggnad handlar också om livslängd för konstruktioner och hydrauliska egenskaper för vattenvägar. Forskning och ny kunskap krävs för att kunna prioritera rätt åtgärder inom vattenkraftindustrin. Forskningen inom vattenbyggnad har fokus på nybyggnation, förnyelse, drift och underhåll av konstruktioner för vattenbyggnader i gruv- och vattenkraftindustrin för att säkerställa produktion och säkerhet. Forskningsmiljöerna behandlar frågor om hydrologi, geoteknik och bergmekanik, vattenbygg-

nadshydraulik samt konstruktionsteknik. Men en helhets-syn och ett nära samarbete mellan de olika miljöerna är avgörande för bra resultat i forskningsprojekten. För att på ett tillförlitligt och effektivt sätt kunna producera energi och balansera kraftsystemet behövs också kunskap om hydrologiska modeller för driftplanering. En ökad kunskap inom geoteknik, vattenbyggnadshydraulik och konstruktionsteknik krävs för att förstå hur förändrade driftsätt kan ändra belastning och påverkan på en anläggning.

För gruvdammar liknar behovet av kunskap det som finns för vattenkraftdammar trots att materialet i dammkropp och uppbyggnad skiljer sig från vattenkraftsdammar. Gruvdammar är också unika eftersom det finns krav på en mycket lång livslängd. Inom Svenskt vattenkraftcentrum finns väletablerade och starka utbildnings- och forskningsmiljöer inom fyra verksamhetsområden, vid KTH och Luleå tekniska universitet.

Hydrologi och vattenbyggnadshydraulik

Forskningsmiljön omfattar ämnena tillämpad strömningslära, det vill säga hydraulik, hydrologi och vattenbyggnad med fokus på problem med anknytning till vattendrag och grundvatten. Forskningen består av vattenresursplanering med reglering av vatten, inre erosion i fyllningsdammar, höga flöden i vattendrag, strömningstekniska beräkningar för utskov, grundvatten och vattenkvalitetsfrågor kopplade till olika åtgärder i fyllningsdammar och vattendrag.



Anders Wörman är professor i vattendragsteknik vid KTH och seniorforskare inom SVCs verksamhetsområde hydrologi och vattenbyggnadshydraulik. James Yang är adjungerad professor vid avdelningen för vattendragsteknik och anställd på Vattenfall i Älvkarleby.



Utveckling av hydraulisk-hydromorfologisk analys som stöd för förbättrad prognos av extrema flöden

Anna Åkesson, KTH och Göran Lindström, SMHI

Forskningen har resulterat i en bättre förståelse för den speciella hydraulik och hydromorfologi som uppkommer i vattendrag vid höga flöden. Det har också handlat om hur den här informationen kan överföras till hydrologiska prognosmodeller av samma typ som Hydrologiska Byrån Vattenbalansavdelningen (HBV). Det går att förbättra prognosmodeller för planering av vattenkraft, framför allt genom att förbättra prognosen av höga flöden. Resultatet är en koefficient som förfinar prognosmodelleringen genom att ta hänsyn till att flödes hastigheten ökar med stigande vattenstånd, och därigenom speglar att senare nederbörd "rinner ikapp" tidigare nederbörd och ger upphov till ökande flödestoppar under höga flöden. Anna disputerade i september 2015.

Hänsyn till dynamiska effekter i vattendrag för optimerad vattenkraftplanering

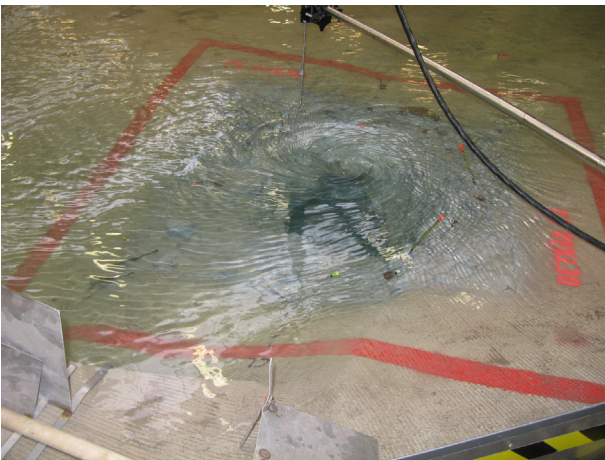
Nicholas Zmijewski, KTH

Projektet har tagit fram modeller för vattenkraftplanering som tar hänsyn till hydrauliska effekter på vattnets gångtider mellan kraftstationer och en spatial och temporal sannolikhetssteori för prognoser av tillrinning, vilken tar hänsyn till kovarians i avrinningen från olika delar av ett avrinningsområde och mellan avrinning och klimatindex. Projektet har resulterat i ett förslag på förbättrade produktionsmodeller som tar hänsyn till spridningen i vattnets gångtider på strömsträckor. Målet har också varit att analysera vilken betydelse olika val av modeller, prognosunderlag och exempelvis avrinningsområdets storlek har för att optimera kraftproduktionen med olika mål för total energi och reglerförmåga. I projektet har även ingått att analysera vad det kan betyda att ha en mer koordinerad planering som bygger på kovarians över ett större område och mellan olika älvar. Nicholas disputerade i mars 2017.

Genomströmning och inre erosion i fyllningsdammar

Farzad Ferdos, KTH

Resultaten från det här projektet ger en bättre förståelse av hur inre erosion genom suffusion och koncentrerat läckage i fyllningsmaterial går till. Hela processen från initiering till utveckling av ett dammbrott har studerats. Som en del av projektet genomfördes experiment på inre erosion i fyllningsmaterial. En experimenttrigg byggdes på Vattenfalls laboratorium i Älvkarleby och tester med koncentrerat läckage genomfördes. I projektet har numeriska modellverktyg utvecklats som nu kan användas för prognos, förstärkning och design av fyllningsdammar. Experimenten visade sig ge stegvisa bilder av hur porositeten i materialet utvecklas över tid på grund av inre erosion. Farzad disputerade i november 2016.



Hydraulic design of chute spillway aerators

Penghua Teng, KTH

Den här forskningen har givit ny kunskap om hur luft rör sig i strömmande vatten i utskov och hur luftningsanordningar bör utformas för att förhindra skador genom kavitiation i ytutskov där vatten strömmar med hög hastighet. Projektet har innefattat datorsimuleringar av avluftning i utskov vid kraftverksdammar. Målet har varit att utveckla metoder för att kunna formge luftningsutrustning för vattenkraften på bästa sätt. Experiment har genomförts i ett internationellt samarbete med National Chung Hsing University, Taiwan, en fortsättning på tidigare utbyte som har resulterat i flera publikationer inom SVC. Penghua presenterade sin licentiatuppsats i mars 2017.

Hydraulisk design, säkerställning av bottenutskovs funktioner för ökad driftsäkerhet

Ting Liu, KTH

Projektet har ökat förståelsen av luftinblandningsprocess och transport i slutna ledningar av bottenutskov, och hur man ska undvika problemet och säkerställa avbördningsfunktioner. I projektet har modellförsök och datorberäkningar genomförts. Nya beräkningsmetoder har utvecklats för att undersöka hur luft blandas in i vattnet, hur den rör sig i bottenutskov i form av luftfickor och hur detta påverkar avbördningskapaciteten. Resultaten visar att det går att undvika problemen genom att utforma utskoven så att luftansamlingar undviks och de negativa effekterna av luftinblandning minimeras. Ting disputerade i december 2014.



Grundläggning av dammar

Forskningsmiljön ingår i området geoteknik och bergmekanik och här studeras frågor kring dimensionering vid grundläggning på berg, samt hur man bör förstärka tunnlar och övriga vattenvägar i berg. En viktig fråga är också hur berget under en damm ska tätas. Berg som konstruktionsmaterial har stora naturliga variationer samtidigt som bergets egenskaper till stor del är dolda. Dimensionering av konstruktioner i och på berg är därför förknippade med stora osäkerheter jämfört med tillverkade material som stål och betong. Forskningen tittar på hur man ska ta hänsyn till de här osäkerheterna på ett bra sätt för att nå upp till en säker nivå. Detta görs genom att använda sannolikhetsbaserade metoder, där enstaka värden i beräkningen beskrivs som fördelningar istället för med fristående värden.



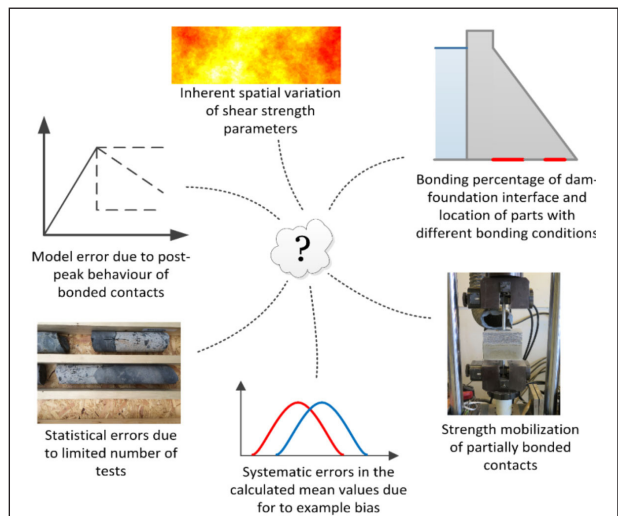
Fredrik Johansson är seniorforskare i SVC inom geoteknik och bergmekanik med fokus på grundläggning av dammar. Han är biträdande lektor på avdelningen för jord- och bergmekanik på KTH. Fredrik disputerade 2009 och forskar om stabilitet och grundläggningsfrågor för dammar. Marie Westberg-Wilde är affilierad fakultet vid samma avdelning.



