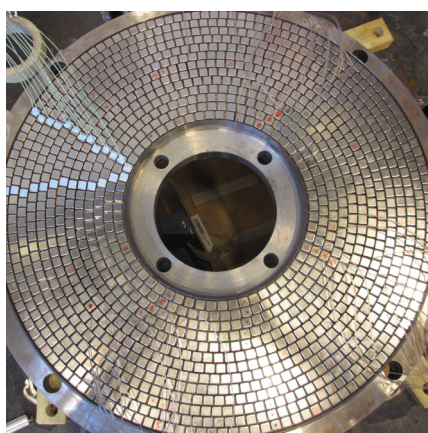


# NYHETER OCH RESULTAT FRÅN SVC

RAPPORT FRÅN SVENSKT VATTENKRAFTCENTRUM 2013-2018



---

# INNEHÅLL

Svenskt vattenkraftscentrum - då och nu .....	3
Många matnyttiga resultat.....	4
En världsunik satsning.....	5
Tillgång till unik kompetens .....	6
Kunskap och medvetenhet i fokus.....	7
<b>Vattenbyggnad</b>	
Vattenbyggnad.....	8
Hydrologi och vattenbyggnadshydraulik – Anders Wörman KTH.....	9
Geoteknik och bergmekanik – grundläggning av dammar, Fredrik Johansson KTH .....	10
Geoteknik och bergmekanik – fyllningsdammar, Jenny Lindblom LTU.....	12
Vattenbyggnadshydraulik, Gunnar Hellström LTU.....	14
Konstruktionsteknik, Richard Malm KTH.....	16
<b>Vattenturbiner och generatorer</b>	
Vattenturbiner och generatorer .....	19
Elektromekanik, Urban Lundin UU .....	20
Rotordynamik, Jan-Olov Aidanpää LTU .....	22
Strömningsmekanik – beräkning, Håkan Nilsson LTH.....	24
Strömningsmekanik – experimentellt, Michel Cervantes LTU .....	26
Maskinelement, Kim Berglund LTU .....	28
Fakta om Svenskt vattenkraftcentrum .....	30
Doktorer och licentiater .....	31





## Svenskt vattenkraftcentrum – då och nu

Svenskt vattenkraftcentrum har under många år haft fokus på forskning och utbildning inom vattenkraft och gruvdammar. Satsningen har sedan starten 2005 bidragit till ny kunskap för en effektiv och pålitlig produktion av vattenkraft och en tryggad dammsäkerhet – två viktiga delar av ett uthålligt energisystem i Sverige.

Den här rapporten berättar om verksamheten i SVC under perioden 2013-2018.

### Perspektiv på 100 år

Många forskningsfrågor är specifika för vattenkraften. Inte i någon annan industri finns det så stora, tunga och långsamt roterande maskiner som i våra vattenkraftverk. Konstruktionerna är speciella och många är utsatta för ett ensidigt vattentryck vilket kräver kunskap och kompetens som tar många år att bygga upp. Svenskt vattenkraftcentrum har ett perspektiv på 100 år både när det gäller att öka livslängden för konstruktionerna och att hantera kravet på vattenkraften som reglerkraft.

### Kompetens för branschen

Med en allt mer krävande reglersituation och striktare miljövillkor måste vattenkraften ständigt anpassas och förnyas. Svenskt vattenkraftcentrum bildades för att säkerställa försörjningen av ny kompetens till branschen på samma gång som forskarna studerar och löser vattenkraftens specifika problem tillsammans med vattenkraftägare och myndigheter.

Forskningen i SVC har varit och är uppdelad i två verksamhetsområden: Vattenbyggnad och Vattenturbiner och generatorer. Varje verksamhetsområde har en styrgrupp och en ordförande. Inom verksamhetsområdena finns också ett tiotal olika forskningsmiljöer med fokus på branschens behov.

### Strategiska utmaningar

Under programperioden 2013-2018 har en ny utbildnings- och forskningsmiljö etablerats inom konstruktionsteknik. Forskningsområdet elektromekanik har fått en tydligare inriktning mot generatorns interaktion med elnätet, och forskningsområdet maskinelement har fått en bredare inriktning mot bedömning av anläggningens tillstånd. Tre systemområden har lyfts fram under programperioden: Reglerkraft, Miljöteknik och Aktiv förvaltning. De innehåller alla strategiskt viktiga utmaningar för vattenkraftbranschen.

### Vision

Svenskt vattenkraftcentrum har en vision. Den handlar om att vara ett av världens ledande utbildnings- och forskningscentrum inom vattenkraft och dammar. Och det strävar vi efter att vara också i fortsättningen. Vattenkraften har en stor roll i det förnybara energisystemet i att balansera vind och sol. Klimatet kommer också att ha en stor inverkan på hur den framtida vattenkraften kan komma att se ut. Det betyder med säkerhet att behovet av forskning och utveckling kommer att öka under de kommande åren.





## Många matnyttiga resultat

Fredrik Engström från Vattenfall är ny ordförande i SVC. Dessförinnan har Fredrik suttit med i styrgruppen för Vattenturbiner och generatorer.

– Det är många matnyttiga projekt som har genomförts i SVCs regi! En stor fördel med centret är att kunskapsbasen om våra anläggningar byggs på hela tiden, säger Fredrik.

### Kunskap viktig för investeringar

Kunskapsläget kring dammar har påverkat lönsamhet och investeringar, menar Fredrik:

– Just vad gäller dammar vet ingen med säkerhet hur de åldras och hur gamla de kan bli. Ökad kunskap om dammars åldrande har fått positiva konsekvenser för våra investeringar och därmed lönsamheten. Det finns också flera viktiga projekt för att på motsvarande sätt förstå åldrande och status i våra aggregat.

### Modellera verkligheten

Flera projekt inom SVC försöker också utveckla hur vi



kan modellera verkligheten för att undvika stora och ibland omöjliga experiment, menar Fredrik:

– Ta till exempel eroderbara dammdelar, så kallade Fuse plugs. Det är mycket svårt att testa fuse plugs i full skala. Men även simuleringar av aggregat, både

turbiner och generatorer är svåra att testa i verkligheten. De kunskaper vi får genom SVC är därför av stort värde.

### Aktuellt område

Rotordynamik är ett väldigt aktuellt område, anser Fredrik.

– I flera av våra pågående projekt har den kompetens som skapas i SVC direkt bidragit till att förstå och förebygga problem som uppkommer i samband med byte av aggregat. Här är det en direkt koppling mellan verkliga problem och utvecklad kunskap för att modellera och förstå problemen.

### Miljöanpassad smörjning

Det finns också några maskinnära projekt som är av stor vikt för branschen menar Fredrik:

– Det finns ett projekt som handlar om smörjning med glycerol. Vi har tack vare projektet ett uttalat mål att överväga smörjning med glycerol som ett alternativ i våra anläggningar. Vi är nu inne på försök, men har ännu inte infört det i praktiken.

### Att satsa på framöver

– Jag skulle gärna vilja se forskningsprojekt med inriktning på flexibilitet, de hänger på sätt och vis ihop med ett marknadsperspektiv. En annan viktig inriktning är vattenkraftens miljöfond. Jag ser också ett behov att diskutera hur vi ska klassificera information om anläggningar. Säkerhetstänket är viktigt!





## En världsunik satsning

Erik Höglund, professor i maskinelement på LTU, började först i styrgruppen för Vattenturbiner och generatorer och gick sedan vidare till styrelsen för Svenskt vattenkraftcentrum. Nu går Erik i pension och slutar därför i SVCs styrelse.

– Det har varit otroligt roliga och givande år. Dialogen mellan Energimyndigheten, industri och akademi har varit intressant att följa på nära håll.

### Ändrat fokus över tid

Verksamheten i SVC har ändrat fokus under perioden 2013-2018. Under de första åren handlade många projekt om att effektivisera turbiner och generatorer och att få till mer effektiva vattenvägar.

– Under senare år har det allt mer kommit att handla om dammar och dammsäkerhet med koppling till klimatet. Förändrade flöden är ett exempel på det. Vattenkraften står inför ökade miljökrav och de kraven kan påverka körmönster av maskiner och ge ökat slitage. Det är frågor som vi har inriktat oss på under senare tid. Erosionsskador, kortare reglerintervall och underhåll är områden som kommer att vara fortsatt aktuella när det gäller dammar.

### Världsunik satsning

SVC är en långsiktig satsning som är världsunik, menar Erik.

– Vi har fått många beundrande ord från andra länder, till exempel Norge. Centret har varit till stor nytta för både industri och akademi och startades framförallt för att det rådde en brist på kompetens. Det bildades noder på flera universitet och högskolor och utbildningar med fokus på vattenkraft kom igång. SVC har givit upphov till att en otroligt viktig kompetens på vattenområdet har byggts upp.

### Fortsatt viktig roll

– Användningen och utbyggnaden av alternativa energikällor har en stor inverkan på vilka områden som blir aktuella för forskning. Vattenkraften fungerar som en balansfaktor när sol- och vindkraften byggs ut, säger Erik Höglund. Jag är säker på att SVC kommer att spela en fortsatt viktig roll för vattenkraften och det förnybara energisamhället.





## Tillgång till unik kompetens

Carl-Oscar, Calle, Nilsson på Uniper har ingått i styrgruppen för forskningsområdet Vattenbyggnad inom Svenskt vattenkraftcentrum sedan 2007 och var ordförande under perioden 2011-2014.

– I mitt dagliga jobb på Uniper som dammtekniskt sakkunnig har jag ofta nytta av den forskning som sker inom SVC vattenbyggnad. Flera av resultaten från forskningen inom SVC har vi kunnat implementera direkt i vår verksamhet, till exempel konstruktionsteknik, berg och geoteknik, berättar Calle.

SVC har varit och är en oerhört viktig och central forskarmiljö för branschen, menar Calle.

– Det är relativt långa ledtider på vissa resultat, men nu kan vi skörda det som vi startade upp för upp till tio år sedan. Det kommer ett stort antal viktiga Energiforsk-rapporter på området nu.

### Att delta i SVC

Att ha en företagsrepresentant med i SVC är fördelaktigt för både företag och personligen för den som sitter med, menar Calle.

– Det har varit otroligt stimulerande för mig att sitta med i styrgruppen och leda arbetet inom vattenbyggnad. Min kompetens har byggts på hela tiden och jag har fått kunskaper om det senaste inom forskningen på ett sätt som det annars skulle vara svårt att få. Det har varit till mycket stor nytta i mitt jobb som sakkunnig för dammsäkerhet här på Uniper.

