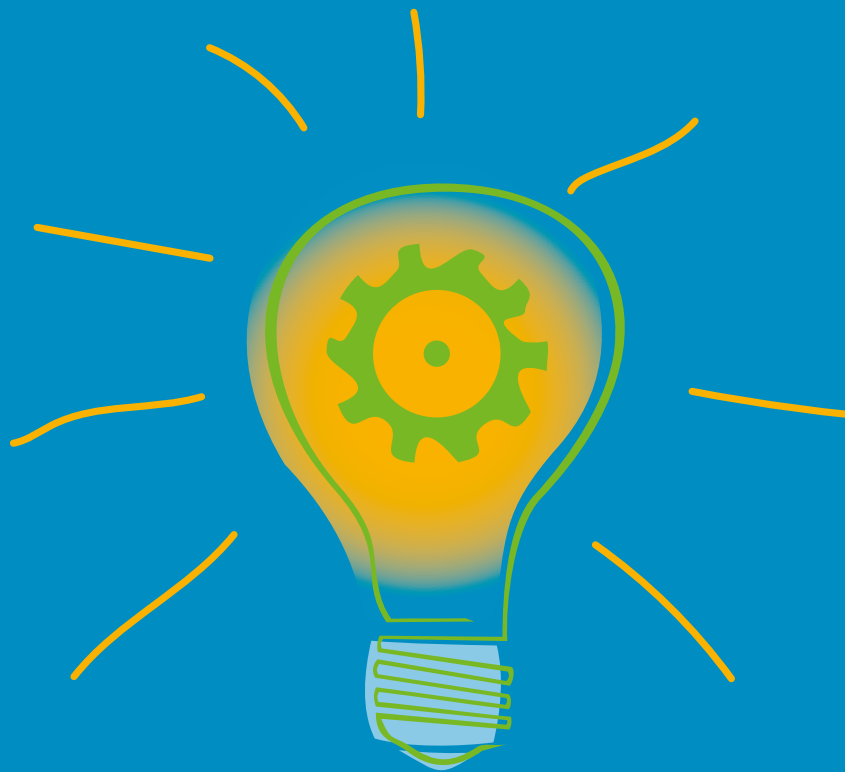


www.cedren.no

INNOVASJONER



CEDREN

Centre for Environmental Design of Renewable Energy



CEDREN - Centre for Environmental Design of Renewable Energy: Forskning for teknisk og miljøriktig utvikling av vannkraft, vindkraft, overføringslinjer og gjennomføring av miljø- og energipolitikk.

SINTEF Energi, NINA og NTNU er hovedforskningspartnere, med en rekke energiselskaper, norske og internasjonale FoU-institutter og universiteter som partnere.

Senteret finansieres av Forskningsrådet, energiselskaper og forvaltning gjennom ordningen med forskningsentre for miljøvennlig energi (FME). FME-ordningen består av tidsbegrensede forskningsentre som har en konsentrert, fokusert og langsiktig forskningsinnsats på høyt internasjonalt nivå for å løse utpekte utfordringer på energi- og miljøområdet.

CEDREN

Centre for Environmental Design of Renewable Energy



Contents

Forord	5
Håndbok for miljødesign: Fornybar energi på lag med naturen	6
Vannbank-metoden: Omfordeling av vann til fisk og kraftproduksjon	8
Miljøtilpasset effektkjøring: Verktøy for design av miljøtilpasset effektkjøring	10
Vassføring i umålte felt: Metode for å finne vassføring i umålte felt	12
Multikriterie-vurdering av brukerinteresser og vannføring: Simulering av miljøbasert vannføring og restaureringstiltak	14
Allokering av vannforbruk: Rettferdig fordeling av vannforbruk mellom brukere av flerbruksmagasin	16
Energi-indikatorer: Energi-indikatorer for sammenligning av energieffektiviteten til kraftproduksjon	18
ConSite: Verktøy for optimal plassering av kraftledninger og vindkraftverk	20
ComparaTool: Verktøy for å sammenligne miljøvirkninger	22
Environmental Design Support Tools (TOOLS): Programvare for å kople flere simuleringsverktøy saman	24
IB salmon: Individbasert populasjonsmodell for laks	26
Flermarkedoptimalisering i ProdRisk: Ny metode for å analyse tilbudet av vannkraft	28
PSH-Sim: Programvare for å studere energilagring med pumpekraft	30
MOCPOW: Åpent simuleringsverktøy for vannkraftturbiner	32
COSH-Tool: Programvare for karakterisering av fleksibel drift og effektkjøring i elver	34
Laserskanning: Laserskanning av vannkraft-tunneler	36
ElveDrone: Drone til kartlegging av elvetopografi	38
Gytestudio: Kameraoppsett for å studere gyteatferd til laks og sjøaure	40
Ripping: Restaurering av bunnsstrat med ripping	42
Luftputekammer: Metode for fysisk modellering av luftputekammer	44
Fugleradar: Radar for å kartlegge fuglers aktivitet	46
Avbøtende tiltak: Tiltak for å avbøte effektkjøring for fisk	48
Sittepinne for hubro: Sikrer trygge sitteplasser for fugl	50
Varmegjenvinning fra avløpsvann: Utnytter energien fra pastavannet	52

Forord

Centre for Environmental Design of Renewable Energy (CEDREN) ble startet i 2009 av Forskningsrådet som et av åtte forskningssentre for miljøvennlig energi (FME). CEDREN skal være et internasjonalt ledende forskningssenter for miljødesign av fornybar energiproduksjon – i samspillet mellom teknologi, natur og samfunn. CEDREN skal bidra til teknisk og miljøriktig utvikling av vannkraft, vindkraft og overføringslinjer. Rundt de gode tekniske løsningene skal det produseres ny kunnskap for å styrke den forvaltningsmessige gjennomføringen av miljø- og energipolitikk.

CEDREN skal levere:

1. Kunnskap om fornybare og bærekraftige energiløsninger
2. Innovasjon og nye muligheter for fornybare energiløsninger
3. Fremragende formidling og målrettet kommunikasjon av prosesser og resultater

Forskningen i CEDREN har ført til en rekke nye ideer, innovasjoner og nye muligheter for fornybare energiløsninger. Dette heftet dokumenterer innovasjoner fra CEDREN som vi forventer kan komme til nytte for energibransje, forvaltning, konsulenter, leverandører, forskning og utdanning. Innovasjonene inkluderer metoder, programvare, instrumenter og installasjoner som alle kan bidra til nyskaping og bedre løsninger på de mange utfordringer som finnes i skjæringspunktet mellom teknologi, miljø og samfunn.



Atle Harby

Senterleder
CEDREN



Foto: Atle Abelsen

Atle Harby.

Fornybar energi på lag med naturen

CEDREN-prosjekt: EnviDORR

Type innovasjon: Ny metode

Beskrivelse: Håndbok for miljødesign i regulerte vassdrag

Kontakt: Torbjørn Forseth, NINA Torbjorn.forseth@nina.no

Atle Harby, SINTEF Energi atle.harby@sintef.no

Håndbok for miljødesign i regulerte vassdrag viser hvordan man kan utrede, utvikle og gjennomføre tiltak som bedrer forholdene for laks i regulerte vassdrag samtidig som man tar hensyn til kraftproduksjon.

Utfordring ■ Kraftproduksjon og vassdragsreguleringer endrer de fysiske forholdene i vassdrag, og dermed også leveområdene til laksen.

I Norge har det vært betydelige vannkraftutbygginger de siste 100 årene. I mange elver har laksebestandene har gått tilbake. I andre har det vært små, ingen eller positive endringer. Leveforholdene for laks er et prioritert tema for myndighetene i konsesjons- og revisjonssaker.

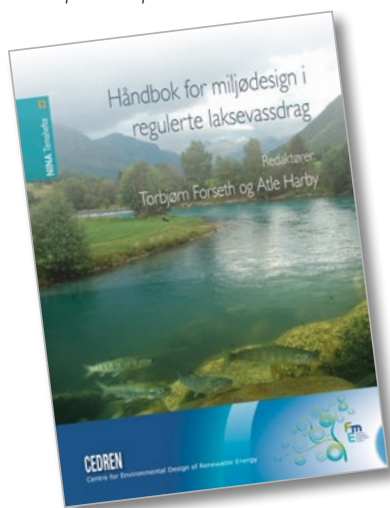
Løsningen ■ CEDRENs Håndbok for miljødesign beskriver hvordan man kan utrede, utvikle og gjennomføre tiltak som tar hensyn til både kraftproduksjon og miljøforhold for laks.

Håndboka er inndelt i to deler.

- Del én beskriver steg for steg hvordan man kan stille en diagnose for en hel elv eller for en del av elven. Målet er å identifisere flaskehals for lakseproduksjonen og å identifisere restriksjoner og muligheter innenfor kraftproduksjonssystemet i det aktuelle vassdraget.
- Del to beskriver hvordan utvikle og gjennomføre gode designløsninger. Basert på diagnosen som stilles for fiskebestanden, hydrologien i elven og kraftproduksjonssystemet gis det råd om hvordan utvikle designløsninger som skal optimalisere forholdet mellom lakseproduksjon og kraftproduksjon.

Håndboka viser hvordan man kan utrede, utvikle og gjennomføre tiltak som bedrer forholdene for laks i regulerte vassdrag samtidig som man tar hensyn til kraftproduksjon.