Skjuvhållfasthet i kontaktytan mellan berg och betong under betongdammar

Alexandra Krounis Guerrero, KTH

Ska kohesion, det vill säga den sammanhållande kraften i kontaktytan mellan berg och betong räknas med eller inte när man utvärderar betongdammars glidstabilitet? I dagsläget tillåts inte att denna parameter räknas med när glidstabiliteten för en damm utvärderas, eftersom de ingående osäkerheterna bedöms vara för stora. I projektet har en metod utvecklats som gör det möjligt att statistiskt beskriva dessa osäkerheter, vilket bland annat innebär att den verkliga hållfastheten kan tillgodoräknas på ett bättre sätt. Den här kunskapen är viktig då den kan leda till en bättre prioritering av åtgärder som höjer säkerheten på dammarna. Dessutom leder den utvecklade metodiken till att inga onödiga förstärkningar av dammar behöver göras och att man på sikt kan ta fram bättre riktlinjer för stabilitetsanalyser av betongdammar. Alexandra disputerade i maj 2016.



Den nya metoden att bestämma glidstabilitet i dammar underlättar prioritering av åtgärder som höjer säkerheten.

Dimensionering och tillståndsbedömning av konstruktioner i och på berg med observationsmetoden i kombination med tillförlitlighetsbaserade metoder

Johan Spross, KTH

I detta projekt har verktyg som kombinerar observationsmetoden med tillförlitlighetsbaserade metoder för dimensionering och tillståndsbedömning av konstruktioner i och på berg utvecklats. Verktyget tillämpas på betongdammar som är grundlagda på berg och i berggrum och bergtunnlar. Projektet har studerat hur man ska sätta larmgränsen mot oacceptabelt beteende hos en konstruktion så att den under hela byggtiden uppfyller samhällets krav på säkerhet och hur man analyserar om observationsmetoden är mer gynnsam att använda än en konventionell design. Resultatet är bland annat en ny metod som visar hur man kan nå en acceptabel säkerhet under alla stadier av en reparationsinjection av berggrunden under en betongdamm genom att följa de principer som definierats i Eurokod 7. Forskningen visar också att uppmätta portryck inte bör användas direkt i stabilitetsberäkningar, vilket ibland förordas. Den nya metoden kan även användas, och en acceptabel säkerhet uppnås, när man bygger tunnlar till kraftstationer och vattenvägar i berg, vilket tidigare ifrågasatts. Johan disputerade i oktober 2016.



Dimensionering av bergförstärkning enligt Eurokod med tillförlitlighetsbaserade metoder

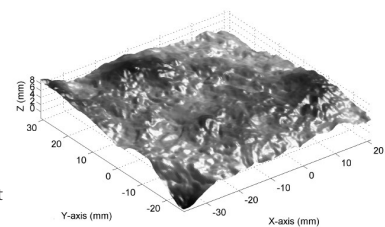
William Bjureland, KTH

Här har praktiskt tillämpbara metoder utvecklats för hur man ska göra en tillförlitlighetsbaserad dimensionering av förstärkning vid byggen i och på berg. Det handlar om att förbättra de metoder för dimensionering som används inom svensk byggindustri. Resultaten visar vilka bergmekaniska problem som är lämpliga att analysera med tillförlitlighetsbaserade metoder under olika geologiska förhållanden och hur det kan utföras. Arbetet utgör en bra grund för framtida anvisningar för dimensionering av bergförstärkning med tillförlitlighetsbaserade metoder. Metoden kan optimera den förstärkning som bland annat används i kraftverkstunnlar vilket sparar både tid och pengar. William höll sitt licentiatseminarium i maj 2017.

Beräkning av bergsprickors skjuvhållfasthet in-situ baserad på optisk mätning av ytråhet

Francisco Rios Bayona, KTH

I detta nyligen påbörjade projekt ska en metod för att utvärdera storskalig skjuvhållfasthet för svaghetsplan i, eller i anslutning mot, berggrunden utvecklas. Resultaten kan få en stor betydelse för utvärderingen av betongdammars glidstabilitet. Metoden bygger på utvecklingen av en numerisk skjuvbox med vilken man kan genomföra modellering av bergsprickors storskaliga skjuvhållfasthet. Metoden kan även användas för numerisk beräkning av skjuvhållfastheten för kontaktytan mellan berg och betong. Indata till modelleringen kommer att bestå av högupplöst optisk mätning av ytråheten, så att glidplanets skrovlighet kan beskrivas i den numeriska modellen. Projektet genomförs i samarbete med dammägare för att få en koppling till bygget av en betongdamm eller till en pågående utredning av dammsäkerheten för en befintlig damm. Resultaten kommer att underlätta för dammägare när de prioriterar åtgärder för att höja dammsäkerheten.



Exempel på en återskapad sprickyta baserad på högupplöst optisk scanning.

Fyllningsdammar

Fyllningsdammar är dammar som är uppbyggda av packad jord och sten. Välpackad tätjord i dammens inre dämmer upp vatten, medan omgivande grövre jord och sten ger dammen stabilitet. Den här forskningsmiljön, som ingår i området geoteknik och bergmekanik, är inriktad mot inre erosionsprocesser och processförståelse. Forskningen handlar också om design och långtidsbeteende hos gruvdammar som successivt byggs till på höjden och mekanik hos extremt kantigt material som krossprodukter. Numerisk simulering och analys av rörelser i befintliga fyllningsdammar ingår också.

Metoder för beräkning av rörelser i dammkonstruktioner

Pooya Vahdati, LTU

Projektet har fokuserat på en ny metod att optimera materialmodeller för att hitta den bästa kombinationen av parametrar för att matcha olika värden i en dammkonstruktion. Resultatet är en metod där man genom simulerings- och optimeringsmetoder kan få fram resultat utan att ta prover i dammkroppen. Projektet har lett till att man nu vet vad som är lämpliga modeller för de material som används när man bygger gruv- eller fyllningsdammar och att det också går att förutsäga det framtida beteendet för både gamla och nya dammar. Arbetet har gjorts i nära samverkan med universitetet i Liege, som är internationellt ledande inom området. Pooya tog sin licentiatexamen i mars 2014.



Jenny Lindblom är seniorforskare inom Geoteknik och bergmekanik med fokus på fyllningsdammar och lektor vid LTU inom geoteknik. Hon disputerade 2012. Aktuellt forskningsområde inom dammbyggnad är inre erosion i fyllningsdammar. Peter Viklander, Vattenfall vattenkraft är adjungerad professor i geoteknik.



Effekter av förändrade belastningsförhållanden på släntstabilitet

Ingrid Silva, LTU

Syftet med projektet är att ta fram kriterier för hur stora hydrauliska gradienter som kan tillåtas i olika typer av moränmaterial med hänsyn till strävan att förhindra att inre erosion uppstår. Kriterierna kopplas till geotekniska enkelt bestämbara materialparametrar. Moränmaterial med olika kornfördelningar, både med inre stabil gradering, med graderingar som är i gränzonen till stabil och sådana som inte är inre stabila ska undersökas. Resultaten är intressanta eftersom det i stort sett är helt outforskat under vilken hydraulisk last som suffusion utvecklas. Projektet är av särskild betydelse för gruvdammar, som måste vara stabila under mycket lång tid. Ingrid planerar att presentera sin licentiatuppsats under hösten 2018.

Maximala gradienter i morän med hänsyn till att undgå inre erosion

Jens Johansson, LTU

I den här studien har beräkningsmetoder och materialmodeller för beräkningar av släntstabilitet utvecklats. Syftet har varit att kunna analysera släntstabilitet och potentiella skred- och drivgodsvolymer vid kraftverk när förhållanden som drift och klimat förändras. Ett stort antal beräkningar som ligger till grund för analyser av släntstabilitet har utförts i projektet. Jens tog sin licentiatexamen i juni 2014.

On the Assessment of Internal Erosion of Dam Cores of Glacial Till

Hans Rönnqvist, LTU

Hur bra är de kriterier som finns för att bedöma känsligheten för inre erosion och inre stabilitet i fyllningsdammar som har tätkärna av morän och bredgraderade filter? Och finns det ett särskilt lämpligt kriterium för detta? Det är frågor som besvaras här och som har resulterat i en genomgång av ett antal olika metoder för att bedöma risken för inre erosion i en tätkärna av morän. Inre erosion i tätkärnan på ett stort antal svenska dammar har kartlagts och laboratorieförsök har utförts för att undersöka när inre erosion genom suffusion uppkommer i olika typer av moränmaterial. Resultatet är en ny metod för bedömning av moränmaterial som bygger på en modifiering av det så kallade Kenney-Lau-kriteriet. Hans disputerade i juni 2015.



Modellförsök som metod att utvärdera en eroderbar dammdels funktionalitet

Johan Lagerlund, Vattenfall R&D

Ett fullskaligt dammbrottsförsök av en eroderbar fyllningsdamm, en så kallad fuse plug, har utförts av Fortum vid Lanforsen vattenkraftstation och kompletterande modellförsök har gjorts i Vattenfalls laboratorium i Älvkarleby. Resultaten från modellförsöken visar att det i laboratoriet går att efterlikna ett storskaligt fältförsök och att utvecklingen av bräschens geometri följer samma mönster som i verkligheten. Vidare ger modellförsöken huvudsakligen samma information som ett fullskaligt försök när det gäller att förstå funktionen hos en fuse plug.