SVC ger företagen tillgång till en unik kompetens, menar Calle:

– De medverkande företagen har byggt upp ett nära samarbete med seniorforskarna. Det gör att det är möjligt att ställa komplicerade frågor och få kompetenta svar från den absoluta framkanten inom forskningsområdet.

### Bra samarbete

Det goda samarbetet mellan industri och akademi har också givit upphov till ett rationellt och kostnadseffektivt sätt att göra provtagningar och förse forskarna med data.

– På Uniper har vi bland annat låtit Martin Rosenqvist ta ut betongprover i våra anläggningar för sitt doktorandprojekt om betongs nedbrytning. De proverna har vi sedan haft nytta av för vårt arbete på företaget. Francisco Rios Bayona har undersökt bergsprickor och resultaten har varit till stor nytta för att bedöma betongdammars säkerhet, både för oss och för andra företag.

### Om du skulle lyfta ett projekt som varit till stor nytta för branschen, vilket skulle du välja?

– Det finns många viktiga projekt att välja på och flera som ligger i pipeline för kommande år, så det är mycket svårt att välja bara ett. Ett av alla bra projekt är Hasse Rönnqvists projekt om erosionsprocesser i fyllningsdammar som är förhållandevis enkelt att implementera och ger oss ett bra verktyg i vårt säkerhetsarbete. Det viktigaste är nog ändå den forskningsmiljö som byggts upp under åren och ger oss tillgång till så mycket kunskap. Inte minst märks det nu i uppdateringen av RIDAS, Kraftföretagens riktlinjer för dammsäkerhet, avslutar Calle.





## Kunskap och medvetenhet i fokus

Emma Hagner är områdesansvarig för forskning inom vattenkraft på Energiforsk och driver arbetet med att få en ännu starkare koppling mellan forskning och frågor som rör kraftsystemet.

Emma har tidigare genomfört övergripande utredningar om vattenkraftens roll i samhället, och även jobbat på "turbinnivå" i praktiken och haft nära kontakt med driftpersonal.

– Jag ser verkligen fram emot att föra branschen och forskningsvärlden ännu närmare varandra så att allt det vi gör inom Svenskt vattenkraftcentrum till slut kommer till nytta och implementeras hos kraftbolagen.

Svenskt vattenkraftcentrum, SVC har funnits sedan 2005. Från 2018 är SVC organiserat som ett kompetenscentrum som ska ta fram ny kunskap för att bidra till ett förnybart energisystem genom forskning och utveckling av teknik, system, metoder och frågor kring vattenkraft och dammar.

– Forskningen inom SVC är inriktad på de behov som kraftbolagen har. Fokus måste ligga på att implementera resultaten i branschen och det vill vi bidra till, menar Emma.



De viktigaste frågorna för vattenkraften just nu, anser Emma, är den nationella planen och att miljöprövningen görs med rätt kunskap. Det är viktigt att det finns en medvetenhet om konsekvenserna av besluten.

Inom vattenkraftforskningen pågår nu flera projekt som handlar om energiomställningen.

– Det är viktigt att vi får kunskap om hur vattenkraften kan bidra på bästa sätt till energiomställningen. Urban Lundins projekt Rapid Power Response är ett exempel. Ett annat är projektet Flowing turbines som handlar om vad som händer med flödena om vi måste förändra kraftproduktionen. Programmet är inte igång än, men beräknas starta hösten 2019.

### Nya projekt behövs

Ett centralt verksamhetsområde handlar om vattenbyggnad. Här behöver SVC satsa på nya projekt, menar Emma:

– Vi behöver kunskap för att ta rätt investeringsbeslut vid rätt tillfälle. En hög produktion kräver anläggningar som fungerar och ställer höga krav på dammsäkerhet. Jag vill arbeta för att få en ännu starkare koppling från forskningen inom centret till frågor som rör kraftsystemet.

### Kompetens inom vattenkraften

Resultaten och arbetet i SVC gör att samhället och vattenkraftindustrin får ny teknisk och akademisk kompetens för framtida underhåll, ombyggnad och förnyelse av vattenkraften.

– Det är väldigt kul att få träffa så många engagerade och skarpa människor som arbetar med vattenkraft och som verkligen vill föra utvecklingen framåt, avslutar Emma.





## 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.

Verksamhetsområdet vattenbyggnad handlar 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 inom Vattenbyggnad behandlar frågor om hydrologi, geoteknik och bergmekanik, vattenbyggnadshydraulik samt konstruktionsteknik. Men en helhetssyn 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 drift-

sätt 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 vattenkraftdammar. Inom Svenskt vattenkraftcentrum finns väletablerade och starka utbildnings- och forskningsmiljöer inom fyra verksamhetsområden, vid KTH och Luleå tekniska universitet.

Följande forskningsområden ingår i Vattenbyggnad:

- Hydrologi och vattenbyggnadshydraulik
- Geoteknik och bergmekanik – grundläggning av dammar
- Geoteknik och bergmekanik – fyllningsdammar
- Vattenbyggnadshydraulik,
- Konstruktionsteknik





## Hydrologi och vattenbyggnadshydraulik

Forskningsområdet omfattar ämnen inom tillämpad strömningslära, det vill säga hydraulik, hydrologi och vattenbyggnad med fokus på problem med anknötning 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 har varit 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.

### Förbättrade produktionsmodeller

Projektet har givit förslag på förbättrade produktionsmodeller som tar hänsyn till spridningen i vattnets gångtider på strömsträckor. Målet är att veta vilken betydelse olika modeller och prognosunderlag har för att optimera kraftproduktionen.

**Projektet: Hänsyn till dynamiska effekter i vattendrag för optimerad vattenkraftplanering**

Utförare: Nicholas Zmijewski, KTH, disputerade i mars 2017.

### Säkrare fyllningsdammar

De här resultaten ger en bättre förståelse för hur den inre erosionen genom suffusion och koncentrerat läckage i fyllningsmaterial går till och hur processen från initiering till ett dammbrott sker. Teoretiska modeller har utvecklats som nu kan användas för prognos, förstärkning och konstruktion av fyllningsdammar.

**Projektet: Genomströmning och inre erosion i fyllningsdammar**

Utförare: Farzad Ferdos, KTH, disputerade i november 2016.

### Om luft i strömmande vatten

Projektet studerar om hur luft rör sig i strömmande vatten i utskov och hur luftningsanordningar ska utformas för att förhindra skador genom kavitation där vatten strömmar med hög hastighet. Experiment har genomförts i samarbete med National Chung Hsing University, Taiwan.

**Projektet: Hydraulic design of chute spillwayaerators**

Utförare: Penghua Teng, KTH, tog sin licentiatexamen i mars 2017.





## Geoteknik och bergmekanik – 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 okända. Dimensionering av konstruktioner i och på berg är därför förknippade med stora osäkerheter jämfört med dimensioneringen av 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 värden i beräkningen beskrivs som fördelningar istället för med fixa värden.

Fredrik Johansson är seniorforskare i SVC inom geoteknik och bergmekanik med fokus på grundläggning av dammar. Han är lektor på avdelningen för Jord- och bergmekanik på KTH. Fredrik disputerade 2009 och forskar om stabilitet och grundläggningsfrågor för dammar. Marie Westberg Wilde disputerade 2010 och är anställd på ÄF och även affilierad fakultet vid avdelningen för Jord- och bergmekanik.

### Hantering av osäkerheter för bättre bedömning av dammsäkerhet

I projektet har ett verktyg som kombinerar observationsmetoden med tillförlitlighetsbaserade metoder utvecklats för tillståndsbedömning. Verktöget kan bland annat användas för att definiera larmgränser vid dammätningar och hur acceptabel säkerhet uppnås i samband med reparationsinjektering av dammar.

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

Utförare: Johan Spross, KTH, disputerade i oktober 2016.

### Inverkan från vidhäftning vid utvärdering av betongdammars glidstabilitet

Inverkan från vidhäftning beaktas normalt inte vid utvärdering av betongdammars glidstabilitet då ingående osäkerheter bedöms för stora. I detta projekt har en metodik utvecklats som systematiskt hanterar ingående osäkerheter och möjliggör att denna parameter kan beaktas. Tillämpning av metoden leder till bättre prioriteringar av åtgärder, höjer säkerheten och gör att man på sikt kan ta fram bättre riktlinjer för stabilitetsanalyser av betongdammar.

**Projektet: Skjuvhållfasthet i kontaktytan mellan berg och betong under betongdammar**

Utförare: Alexandra Krounis Guerrero, KTH, disputerade i maj 2016.





### Bättre metoder

#### för dimensionering av kraftverkstunnlar

I projektet utvecklas praktiskt tillämpbara metoder för tillförlitlighetsbaserad dimensionering av bergförstärkning i tunnlar. Genom att beakta parametrarnas ingående spridning samt hur möjliga brottmoder ska betraktas ut ett systemperspektiv kan förstärkningen optimeras samtidigt som kraven på acceptabel säkerhet bibehålls. Här har de metoder för dimensionering som används inom svenskt bergbyggnad förbättrats och vidareutvecklats.

Projektet: **Dimensionering av bergförstärkning enligt Eurokod med tillförlitlighetsbaserade metoder**  
Utförare: William Bjureland, KTH höll sitt licentiatseminarium i maj 2017 och planerar att disputeras i december 2019.

### Förbättrad utvärdering av glidstabilitet

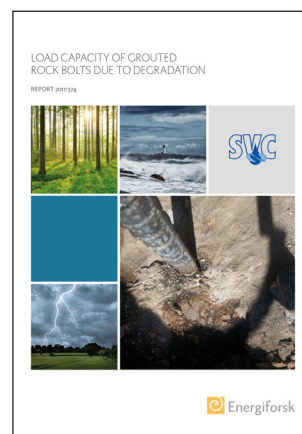
I det här projektet har en ny metod utvecklats för att utvärdera storskalig skjuvhållfasthet för svaghetsplan i, eller i anslutning mot, berggrunden i samarbete med dammägare. Resultaten kan få en stor betydelse för utvärderingen av betongdammars glidstabilitet och underlättar prioriteringen av åtgärder för att höja dammsäkerheten.

Projektet: **Beräkning av bergsprickors skjuvhållfasthet in-situ baserad på optisk mätning av ytråhet**  
Utförare: Francisco Rios Bayona, KTH, höll sitt licentiatseminarium i april 2019 och planerar att disputeras i december 2020.