Man må stille en god diagnose for å kunne iverksette rette tiltak. Foto: Helge Skoglund og Håkon Sundt



Håndboka er skrevet slik at den kan brukes både som generelt kunnskapsgrunnlag og i konkrete prosjekter. Lokale tilpasninger er ofte avgjørende for optimalisering av kraftproduksjon og laksebestand, og inndelingen i diagnose og designløsninger gjøre håndboka enklere å benytte for alle brukere.

Regulanter vil kunne benytte Håndboka i kunnskapsoppdatering i bedriften. I et dynamisk samspill med regulantene, vil Håndboka benyttes av de som skal utføre analyser og utredninger rundt utfordringer knyttet til laks i regulerte vassdrag. Forvaltere vil kunne benytte Håndboka som utgangspunkt for eventuelle påleggsundersøkelser.

Bruk ■ Miljøforvaltningen har i flere pålagte etterundersøkelser i regulerte vassdrag stilt krav om å benytte metodikken i Håndboka. I Kvina-vassdraget er det nå konsesjonsbehandling av nye vannkraftprosjekter som er kombinert med tiltak basert på miljødesignkonseptet i Håndboka. Agder Energi Vannkraft gjennomfører på eget initiativ et stort miljødesignprosjekt i Mandalselva, og flere kraftselskap vurderer å starte lignende prosjekter.

Potensial ■ Forhold for laks er prioritert i nye og kommende konsesjons- og revisjonssaker i vannkraftsystemet i Norge. En omforent, men tilpasset tilnærming til konsekvensutredning vil spare tid og ressurser, og vil samtidig kunne bidra til optimalisering av kraftproduksjon og laksebestander side om side. Resultater fra bruken av Håndboka vil kunne danne kunnskapsgrunnlaget for reguleringsforslag og høring i konsesjons- og revisjonssaker. Håndboka er forsøkt lagt opp slik at andre nøkkelarter kan vurderes i tillegg til laks om nødvendig.

Basert på diagnosen utvikles det konkrete løsninger for å optimalisere forholdet mellom lakseproduksjon og kraftproduksjon. Foto: Bjørn Barlup

” Jeg vil berømme CEDREN for Håndboka. Metodene har allerede gitt tellende resultater for oss.

*Prosjektleder
Per Øyvind Grimsby,
Sira-Kvina kraftselskap*



Omfordeling av vann til fisk og kraftproduksjon

CEDREN-prosjekt:

Frittstående, men relatert til EnviDORR

Type innovasjon:

Videreutviklet metode

Beskrivelse:

Metode for å omfordele vann til kraftproduksjon og smoltproduksjon

Kontakt:

Torbjørn Forseth, NINA
Torbjorn.forseth@nina.no

Hans-Petter Fjeldstad, SINTEF Energi
hans-petter.fjeldstad@sintef.no

Med "vann i banken" i et oppstrøms magasin kan man slippe riktige mengder vann når det trengs og dermed legge til rette både for laks og for kraftproduksjon.

Utfordring ■ Redusert vannføring i elva som følge av vassdragsregulering kan ha konsekvenser for gyte- og oppvekstområdene til laks. Laks i ulike livsfaser har behov for et tilpasset vannføringsregime med blant annet stabile vannføringer og innslag av lokkeflommer. Fraført vann returneres i enkelte tilfeller ikke til samme vassdrag, men utnyttes i nabo-vassdrag. Dermed blir det mindre vann tilgjengelig for miljøbasert vannføring og andre tiltak for å sikre gode gyte- og levekår for laksen i elva.

Løsningen ■ CEDREN har utviklet en metode med vannbank, der vann fra sidevassdrag som renner ut på strekningen med fraført vann overføres til et oppstrøms magasin. Deler av vannet i vannbanken omfordeles gjennom sesongen og over år, avhengig av nedbørs- og tilsigsmengder, for å tilfredsstille nedstrøms behov for vann til laks i ulike livsfaser. Den delen av vannet i vannbanken som ikke brukes til miljøtiltak vil kunne benyttes i kraftproduksjon.

En vannbank bør benyttes sammen med byggeklossmetoden for å optimalisere sesongbehov for slipp av vann. I byggeklossmetoden deles vassdragets vannsyklus inn i perioder ut fra når laksen og andre nøkkelarter har behov for mer vann, som når laksen gyter og smolten skal vandre. Også andre behov, som fiskernes behov for mer vann, kan legges inn. Deretter legges mengde vann per periode inn i systemet. Da vil man vite når det

CEDREN har utviklet en metode med vannbank for å kunne slippe riktige mengder vann når det trengs og dermed legge til rette både for laks og økt kraftproduksjon riktige. Foto: Per Øyvind Grimsby

For å kunne forslå tiltak må leveområdene til laksen kartlegges. Foto: Svein Erik Gabrielsen



trengs mer og mindre vann for å tilfredsstille laksens behov gjennom sesongene, men samtidig unngå å slippe mer vann enn nødvendig i perioder hvor det ikke trengs.

Vannbank-metoden krever analyser av både biologiske og fysiske faktorer for å oppnå de beste løsningene, tilpasset lokale forhold. Biologiske faktorer kan være gyte- og oppvekstforhold for nøkkelarter (f.eks. laks). Fysiske faktorer kan være elvemorfologi, habitattyper og potensiell strandingsfare. Disse faktorene er avhengige av tilpassede vannføringer.

Bruk ■ Vannbank-metoden er brukt i en case i CEDREN. To sidevassdrag som renner ut på en strekning med fraført vann ble foreslått overført til oppstrøms magasin for å tilgjengeliggjøre en vannbank for miljøbaserte vannføringsslipp og samtidig kunne øke kraftproduksjonen. I prosjektet ble det estimert at vannbank-metoden i kombinasjon med andre habitatjusterende tiltak ville kunne gi en gevinst i form av økt smoltproduksjon på opptil 31 000 individer, avhengig av hvilket alternativ for bruk av slipp fra vannbanken som ble valgt. Dermed skulle det ut fra estimatene være mulig å kompensere for tap i smoltproduksjonen som følge av eksisterende og planlagt regulering av det aktuelle vassdraget.

Potensial ■ I kombinasjon med andre habitatforbedrende tiltak kan vannbank-metoden utnyttes i alle regulerte vassdrag med overføringsmuligheter, samtidig som man minimerer konsekvenser i de aktuelle sidevassdragene.

Vannbank-metoden er også overførbar til fremtidens utfordringer i et endret klima, hvor det potensielt kan bli mer vann tilgjengelig i norske magasin.

Målet med vannbank-metoden er mer kraft og mer laks. Foto: Ulrich Pulg



Verktøy for design av miljøtilpasset effektkjøring

CEDREN-prosjekt:

EnviPEAK

Type innovasjon:

Ny metode

Beskrivelse:

System for design av miljøtilpasset effektkjøring

Kontakt:

Atle Harby, SINTEF Energi
atle.harby@sintef.no

CEDREN har utviklet et verktøy for å designe miljøtilpassede driftsstrategier og fysiske tiltak i vassdrag basert på planlagt driftsmønster og vassdragets sårbarhet.

Utfordring ■ Samfunnets behov for elektrisitet varierer over døgnet og over året. Kraftproduksjonen må til enhver tid balansere strømforbruket. Samtidig er det gunstig for den enkelte produsent å selge kraft i perioder hvor etterspørselen er stor og prisen gunstig. Derfor blir enkelte vannkraftverk effektkjørt.

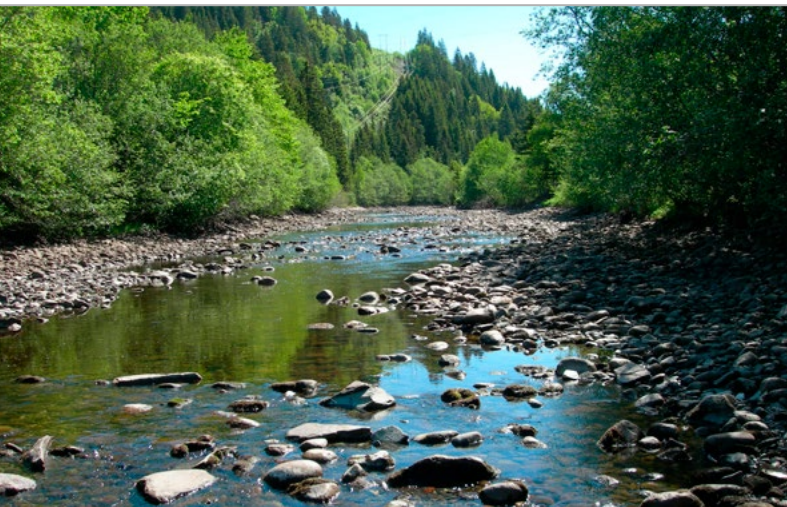
Effektkjøring betyr at vannkraftverket startes og stoppes ofte og hurtig. Effektkjøring kan få negative konsekvenser for livet i elva, men forskning i CEDREN viser at det er mulig å effektkjøre vannkraftverk og samtidig opprettholde livet i elven, dersom effektkjøringen utføres innenfor fornuftige rammer.

Effektkjøring er i liten grad regulert gjennom reguleringsbestemmelsene i gjeldende konsesjoner. Det finnes heller ingen formaliserte krav om konsekvensundersøkelser av variabel drift av vannkraftverkene ved konsesjon.

Det er derfor behov for et system som vurderer ulike regimer for effektkjøring opp mot behov og ønske om å ivareta miljøkvaliteter i vassdraget.