Simulering av rörelser i fyllningsdammar

Jasmina Toromanovic, LTU

Projektet har särskilt fokus på gruvdammar, men omfattar också dammar inom vattenkraften. Här ska modeller tas fram för de typer av material som används i dammar där man inte kan ta prover för laboratorieanalys. Modellerna jämförs med uppmätta beteenden i befintliga konstruktioner. Målet är att simulera dammars beteende och att ta fram en vägledning för att sätta lämpliga larmvärden för olika mätinstrument i dammar. Arbetet genomförs i samverkan med universitetet i Liege i Belgien samt Ruhr-Universität Bochum i Tyskland. Jasmina förväntas ta sin licentiatexamen i juni 2018.

Vattenbyggnadshydraulik

Forskningen handlar om den hydraulisk funktionen hos avbördningsanordningar, tunnlar och vattenvägar nära vattenkraftanläggningar. Viktiga verktyg här är fysisk och matematisk modellering men även mätteknik i laboratoriemiljö och i fält. Vattenbyggnadshydraulik karaktäriseras i denna tillämpning av stora flöden och dimensioner, fria vattenytor, storskaliga råhetselement/skrovlighet och exponering för extrema väderförhållanden och ett hårt klimat. Vattenvägarna är ofta också transport- och vandringsvägar för sediment och fisk och forskningsresultaten ska öka förståelsen och förbättra verktygen för att hantera dessa förhållanden.



Gunnar Hellström är seniorforskare inom vattenbyggnadshydraulik och biträdande professor vid Luleå tekniska universitet vid avdelningen för strömningslära och experimentell mekanik i nära samarbete med adjungerade professorn Patrik Andreasson, anställd på Vattenfall i Älvkarleby.



Vattenbyggnadshydraulik med inriktning mot ytråhet i anläggningsnära vattenvägar

Anders Andersson, LTU

Målet har här varit att ta fram en bättre beskrivning av ytråhetens, det vill säga skrovlighetens, effekt på strömningen i intags- och utloppstunnlar. Råhet i vattenkraftanläggningar som innefattar storskaliga rörelser, tryckpulsationer och skevhet i flödet är fenomen som är svåra att enkelt beskriva med parametrar som är industristandard för mer väldefinierade väggstrukturer. Projektet har med matematiska verktyg gjort beräkningar som har bekräftats i laboratorieförsök där man har kunnat kontrollera och styra förhållandena. Resultaten från experimenten stämmer väl överens med beräkningarna. Upplösningen av själva ytråheten är viktig för att fånga de relevanta strömningsfenomen som sker nära väggen men påverkar också kraftigt strömningen längre bort från ytan. Resultaten visar att för att fånga flödet på ett korrekt sätt måste stora ytråheter geometriskt lösas upp och inte bara baseras på enhetliga antaganden. Anders disputerade i juni 2013.

Modellering av luftinblandning vid avbördning med speciellt fokus på bottenutskov

Patrick Jonsson, LTU

Vattensprång är den våldsamma och kaotiska process där snabbt strömmande vatten stöter på hinder och övergår i långsamt strömmande vatten. För att fånga strömningen i ett sådant vattensprång fungerar traditionella matematiska modeller utvecklade för mer ordnad strömning sämre. Istället har en partikelbaserad beräkningsmetod implementerats i detta projekt, där kaos kan hanteras bättre. Modelleringen är därför förbättrad till en nivå som är ingenjörsmässigt anpassad för vattenbyggnad och resultaten går enkelt att implementera och använda i de vanligaste programvarorna.

Metoden uppfångar hydrauliska språng på ett tillfredsställande sätt och visar de beteenden som har observerats i laboratorieförsök av strömning i utskov. Patrick disputerade i december 2015.

Flödeförhållanden i vattenkrafttunnlar och kanaler

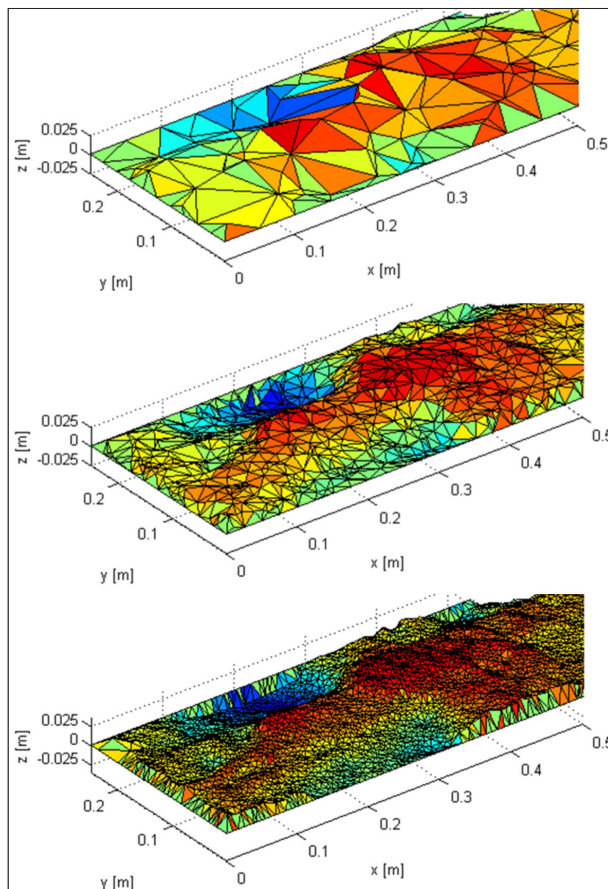
Robin Andersson, LTU

Hur påverkar ytans råhet erosionstakten och hur stor blir skillnaden mellan spricktätade tunnelväggar och obehandlade bergytor? Här görs cost-benefit-analyser för tätning och projektet utvecklar robusta och kostnadseffektiva beräkningsmetoder som ska visa de hydrauliska belastningarna på berget. I projektet undersöks tryckfluktuationer i sprängda tunnlar vilket har betydelse för den bergmekaniska stabiliteten. Baserat på experiment och numeriska strömningsberäkningar studeras effekten av olika metoder och tekniker för tunneldrivning och efterbehandling på flödesförhållandena i bergtunnlar. Robin förväntas lägga fram sin doktorsavhandling i juni 2018.

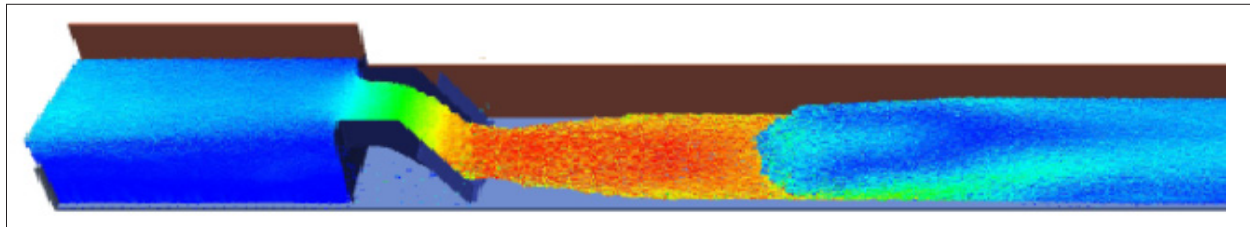
Hydrauliska förutsättningar för lokal fauna i älvsträckor nedströms kraftstationer

Gunnar Hellström och Anders Andersson, LTU och Kjell Leonardsson, SLU

Målet med projektet är att undersöka hur olika flöden och ett stort antal start och stopp i en vattenkraftstation påverkar de hydrauliska förutsättningarna för den lokala faunan nedströms en kraftstation. Hur påverkar exempelvis ett stort antal start och stopp i vattenkraftverket, förutsättningarna för bottenlevande organismer i vattnet nedanför kraftstationen samt hur påverkas upp- och nedströmsvandring av fisk? Resultaten ska öka förståelsen för hur regleringen av ett vattenkraftverk kan anpassas för att minska påverkan på det lokala djurlivet i vattnet. Med hjälp av numeriska strömningsberäkningar ska forskarna studera ett antal hydrauliska parametrar och deras ekologiska kopplingar i en geometriskt dokumenterad älvsträcka.



Här beskrivs skrovlighets effekt på vattnets strömning i tunnlar.



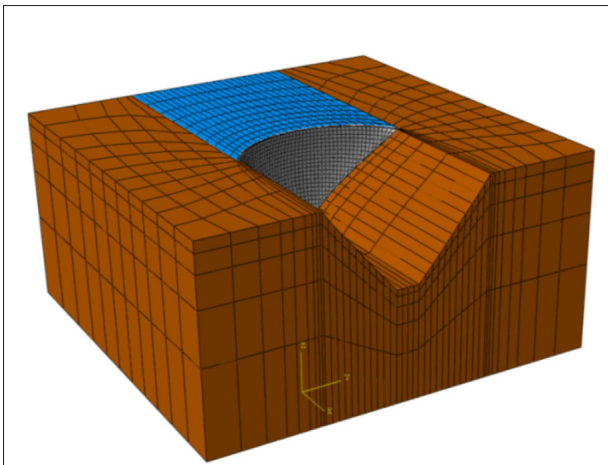
En ny beräkningsmetod fångar strömningen av vatten och visar hur vattnet beter sig i ett utskov.

Konstruktionsteknik

Forskningen ingår i området vattenbyggnad och är inriktad på konstruktionsmaterial, projektering och konstruktion för nybyggnad och reparationer av konstruktioner inom vattenkraftindustrin. Det handlar också om underhåll av konstruktioner med särskild hänsyn till statisk och dynamisk belastning, bärförmåga, tillförlitlighet, funktion och materialets beständighet. Målet är att nå en hög kostnadseffektivitet.