### Lastkapacitet för

#### ingjutna bergbultar med hänsyn till nedbrytning

Här har bärförmågan hos slaka bergförankringar, det vill säga bergbultar, studerats med hänsyn till hur de påverkas av nedbrytning. I projektet har en metod utvecklats som beaktar inverkan från korrosion av bergbultarna och hur detta påverkar deras bärförmåga. Resultaten innebär en ökad förståelse och en reducerad osäkerhet kring bultarnas bidrag till dammarnas säkerhet.



### Load Capacity of Grouted Rock Bolts Due to Degradation Energiforskrapport nr 2017:374

Utförare: Richard Malm, Fredrik Johansson, Rikard Hellgren & Francisco Rios Bayona





## Geoteknik och bergmekanik – fyllningsdammar

Fyllningsdammar är dammar som är uppbyggda av packad jord, grus och sten. Välpackad tätjord i dammens inre dämmer upp vatten medan omgivande grövre jord, grus och sten ger dammen stabilitet. Den här forskningsmiljön, som ingår i området geoteknik och bergmekanik, är inriktad mot inre erosionsprocesser. Forskningen handlar också om konstruktion 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.

Jenny Lindblom och Sven Knutsson har varit seniorforskare inom fyllningsdammar vid Luleå tekniska universitet.

### Beräkning av rörelser i dammkonstruktioner

En ny metod som gör att det går att få fram resultat utan att ta prover i en damm har utvecklats. Det betyder att man nu vet mycket mer när man bygger gruv- eller fyllningsdammar och att det 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.

#### Projektet: Metoder för beräkning av rörelser i dammkonstruktioner

Utförare: Pooya Vahdati, Luleå tekniska universitet, tog licentiatexamen i mars 2014.

### Bedömning av moränmaterial

Här har man kartlagt den inre erosion i tätkärnan på ett stort antal dammar och olika metoder för att bedöma risken för inre erosion i en tätkärna av morän. Resultatet är en ny metod för bedömning av moränmaterial som bygger på en modifiering av det så kallade Kenney-Lau-kriteriet.

#### Projektet: On the Assessment of Internal Erosion of Dam Cores of Glacial Till

Utförare: Hans Rönnqvist, Luleå tekniska universitet, disputerade i juni 2015.





### Metod för att beräkna risken för skred

Här har metoder och modeller för att beräkna släntstabilitet utvecklats för att analysera potentiella skred- och drivgodsvolymer vid kraftverk. Det krävs eftersom såväl kraftverkets drift som klimatet förändras.

#### Projektet: Effekter av förändrade belastningsförhållanden på släntstabilitet

Utförare: Jens Johansson, Luleå tekniska universitet, tog sin licentiatexamen i juni 2014.

### Modellförsök som metod att utvärdera en eroderbar dammdels funktionalitet

Här har man gjort ett fullskaligt dammbrottsförsök av en eroderbar fyllningsdamm, en så kallad fuse plug, vid en vattenkraftstation som har jämförts med modellförsök i Vattenfalls laboratorium i Älvkarleby. Det är av stort intresse eftersom skalade försök är enklare, billigare och har obetydlig miljöpåverkan i och med att testerna görs i en kontrollerad miljö.



### Fuse plug breach tests Energiforskrapport 2018:465

Utförare: Johan Lagerlund, Peter Viklander, Mats Billstein, Niklas Hansson och personal från Vattenfall R&D

### Simulering av rörelser i fyllningsdamm

Här ska modeller tas fram för material som används i gruvdamm och vattenkraftdamm där man inte kan ta prover för laboratorieanalys.

Målet är att simulera dammars beteende och att ta fram en vägledning för att sätta lämpliga larmvärden för olika mätinstrument i dammar. Arbetet görs samverka med universitetet i Liege i Belgien och Ruhr-Universität Bochum i Tyskland.

#### Projektet: Simulering av rörelser i fyllningsdamm

Utförare: Jasmina Toromanovic, Luleå tekniska universitet, tog sin licentiatexamen i september 2018.

### Maximala gradienter i morän med hänsyn till att undgå inre erosion

Syftet med projektet är att ta fram kriterier för hur stora hydrauliska gradienter som ska tillåtas i olika typer av moränmaterial för att förhindra att det uppstår inre erosion. Kriterierna kopplas till geotekniska enkelt bestämbara materialparametrar.

#### Projektet: Maximala gradienter i morän med hänsyn till att undgå inre erosion

Utförare: Ingrid Silva, Luleå tekniska universitet, presenterade sin licentiatuppsats i mars 2019.





## Vattenbyggnadshydraulik

Forskningen handlar om den hydrauliska funktionen hos avbördningsanordningar, tunnlar och vattenvägar vid vattenkraftanläggningar. Viktiga verktyg här är fysisk och matematisk modellering men även mätteknik i laboratoriemiljö och i fält. Vattenbyggnadshydraulik karaktäriseras ofta av stora flöden och dimensioner, fria vattenytor, storskaliga råhetselement som kallas skrovlighet samt 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.

### Bättre hantering av kaos i vattensprång

Den våldsamma process där snabbt strömmande vatten stöter på hinder och övergår i långsamt strömmande vatten är svår att fånga med traditionella matematiska modeller. Här har modelleringen med hjälp av en partikelbaserad metod utvecklats till en nivå som är ingenjörsmässigt anpassad för vattenbyggnad och resultaten kan enkelt användas i de vanligaste programvarorna.

Projekt: **Modellering av luftinblandning vid avbördnings med speciellt fokus på bottenutskov**  
Utförare: Patrick Jonsson, Luleå tekniska universitet, disputerade i december 2015.

### Hur vattenkraft belastar berg

Här har den lokala inverkan som ytråhet har på flödet samt den efterföljande effekten på tunnelväggarna studerats. Metoder för att korrekt kvantifiera ytråhet och att kunna förutsäga flödesstörningar har utforskats. Projektet har även i detalj visualiserat flödesstörningar som uppstår i närhet av tunnelväggarna och därmed ökat kunskapen om belastningarna på tunnelväggarna.

### Projektet: Flödesförhållanden i vattenkrafttunnlar och kanaler

Robin Andersson, Luleå tekniska universitet, tog sin licentiatexamen i september 2016 och lade fram sin doktorsavhandling i november 2018.





#### Mindre påverkan på djurlivet

Här undersöker man 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 påverkas förutsättningarna för bottenlevande organismer nedanför kraftstationen och hur påverkas fiskens vandring upp- och nedströms? Resultaten kommer att öka förståelsen för hur regleringen av ett vattenkraftverk kan anpassas för att minska påverkan på det lokala djurlivet.

#### Projektet: Hydrauliska förutsättningar för lokal fauna i älvsträckor nedströms kraftstationer

Utförare: Anders Andersson, Luleå tekniska universitet, och Kjell Leonardsson, Sveriges lantbruksuniversitet.





## Konstruktionsteknik

Forskningen ingår i verksamhetsområdet 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.

Richard Malm är seniorforskare inom konstruktionsteknik i SVC och arbetar som forskare vid KTH betongbyggnad och som specialist vid SWECO vattenkraft och dammar. Han disputerade 2009 med inriktning mot icke-linjär numerisk modellering av sprickinitiering och sprickpropagering i betongkonstruktioner. Erik Nordström var anställd på SWECO och arbetar numera på Vattenfall och är adjungerad professor vid avdelningen för betongbyggnad.

### Dynamisk interaktion mellan vatten och struktur

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 är viktiga för anläggningsägare, konsulter och forskare när numeriska metoder granskas och utvärderas.

#### Projektet: **Dynamisk interaktion mellan vatten och struktur**

Utförare: Richard Malm KTH, Camilo Pi Rito SWECO, Manouchehr Hassanzadeh, Cecilia Rydell och Tobias Gasch, Vattenfall

### Metod för bedömning av dammar

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 kunna bedöma statusen på en dammanläggning. Ett av projektets mål är att föreslå hur man kan bestämma säsongsberoende och varierande larmgränser som utgår från de förhållanden som råder, och hur larmgränserna ska implementeras i praktiskt dammsäkerhetsarbete.

#### Projektet: **Modelluppdatering baserat på dammätningar för tillståndsbedömning av betongdammar**

Utförare: Rikard Hellgren KTH och WSP, Richard Malm KTH samt Erik Nordström KTH





### Riktlinjer för numeriska analyser av dammkonstruktioner

Resultaten av projektet har lett till riktlinjer med råd om hur man gör numeriska beräkningar av vattenkraftens betongkonstruktioner och hur man använder numeriska metoder som verktyg. En ny metod för att för att utvärdera betongkonstruktioners status vid nybyggnation, förnyelse, drift och 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".



### Guideline for FE analyses of concrete dams Energiforskrapport nr 2016:270

Utförare: Richard Malm KTH

### Hållbara betongytor i vattenvägar

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.

### Projektet: Bedömning av nedbrytning i betongkonstruktioner med tillämpning på vattenvägar

Utförare: Daniel Eriksson, KTH, tog sin licentiatexamen i mars 2018.

### Åldrande betong i vattenkraftens aggregatnära konstruktioner

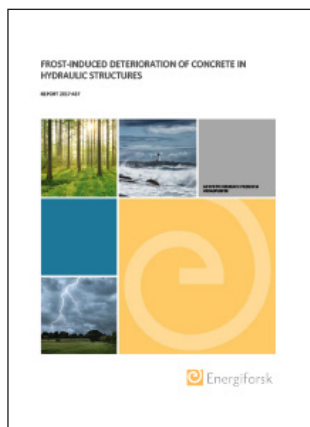
Projektet har utvecklat metoder och verktyg för att utvärdera befintliga massiva betongkonstruktioner som finns nära vattenkraftaggregat. Det handlar framför allt om att studera sprickbildning i betongfundament och hur det påverkar drift och underhåll av vattenturbiner och generatorer. Syftet är att trygga produktionen av vattenkraft och svara på frågor som hur belastningen på betongfundament påverkas av nya driftmönster.

### Projekt: Åldrande betong i vattenkraftens aggregatnära konstruktioner

Utförare: Tobias Gasch, KTH, tog sin licentiatexamen våren 2017.

### Fuktupptagning och frostbeständighet hos vattenbyggnadsbetong

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 fuktupptagning 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.