Effektkjøring, det vil si at vannkraftverk startes og stoppes ofte og hurtig, foregår i dag i enkelte regulerte elver.

Foto: Tor Haakon Bakken



Raske endringer i vannstand i regulerte vassdrag kan være en fare for mennesker og miljø. Foto: Tor Haakon Bakken



Løsningen ■ CEDREN har utviklet et verktøy som vil bidra til en mer forutsigbar og kunnskapsbasert forvaltning av regulerte vassdrag, herunder også vassdrag eksponert for effektkjøring.

Systemet er basert på analyse av effektkjøring og vassdragene langs to hovedakser: 1) Påvirkningsaksen, som vurderer de mulige økologiske konsekvensene av effektkjøring. 2) Sårbarhetsaksen, som vurderer hvor sårbart vassdraget er for den ekstrabelastningen effektkjøring kan gi. Påvirknings- og sårbarhetsfaktorer kvantifiseres og kombineres deretter til en samlet vurdering. Tiltak som reduserer uønskede virkninger hensyntas og bidrar til å nedskrive den totale belastningen.

Verktøyet kan brukes av forvaltningen i vurdering av konsesjonsvilkår og av industrien i planlegging av produksjonen, eller av forskere og konsulenter på oppdrag for forvaltning og industri.

Bruk ■ Verktøyet er brukt i fire vassdrag som effektkjøres - ett vassdrag på Sørlandet, ett på Vestlandet og to i Midt-Norge. Verktøyet beskrives i boken «Miljøvirkninger av effektkjøring: Kunnskapsstatus og råd til forvaltning og industri», som CEDREN publiserte i 2016.

Potensial ■ Svært mange vannkraftkonsesjoner kan revideres innen 2022. EUs vanndirektiv som stiller krav til god økologisk status eller godt økologisk potensiale i norske vannforekomster, skal gjennomføres. Derfor vil det være behov for analyse av hvordan effektkjøring påvirker miljøforhold i mange norske vassdrag de nærmeste årene.

Systemet er utviklet basert på kunnskap om norske vassdrag. Det har imidlertid også vært stor internasjonal interesse fra land i alpe-regionen, USA og Canada. Det er forventet at norske forsknings- og konsulentmiljøer kan selge rådgivningstjenester rundt verktøyet til både forvaltning og industri.



Håndboka om effektkjøring gir kunnskapsstatus og råd til forvaltning og industri.

I CEDREN er det utviklet et verktøy for miljøtilpasset effektkjøring som tar hensyn til miljøet og samfunnets behov for effektkraft.

		Påvirkning			
		Svært stor 21-32	Stor 15-20	Moderat 10-14	Liten 4-9
Sårbarhet	Høy 16-21				
	Moderat 10-15				
	Lav 4-9				

Metode for å finne vassføring i umålte felt

CEDREN-prosjekt:

HydroPEAK og Tools

Type innovasjon:

Modell

Beskrivelse:

Modell for å finne vassføring i umålte felt

Kontakt:

Knut Alfredsen, NTNU

Knut.alfredsen@ntnu.no

Sjur Anders Kolberg, SINTEF Energi

Sjur.Kolberg@sintef.no

Modell for å rekonstruere naturleg vassføring i regulerte elver for å finne tilstand før regulering, noko som gir grunnlaget for å finne effekt av reguleringa og tiltak for å motverke desse.

Utfordring ■ I mykje praktisk bruk av hydrologi er spørsmålet å finne vassføring i felt som ikkje her målingar. Kva var vassføringa før reguleringa vart sett i verk? Kva er vassføringa i den uregulerte sideelva som renn inn i strekninga med forbitappa vatn i ei regulert elv?

Løsningen ■ CEDREN har arbeida med modellverktøy for å svare på desse utfordringane som brukar ulike metodar for å finne vassføringa i umålte felt.

Rammeverket som er utvikla kan vere nyttig ved revisjon av konsesjonar og ved implementering av vassrammedirektivet. I slike tilfelle er der ofte manglande eller svært korte data-seriar frå før reguleringa. For å kunne vurdere effektar av reguleringa må vi gjenskape vassføringa frå før elva vart regulert, noko som er utgangspunktet for å vurdere verknader eller for å finne tiltak som reduserer verknadane av reguleringa.

I CEDREN har vi utvikla metoder for å finne avrenning i umålte felt. Ideen er at vi kan kalibrere ein modell for ein region ved å bruke fleire vassmerke med måleseriar innan regionen. Med bakgrunn i dette kan vi så flytte modellen til umålte felt i regionen og dermed

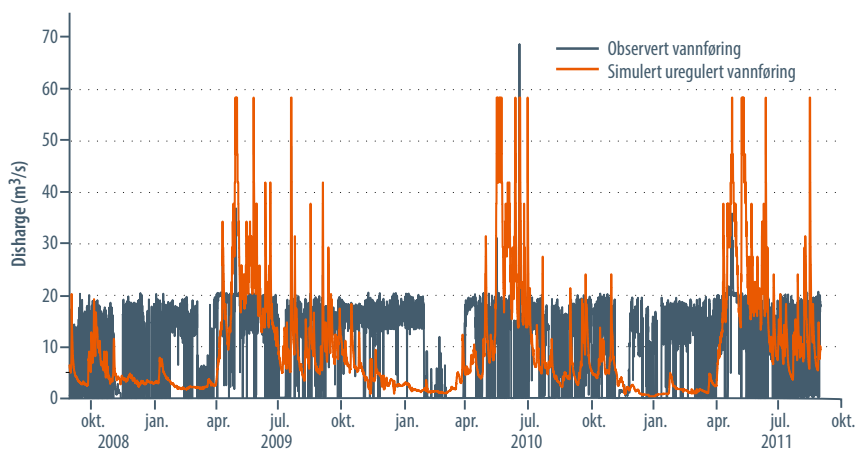


Lundesokna ved lavvatn på vinteren.

utnytte eit felles modellparametersett som gjeld for heile regionen. Det er og gjort arbeid med å utvikle ei metode basert på skalering med kvantilar som eit alternativ til regional kalibrering. Basert på desse metodane har vi simulert vassføring før regulering og i umålte felt. Metodane har vore brukte i fleire norske elver både i CEDREN og i andre prosjekt.

Bruk ■ Modellen har blant anna vore brukt i Lundesokna i Sør Trøndelag. Denne elva er regulert med vassføring som varierer raskt. Der er ingen måledata tilgjengeleg frå før reguleringa, og for å kunne evaluere verknadane av reguleringa har vi rekonstruert vassføring frå før reguleringa. I eksempelet er dette gjort med kvantilregresjon. **Figur 1** viser regulert vassføring i svart, og naturlig vassføring i same periode i raudt. Basert på dette kan vi finne relevante parametarar som viser effektar av reguleringa.

Potensial ■ Dette verktøyet kan nyttast til å finne uregulert vassføring eller vassføring i umålte felt til bruk i vurderingar av reguleringseffektar.



Figur1.
Observert vassføring (svart) og simulert uregulert vassføring (raudt).

Simulering av miljøbasert vannføring og restaureringstiltak

CEDREN-prosjekt:

EcoManage

Type innovasjon:

Fornyet metode

Beskrivelse:

Beregningsmetode for å simulere hvilke konsekvenser ulike kombinasjoner av miljøbasert vannføring og restaureringstiltak har for vannføring, fisk, brukerinteresser og kraftproduksjon

Kontakt:

David N. Barton, NINA

david.barton@nina.no

Berit Köhler, NINA

Berit.Kohler@nina.no

Multikriterie-vurdering av brukerinteresser og vannføring (MBV) er en metode for å simulere hvilke konsekvenser ulike kombinasjoner av miljøbasert vannføring og restaureringstiltak har for vannføring, fisk, brukerinteresser og kraftproduksjon i regulerte vassdrag.

Utfordring ■ Vurderinger av miljøtiltak i regulerte vassdrag gjøres ofte for ett tiltak av gangen, eller rangeres etter hvor effektive tiltakene er hver for seg. Tiltaksanalyser bør kunne vurdere samspillet mellom enkelttiltak.

Noen miljøkonsekvenser er veldokumenterte og kan modelleres kvantitativt, mens andre krever kvalitative ekspertvurderinger. Tiltaksanalyser bør kunne håndtere og koble ulike typer data.

Naturlig variasjon kan gjøre det vanskelig å vurdere hvor effektive tiltak er. I regulerte elver påvirker variasjon i klima, vær og kraftproduksjon hvordan stor effekt elverestaureringstiltak kan ha. Tiltaksanalyser bør kunne håndtere usikkerhet i effekter av tiltak og samspillet mellom flere usikkerhetsfaktorer.

Regulerte elver gir ulike økosystemtjenester som gagnar ulike brukerinteresser i tillegg til kraftproduksjon, som fiske og annen fritidsbruk. Bare noen av brukerinteressene kan vurderes økonomisk og dermed sammenlignes direkte med verdien av kraftproduksjon. En tiltaksanalyse bør kunne vurdere hvilke tiltak som best oppnår prosjektmålsettinger og forvaltningskrav. Hva som er optimalt vil avhenge av hvordan forskjellige brukerinteresser vektlegges i vurderingen.