Dynamisk interaktion mellan vatten och struktur Richard Malm KTH, Camilo Pi Rito SWECO, Manouchehr Hassanzadeh, Cecilia Rydell och Tobias Gasch, Vattenfall

En förstudie har utförts kring interaktionen mellan vatten och struktur till nytta för strukturdynamiska analyser och dimensionering av dammar. Resultaten höjer kompetensnivån inom dimensionering av dammar med hänsyn till jordbävning och andra typer av dynamiska förlopp. Resultaten från den här forskningen berör anläggningsägare, konsulter och andra forskare som får vägledning när numeriska metoder ska utvärderas och granskas.



Vattenkraftindustrin har stor användning av de råd och riktlinjer som nu finns för att beräkna och analysera dammkonstruktioner.



Richard Malm är seniorforskare inom Konstruktionsteknik och sedan 2009 verksam som forskare vid avdelningen för Betongbyggnad, som är en del av institutionen för Bygghälsa vid KTH. Richard disputerade 2009. Erik Nordström är anställd på SWECO och adjungerad professor vid avdelningen för Betongbyggnad.



Riktlinje avseende numerisk analys av dammkonstruktioner

Richard Malm, KTH

Resultaten av projektet har mynnat ut i en riktlinje med råd om hur man bör genomföra numeriska beräkningar av vattenkraftens betongkonstruktioner. Underlaget kommer från en litteraturstudie, tidigare erfarenheter och resultat från doktorandprojekt och examensarbeten inom Svenskt vattenkraftcentrum. Riktlinjerna visar hur man bör använda numeriska metoder som verktyg. Den redovisar även en ny metod för att utvärdera betongkonstruktioners status inom vattenkraftens olika tillämpningar som nybyggnation, förnyelse, drift eller underhåll av dammkonstruktioner. Vattenkraftindustrin och SVCs övriga intressenter har stor användning av resultaten som publicerats i rapporten om finita elementanalyser av dammar "Guideline for FE analyses of concrete dams".



Inverkan på bärförmågan av slaka bergförankringar under betongdammar med hänsyn till nedbrytning

Fredrik Johansson och Richard Malm, KTH

Här har en beräkningsmetod utvecklats för att analysera betongdammars stabilitet med hänsyn till bärförmågan hos slakarmerade bergförankringar och till den förväntade nedbrytningen. Forskarna har studerat hur variationer i nedbrytning hos enskilda bultar påverkar den totala bärförmågan. För att ytterligare förfina resultaten från de analytiska metoderna har numeriska analyser gjorts med finita elementmetoden för att beakta verkliga brottförlopp hos bergförankringarna.



Fuktpptagning och frostbeständighet hos vattenbyggnadsbetong

Martin Rosenqvist, LTH och Vattenfall R&D

Det är viktigt att ha kunskap om hur betong bryts ner för att kunna förlänga livslängden för betongkonstruktioner. Projektet har identifierat och kategoriserat olika typer av misstänkta frostrelaterade skador i svenska vattenkraftverk. Målet har varit att klargöra hur olika typer av ytreparationer påverkar fuktnivån i konstruktionen för att bättre förstå de frostsador som uppstår i de inre delarna av starkt fuktexponerad betong. Nu vet vi var, när och hur kritiska fuktnivåer i betongen nås och det finns en beskrivning av hur fuktpptagning sker i betong som konstant utsätts för mycket fukt eller en hög fuktbelastning i kombination med temperaturförändringar. Resultaten är viktiga vid reparation av befintliga konstruktioner men också vid om- och nybyggnationer. Martin disputerade i oktober 2016.

Åldrande betong i vattenkraftens aggregatnära konstruktioner

Tobias Gasch, KTH

Projektet utvecklar metoder och verktyg för att utvärdera befintliga massiva betongkonstruktioner som finns nära vattenkraftaggregat. Det handlar framför allt om att studera sprickbildning i betongfundament och hur det påverkar drift och underhåll av vattenturbiner och generatorer. Syftet är att trygga produktionen av vattenkraft. Forskningen ska svara på frågor som hur belastningen på betongfundament påverkas av nya driftmönster. Hur stora sprickor och skador tål ett fundament innan det behöver repareras? Hur påverkar betongkonstruktionens åldring och sprickbildning dess styvhetsgenskaper och därmed funktionen som upplag för aggregatet? Vilka skador och orsakssamband finns på aggregatnära betongkonstruktioner? Resultaten ska leda till en ny materialmodell för att beskriva långtidsdeformationer av betong och nya riktlinjer för sprickors inverkan på generatorfundament som är utsatta för rotordynamisk belastning. Tobias förväntas disputerar under våren 2018.

Bedömning av nedbrytning i betongkonstruktioner med tillämpning på vattenvägar

Daniel Eriksson, KTH

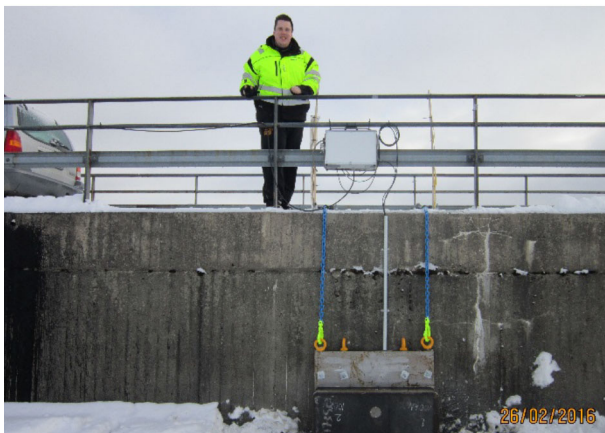
Hur ska nykonstruktion och reparationer av betong göras för att skapa varaktiga betongytor i vattenvägar, och vilken inverkan har skador på konstruktionernas livslängd? Här görs en state-of-the-art beskrivning av befintliga teoretiska modeller som ska användas för att analysera nedbrytningsmekanismer och det påverkan betongens funktion. Målet med projektet är också att vidareutveckla de nuvarande materialmodellerna för att ta hänsyn till synergier mellan nedbrytningsmekanismer som erosion, urlakning, korrosion och frostsprängning. Daniels licentiat planeras till våren 2018.



Laster och verkningssätt för sugrörskonstruktioner med stora spännvidder

Erik Nordström, Lamis Ahmed och Roghayeh Abbasiverki, KTH

För vattenkraftsaggregat med stor effekt krävs stora dimensioner på vattenvägen. I många aggregat är den totala vidden på sugrörsförlängningen efter turbinen så stor att det krävs en lastbärande mellanvägg. Men det finns oklarheter om varför det ibland uppstår sprickor och till och med brott i mellanväggen och vilka lastfall som under lång tid kan orsaka problem. Ett av underlagen till projektet är en längre tids fältmätning på en befintlig sugrörsmellanvägg som uppvisar sprickbildning. Målet med projektet är att ta reda på vilka lastfall och lastfördelningar som sugrörsmellanväggar av betong utsätts för och om det kan förklara sprickbildningen. Kunskap från projektet ska leda till en ny vägledning som underlättar kontrollen av olika typer av sugrörskonstruktion och lastfall som kan utgöra en risk. Att stänga av för inspektion är kostsamt och en vägledning för att kunna prioritera insatser på olika konstruktioner är både kostnads- och riskbesparande.



Lastförutsättningar avseende istryck

Richard Malm, Rikard Hellgren och Fredrik Johansson KTH, Lennart Fransson LTU, Erik Nordström Sweco, och Marie Westberg-Wilde ÅF

Klimatet i Sverige innebär att dammar utsätts för tryck från is. Islastens storlek är en av de främsta källorna till osäkerhet när man analyserar säkerheten kring en damm. Projektet utvecklar tekniska förutsättningar och en strategi för att med systematiska mätningar förbättra beskrivningen av islasternas storlek och variation. Inom ramen för projektet har en prototyp av en lastpanel som mäter islast på betongdammar utvecklats. En pilotinstallation av islastpanelen har mätt islast under två säsonger på en betongdamm och redan gett värdefull indata kring vilka parametrar som påverkar islastens storlek. Projektet har också definierat i vilken omfattning mätningar krävs för att få ett bra underlag för en revidering av de svenska designvärdena.

Modelluppdatering baserat på dammätningar för tillståndsbedömning av betongdammar

Rikard Hellgren KTH och WSP, Richard Malm och Erik Nordström KTH

Här vidareutvecklas en metod för att analysera tillståndet i en damm. Det handlar om att använda mätdata kontinuerligt och på ett automatiserat sätt för att kontinuerligt kunna bedöma statusen på en dammanläggning. Ett av projektets mål är också att föreslå hur man kan bestämma säsongsberoende och varierande larmgränser som utgår från de förhållanden som faktiskt råder, och hur larmgränserna ska implementeras i praktiskt dammsäkerhetsarbete. Projektet slutrapporterar våren 2018.



Vattenturbiner och generatorer

När man bygger eller förnyar vattenkraftsanläggningar går det att göra stora förbättringar med moderna elektromekaniska och rotordynamiska beräkningsmodeller. Genom att förbättra den strömningsmekaniska utformningen kan man öka kraftverkets prestanda. Det är också angeläget att få fram bättre metoder för flödesbestämning för att veta vilka åtgärder som berättigar till elcertifikat.