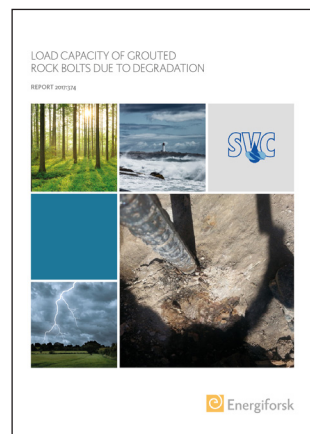
### Frost induced deterioration of concrete in hydraulic structures

Energiforskrapport nr 2017:437

Utförare: Martin Rosenqvist, Lunds tekniska högskola och Vattenfall R&D

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

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 förfinas resultaten från de analytiska metoderna har numeriska analyser gjorts med finita elementmetoden för att beakta verkliga brottförlopp hos bergförankringarna.



### Load capacity of grouted rock bolts due to degradation

Energiforskrapport nr 2017:374

Utförare: Fredrik Johansson och Richard Malm, KTH

### Ny kunskap om islaster

Klimatet i Sverige innebär att dammar utsätts för tryck från is vilket är en källa till osäkerhet när man analyserar säkerheten kring en damm. Inom ramen för projektet har en prototyp av en lastpanel som mäter islast på betongdammar utvecklats. En pilotinstallation av islastpanelen har mätt islaster under två säsonger på en betongdamm och redan gett värdefull indata kring vilka parametrar som påverkar islastens storlek. Projektet har definierat i vilken omfattning mätningar krävs för att få ett bra underlag för en revidering av de svenska designvärdena.



### Lastförutsättningar angående lasttryck

Rapport nr 2017:439

Utförare: Richard Malm, Lennart Fransson, Erik Nordström, Marie Westberg-Wilde, Fredrik Johansson och Rikard Hellgren från KTH, SWECO, WSP, LTU, ÅR och AECOM

### Visar hur sugrör betar sig

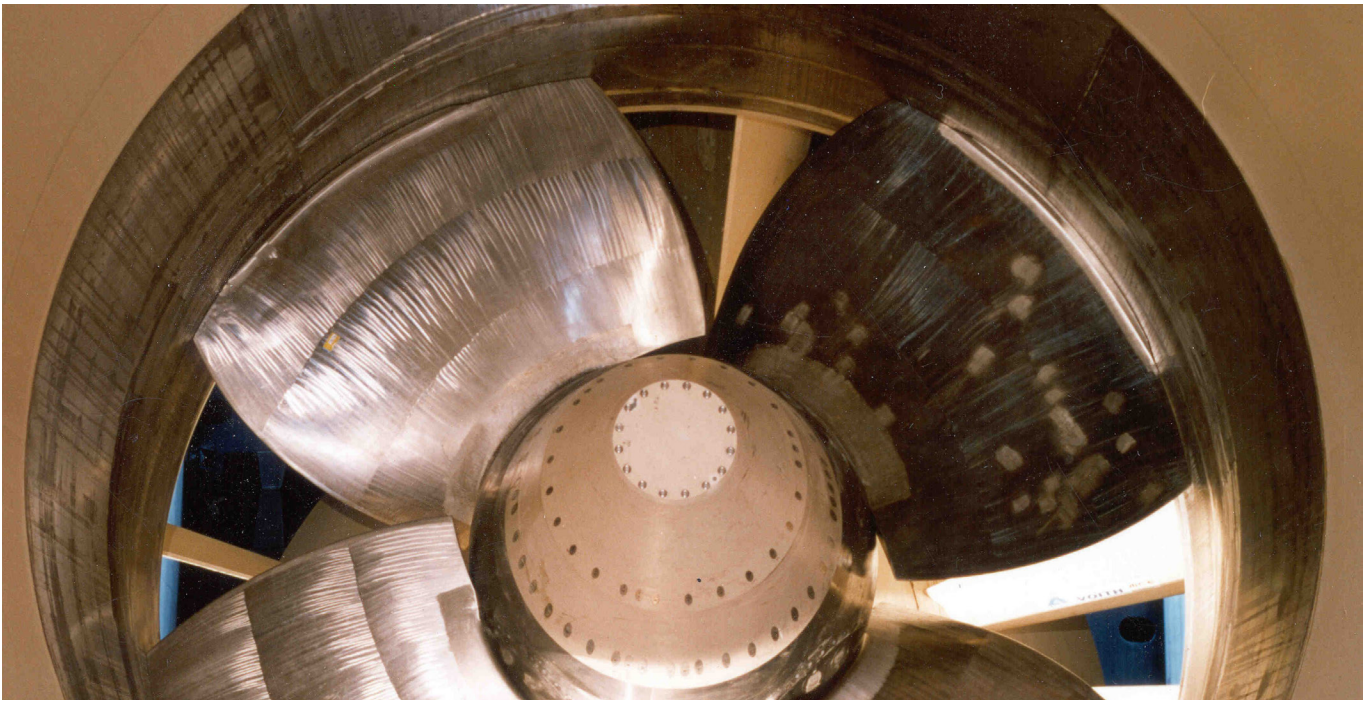
För vattenkraftsaggregat med stor effekt krävs ofta stora dimensioner på vattenvägen. I många aggregat är den totala vidden på sugrörsförlängningen efter turbinen så stor att det krävs en lastbärande mellanvägg. Det finns oklarheter om varför det uppstår sprickor och brott i mellanväggen och vilka lastfall som kan orsaka problem. 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.



### Analysis of load and response on large hydropower draft tube structures

Energiforskrapport nr 2019:567  
 Utförare: Erik Nordström, KTH, Lamis Ahmed, KTH





## VATTENTURBINER OCH GENERATORER

När man bygger eller förnyar vattenkraftanläggningar går det att göra stora förbättringar med moderna elektromekaniska, rotordynamiska och strömningsmekaniska 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 fortsatt 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.

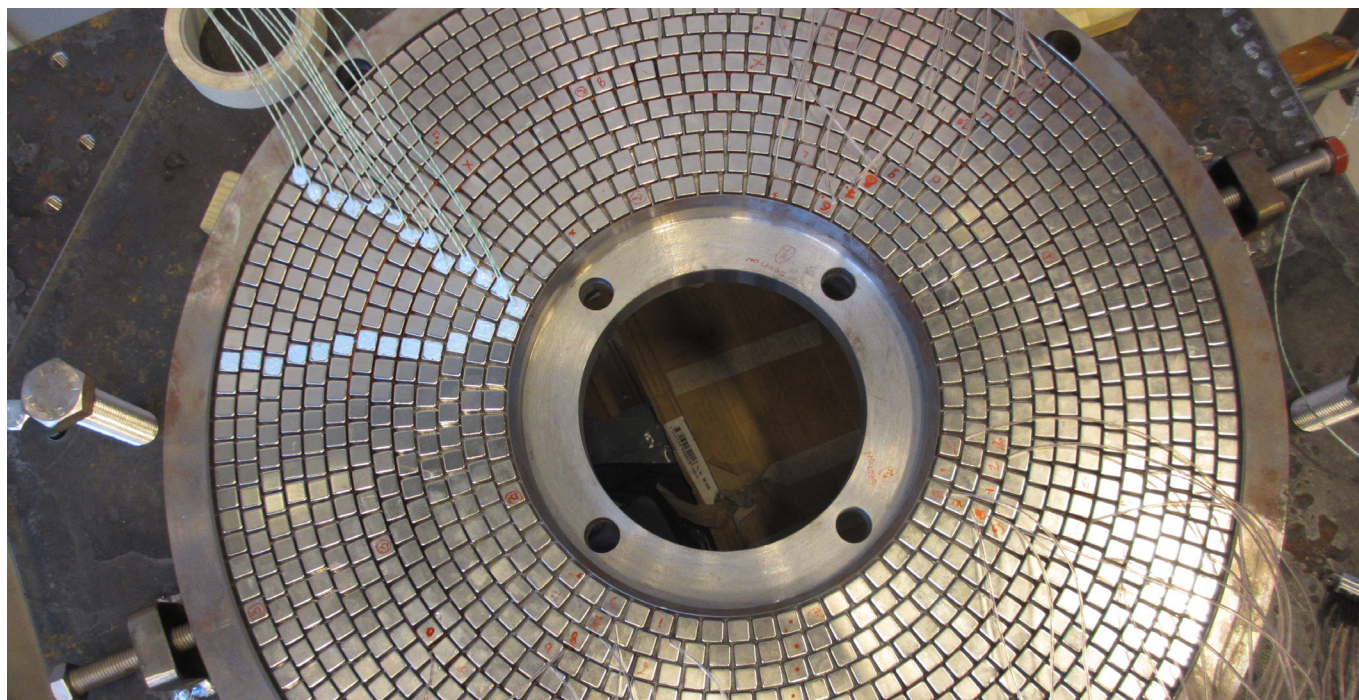
Svenskt vattenkraftcentrum har väletablerade och starka utbildnings- och forskningsmiljöer inom elektromekanik, rotordynamik, strömningsmekanik och maskinelement vid Uppsala universitet, Chalmers tekniska högskola och Luleå tekniska univer-

sitet, 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.

Följande forskningsområden ingår i verksamhetsområde Vattenturbiner och generatorer:

- Elektromekanik
- Rotordynamik
- Strömningsmekanik – beräkning
- Strömningsmekanik – experimentellt
- Maskinelement





## Elektromekanik

Forskningen fokuserar på elsystemets generatorer och hur de ska konstrueras, 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 Elektricitetslära 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 också testar ett storskaligt magnetlager.

### Nytt testprogram för att styra last

Här har ett testprogram tagits fram för en industriell vidareutveckling och införande av magnetlager, turbindämpning, snabbreglerande borstlösa matare och laststyrning.

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

### Nya metoder för rotormagnetisering

Projektet har utvecklat ett nytt system för rotormagnetisering som testas för större maskiner. Resultaten har förmedlats till generatortillverkarna och ett samarbete inom magnetlager innebär att en del av projektets metoder och innovationer kan användas direkt, både av leverantörer och av vattenkraftägare.

Projektet: **Magnetlager och permanentmagnetiserad matare i experimentgenerator Svante**  
Utförare: Jose Perez, Birger Marcusson och Jonas Nöland Uppsala universitet.



**Att studera nät och generatorer tillsammans**

Det här projektet undersöker interaktionen mellan generator och elnät med fokus på vattenkraftens behov. Projektet utvecklar modeller som överbryggar kopplingen mellan mekaniska och elektriska system så att nät och generator kan studeras tillsammans för att minimera kostnader och risker.

**Projektet: Elektriska transienter i generatorer**

Utförare: Birger Marcusson, Uppsala universitet

**Regler styrs av EU-mål**

Här handlar det om det framtida reglerbehovet i EU och i det nordiska elnätet, med utgångspunkt från EUs mål för utbyggnad av förnybar energi. Projektet har jobbat med modeller som överbryggar kopplingen mellan hydrauliska, mekaniska och elektriska system så att dynamiken i nät, generator och vattenvägar numera kan studeras tillsammans.