Løsningen ■ Metoden multikriterie-vurdering av brukerinteresser og vannføring (MBV) løser utfordringene som tradisjonelle metoder for tiltaksanalyse ikke kan håndtere. MVB

Fotoscenarier av fjerning av elveterskler i Mandalselva. MBV håndterer også ekspertvurderinger av kvalitative effekter. Fotoscenarier: Berit Köhler/Hans-Petter Fjeldstad/3Dsmia



gjør det mulig å simulere hvilke konsekvenser ulike kombinasjoner av miljøbasert vannføring og restaureringstiltak har for vannføring, fisk, brukerinteresser og kraftproduksjon i regulerte vassdrag. MBV håndterer ulike typer data, naturlig samspill i naturen og vektning av brukerinteresser.

MBV bygger på bayesiansk statistikk og bruker en eksisterende programvare for bayesianske nettverk fra Hugin Expert AS. I programmet håndteres alle variabler som sannsynlighetsfordelinger. Bayesiansk statistikk brukes til å vurdere sannsynligheten for at ulike tiltak har effekt på hverandre, og på ulike brukerinteresser.

Bruk ■ MBV-metoden er testet ut i Mandalselva for å vurdere om man kunne gjennomføre restaureringstiltak og samtidig øke kraftproduksjon uten at det gikk ut over laksen eller andre brukerinteresser som fiske og elveestetikk. Metoden ble testet ved at ulike brukerinteresser vektet betydningen av krafttap, lakseproduktivitet, fiskelykke og elveestetikk.

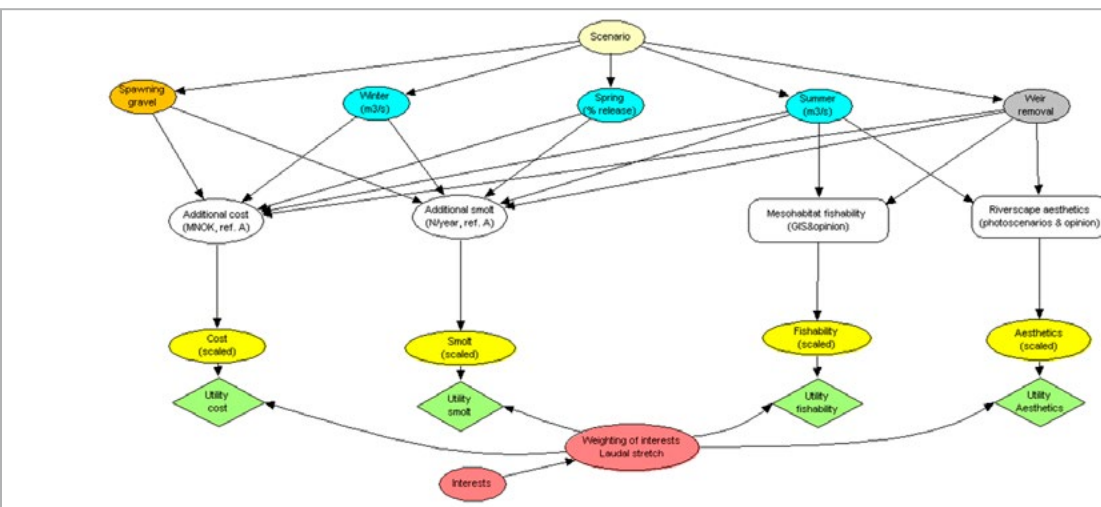
Multikriterie-analysen konkluderte med at fjerning av terskler kan kompensere for lavere smoltproduktivitet ved noe lavere minstevannføring enn foreslått i prøvereglementet. Multikriterie-analysen avdekket videre at interesse-motsetningene ikke var store sammenlignet med variasjoner i konsekvensene av tiltaksalternativene. Analysen viste at det er mulig å identifisere tiltakspakker som potensielt kan tilfredstille de fleste brukerinteressene.

Potensial ■ MBV-metoden gjør det lettere å diskutere tiltaksalternativer på tvers av brukerinteresser. Hvis MBV tas i bruk tidlig i en konsesjonsprosess kan den brukes til å vurdere hvilke deler av systemet som skaper størst usikkerhet, hvor man får mest beslutningsrelevant informasjon igjen for forskningsinnsats, og kontinuerlig oppdatere vurderinger av tiltakseffekt etter hvert som man får inn nye data.

Bayesianske nettverk gir regulerter og kraftindustrien et verktøy for systematisk å vurdere hvilke type ny informasjon om miljø- og brukerinteresser som vil gi mest beslutningsstøtte for hver utredningskrone.



Minstevannførings-strekningen med elveterskler i Mandalselva ovenfor Laudal kraftverk. MBV vurderer samspillet av ulike tiltak på ulike brukerinteresser langs den regulerte elvestrekningen. Foto: Agder Energi



En bayesiansk nettverksmodell brukes for å rangere ulike tiltaksscenarioer for minstevannføring, fjerning av elveterskler og utlegging av gyttegrus.

Rettferdig fordeling av vannforbruk mellom brukere av flerbruksmagasin

CEDREN-prosjekt:

EcoManage

Type innovasjon:

Nye metode

Beskrivelse:

Fordelingsmetode ved analyse av vanntap. Kan programmeres i Excel

Kontakt:

Tor Haakon Bakken, SINTEF Energi
tor.haakon.bakken@sintef.no

Allokering av vannforbruk er en metode for rettferdig fordeling av vanntap mellom alle vannbrukere som nyttiggjør seg vann fra flerbruksmagasin.

Utfordring ■ Det er en økende interesse for å dokumentere miljø-fotavtrykket ved produksjon av varer og tjenester, herunder også energiproduksjon.

Ved produksjon av elektrisitet fra vannmagasiner dedikert til produksjon av vannkraft, så tilordnes hele miljø-fotavtrykket vannkraftproduksjonen. Mange av verdens vannmagasiner er imidlertid flerbruksmagasin som brukes til flere formål samtidig, slik som jordvanning, drikkevannsforsyning og flomsikring. I slike tilfeller må miljø-fotavtrykket fordeles mellom alle brukerne av magasinet.

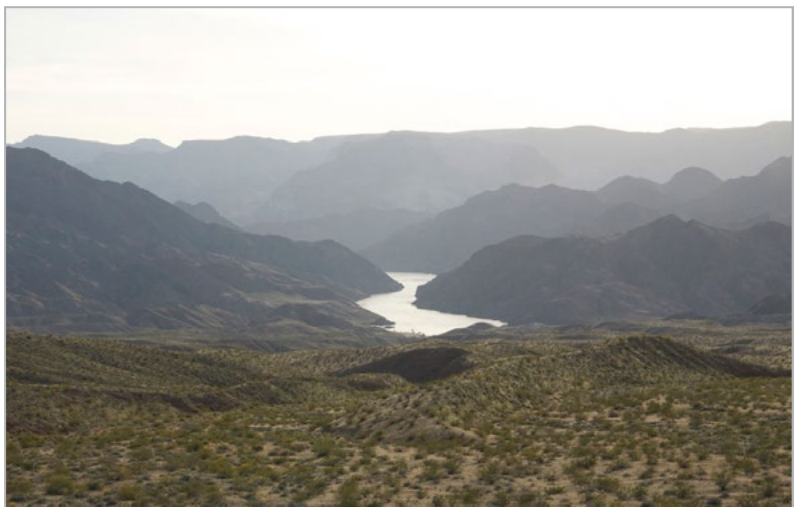
Vannforbruk, primært i form av fordampningstap fra vannmagasiner, er én del av miljø-fotavtrykket. Inntil nylig fantes det ingen god metode for å fordele vannforbruket fra flerbruksmagasiner mellom alle vannbrukerne.

Løsningen ■ CEDREN har utviklet en metode for å fordele vanntapet mellom alle brukerne av et flerbruksmagasin. Andelen av fotavtrykket fastsettes ved å analysere hvor mye vann som benyttes til de ulike formålene. Den som har størst nytte av vannet, målt gjennom

Flerbruksmagasinet Lake Mead på Colorado River, oppdemmet av Hoover Dam. Alle foto: Tor Haakon Bakken



Colorado River nedstrøms Hoover Dam er kraftig utnyttet til drikkevannsforsyning, jordvanning og kraftproduksjon.



hvor stort vannvolum som benyttes, vil tilordnes det største fotavtrykket. Det anbefales å tilpasse en hydrologisk modell til området som er berørt av reguleringen og analysere vannbruk i alle årstider og over flere år.

Bruk ■ Løsningen er ennå ikke blitt tatt i praktisk bruk, men internasjonale konsulenter har vært i kontakt med CEDREN for å få råd om hvordan metoden skal anvendes. Den internasjonale bransjeorganisasjonen International Hydropower Organisation (IHA) vurderer å anbefale CEDRENs metode som sin foretrukne til sine medlemmer.

Potensial ■ Det er etablert en internasjonal standard for å analysere vannfotavtrykk (ISO 14046 Water Footprint). Dette vil rette et enda større søkelys mot vannforbruk ved produksjon av varer og tjenester, herunder også vannkraftproduksjon. Ved å bruke denne ISO-standarder på energiproduksjon fra flerbruksmagasin må vanntapet fordeles mellom alle vannbrukere. Det gjelder et stort antall magasiner globalt, og en stor andel av magasinene ligger i områder med vannknapphet hvor nettopp et stort vanntap kan være problematisk. CEDRENs metode vil være en løsning for rettferdig fordeling av vanntap mellom brukerne.

” Allocation regimes from multipurpose reservoirs can significantly influence reported water consumption values.

IPCC Special Report on Renewable Energy (2011)

Nyamba ya Mungu flerbruksmagasin, nær Arusha, Tanzania.