Inom vattenturbiner och generatorer utvecklas verktyg och metoder för nybyggnation, förnyelse, drift och underhåll av vattenturbiner och generatorer. Målet är att trygga produktionen av vattenkraft och se till att vattenkraften också i framtiden har en viktig roll i ett hållbart kraftsystem. Forskningen tar också fram modeller för tillståndsbedömning som ökar kunskapen om olika komponenter och om

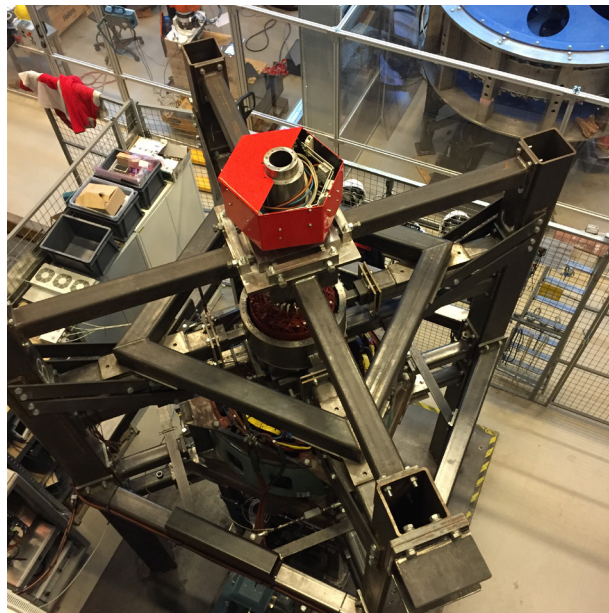
hur systemet fungerar. För att ha en tillförlitlig och effektiv produktion av vattenkraft och kunna balansera kraftsystemet krävs kunskap för att förstå hur en anläggning påverkas av förändrade driftsituationer.

Svenskt vattenkraftcentrum har väletablerade och starka utbildnings- och forskningsmiljöer inom elektromekanik, rotordynamik, strömningsmekanik och maskinelement vid Uppsala universitet, Chalmers och Luleå tekniska universitet, samt vid Vattenfalls Älvkarlebylaboratorium. Forskningsområdet elektromekanik har numera en tydligare inriktning mot generatorns interaktion med elnätet och området maskinelement en bredare inriktning mot bedömning av anläggningens tillstånd. En helhetssyn och ett nära samarbete mellan områdena är viktigt för framgång.



Elektromekanik

Forskningen fokuserar på elsystemets generatorer och hur de ska designas, styras och kontrolleras i samverkan med övriga delar av kraftsystemet. Nya analysmetoder gör det möjligt att förstå olika fenomen som uppstår och att verka tillsammans med de olika komponenter som finns i elsystemet.



Urban Lundin är seniorforskare i SVC inom elektromekanik och verksam vid avdelningen för Elektroteknik vid Uppsala universitet. Han disputerade år 2000 inom teoretisk materialfysik, och kom efter sin postdoc 2004 till Uppsala universitet som forskare med fokus på vattenkraft. Huvudspåret är hur man med hjälp av modern kraftelektronik kan styra magnetiska fält och krafter i generatorer och elektriska maskiner. Urban har varit drivande i tester av ett bromsmotstånd i Porjus där han nu testar ett storskaligt magnetlager.



Vidareutveckling av koncept med snabbreglerande borstlösa matare, laststyrning och magnetlager Johan Bladh, Vattenfall R&D

Projektet har resulterat i ny kunskap och identifierat vilket kunskapsbehov som finns för en industriell vidareutveckling och implementering av koncept med magnetlager, turbindämpning, snabbreglerande borstlösa matare och laststyrning. Johan har koordinerat arbetet med Porjus U9 och bidragit till utformningen av ett testprogram. Han har också varit drivande i installationsarbetet och i de tester som gjorts inom laststyrning.

Magnetlager och permanentmagnetiserad matare i experimentgeneratorn Svante Urban Lundin m.fl. forskare UU

Experimentgeneratorn Svante vid Uppsala universitet har utnyttjats flitigt av doktorander och examensarbetare. Projektet har monterat magnetlager och roterande matare. Ett helt nytt system för rotormagnetisering har utvecklats och kommer att testas för större maskiner. Nya idéer har förmedlats till generatortillverkare och samarbete inom magnetlager har etablerats. Det innebär att en del av de metoder och innovationer som har utvecklats i projektet kommer att användas direkt, både av leverantörer och av vattenkraftägarna.

Elektriska transienter i generatorer

Birger Marcusson, UU

Det övergripande målet här är att ta reda på mer om interaktionen mellan generator och elnät med fokus på vattenkraftens behov. Det handlar om den mekaniska och elektriska växelverkan mellan ett aggregat och kraftsystemet för att kunna göra en riktig bedömning av anläggningens effektivitet och driftsäkerhet. Projektet ska utveckla modeller som överbryggar kopplingen mellan mekaniska och elektriska system så att nät och generator kan studeras tillsammans i störda tillstånd för att minimera kostnader och risker. Ett par aktuella frågor är exempelvis hur läckfält och tillsatsförluster beror på driftlägen och hur de axiella fälten och förluster kan reduceras ytterligare?

Stationsmodellering av vattenkraftstationer, reglering kopplat till vattenvägsdynamik

Weijia Yang, UU

En stabil och effektiv drift av vattenkraftverk och deras samspel med kraftsystemet har stor betydelse. En större andel variabel kraft som sol och vind ställer nya krav på vattenkraftens funktion som leverantör av reglertjänster och energilagring. Här användes huvudsakligen metoderna teoretisk analys, numerisk simulering och fältmätningar. Projektet validerade numeriska modeller av vattenkraftkomponenter och studerade interaktionen mellan modellerna. Slutligen utvecklades numeriska och analytiska verktyg som jämfördes med data från storskaliga tester på åtta vattenkraftverk i Sverige och Kina. Resultatet är nya modeller som kraftstationer kan använda. Weijia disputerade i maj 2017.

Kraftelektronik och kontrollutrustning för magnetiseringsändamål

Fredrik Evestedt, UU

Projektet ska med hjälp av experimentgeneratoren Svante visa möjligheterna med att minska vibrationerna i synkronmaskiner genom att aktivt styra fältströmmen.

Målet är att utveckla ny kunskap om robusthet för tre typer av system av kraftelektronik för vattenkrafttillämpningar. Det handlar om hård- och mjukvara för spänningsreglering med roterande matare och med aktiv likriktning, hårdvara och signalinsamling för magnetisering upp till 500A med aktiva komponenter och en aktiv styrning av magnetlager. En fråga är om det går att skraddarsy enklare elektronik för att ta hand om mindre komplicerade uppgifter i så kallade inbäddade system. Fredriks licentiat planeras till hösten 2017.



Modellering och reglering av vattenkraftverk för förbättrad frekvensstabilitet

Linn Saarinen, Vattenfall R&D/UU

Här har forskningen handlat om det framtida reglerbehovet i EU och i det nordiska nätet, med utgångspunkt från EU:s mål för utbyggnad av förnybar energi. Projektet jobbade med modeller som överbryggar kopplingen mellan hydrauliska, mekaniska och elektriska system så att dynamiken i nät, generator och vattenvägar numera kan studeras tillsammans. Det handlar om interaktionen mellan primär och sekundär reglering och fördelningen av reglerreserver mellan olika stationer. En annan fråga är syntetisk svängmassa och dämpning som ersättning för synkron svängmassa som går förlorad när synkronmaskiner ersätts med produktion kopplad till nätet via frekvensomvandlare. Linn tog fram konceptet linjär syntetisk svängmassa och disputerade i februari 2017.

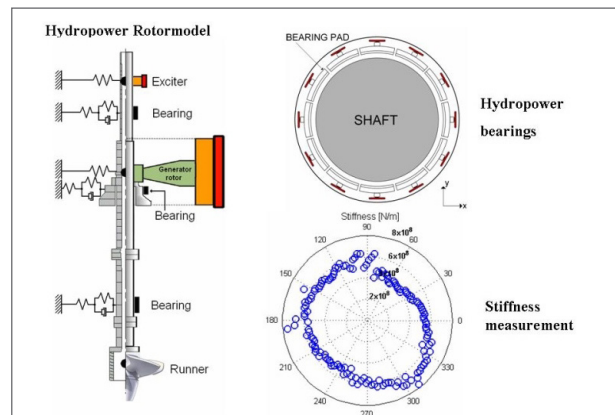
Syntetisk svängmassa för att minska slitage vid vattenkraftstationer

Urban Lundin, UU

Projektet kommer att demonstrera en metod som handlar om att aktivt styra den svängmassa man behöver i kraftsystemet genom att anslutna ett energilager. Tester ska genomföras på experimentgeneratoren Svante i Uppsala och man kommer att införa syntetisk svängmassa genom att anslutna batterier eller andra typer av energilager. Det förväntade resultatet är en mer flexibel rigg som också har en turbinregulator och därför kan köras under ö-drift för att behålla elsystemet i balans även under snabba lastvariationer där man kan bestämma trögheten i systemet. Forskningen handlar också om att studera hur ett minskat reglerarbete påverkar vattenkraftregulatorn och hur detta kan minska slitaget av de aggregat som bidrar med frekvensreglering.

Rotordynamik

Målet med den här forskningen är att bygga upp förståelse om dynamiken i vattenkraftsrotorer. Med rotordynamik avses det roterande systemet turbin-axel-generator och syftet är att minska vibrationerna och undvika haverier. Genom bättre modeller, mätteknik och simuleringsmetoder kan tillförlitligheten och tillgängligheten i det roterande systemet öka och på sikt kommer också livslängden att kunna förutsägas.



Jan-Olov Aidanpää är seniorforskare inom rotordynamik i SVC och professor och ämnesföreträdare i datorstödd maskinkonstruktion på Institutionen för teknikvetenskap och matematik vid Luleå tekniska universitet. Han disputerade 1995 och forskar bland annat på simuleringsmekanik, och mätteknik som gör vattenkraftens roterande system mer pålitliga och att man på sikt ska kunna förutsäga livslängden på turbiner och generatorer. Till avdelningen är Rolf Gustavsson, Vattenfall knuten som adjungerad professor.