**Projektet: Modellering och reglering av vattenkraftverk för förbättrad frekvensstabilitet**

Utförare: Linn Saarinen, Vattenfall R&D/Uppsala universitet disputerade i februari 2017.

**Modeller som kraftstationer använder**

En större andel variabel kraft som sol och vind ställer nya krav på vattenkraftens funktion som leverantör av reglertjänster och energilagring. Här har teoretisk analys, numerisk simulering och fältmätningar använts och projektet har testat numeriska modeller av vattenkraftkomponenter som kan användas av kraftstationer.

**Stationsmodellering av vattenkraftstationer, reglering kopplat till vattenvägsdynamik**

Weijia Yang, Uppsala universitet, disputerade i maj 2017.

**Här minskas vibrationerna**

Här visas möjligheterna med experimentgeneratoren Svante som minskar vibrationerna i synkronmaskiner genom att aktivt styra fältströmmen. Projektet har utvecklat ny kunskap om robusthet för tre typer av system av kraftelektronik för vattenkrafttillämpningar.

**Kraftelektronik och kontrollutrustning för magnetiseringsändamål**

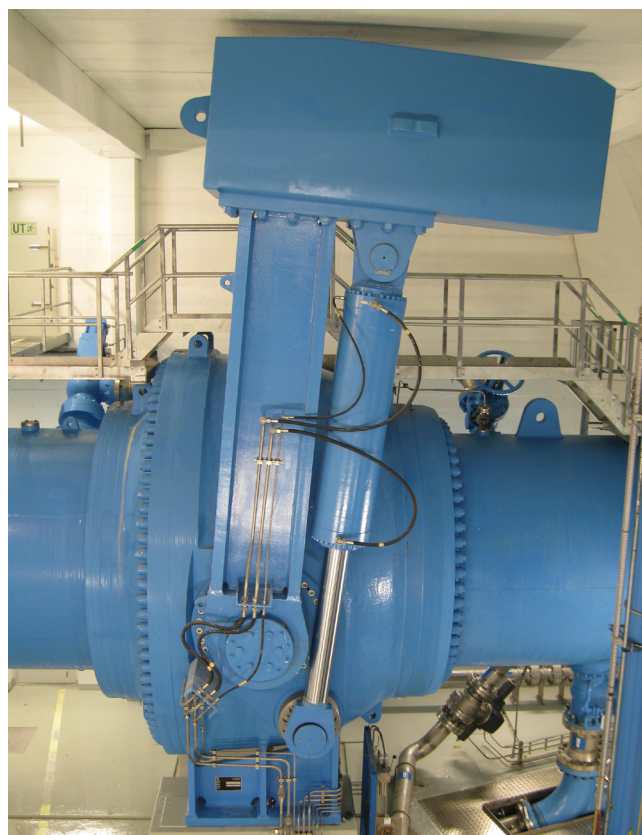
Fredrik Evestedt, Uppsala universitet, tog licentiatexamen i december 2017.

**Minskat slitage vid reglering av frekvenser**

Projektet demonstrerar en metod som aktivt styr den svängmassa man behöver i kraftsystemet genom att anslutna batterier eller andra typer av energilagrar. Ett minskat reglerarbete påverkar vattenkraftregulatorn vilket kan minska slitaget av de aggregat som bidrar med frekvensreglering.

**Projektet: Syntetisk svängmassa för att minska slitage vid vattenkraftstationer**

Utförare: Urban Lundin, Uppsala universitet







## Rotordynamik

Målet med den här forskningen är att bygga upp förståelse för dynamiken i generatorernas rotor. 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 ämnesföreläsare i datorstödd maskinkonstruktion på Institutionen för teknikvetenskap och matematik vid Luleå tekniska universitet. Han disputerade 1995 och forskar bland annat på simuleringsteknik och mätteknik som gör vattenkraftens roterande system mer pålitliga och att man på sikt ska kunna förutsäga livslängden på turbiner och generatorer.

### Utvärdering av modeller vid start och stopp

Inom projektet kommer dynamiska modeller skapas för att simulera vilken inverkan reglering, start och stopp av vattenkraftsaggregat har på systemets livslängd. Genom experiment i en testrigg ska lagermodeller för vertikala rotor från tidigare forskning vidareutvecklas. En ny rotor har tillverkats som är överkritisk vilket innebär att modellerna för lagren kan undersökas för ett dynamiskt system. Projektet har från januari 2017 tagits över av Sudhakar, som tidigare arbetat med att ta fram dynamiska modeller inom vindkraft och med modellering av glidlager, vilket gör att han är insatt i frågorna.

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

Utförare: Erik Synnegård och Sudhakar Gantasala Luleå tekniska universitet, Erik Synnegård presenterade sin licentiatuppsats i mars 2016. Sudhakar planeras disputeras under 2019.

### Simulering av start och stopp

I projektet har också en testrigg för vertikala rotor med en utvecklad simuleringsteknik modifierats med nya lager och en flexibel rotor så att dynamiken kan studeras under startförlopp. Målet är att kunna förutsäga dynamiken under start och stopp och därmed säkra en hög tillförlitlighet i verkliga stationer.

### Projektet: Simuleringsteknik för analys av dynamik och livslängd under start och stopp i vattenkraftsturbiner, experiment

Utförare: Jan-Olov Aidanpää och Sudhakar Gantasala, LTU, Rolf Gustavsson, Vattenfall och Urban Lundin, Uppsala universitet



#### Att undvika geometrifel och turbinkontakt

Ickelinjära fenomen som geometrifel, elektromagnetiska krafter och turbinkontakt i vattenkraftsrotorer förstärks av att de oftast är vertikalt orienterade. Det här projektet har utvecklat bättre rotordynamiska modeller för vattenkraftaggregat genom att utvärdera när icke linjära fenomen kan inträffa respektive undvikas.

#### Projektet: Ickelinjär dynamik i vattenkraftsrotorer

Utförare: Florian Thiery, Luleå tekniska universitet, disputerade i november 2016

#### Bättre interaktion med elnätet

Vattenturbiner används för att hålla nätet stabilt genom att variera pådraget. Driften förbättras genom att man identifierar och mäter effekten av transienta vilket till exempel minskar problemen med vibrationer. Här har forskarna bestämt fluida strukturinteraktionens påverkan på styvhet, tröghetsmoment och dämpning i en francisturbin.

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

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

#### Att modulera elastiska fötter

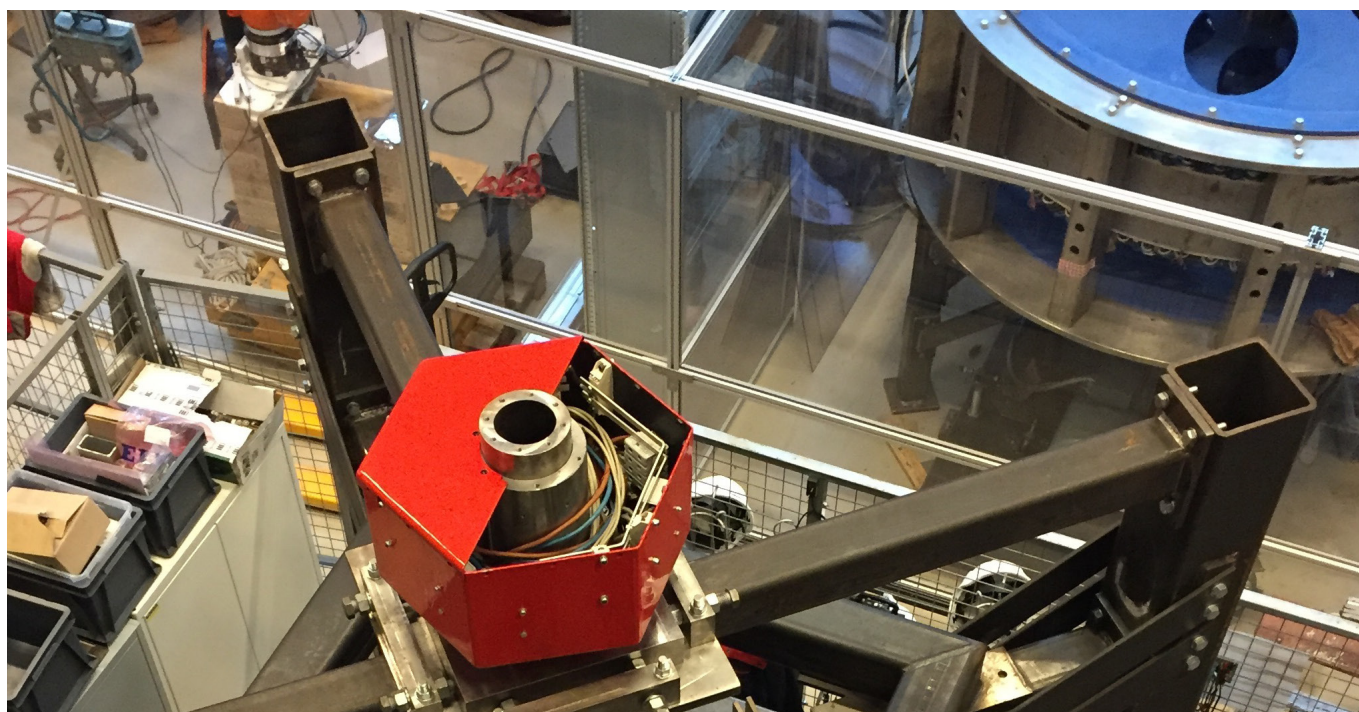
Generatorer modelleras idag som en stel kropp utsatt för magnetisk dragningskraft. Den verkliga generatoren är mer elastisk och innehåller flera komponenter som borde inkluderas i modelleringen. Generatorkonstruktioner med elastisk eller flytande rotorring, elastisk statorrygg och elastiska fötter kan få dynamiska problem som inte går att modellera idag.

Mätningar visar att en flytande rotorring kan leda till olika typer av vibrationer och även till att ringen blir oval på grund av de elektromagnetiska krafterna vilket kan leda till en utmattning av ringen. Projektet, som avslutas i september 2017, ska utveckla detaljerade mekaniska modeller av elastiska generatorkomponenter i vattenkraftanläggningars rotorsystem och studera dynamiska konsekvenser och utmattning.