Energi-indikatorer for sammenligning av energieffektiviteten til kraftproduksjon

CEDREN-prosjekt:

EcoManage

Type innovasjon:

Videreutviklet metode

Beskrivelse:

Metode for å analysere energieffektiviteten til et energianlegg

Kontakt:

Hanne Lerche Raadal,
Østfoldforskning
hlr@ostfoldforskning.no

Energi-indikatorer kan brukes til å analysere og sammenligne energieffektiviteten til kraftproduksjon. CEDREN har testet og demonstrert hvordan energi-indikatorer kan brukes som beslutningsgrunnlag for politikkutforming.

Utfordring ■ Ved utvikling av politikk for fremme ny energiproduksjonen er det relevant å vite hvor energieffektive ulike teknologier eller energiprosjekter er.

Når man beregner energieffektivitet, estimerer man hvor mye teoretisk potensiell energi man har, hvor mye energi som går tapt ved konvertering til elektrisitet og hvor mye elektrisitet man til slutt sitter igjen med. Vannkraft har for eksempel en viss mengde potensiell energi i form av vann i et vannmagasin, men i prosessen med omgjøring av den potensielle energien til strøm, så taper man litt energi, for eksempel gjennom friksjonstap i tuneller, tap i turbiner osv. Ved en høy energieffektivitet vil mengden investert energi være liten i forhold til den energien som produseres i anlegget i hele dets levetid.

Det har inntil nylig vært lite tilgjengelig kunnskap om energiindikatorer, og de energi-indikatorene som har vært brukt har ikke alltid gitt konsistente svar.

Så mye teoretisk energi har jeg. Alle foto: Tor Haakon Bakken



Så mye energi ga jeg bort ved konvertering til elektrisitet.



Løsningen ■ CEDREN har testet og demonstrert hvordan energiindikatorer kan brukes for å analysere energieffektiviteten til norske energianlegg, for å vurdere hvor energieffektive norske energianlegg er i forhold til anlegg i utlandet.

CEDREN har brukt livsløpsanalyser for å analysere energieffektiviteten til kraftproduksjon. Analysene inkluderer alle energi-investeringer og den energiproduksjon som skapes i løpet av anlegges levetid, det vil si fra bygging til operativ drift og til anlegget tas ut av drift.

Denne metoden definerer en felles plattform for å sammenligne energieffektiviteten ved ulike anlegg, uavhengig av teknologi og levetid. Metodikken gjør det mulig å spore ressursforbruket tilbake til der enkeltkomponenter lages, og tar også hensyn til ressurskostnaden ved transport.

Bruk ■ Energiindikatorer er beregnet for flere anlegg i Norge, og de er blitt brukt blant annet i diskusjonen om utvikling av vindkraftprosjekter i Trøndelag.

Potensial ■ Metoden har potensiale til å bli anvendt på et overordnet nivå ved utvikling av energi- og miljøpolitikk. Ved siden av å brukes for sammenligning av energieffektivitet mellom teknologier, kan metoden gi relevant informasjon ved sammenligning av prosjekter av samme teknologi, herunder også opprustning- og utvidelsesprosjekter.

Så mye energi har jeg igjen.



Verktøy for optimal plassering av kraftledninger og vindkraftverk

CEDREN-prosjekt:
OPTIPOL

Type innovasjon:
Nytt produkt

Beskrivelse:
GIS-basert plan- og beslutningsverktøy for lokalisering av kraftledninger og vindkraftverk utført som en plug-in modul til kommersiell software som for eksempel WaSP, WindSim, ECN WakeFarmer and GH WindFarmer

Kontakt:
Frank Hanssen, NINA
frank.hanssen@nina.no

Roel May, NINA
roel.may@nina.no

ConSite (Consensus based siting) er et GIS-basert plan- og beslutningsverktøy for å finne optimal plassering av kraftledninger og vindkraftverk.

Utfordring ■ Utbyggingsprosjekter innenfor fornybar energi, overføringsnett og arealkrevende industri kan medføre store naturinngrep og interessekonflikter. Dette utfordrer dagens analoge planpraksis, som har en innebygd risiko for at ikke alle forhold fanges opp. Dette understreker behovet for planverktøy som gir som er åpnere, mer effektive, etterprøvbare og konfliktreducerende planprosesser.

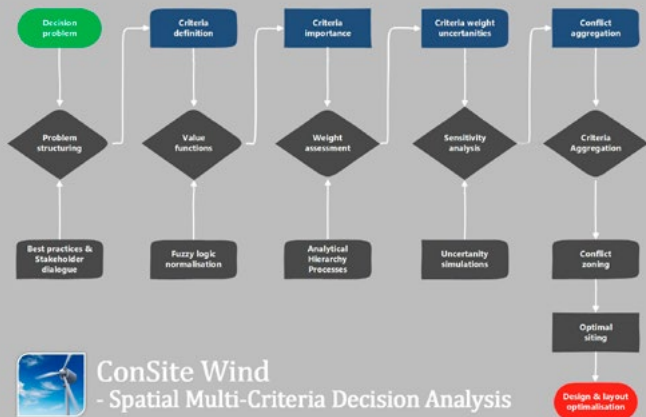
Løsningen ■ ConSite er et verktøy som skal bidra til optimaliserte løsninger i utbyggingsprosjekter på et tidlig stadium i planprosessen. ConSite gjør det mulig å vurdere ulike beslutningsscenarier ut fra hvilke kriterieverdier, vekt og beslutningsstrategier brukeren velger. Dette er i seg selv konfliktreducerende og effektiviserende fordi det bidrar til forenklet innsyn, økt etterprøvbarehet og dokumentasjon.

ConSite bygger på forskning innenfor GIS, arealplanlegging, beslutningsteori og multi-kriterieanalyse. ConSite kombinerer GIS og dialog med berørte parter og skal sørge for at alle relevante argumenter tas med i vurderingen.

Gjennom tilrettelagte dialogseminar med berørte parter blir de ulike interessene (definert som kriterier) og deres relative betydning diskutert. Partenes grad av aksept for hvert enkelt kriterium måles og normaliseres til en felles skala (0-1) ved hjelp av matematiske algoritmer (fuzzy logic). Kriterienes relative betydning (vekt) fastsettes ved hjelp av

Flytdiagram som viser de ulike modulene i ConSite Wind.

ConSite Wind verktøykasse for å oppnå færrest mulig konflikter, optimale vind- og arealforhold.



ConSite Wind Toolbox



- GIS-based SMCDA
- Optimal siting of wind farms (WF) based on ecological, social and technological criteria
- Purpose:
 - Scoping
 - Conflict reduction
 - Plan- and decision support
 - Effectivisation of plan processes
 - Transparency and re-examination
 - WF design & layout optimisation

multi-kriteriebasert beslutningsmetodikk (Analytical Hierarchy Processes). AHP er en av de mest brukte beslutningsstøtte-metodene innenfor fornybar energi-prosjekter på verdensbasis, og er spesielt egnet til underbygge og rettferdiggjøre vedtak med hensyn til transparenss og etterprøvnbarhet.

For å sikre at vektningen er konsistent, benytter ConSite metodikk for sensitivitetsanalyse. Dette er spesielt viktig for å analysere konsekvensene av over eller underestimering av de ulike kriterienes betydning. Videre hjelper denne metoden til å identifisere og måle usikkerhet i forhold til datakvalitet, interessentenes preferansevalg og beslutningstakerens strategivalg i avveiningen mellom risiko og kompromissvilje. Det fins mange metoder for å kombinere og analysere konkurrerende interesser. Utfordringen er å finne en helhetlig avveining. ConSite kombinerer de vektete kriterie-kartene til et felles konfliktkart basert på partenes vurderinger og beslutningstakerens strategivalg (det vil si avveininger mellom kompromissvilje og risikovurderinger). Dette konfliktkartet bruker så ConSite til å lage konfliktsonerkart og basert på det foreslå lokalisering og utforming av anleggsområdet.

Bruk ■ ConSite er implementert i regional vindkraftplanlegging i Litauen gjennom prosjektet Sustainable Development of Wind Power in West Lithuania (DAVEP-VLIT). I 2017 skal det også brukes til lokalisering av havbruk i Romsdalsfjorden. ConSite er en sentral component i Norges forskningsråd-prosjektet "Spatial assessment of environment-economy trade-offs to reduce wind power conflicts (2017-2020)" og EU-prosjektet "Management of Green and Blue corridors Multi-functionality, Ecosystem integrity & Ecosystem Services (2017-2020)".