Multifysikaliska modeller för rotordynamisk analys av vattenkraftstationer Yogeshwarsing Calleecharan, LTU

Här studerades konsekvenserna av statisk och dynamisk excentricitet i vattenkraftsgeneratorer. Resultaten visar att förenklade modeller av elektromagnetiska krafter kan användas för simulering av transienta förlopp, det vill säga svängningsförlopp vid plötsliga förändringar i körsätt. Modellen är användbar för att simulera laster och vibrationer i rotorn på grund av elektromagnetiska laster. Det betyder att resultaten är användbara då konsekvenserna av de elektromagnetiska krafterna utvärderas för roterande system. Yogeshwarsing disputerade i juni 2016.

Fluid-strukturinteraktionens påverkan på styvhet, tröghetsmoment och dämpning i turbiner

Michel Cervantes och Razvan Roman, Politehnica University of Bucharest, Rumänien

Projektet har resulterat i en experimentell procedur för att identifiera och kvantifiera påverkan av fluid-strukturinteraktion på styvhet, tröghetsmoment och dämpning i en Francisturbinmodell. Detta krävs för att modellera en vattenkraftanläggnings dynamik och interaktion med elnätet. Experimentella tekniker har utvecklats i Luleå och tillämpas i en Francismodell vid NTNU i Norge. Resultaten från projektet bidrar till pågående och framtida forskningsaktiviteter och till andra doktorandprojekt inom SVC:s verksamhet.

Ickelinjär dynamik i vattenkraftsrotorer

Florian Thiery, LTU

Ickelinjära fenomen som geometrifel, elektromagnetiska krafter och turbinkontakt i vattenkraftsrotorer förstärks av att de oftast är vertikalt orienterade. Projektet har utvecklat bättre rotordynamiska modeller för vattenkraftaggregat genom att utvärdera när ickelinjära fenomen kan inträffa och hur dessa kan undvikas. Modellerna har också implementerats i en systemmodell för att ta reda på konsekvenserna av kombinerade ickelinjära effekter. Florian disputerade i november 2016.

Simuleringsteknik för analys av dynamik och livslängd under start och stopp i vattenkraftsturbiner

Erik Synnegård och Sudhakar Gantasala LTU

Inom projektet kommer dynamiska modeller skapas för att simulera vilken inverkan på systemets livslängd som reglering, start och stopp av vattenkraftsaggregat har. Genom experiment i en testrigg ska lagermodeller för vertikala rotorer från tidigare forskning vidareutvecklas. En ny rotor har tillverkats som är överkritisk vilket innebär att modellerna för lagren kan undersökas för ett dynamiskt system. Erik presenterade sin licentiatuppsats i mars 2016, och i januari 2017 tog Sudhakar över som projektutförare. Sudhakar planerar att disputerar under 2018.

I projektet ska experiment också genomföras på en testrigg för vertikala rotorer vid Vattenfalls laboratorium i Älvkarleby. Riggen kommer att modifieras med nya lager och en flexibel rotor för att kunna studera dynamik under startförlopp. Avsikten är att utvärdera de framtagna modellerna för att kunna förutsäga dynamiken under start och stopp och därmed säkra en hög tillförlitlighet i verkliga stationer. Jan-Olov Aidanpää, Rolf Gustavsson och Urban Lundin på Uppsala universitet arbetar med den experimentella delen av projektet som avslutas under 2017.

Dynamisk modellering av elastiska generatorkomponenter i vattenkraftsrotorer

Per Engström, Florian Thiery LTU

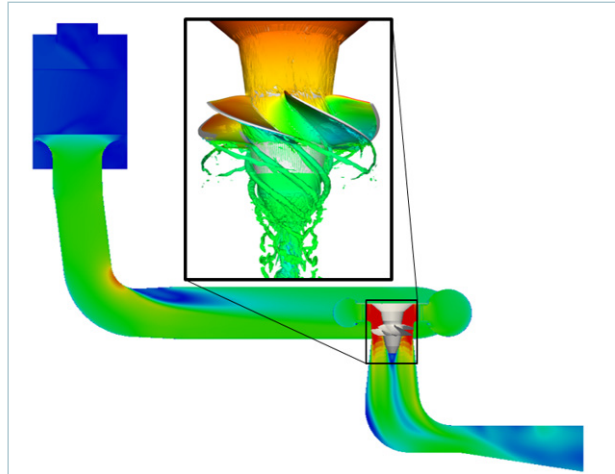
Generators modelleras idag som en stel kropp utsatt för magnetisk dragning. Den verkliga generatorn är mer elastisk och innehåller flera komponenter som borde inkluderas i modelleringen.

Generatorkonstruktioner med elastisk eller flytande rotorring, elastisk statorrygg och elastiska fötter kan få dynamiska problem som inte går att modellera idag. Projektet ska utveckla detaljerade mekaniska modeller av elastiska generatorkomponenter i vattenkraftanläggningars rotorsystem och studera dynamiska konsekvenser och utmattning. Per Engström Luleå tekniska universitet påbörjade arbetet och Florian Thiery tog över projektet, som ska avslutas hösten 2017.



Strömningsmekanik, beräkning

Inom forskningsmiljön utvecklas och tillämpas metoder för beräkningar och mätningar för specifika förhållanden som råder i vattenturbiner och generatorer. Målet är att bättre förutsäga och förstå strömningen i turbiner och sugrör, kavitation i turbiner, uppvärmning och kylning av generatorer. Det leder till en bättre förståelse för hur vattenturbiner och generatorer ska utformas för att ge en hög verkningsgrad över ett stort spann av driftfall och körsätt, samtidigt som man undviker fenomen som är skadliga för maskinen. Utvecklingen av metoder för strömningsberäkningar är baserad på öppen källkod, och kan därmed direkt komma industrin tillgodo.



Håkan Nilsson är seniorforskare inom strömningsmekanik i SVC och professor i strömningslära på institutionen för Mekanik och Maritima Vetenskaper på Chalmers. Han disputerade 2002 och forskar inom vattenströmning och kavitation i vattenturbiner samt luftkylning av vattenkraftsgeneratorer



Turbulens i virvlar och roterande maskiner

Ardalan Javadi, Chalmers

Ardalan har utvärderat och vidareutvecklat numeriska metoder och modeller som tar hänsyn till turbulensen i strömningen i virvlar och i roterande maskiner. Forskningen handlar bland annat om virvelrepets egenskaper i sugröret, inverkan mellan olika strömningsfenomen och virvelrepet, hur virvelrepet påverkas av olika driftfall, och hur bladspalternas storlek påverkar strömningen. Detta har gjorts både med och utan inverkan mellan roterande och icke roterande delar i allt från akademiska testfall till en modell av en Kaplan-turbin. Kunskap om turbulensens specifika beteende i vattenturbiner är avgörande för att kunna utforma turbiner som ska användas vid körning utanför bästa driftpunkten och vid reglering. Ardalan föreslog exempelvis en metod som aktivt kontrollerar och drastiskt minskar de tryckpulsationer som uppstår av virvelrepet, genom att bryta ner det storskaligt roterande virvelrepet till mindre turbulenta strukturer som inte skadar turbinen. Ardalan disputerade i juni 2016.

Inverkan mellan roterande och icke roterande delar, och mellan systemet och turbinen

Olivier Petit, Chalmers

Oliver har utvecklat och utvärderat metoder för strömningsberäkningar som tar hänsyn till inverkan mellan vattenturbinernas roterande löphjul och de delar som inte roterar. Det handlar om studier av hur vattenvägarnas form fram till turbinen påverkar strömningen i turbinen. Som en del av sin post-doc och forskarassistenttjänst fortsatte därefter Oliver med att utveckla metoder som tar hänsyn till inverkan mellan de lokala strömningsegenskaperna i turbinen och de i hela systemet. Dessutom har han beräknat och studerat de tryck-pulsationer som uppkommer när en ventil stängs, som en del i ett områdesöverskridande samarbete i SVC. Arbetet har bidragit till utvecklingen av öppen källkod för strömning i roterande maskiner. Det har också inlett utvecklingen av beräkningskod för inverkan mellan turbinen och systemet. Detta är nödvändigt för att med en hög noggrannhet kunna förutspå turbinens och hela systemets egenskaper i de driftfall som uppstår vid körning utanför bästa driftpunkten, och vid reglering. Olivier disputerade 2012.