#### Projektet: Dynamisk modellering av elastiska generatorkomponenter i vattenkraftsrotorer

Utförare: Per Engström och Florian Thiery Luleå tekniska universitet





## Strömningsmekanik – beräkning

Inom forskningsmiljön utvecklas och tillämpas metoder för strömningsberäkningar och mätningar för de specifika förhållanden som råder i vattenturbiner och generatorer. Målet är att bättre förutsäga och förstå strömningen i turbiner, kavitation i turbiner 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 strömningsfenomen 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, forskar och följer utvecklingen inom ramarna för SVC på vattenströmning och kavitation i vattenturbiner samt luftkylning av vattenkraftgeneratorer.

### Kylluftsflöde i generatorer

Det här arbetet har resulterat i noggrant bekräftade experimentella och numeriska metoder och en mycket detaljerad bild av hur kylluftströmningen beter sig i generatorer. Förutsättningar har också skapats för experimentella studier av värmeövergången vid generatormodellens ytor, vilket är avgörande för att i detalj förstå hur värmefördelningen utvecklas i generatormodellen.

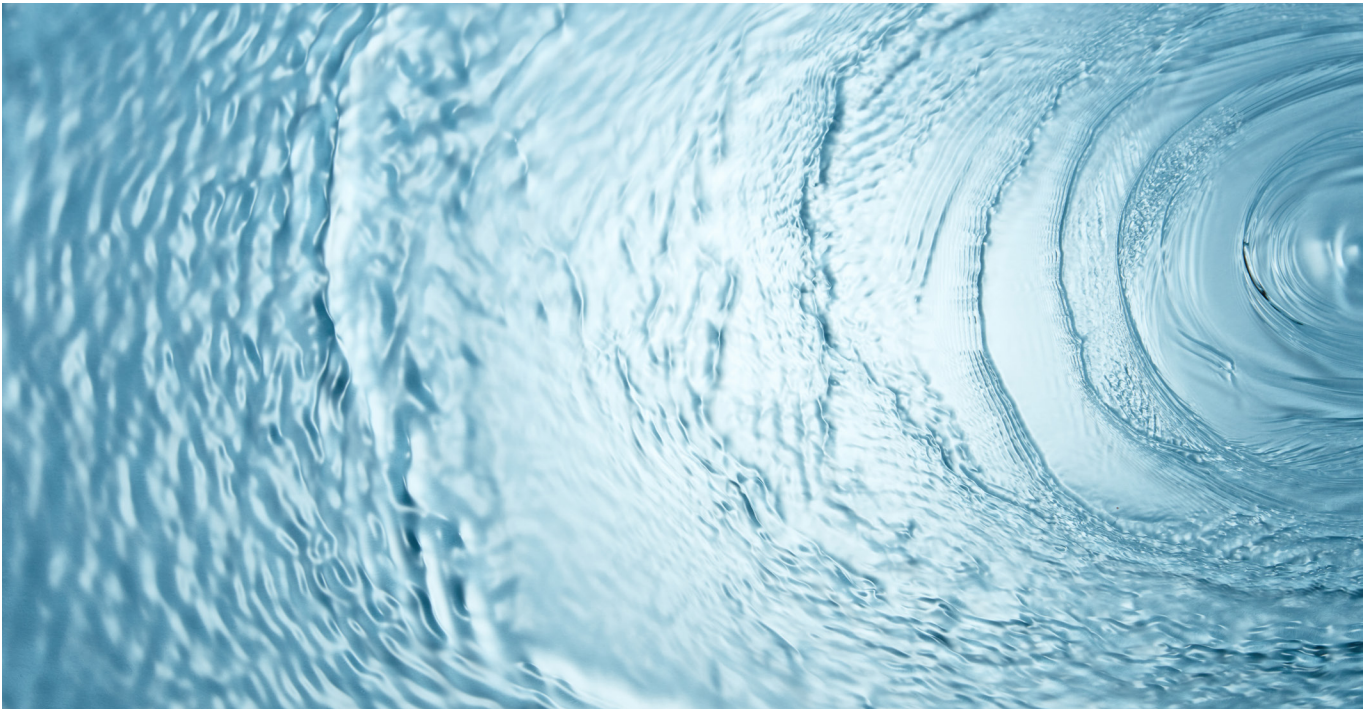
**Projektet: Detaljerade experimentella och numeriska studier av kylluftsflöde i generatorer, och utveckling av värmeöverföringsmätningar**

Utförare: Hamed Jamshidi, Chalmers, disputerade i april 2017.

### Strömningsfenomen i turbiner

Intressanta resultat om virvelreps egenskaper i sugröret, inverkan mellan olika strömningsfenomen och virvelrepet, hur virvelrepet påverkas av olika driftfall och hur bladspalternas storlek påverkar strömningen. Kunskap om turbulensens specifika beteende är avgörande för att kunna utforma turbiner som ska användas vid körning utanför bästa driftpunkten och vid reglering.

**Projektet: Turbulens i virvlar och roterande maskiner**  
Utförare: Ardalan Javadi, Chalmers, disputerade i juni 2016.



### Noggranna metoder för värmeöverföring

Konvektiv kylning är väldigt beroende av hur kylluftströmningen beter sig precis vid ytan på det uppvärmda materialet. Det är svårt att både mäta och beräkna. En numerisk metod har använts där värmegenerering och ledning i materialen kopplats samman med värmeöverföringen i kyluftströmningen. Modeller för snabba och industriellt användbara metoder har analyserats. En experimentell metod har utvärderats för att studera fördelningen av kylning i generatorers statorkanaler.

Bättre kunskap ger förutsättningar för att undvika höga temperaturer som skadar materialen, och för att kunna öka effektuttaget.

Projektet: **Experimentella och numeriska studier av värmeöverföring i generatorer**

### Oscillationer vid stängning av ventiler

Projektet har tagit fram en numerisk metod för studier av strömningen vid stängning av en ventil. Jämförelser har gjorts med experimentella data för strömning i en fyrkantig sluten kanal, driven av nivåskillnaden mellan två tankar. Resultaten visar att oscillationerna som förekom i experimentet inte orsakas av en våg i uppströmstanken utan de måste bero på tryckpulsationer.

Projektet: **1D system transients coupled with 3D local flow details**

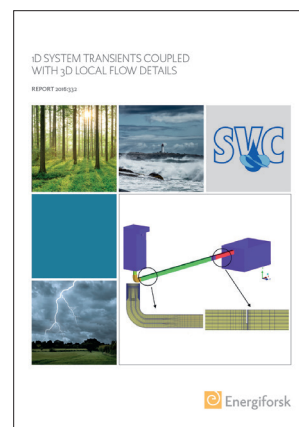
**Energiforskrapport 2015:109**

Utförare: Olivier Petit

### Metod för beräkning av tryckpulsationer

En metod för tredimensionella strömningen vid stängningen av en ventil kopplades ihop med en metod för endimensionella beräkningar av tryckpulsationer. Studier gjordes av strömningen i en fyrkantig sluten kanal, driven av nivåskillnaden mellan två tankar.

Resultaten visade att strömningsförluster som förekom i experimentet var av avgörande betydelse för tryckstegringen vid ventilstängningen. Resultaten visade även att mängden luft i vattnet påverkade den experimentellt uppmätta frekvensen på tryckpulsationerna väldigt mycket.



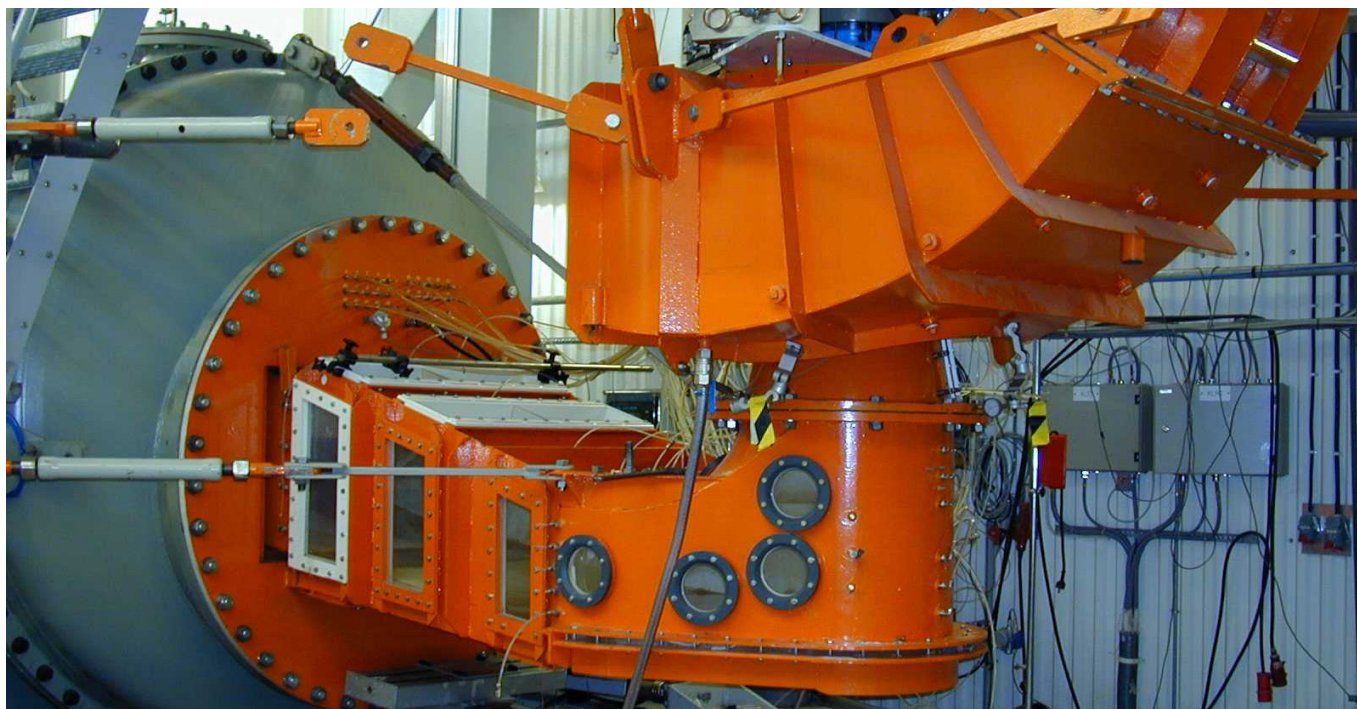
### 1D System Transients Coupled with 3D Local Flow Details

**Energiforskrapport**

**2016:332**

Utförare: Olivier Petit





## Strömningsmekanik – experiment

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

Michel Cervantes är seniorforskare inom experimentell strömningsmekanik i SVC och professor vid Luleå tekniska universitet inom strömningsmekanik. Han disputerade 2003 och forskar inom vattenkraft med fokus på flödesmätningar, förluster, transienter och flödeskontroll.