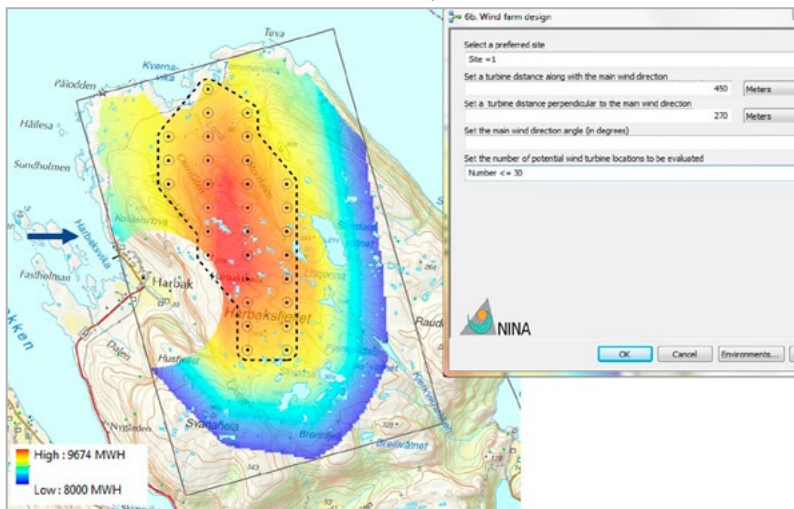
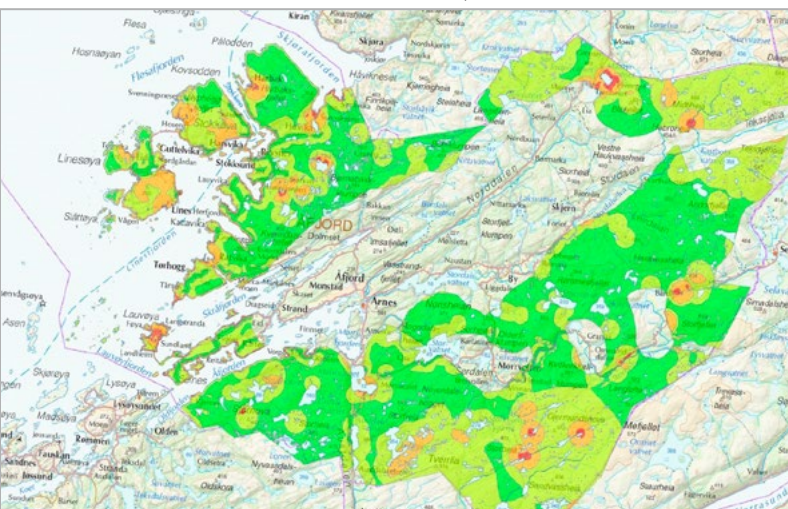
Potensial ■ ConSite sikrer etterprøvnbarhet og bidrar til kompromissløsninger, optimalisert lokalisering og romlig utforming av utbyggingstiltak på et tidlig stadium i planprosessen.

ConSite har synergier utenfor energisektoren og har i prosjektperioden blitt møtt med stor interesse fra aktører innenfor samferdsel, havbruk og generell arealplanlegging.

” The ConSite tool has a great potential as a support to holistic decisions, democratization, user participation and increased efficiency in connection to huge development processes.

European Commission (DG Environment) at the Geospatial World Forum in Rotterdam, May 2013

ConSite Wind konfliktsonerkart i Åfjord kommune.



ConSite Wind kan brukes til å estimere teoretisk vindkraftpotensial i lavkonfliktområder (konfliktnivå $\leq 50\%$) basert på årsmiddelvind (MWh per 100 m²).

Verktøy for å sammenligne miljøvirkninger

CEDREN-prosjekt:

EcoManage

Type innovasjon:

Forbedret metode

Beskrivelse:

Metode for å sammenligne miljøvirkninger på tvers av teknologier

Kontakt:

Tor Haakon Bakken, SINTEF Energi
tor.haakon.bakken@sintef.no

ComparaTool er et beslutningsverktøy for å analysere og sammenligne miljøvirkninger av vann- og vindkraftprosjekter.

Utfordring ■ Når det utformes strategier for utvikling av ny fornybar energiproduksjon er det viktig å kunne identifisere og vurdere mulige miljøkonsekvenser av utbyggingen. For å kunne avveie miljøvirkninger på tvers av teknologier, slik som for eksempel mellom vann- og vindkraft, trengs det et rammeverk som støtter teknologi-nøytral sammenligning. Denne problemstillingen ble tydelig adressert i IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) sin spesialrapport om fornybar energi fra 2011, og det kom frem at et slikt rammeverk manglet.

Løsningen ■ CEDREN har utviklet et verktøy for å kunne analysere og sammenligne miljøvirkningene av vann- og vindkraftprosjekter. Verktøyet heter ComparaTool. I ComparaTool er det definert et sett med miljøparametere som belyser miljøkonsekvenser for stor (> 10 MW) og liten vannkraft og vindkraft. Disse miljøparametere er:

- arealbeslag grunnet utbygging
- inngrep i urørt område (INON-områder i Norge)
- synlighet
- konflikt med rødlistede arter

Ifølge IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) trengs det bedre metoder for å sammenligne miljøvirkninger på tvers av teknologier. Foto: Pål Kvaløy



Miljøparameterne er kvantitative og måles i areal per produsert energienhet (km^2/MWh) eller areal per installert effekt (km^2/MW). Arealverdiene kan beregnes ved hjelp av geografiske informasjonssystemer (GIS) som analyserer kartdata. Ulike temakart som viser for eksempel urørte områder og forekomster av sjeldne arter kobles med kart som viser utstrekning til energianleggene og påvirket areal beregnes.

Bruk ■ Det er gjennomført ett pilot-prosjekt med ComparaTool basert på tre store vannkraftprosjekter, et sett med småkraftprosjekter og ett stort vindkraftprosjekt. Pilot-prosjektet viste potensialet som ligger i verktøyet og gir anbefalinger om framtidig bruk. Metodikken er også referert til i internasjonale tidsskrifter.

Potensial ■ ComparaTool kan brukes av myndighetene til å utvikle energi- og miljøpolitikk. ComparaTool kan også være et utgangspunkt for å utvikle forbedret metodikk for å vurdere samlede virkninger av flere tiltak i samme vassdrag eller vannregion.

*CEDREN har utviklet et verktøy for å kunne analysere og sammenligne miljøvirkningene av vannkraft og vindkraft.
Foto: PK Foto*



*Mange små vannkraftanlegg kan gi mange og fragmenterte inngrep i naturen. ComparaTool kan bidra til å vurdere samlede virkninger av flere tiltak i samme vassdrag.
Foto: Tor Haakon Bakken*



Programvare for å kople fleire simuleringsverktøy saman

CEDREN-prosjekt:
CEDREN Tools

Type innovasjon:
Programvare

Beskrivelse:
Programvare for integrasjon av verktøy brukt i samband med miljødesign i vassdrag

Kontakt:
Knut Alfredsen, NTNU
knut.alfredsen@ntnu.no

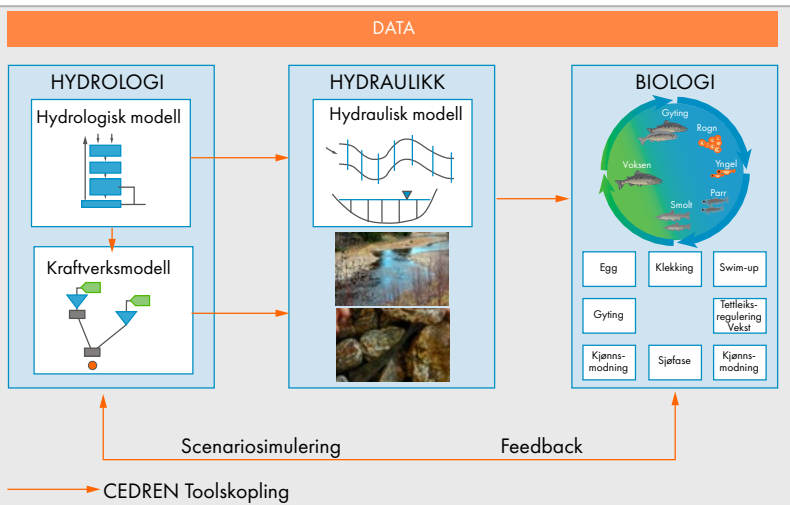
Miljødesign-prosjekt i elv kan krevje bruk av ulike simuleringsverktøy. Programvaren CEDREN Tools koplar verktøya effektivt saman, slik at samansette simuleringar vert forenkla og løysingar kan greiast ut på ein enklare måte.

Utfordring ■ Miljødesign handlar om å analysere problem og utvikle spesialtilpassa løysingar som både tek omsyn til miljøet og produksjon av vasskraft. Ved praktisk miljødesign i elv identifiserer ein problemstillingar og finn tiltak for å motverke desse. Bruk av ulike simuleringsmodellar kan vere effektivt for både å vurdere problema, men spesielt for å analysere effekten av tiltak der modellane kan simulere framtidige løysingar. Sidan hydrologien og biologien i denne type analyser heng saman, så koplar ein ofte modellar for kraftproduksjon, hydrologi, hydraulikk og biologi for å analysere samspel mellom ulike faktorar og for å sjå samanhengar mellom endringar i hydrologi og biologisk respons.

Det kan vere ei utfordring å tilpasse data og få ein god dataflyt mellom ulike program. Ulike modellar krev ulike typar data, og ved miljødesign vil ofte data produsert av ein modell fungere som inngangsdata for neste modell. Vidare kan handtering av data mellom simuleringsmodellane vere ei kjelde til feil, og gjere at brukar må sette seg inn i ulike dataformat og metodar for prosessering av data, noe som er tidkrevjande.

Eksempel på bruk av verktøy i CEDREN Tools for å kople modellar i ei studie endringar i vassføring på ein laksepopulasjon.

Miljødesign-prosjekt i elv kan krevje bruk av ulike simuleringsverktøy. Programvaren CEDREN Tools koplar verktøya effektivt saman. Foto: PK Foto



Løsningen ■ CEDREN Tools leverer eit sett med kode i form av skript i Python og R som koplar modellane saman. Det gjer at brukar slepp datahandtering og slepp å sette seg inn i dei spesifikke formata som dei ulike programsystema brukar. Dette forenkler koplinga av vanleg hydrologisk og hydraulisk programvare, og gjer at ein kan fokusere på dei faglege problemstillingane.