Modeller för kavitationsberäkningar i vattenturbiner

Aurelia Vallier, LTU

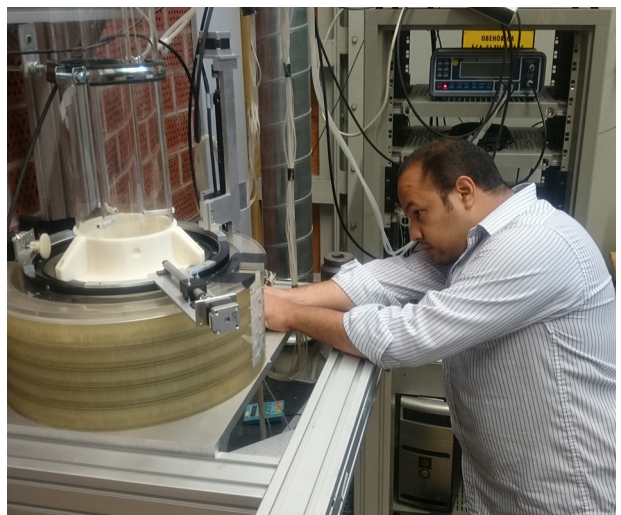
Aurelia utvecklade nya metoder och modeller för kavitationsberäkningar i vattenturbiner. Kavitation innebär att vatten överförs från vätska till gas när det utsätts för lågt tryck. När trycket ökar igen kan det ske en våldsam övergång tillbaka till vätska, vilket kan orsaka skador på turbinens ytor. För att kunna göra beräkningar av sådana fenomen behöver man metoder som på ett fysikaliskt sätt modellerar denna fasövergång och dess inverkan med strömningen i stort. I vissa delar av kavitationsprocessen slits stora sjok av vattenånga isär till en stor mängd små bubblor. Från en numerisk synvinkel innebär det att man måste använda olika metoder för olika delar av kavitationsförloppet. Aurelia utarbetade därför en kombination av två olika metoder. Beteendet hos bubblorna studerades dessutom genom en modell för bubbeldynamik. Denna typ av studier ger möjlighet att bättre förstå uppkomsten av kavitation och var det finns risk för skador på maskinen. Med sådan kunskap finns det förutsättningar att utforma bladen så att man helt undviker kavitation, eller i alla fall dess skadliga egenskaper. Aurelia disputerade 2013.



Parametriska experimentella och numeriska studier av kylflöde i generatorer

Pirooz Moradnia, Chalmers

Pirooz var en pionjär inom studier av kylflöden i generatorer inom svenskt vattenkraftcentrum. Han inledde med en omfattande parametrisk numerisk studie av hur olika geometrier påverkade luftströmningen i generatorer. Projektet innefattade också en omfattande studie av lämpligheten hos olika turbulensmodeller och kopplingsmetoder mellan roterande och icke-roterande delar. Pirooz studerade en mängd olika randvillkor, och tog fram ett sätt att helt förutspå strömningen i generatorer utan att använda någon annan data, och resultaten var väldigt lika de som senare experimentellt uppmättes i generatorriggen SVANTE i Uppsala. Han gjorde även avancerade experimentella studier av luftflödet i en nedskalad modell av SVANTE och jämförde experimentella och numeriska resultat. Pirooz' arbete resulterade i både numeriska och experimentella metoder som med hög noggrannhet kan förutspå kylflödet i generatorer. Det gav förutsättningar för mer detaljerade studier och kunskap som kan användas för att förbättra generatorernas utformning så att man undviker skadligt höga och varierande temperaturer. Pirooz disputerade i maj 2013.





Detaljerade experimentella och numeriska studier av kylfluetsflöde i generatorer, och utveckling av värmeöverföringsmätningar

Hamed Jamshidi, Chalmers

Hamed förfinade de metoder som påbörjats av Pirooz. Han anpassade modellen på Chalmers för att direkt kunna mäta luftflödet. En ny design av rotns fläkt ökade flödet till det dubbla och förenklade strömningens egenskaper. Han ökade senare flödet ytterligare genom en extern fläkt, så att egenskaperna ännu bättre motsvarar de i en verklig vattenkraftgenerator och att man kunde studera effekter av varierande flöde. Mätningarna automatiserades genom ett avancerat traverseringssystem och de laserbaserade metoderna förfinades. Tre olika statorgeometrier, i vilka kylkanalernas form varierade, studerades både experimentellt och numeriskt. Genom att de experimentella och numeriska resultaten var väldigt lika kunde de komplettera varandra för att dra slutsatser om strömningens beteende och orsakerna till det.

Ett slutligt kort delprojekt studerade en metod för att indirekt kunna mäta värmeöverföringskoefficienten mellan ett material och ett flöde utan att ha optisk tillgång till ytorna man vill undersöka.

Arbetet resulterade i noggrant bekräftade experimentella och numeriska metoder och en mycket detaljerad bild av hur kylfluetsströmningen beter sig i generatorer. Han skapade även förutsättningar för experimentella studier av värmeövergången vid generatormodellens ytor, vilket är avgörande för att i detalj förstå hur värmefördelningen utvecklas i generatorn. Hamed disputerade i april 2017.

Experimentella och numeriska studier av värmeöverföring i generatorer

Bercelay Niebles Atencio, Chalmers

Bercelay har nyligen börjat och arbetar vidare, efter Hamed, med att inkludera värmeöverföring i både de experimentella och numeriska studierna. Värmen genereras framför allt genom elektriska förluster i de fasta materialen. För att kunna ansätta denna värmegenerering i de numeriska beräkningarna måste beräkningarna även ske i de solida materialen. Det leder till så kallade konjugerade beräkningar, som även kopplar värmeöverföringen mellan solid och fluid, och som utvärderas av Bercelay specifikt för generatorer. Att mäta värmeöverföring är väldigt svårt, speciellt när man inte kan se ytorna som ska undersökas. Bercelay kommer därför att fortsätta utveckla den experimentella metod som Hamed gjorde initiala tester med, och använda den i generatorriggen på Chalmers. Resultaten kommer att jämföras med motsvarande beräkningar. Förutom strömningsberäkningar kommer även så kallade nätverksberäkningar att utföras. I dessa kopplas empiriska modeller för olika komponenter av systemet ihop för att tillsammans ge en representation av hela systemet. Denna typ av beräkningar är mycket snabbare än strömningsberäkningar, och används därför i industrin. Dock finns det behov av att vidareutveckla de empiriska modellerna för att få mer noggranna resultat. Det kan man göra tillsammans med de experimentella studierna och strömningsberäkningar. Det resulterar slutligen i noggrannare och snabbare beräkningar av luftströmning och temperaturfördelning i generatorer, vilket ger förutsättningar för att öka verkningsgrad och effekt samtidigt som man minskar riskerna för alltför höga temperaturer.

Strömningsmekanik, experiment

Den här forskningen fokuserar på tillämpad forskning av enfasströmning, turbulent och icke-stationär strömning. De olika studierna görs på en generisk modell av en turbin och på en turbin i full skala med avancerad mätteknik och numerisk beräkning. Forskargruppen gör detaljerade mätningar på specifika fenomen och olika typer av simulering. Simulering används ibland också som hjälp vid design och utvärdering av experimentella mätningar. I Älvkarleby testas modeller och i Porjus används fullskaleturbiner för att simulera och undersöka olika frågor.



Michel Cervantes är seniorforskare inom experimentell strömningsmekanik och professor vid Luleå tekniska universitet inom strömningsmekanik samt adjungerad professor vid Norges teknisk-naturvetenskapliga universitet. Han disputerade 2003 och forskar inom vattenkraft med fokus på flödesmätningar, förluster, transienter och flödeskontroll.



Mätkampanj Porjus Ug-modellen Älvkarleby Berhanu Mulu, Vattenfall R&D

Berhanu Mulus huvudsakliga uppgift är att prova vattenkraftsturbiner. I arbetet ingår att genomföra provning, agera provledare och att genomföra djupare tekniska analyser av provresultaten. I strömningsmaskinlaboratoriet utförs modellprov som både interna uppdrag åt Vattenfall Vattenkraft men även extern provning åt olika leverantörer av vattenkraftturbiner. Med jämna mellanrum genomförs även uppdrag inom SVC där doktorander genomför mätkampanjer på Porjus Ug-modellen.

Investigation and development of the Winter-Kennedy method Binaya Baidar, LTU

Projektets mål är att undersöka begränsningar och osäkerheter i den nuvarande formuleringen av Winter-Kennedy metoden för relativ mätning av verkningsgraden i Kaplan-turbiner. Det vill säga att studera osäkerhet och begränsningar relaterat till placering av tryckuttag, effekter av inloppet och löphjulets utformning samt viskösa, tidsberoende och råhetsrelaterade effekter. Målet är också att baserat på en analys av dessa begränsningar och osäkerheter föreslå två utvecklade formuleringar av metoden, en kvasi-exakt och en förenklad metod för mätning av verkningsgraden.

Sammanställning av experimentell data

Michel Cervantes, LTU

Det här är ett samarbetsprojekt kallat Experimental and numerical investigation of a hydraulic channel during a gate closure at a high Reynolds number som har genomförts mellan SVC:s forskare inom strömningsmekanik och vattenbyggnadshydraulik. Det innehöll både experimentella och numeriska studier av systemtransienter vid exempelvis luckstängning och reglering av en kraftstation. Resultatet av projektet är en sammanställning av tryck- och hastighetsmätningarna som används för fortsatt numerisk utveckling.



Development of the pressure-time method as a relative method

Michel Cervantes, Luleå tekniska universitet och Pontus Jonsson, Vattenfall R&D

Projektet har utvecklat tryck-tid-metoden som en relativ flödesmättningsmetod för turbiner med låg fallhöjd. Målet med projektet är att se om tryck-tid-metoden kan användas som relativ flödesmättningsmetod och om den kan komplettera Winter-Kennedy-metoden under vissa förutsättningar.

Accurate Flow Measurements in Low Head Machines

Joel Sundström, LTU

Här genomförs och utvärderas instationära och transienta mätningar av väggskjuvspänning, hastighet och tryck på en testrigg. Målet är att bekräfta betydelsen av förlustbeskrivningen för tryck-tid-metodens osäkerhet och att utvärdera och utveckla de förbättrade modellerna. Projektet samarbetar med University of Teheran, Polytechnica University of Bucharest, Hydro-Quebec, Kanada och Norges teknisk-naturvetenskapliga universitet. Mätningarna ska göra det lättare att förstå fysiken bakom transient friktion som är fundamental för att kunna utveckla tryck-tid metoden. Projektet ska leda fram till vetenskapligt baserade modifieringar av tryck-tid-metoden vilket kommer att öka metodens noggrannhet på turbiner med låg fallhöjd. Joels disputation planeras till våren 2018.