### Start och stopp påverkar livslängd

Syftet är att öka förståelsen för hur start- och stoppförlopp påverkar kaplanturbiners livslängd och hur man kan minimera påverkan på turbinerna. Mätningar på en turbin i full skala med avancerad mätteknik har genomförts. Projektet gjordes i samarbete med SVCs andra forskningsmiljöer.

Projektet: **Loads on Kaplan runner**

Utförare: Arash Soltani, Luleå tekniska universitet

### Ökad förståelse för kaplanturbiner

Projektet har resulterat i en ökad förståelse för samspel mellan roterande och stationära delar i Kaplan-turbiner vid olika driftsförhållanden, speciellt effekten av spiralen och virvelrep på tryckpulsationer.

Projekt: **Experimental investigation of a Kaplan model**

Utförare: Kaveh Amiri, Luleå tekniska universitet, disputerade i september 2016.

### Mätkampanj Porjus Ug-modellen Älvkarleby

I det här projektet genomförs provning och tekniska analyser av provresultat både som interna uppdrag åt Vattenfall vattenkraft och externt åt olika leverantörer av vattenkraftturbiner. Med jämna mellanrum genomförs även FoU-uppdrag där doktorander verksamma inom SVC genomför mätkampanjer på Porjus Ug-modellen.

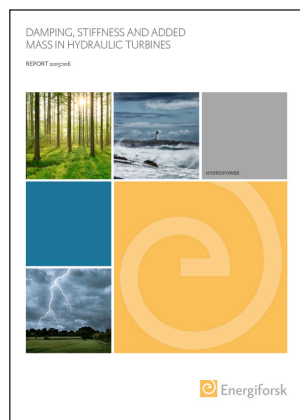
Projektet: **Mätkampanj Porjus Ug-modellen Älvkarleby**

Utförare: Berhanu Mulu, Vattenfall R&D



### Förbättrad drift av turbiner

Hydrauliska vattenturbiner används för att hålla nätet stabilt genom att variera lasten. Genom att kunna identifiera och mäta effekten av transienta regimer skulle man kunna förbättra driften och minimera de problem som uppstår, till exempel vibrationer. Syftet här har varit att bestämma fluid-strukturinteraktionens påverkan på styvhet, tröghetsmoment och dämpning i en francisturbin.



### Damping, Stiffness and Added Mass in Hydraulic Turbines Rapport nr 2015:106

Utförare: Razvan Roman,  
Diana Bucur, Jan-Olov  
Aidanpaa, Michel J. Cervantes

### Fysiken bakom transient friktion

Resultaten av det här projektet gör det lättare att förstå fysiken bakom transient friktion som är fundamental för att kunna utveckla tryck-tid metoden. Projektet har gjort vetenskapligt baserade modifieringar av tryck-tid-metoden som ökar metodens noggrannhet på turbiner med låg fallhöjd.

### Projektet: Accurate Flow Measurements in Low Head Machines

Utförare: Joel Sundström, Luleå tekniska universitet, disputerade april 2018.

### Två metoder för att mäta verkningsgrad

Forskningsprojektet undersöker osäkerhet och begränsningar relaterade till placering av tryckuttag, effekter av inloppets och löphjulets utformning samt viskösa, tidsberoende och råhetsrelaterade effekter. Målet är att föreslå två utvecklade formuleringar av metoden, en kvasi-exakt och en förenklad metod för att mäta verkningsgraden.

### Projektet: Investigation and development of the Winter-Kennedy method

Utförare: Binaya Baidar, Luleå tekniska universitet

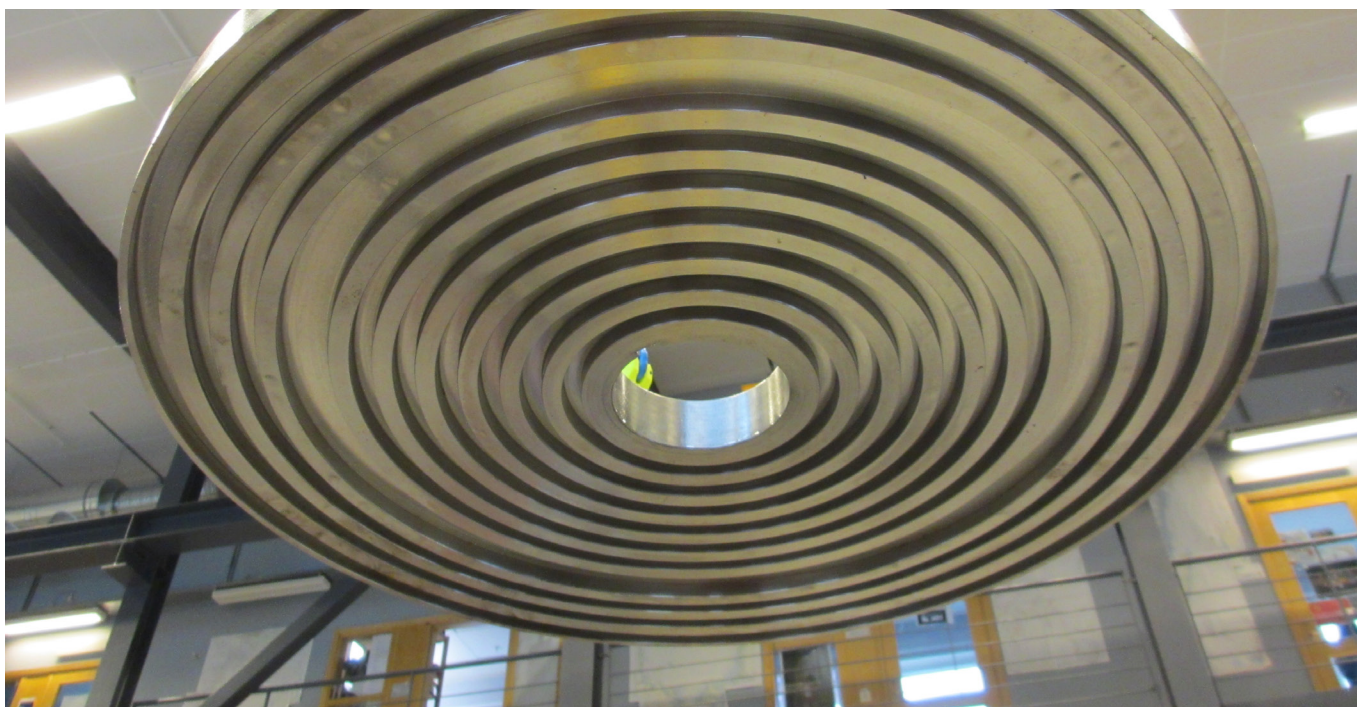
### Alternativa och relativa flödesmätningar för turbiner med låg fallhöjd

Projektet har som mål att utveckla tryck-tid-metoden som relativ flödesmätningss metod för turbiner med låg fallhöjd. Målet är att se om metoden kan användas som relativ flödesmätningss metod och om den under vissa förutsättningar kan komplettera Winter-Kennedy-metoden.

### Projektet: Development of the pressure-time method as a relative method

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





## 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 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 vattenkraftaggregats driftsäkerhet och återstående livslängd. En del av forskningen behandlar även nya miljöanpassade smörjmedel för vattenkraft.

### Ny mätmetod för tillståndskontroll

Hur kan hur de tribologiska åldringsmekanismerna relateras till en eller flera mätbara parametrar?

De här resultaten förväntas leda till en ny mätmetod för tillståndskontroll och för att bestämma den kvarstående lagerlivslängden för lager i kaplanturbiner.

Projektet: **Utveckling av mätmetod för tillståndskontroll av lager i kaplanturbiner**

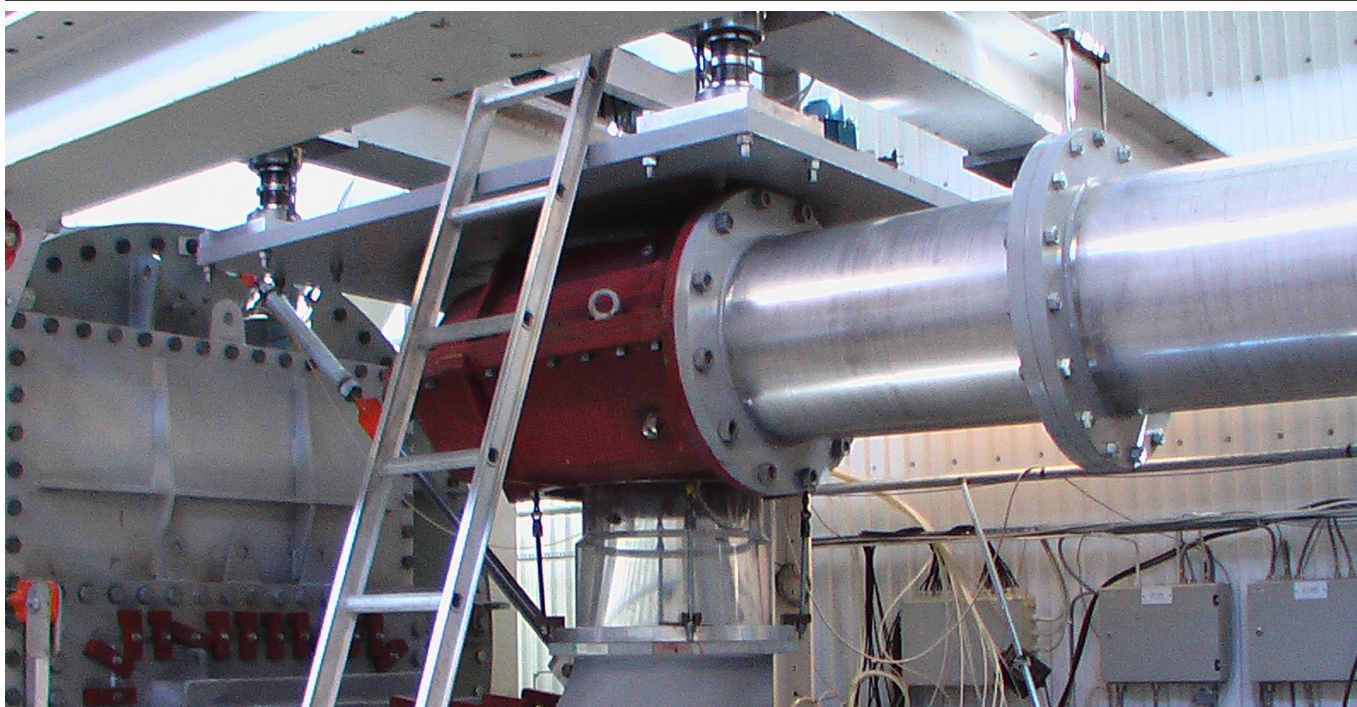
Utförare: Marianne Östman, Luleå tekniska universitet,

### Ökad livslängd för skovellager

Här handlar det om att förutsäga livslängden för lager och nya metoder som aktivt ska förlänga livslängden och funktion i skovellager. En modell för att förutsäga åldringen utifrån exempelvis temperatur, kontaktryck, glidhastigheter kommer att tas fram och projektet ska översätta resultat från tester till resultat som kan användas i fält.