I CEDREN Tools er ei rekke skript laga for å kople dei mest brukte programma for miljøanalyse i CEDREN, produksjonsmodellen nMag, hydraulikksimulatoren HEC-RAS, den hydrologiske modellen ENKI og laksemodellen IB Salmon. I tillegg til skript for å kople saman modellane inneheld CEDREN Tools verktøy for å legge til rette andre inngangsdata, og ein del av skriptane kan og brukast for å hente ut data for presentasjon av resultat og for annan analyse. Det er og laga skript for å automatisere prosessering av kartdata i GIS.

Alle skript i CEDREN Tools er laga på opne plattformer og er finst tilgjengeleg som kjeldekode. Det gjer at dei er enkle å tilpasse til ny programvare og for å tilpassast framtidens behov for integrasjon av nye verktøy.

Bruk ■ Verktøy og modelloppsett som no er samla i CEDREN Tools er brukt i fleire ulike CEDREN prosjekt, til dømes miljødesignprosjektet i Mandal og i Ljungan, og i samband med Roser Casas-Mulet sitt doktorgradsarbeid.

Potensial ■ Bruk av skript i CEDREN Tools-biblioteket kan forenkle oppsett av modelar og gjere det enklare å bruke metodane som er utvikla i CEDREN på nye vassdrag. Verktøya som er utvikla gjer og data enklare tilgjengelege for andre analyser. Dette kan føre til bedre bruk av dei verktøya som er tatt i bruk i CEDREN, og eit bedre grunnlag for framtidig miljødesign i regulerte vassdrag.

Foto: Bjørn Barlaup



Individbasert populasjonsmodell for laks

CEDREN-prosjekt:
ENVIDORR CLIMATE

Type innovasjon:
Nytt modellrammeverk

Beskrivelse:
Mekanistisk individbasert populasjonsmodell

Kontakt:
Line Elisabeth Sundt-Hansen, NINA
line.sundt-hansen@nina.no

IB salmon er en individbasert populasjonsmodell for laks som simulerer effekt av endringer i vannføring, habitat og temperatur på en laksebestand.

Utfordring ■ Atlantisk laks er sterkt redusert i sitt utbredelsesområde og nedgangen skyldes i tillegg til naturlige svingninger, i stor grad også menneskeskapt påvirkning.

Laksen lever et todelt liv, der en del av livssyklusen foregår i elva og en annen i havet. I elva styres viktige deler av laksens biologi av vannføring og temperatur, slik som vekst og tidspunkt for klekking.

Mange norske lakseelver er i dag regulerte, og laks i disse elvene blir påvirket av endringer i nettopp vannføring og temperatur styrt av reguleringsmønsteret i hvert vassdrag.

Selv om man vet mye om laksens biologi, har det manglet modeller for å predikere hvordan endringer i vannføring og temperatur påvirker produksjonen av atlantisk laks i en elv.

Løsningen ■ Forskerne har samlet tilgjengelige empiriske data på hvordan vannføring og temperatur påvirker ferskvannsfasen av laksens livssyklus og utviklet en modell for å simulere livssyklusen hos laks i en spesifikk elv.

*Modellen IB salmon gjør det mulig å simulere hvilken effekt endringer i vannføring og temperatur kan ha på lakseproduksjon både på kort (0-5år) og på lang sikt (5-30 år).
Foto: Line Sundt-Hansen*



Modellen, som har fått navnet IB salmon, tilpasses en spesifikk elv eller strekning, og habitat data (substrat, gytehabitat og skjultilgang), hydrologisk og hydraulisk data (vannføring, vanntemperatur og elveprofil) kobles sammen med IB salmon.

De biologiske parameterne som (bærekapasitet og vekstparametre) justeres og modellen valideres mot eksisterende biologisk data fra hver elv (tetthet, aldersfordeling, smoltproduksjon).

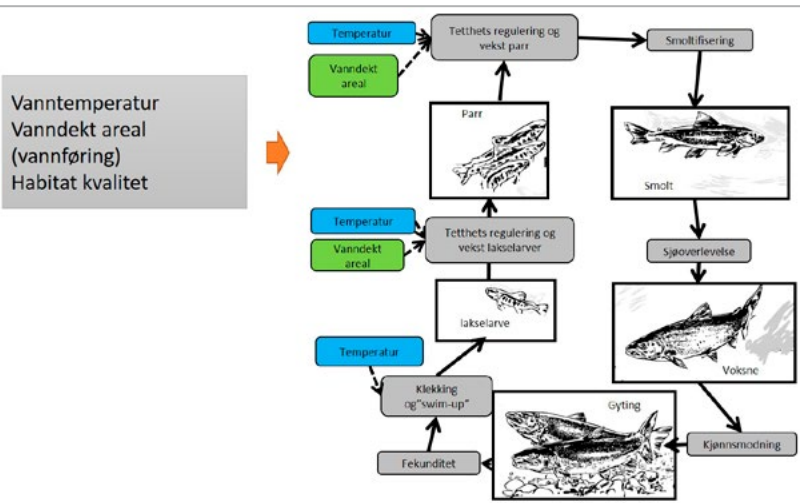
IB salmon gjør det mulig å simulere hvilken effekt endringer i vannføring og temperatur kan ha på lakseproduksjon både på kort (0-5år) og på lang sikt (5-30 år).

Bruk ■ IB salmon har blitt brukt i Daleelva for å undersøke mulige effekter av stranding, i Mandalselva for å vurdere hvordan klimaendringer påvirker laksebestanden og for å finne kostnadseffektive tiltak for økt fiskeproduksjon i Mandalselva.

Potensial ■ Laks er en prioritert art i Norge og regulering av vassdrag påvirker laksebestanden. IB Salmon kan gi svar på hvordan hele laksebestanden påvirkes i forbindelse med vilkårsrevisjoner, nye konsesjoner og mange forvaltningsoppgaver knyttet til villaks og vannkraft.

Laksens livssyklus. Laksen lever et todelt liv, der en del av livssyklusen foregår i elva og en annen i havet.

Mange norske lakselver er i dag regulerte, og laks i disse elvene blir påvirket av endringer i nettopp vannføring og temperatur styrt av reguleringsmønsteret i hvert vassdrag. Foto: Michael Puffer



Ny metode for å analysere tilbudet av vannkraft

CEDREN-prosjekt:

HydroBalance

Type innovasjon:

Ny metode

Beskrivelse:

Ny metode basert på ProdRisk for å analysere tilbudet av vannkraft, når det finnes flere enn ett type kraftmarked

Kontakt:

Ove Wolfgang, SINTEF Energi
ove.wolfgang@sintef.no

Flermarkedoptimalisering i ProdRisk er en ny metode for å analysere tilbudet av vannkraft, når det finnes flere typer kraftmarkeder.

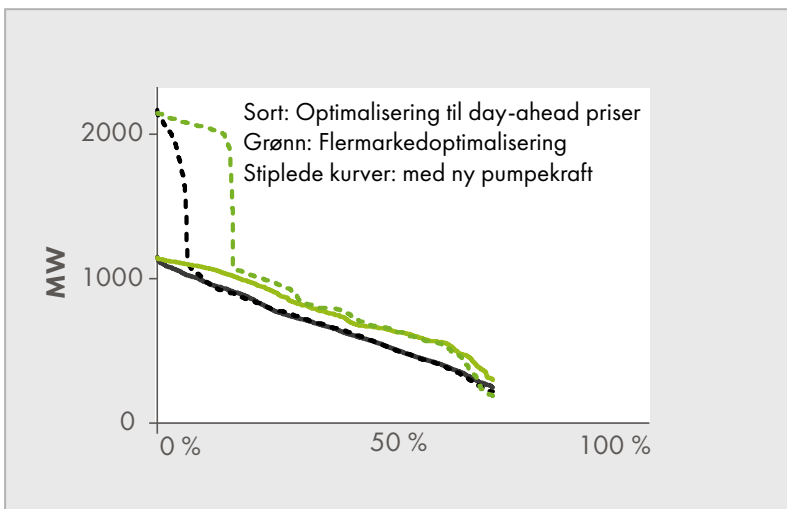
Utfordring ■ Vannkraftprodusentene bruker modeller for å analysere tilbudet av vannkraft, slik at de kan optimalisere produksjonen ut fra kraftpriser, virkningsgrader, magasin-kapasitet og andre fysiske restriksjoner.

Dagens modeller gir en analyse for prisene i ett kraftmarked av gangen, og da typisk for spotmarkedet («day ahead»). Problemet med å optimalisere vannkraftproduksjonen for spotmarkedet er at man ikke tar hensyn til muligheter for ekstraintekter i påfølgende markeder som intraday- og regulerkraftmarkedet. Tilbudet i disse markedene påvirker både totalinntjening, magasin-disponering og lønnsomhet for investeringer i økt kapasitet.

Løsningen ■ I CEDREN er det utviklet en ny metode for å simulere agering i flere markeder basert på produksjonsplanleggingsmodellen ProdRisk. Ved hjelp av den nye metoden kan en simulere tilbudet både i day-ahead og intraday, samt tilbudet av reserver (reservering i RKOM og aktivering i regulerkraftmarkedet).

Metoden er basert på en tankegang om at produsentene optimaliserer produksjonen ut fra forventet utvikling i day-ahead markedetsprisene, men så justerer de produksjonen, hvis de kan, når de blir eksponert for nye priser i intraday- eller i regulerkraftmarkedet.