Loads on Kaplan runner

Arash Soltani, LTU

Projektet har modifierat försöksanläggningen Porjus Ug, installerat mätsystem och genomfört mätningar. Det handlar om att kvantifiera lasternas storlek och frekvens vid stationära, ickestationära och transienta förlopp. Syftet är att öka förståelsen för hur start- och stoppförlopp samt variationer av vattenmängd påverkar Kaplanturbiners livslängd och hur man kan minimera påverkan på turbinerna. Projektet underlättar också samarbetet mellan SVC:s olika forskningsmiljöer genom att genomföra och utvärdera mätningar i samverkan med andra projekt.

Experimental investigation of a Kaplan model

Kaveh Amiri, LTU

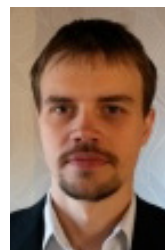
Projektet kompletterade databasen för Ug-modellen för CFD-validering och uppskalningsstudier för Kaplanturbiner. Det har handlat om att utveckla ickestationära metoder för tryck- och hastighetsmätningar och väggskjuvspänning för turbinmodeller och ny teknik för optisk mätning av strömningsprofilen i prototypskala. Resultat och ny kunskap från projektet har ökat förståelsen för interaktionen mellan roterande och stationära delar i Kaplanturbiner vid olika driftsförhållanden, speciellt effekten av spiralen och virvelrep på tryckpulsationer. Kaveh disputerade i september 2016.

Maskinelement

Den här forskningen handlar om tribologi, det vill säga läran om friktion, nötning och smörjning. Forskningen behandlar hur val av smörjmedel och lagermaterial påverkar både prestanda och slitage såväl som nya metoder att förutspå livslängd relaterad till slitage av olika komponenter. Forskningen ska också utvärdera om ett nytt miljöanpassat smörjmedel kan användas inom vattenkraften. De första testerna har visat på prestandafördelar hos det nya miljöanpassade smörjmedlet.



Kim Berglund är seniorforskare inom maskinelement och biträdande universitetslektor vid Luleå tekniska universitet. Han disputerade 2013 och forskar inom vattenkraft med fokus på underhållsmodeller som kan användas för prognos och diagnos av ett vattenkraftsaggregats driftsäkerhet och återstående livslängd. En del av forskningen behandlar även nya miljöanpassade smörjmedel för vattenkraft.



Mätningar av hydrodynamiska egenskaper hos polymerbelagda radiella glidlager

Greg Simmons, LTU, KTH

Målet med detta projekt var att studera hur oljans egenskaper ska finjusteras för att minska energiförlusterna till följd av smörjning. En testutrustning för att utvärdera potentialen hos nya miljöanpassade smörjmedel utvecklades inom projektet. Testerna visade att nya typer av smörjmedel signifikant kan minska förluster utan att påverka tillförlitligheten av smörjsystemet. Funktionen av nya lagermaterial med avseende på tillförlitlighet och låg friktion under uppstart har också undersökts. Resultaten av försöken visar att nya PTFE-baserade lagermaterial har betydligt lägre friktion vid uppstart jämfört med traditionella material. Greg disputerade i september 2013.

Dynamic behavior of low viscosity fluid film bearings with compliant linings

Matthew Cha, KTH

Målet med projektet var att göra en mer exakt dynamisk utvärdering av vattenkraftanläggningar för att öka tillförlitligheten, livslängden och effektiviteten. En numerisk modell utvecklades och användes för att utreda hur den dynamiska responsen hos styrlager med självinställande segment beror på ett antal olika parametrar. Resultaten kan användas för att underlätta val av lagermaterial utifrån dynamiska egenskaper. Mätningar av oljefilmtjocklek, oljefilmtemperatur och laster på glidlagrens segment genomfördes i ett 10 MW vattenkraftverk. Testresultaten jämfördes med resultaten från en finita element modell utvecklad inom projektet. Resultaten visar att maskinens styvhet kan vara viktigare för prestandan än lagrets styvhet. Matthew disputerade i april 2015.

Prediktering av återstående lagerlivslängd i Kaplannav

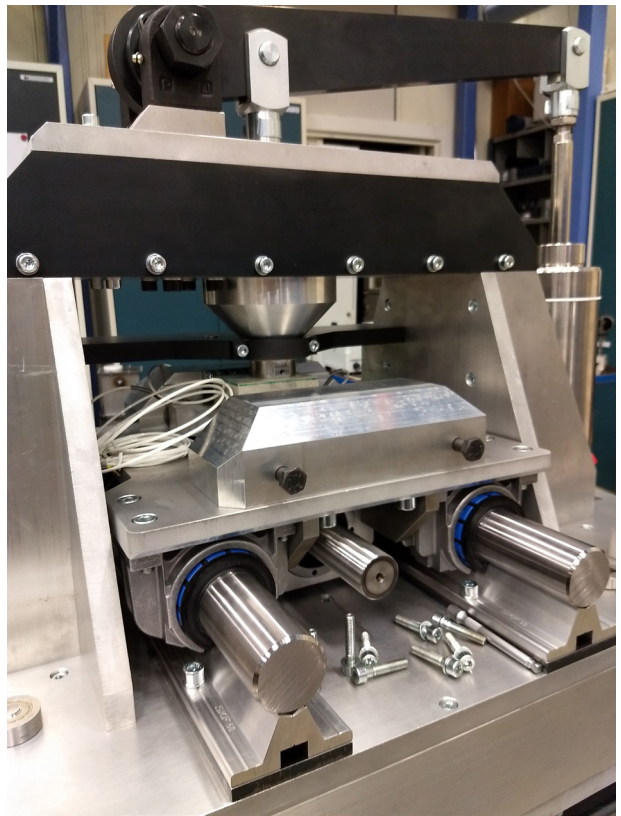
Maria Rodiouchkina, LTU

Det övergripande målet för detta doktorandprojekt är att utveckla nya modeller för att förutsäga den återstående livslängden för lager och nya metoder som aktivt ska förlänga livslängden och funktionen i skovellager. För att nå målet kommer test att genomföras för att utreda hur olika arbetsförhållanden påverkar livslängden. Med hjälp av den genomförda testningen kan en modell för att förutspå åldringen utifrån lämpliga parametrar, t.ex. temperatur, kontakttryck, glidhastigheter m.m., tas fram. Projektet handlar också om metoder för att översätta resultaten från modell- och komponenttester till resultat som kan användas i fält.

Glycerolbaserade smörjmedel i vattenkraftturbiner

Kim Berglund, Yijun Shi, Mattias Grahn och Roland Larsson, LTU

Det här är första steget i ett stort projekt som ska undersöka om glycerolbaserade smörjmedel kan användas som ett miljöanpassat alternativ till konventionella smörjmedel inom vattenkraften. Projektet ska utvärdera möjligheterna att reducera friktion och nötning i vattenturbiner med glycerolbaserade smörjmedel, utreda eventuella miljöeffekter av läckage till vatten, bedöma livslängden för dessa smörjmedel jämfört med konventionella och utveckla en högpresterande, kostnadseffektiv och miljöanpassad lösning för smörjmedel i vattenturbiner. Projektet är indelat i fem arbetspaket där varje del ska resultera i en vetenskaplig publikation. Detta projekt avrapporteras under 2017 och innehåller de två första arbetspaketen som inkluderar projektets två första mål – att utvärdera möjligheterna och att utreda eventuella miljöeffekter.



Utveckling av mätmetod för tillståndskontroll av lager i Kaplanturbiner

Marianne Östman, LTU

Projektet ska identifiera de lager i en Kaplanturbin som är kritiska för ett haveri och vilka åldringsmekanismer som är viktiga för de här typerna av lager. Frågan är hur de tribologiska åldringsmekanismerna kan relateras till en eller flera mätbara parametrar.

Resultatet av studien förväntas leda till en ny mätmetod för tillståndskontroll och för att bestämma den kvarstående lagerlivslängden för lager i Kaplanturbiner. Marianne planerar att lägga fram en licentiatuppsats våren 2018.

SVC STATUSRAPPORT 2017/2018

Svenskt vattenkraftcentrum, SVC har fokus på forskning och utbildning inom vattenkraft och gruvdammar. Vi tar fram ny kunskap för en effektiv och tillförlitlig vattenkraftproduktion och en tryggad dammsäkerhet, som en viktig del av ett uthålligt energisystem i Sverige.

Många frågor är unika för vattenkraften. Kraftverken består av stora, tunga och långsamt roterande maskiner som inte finns i någon annan industri. Vattenkraftens konstruktioner är speciella och många är utsatta för ett hårt vattentryck. Det kräver stor kompetens som tar många år att bygga upp. Vattenkraften måste också ständigt förnyas och anpassas efter en allt mer kvalificerad reglersituation och striktare miljökrav. Vår vision är att vara en av världens ledande utbildnings- och forskningsmiljöer inom vattenkraft och dammar. Här beskrivs de olika forskningsmiljöerna och alla våra projekt.

Vi gör energivärlden smartare!

Genom samarbete och dialog bedriver vi energiforskning så att ny kunskap skapar värde för näringsliv, kunder och samhället i stort. Vi är det naturliga navet i energiforskningen – en opartisk aktör till nytta för framtidens energisystem.



Energiforsk

Energiforsk AB | Org.nr 556974-2116 | Telefon: 08-677 25 30 | Fax: 08-677 25 30 | E-post: kontakt@energiforsk.se
Besök: Olof Palmes gata 31, Stockholm. Nordenskiöldsgatan 6, Malmö | Post: 101 53 Stockholm | www.energiforsk.se