Projektet: **Prediktering av återstående lagerlivslängd i kaplannav**

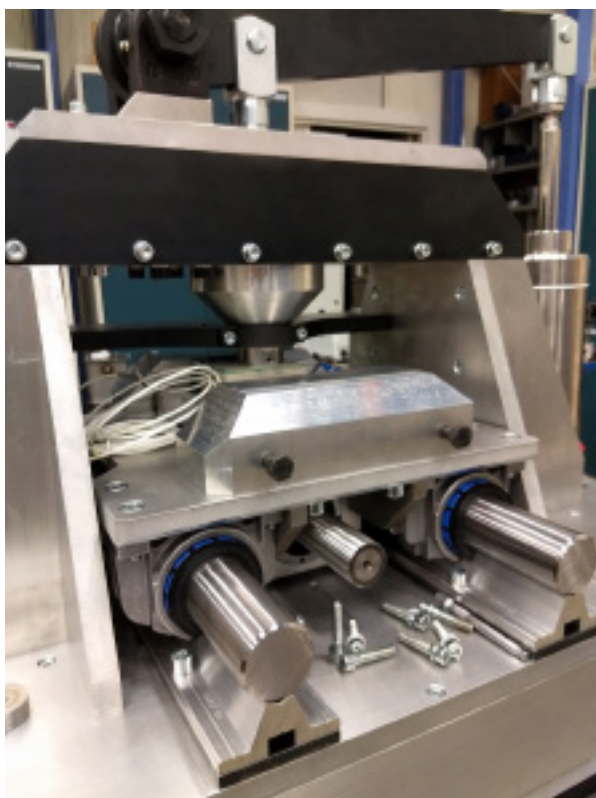
Utförare: Maria Rodiouchkina, Luleå tekniska universitet



### Ny metod för att testa åldring

Målet med projektet är att etablera en testrigg för att kunna utveckla en ny testmetod för åldring av självsmörjande lager inom vattenkraften. Testriggen kommer att användas i olika doktorandprojekt inom forskningsområdet.

**Projektet: Testrigg för utveckling av testmetod för åldring av självsmörjande lager inom vattenkraften**  
Utförare: Kim Berglund, Luleå tekniska universitet



### Nya smörjmedel jämförs med konventionella

Det här är första steget i ett stort projekt som ska undersöka om glycerolbaserade smörjmedel kan användas som ett miljöanpassat alternativ till vanliga smörjmedel i vattenkraften.

Projektet är indelat i fem arbetspaket där varje del ska resultera i en vetenskaplig publikation. De två första arbetspaketen har utvärderat möjligheterna till att utreda eventuella miljöeffekter.

### Glycerolbaserade smörjmedel i vattenkraftturbiner

Utförare: Kim Berglund på Luleå tekniska universitet, Yijun Shi Luleå tekniska universitet, Mattias Grahn Luleå tekniska universitet och Roland Larsson på Luleå tekniska universitet





## Fakta om Svenskt vattenkraftcentrum

Svenskt vattenkraftcentrum bidrar med kunskap och kompetens till nytta för industrin, för universitet och högskolor och för samhället i stort. Satsningen har långsiktiga samarbeten med utbildnings- och forskningsmiljöer vid Chalmers, Kungliga Tekniska högskolan, Luleå tekniska universitet och Uppsala universitet. Vattenfalls Älvkarlebylaboratorium är också en viktig resurs i verksamheten.

SVC har också en uttalad satsning på seniorforskare som utgör navet i de starka forskarmiljöerna, i forskningsprojekten, bland adjungerade professorer, i den experimentella verksamheten och i internationell samverkan.

Besluten i SVC har fattats av en programstyrelse med företrädare från akademi och industri.

### Utförare:

Chalmers tekniska högskola  
KTH  
Uppsala universitet  
Luleå tekniska universitet

### Myndigheter och företag som medverkat i SVC under perioden:

Andritz Hydro  
Energimyndigheten  
Fortum Generation  
GE Renewable  
Holmen Energi  
Jämtkraft  
Jönköpings energi  
Karlstads Energi  
Mälarenergi  
Norconsult  
Rainpower  
Skellefteå Kraft  
Sollefteåforsens  
Statkraft Sverige  
Svenska kraftnät  
Sweco Energuide  
Swemin  
Tekniska verken i Linköping  
Umeå energi  
Uniper  
Vattenfall R&D  
Vattenfall Vattenkraft  
Voith Hydro  
WSP Sverige  
ÅF Industry

# Doktorer och licentiater

## Doktorsavhandlingar

Alexandra Krounis Guerrero	Sliding stability re-assessment of concrete dams with bonded concrete-rock interfaces	KTH	4 maj 2016
Ardalan Javadi	Turbulence-resolving Simulations of Swirling Flows	Chalmers	8 jun 2016
Aurelia Vallier	Simulations of cavitation – from the large vapour structures to the small bubble dynamics	LTH/Chalmers	10 jun 2013
Bercelay Niebles Atencio	Flow over rough surfaces, and conjugate heat transfer, in engineering applications	Chalmers	18 dec 2018
Birger Marcusson	Magnetic Leakage Fields and End Region Eddy Current Power Losses in Synchronous Generators	UU	30 nov 2017
Farzad Ferdos	Internal Erosion Phenomena in Embankment Dams: Throughflow and internal erosion mechanisms	KTH	4 nov 2016
Florian Thiery	Simplified Models to Evaluate Nonlinear Dynamics in Hydropower Rotors	LTU	4 nov 2016
Hamed Jamshidi	Ventilation Flow Field Characteristics of a Hydro-Generator Model- An experimental and Numerical Study	Chalmers	12 apr 2017
Jens Johansson	On the Influence of Gear Oil Properties on Pitting Life	LTU	27 maj 2015
Joel Sundström	Studies of Transient and Pulsating flows with application to Hydropower	LTU	20 apr 2018
Johan Spross	Toward a reliability framework for the observational method	KTH	25 okt 2016
Kaveh Amiri	Experimental investigation of a Kaplan runner under steady-state and transient operations	LTU	9 sept 2016
Linn Saarinen	The Frequency of the Frequency: On Hydropower and Grid Frequency Control	UU	7 febr 2017
Martin Rosenqvist	Frost-induced deterioration of concrete in hydraulic structures: Interactions between water absorption, leaching and frost action	LTH	10 okt 2016
Nicholas Zmijewski	Effects of Watershed Dynamics on Water Reservoir Operation Planning: Considering the Dynamic Effects of Streamflow in Hydropower Operation	KTH	3 mar 2017
Patrik Jonsson	Smoothed Particle Hydrodynamic of Hydraulic Jumps in Spillways	LTU	17 dec 2015
Pirooz Moradnia	Prediction of Cooling Air Flow in Electric Generators	Chalmers	31 maj 2013
Robin Andersson	Modelling flow over rough surfaces in hydropower waterways	LTU	23 nov 2018
Tobias Gasch	Multiphysical analysis methods to predict the ageing and durability of concrete to hydro power facilities	KTH	11 apr 2019
Weijia Yang	Hydropower plants and power systems: Dynamic processes and control for stable and efficient operation	UU	19 maj 2017

## Licentiatavhandlingar

Alexandra Krounis Guerrero	Uncertainty in Sliding stability Analyses of existing Concrete Gravity Dams with Bonded Concrete-rock Interfaces	KTH	11 dec 2013
Ardalan Javadi	Time-accurate Turbulence Modeling of Swirling Flow for Hydropower Application	Chalmers	11 jun 2014
Binaya Boinar	A sensitivity analysis of the Winter-Kennedy method	LTU	5 okt 2018
Daniel Eriksson	Numerical models for degradation of concrete in hydraulic structures due to long-term contact with water	KTH	8 maj 2018
Erik Synnegård	Dynamic modelling and analysis of vertical machines	LTU	16 mars 2016
Francisco Rios Bayona	Analytical and numerical approaches to estimate peak shear strength of rock joints	KTH	25 april 2019
Fredrik Evestedt	Improving the functionality of synchronous machines using power electronics	UU	16 dec 2017
Hamed Jamshidi	Ventilation of a Model Hydro-Generator, An Experimental and Numerical Study	Chalmers	21 maj 2015
Jasmina Toromanovic	On Parameter Identification for Better Predictions of Dam Behaviour	LTU	21 sep 2018
Johan Spross	A critical Review of the Observational Method	KTH	7 maj 2014
Penghua Teng	CFD Modelling of Two-Phase Flows at Spillway Aerators	KTH	20 mar 2017
Robin Andersson	Flow Over Large-Scale Naturally Rough Surfaces	LTU	23 sep 2016
Tobias Gasch	Concrete as a multi-physical material with application to hydro power facilities	KTH	23 maj 2016
William Bjureland	On reliability-based design of rock tunnel support	KTH	18 maj 2017



## NYHETER OCH RESULTAT FRÅN SVC

Här ger vi en överblick av alla de resultat som kommit fram genom satsningen i Svenskt vattenkraftcentrum mellan 2013 och 2018. SVC har fokus på forskning och utveckling inom vattenkraft och gruvdammar och tar fram ny kunskap för en effektiv och tillförlitlig produktion av vattenkraft och en trygg dammsäkerhet som en viktig del av ett uthålligt energisystem i Sverige.

Visionen är att vara ett av världens ledande utbildnings- och forskningscentrum inom vattenkraft och dammar. Vårt mål är att förse företag, organisationer och myndigheter med ny kunskap och kompetens. Det handlar bland annat om alla de disputerade och andra examinerade forskare som lämnar centret för att jobba vidare inom vattenkraft och dammsäkerhet.