Vannkraftprodusentene bruker modeller for å analysere utvikling i tilbudet av vannkraft, slik at de kan optimalisere produksjonen.
 Foto: Eva B. Thorstad



Metoden bygger på en sekvensiell optimalisering. Det beregnes vannverdier som vanlig i ProdRisk, men for hver time og stokastisk realisasjon i optimaliseringen er det lagt inn et ekstra steg. Først (steg 1) optimaliseres produksjonen til day-ahead prisene, gitt den vannverdien som er beregnet. Dette er ut fra tankegangen at produsentene fremdeles vil tenke på day-ahead markedet som sitt hovedmarked. Dermed (steg 2) optimaliseres produksjonen til realisert pris i påfølgende marked, f.eks. intraday, for den samme timen.

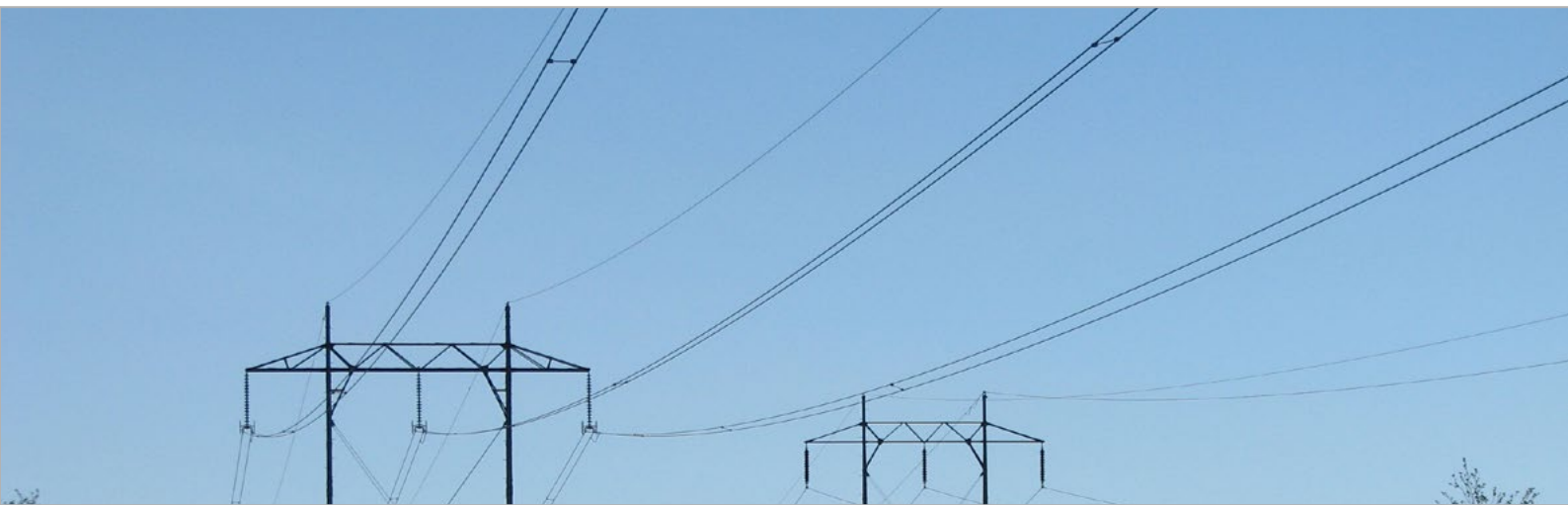
Forskjellen i optimal produksjon mellom steg 2 og steg 1 er tilbudet i det påfølgende markedet, dvs. intraday i vårt eksempel. Totalinntekt i en gitt time er inntekten fra alle markeder, dvs. pris ganger tilbudt kvantum i hvert marked. Hvis det tilbys reserver i RKOM kommer dette som en ekstraintekt, og den tilhørende kapasiteten kan kun bys inni regulerkraftmarkedet (ikke day-ahead eller intraday). En enkel algoritme beregner hvor mye kapasitet det lønner seg å sette av som reserver.

Bruk ■ Metoden er brukt i en case-studie i Ottavassdraget. Case-studien er publisert i tidsskriftet Energy Procedia.

Potensial ■ Metoden kan gi et bedre grunnlag for å vurdere om det bør investeres i ny vannkraftkapasitet, inkludert pumpekraft. Dette skyldes at en i fremtiden kan forvente større prisvariasjon i markeder som klareres nært driftstimen – og det er nettopp denne prisvariasjonen som kan gi lønnsomhet for økt kapasitet. Derfor må tilleggsinntekter fra markeder som kommer etter day-ahead tas med i regnestykket. Metoden kan videre brukes til bedre å vurdere hva konsekvensene av økt kapasitet vil bli for magasindisponering og driftsmønster.

Metoden gir også myndighetene mulighet til å vurdere endringer i driftsmønster for vannkraft som følge av økt markedsintegrasjon. Dette kan bidra til at det foretas en kunnskapsbasert avveining mellom økonomi og miljø, tilpasset det enkelte vassdrag.

*I CEDREN er det utviklet en ny metode for å simulere vannkraftprodusenters agering i flere markeder basert på modellen ProdRisk. Den nye metoden beregner agering i flere markeder, som day-ahead, intraday, samt tilbud av reserver og aktivering av disse.
Foto: Kjetil Bevanger*



Programvare for å studere energilagring med pumpekraft

CEDREN-prosjekt:

HydroPEAK

Type innovasjon:

Ny metode

Beskrivelse:

Programvare utviklet for å studere hvordan energilagring med pumpekraftverk kan gjennomføres ved bruk av eksisterende reguleringsmagasin

Kontakt:

Ånund Killingtveit, NTNU
aanund.killingtveit@ntnu.no

PSH-Sim er en programvare for å studere hvordan energilagring med pumpekraftverk kan gjennomføres ved bruk av to eksisterende reguleringsmagasin. Det spesielle ved PSH-Sim er at simuleringen gjøres under forutsetning av at eksisterende bruk av magasinene ikke skal reduseres.

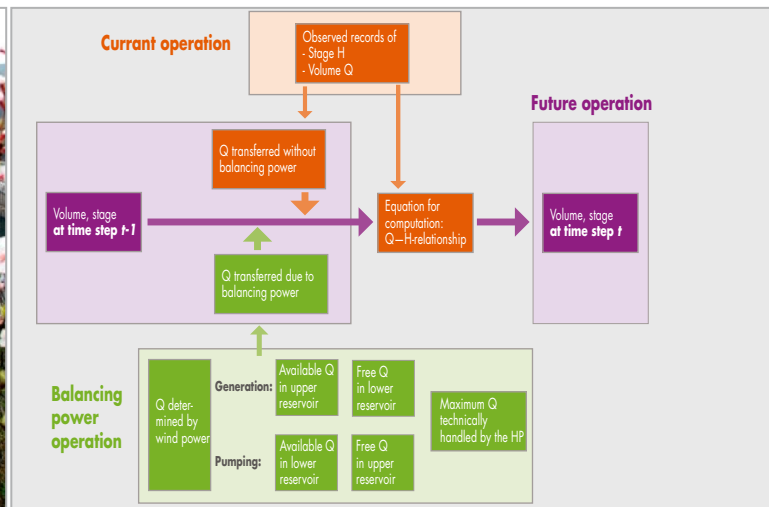
Utfordring ■ CEDREN-studier av mulige pumpekraftverk i Norge er basert på at en kan bruke eksisterende reguleringsmagasin, og bare bygge nye kraftverk mellom disse. Det er da viktig å undersøke hvor mye energi som kan lagres uten at det opprinnelige formålet med magasinene, som er sesongregulering, blir redusert.

Løsningen ■ PSH-Sim er en programvare for å studere hvordan variabel fornybar kraft (VRE), typisk fra vind- eller solkraftverk, kan balanseres med pumpekraftverk. Programmet gjør dette ved å:

1. Simulere vannstandsfluktuasjonen i magasinene og sammenligne med eksisterende variasjon
2. Bestemme hva som er begrensende faktorer i systemet med hensyn til mengde energi som kan lagres og produseres
3. Gi et detaljert datagrunnlag for å studere miljøkonsekvenser i de to berørte magasinene

PSH-Sim tar utgangspunkt i et system med to eksisterende magasin der det bygges et reversibelt pumpekraftverk mellom disse. Begge magasinene er allerede bygget og i bruk for eksisterende kraftverk. Data for magasinene med dagens bruk hentes inn, typisk vil

Baishan dam og reservoar i nordøstre Kina, der PSH-Sim er brukt.
 Foto: ZHANG Zhengping



dette være tidsserier av nivå og tapping på døgnbasis. Behov for balansering fra VRE bestemmes ut fra tidsserier med for eksempel vindkraftproduksjon.

Dersom det er behov for lagring vil PSH-Sim sjekke hvor mye som kan pumpes opp og lagres. Dersom det er behov for å generere kraft vil modellen gjennomføre en tilsvarende analyse for å finne hvor mye som kan genereres.

PSH-Sim gjennomfører beregningene dag for dag i en årrekke, og presenterer resultater i form av tabeller og grafisk. Beregningene viser hvor store kraftmengder som det er mulig å balansere uten å bryte eksisterende restriksjoner på bruk av magasinene, og uten å redusere muligheten for sesongmessig lagring og produksjon i de eksisterende kraftverkene. Samtidig kan dagens bruk av magasinene vises for å illustrere endringer i driftsmønster. Ved å sammenligne dagens variasjonsmønster med framtidig mulig variasjon med pumpekraftverk, kan en vurdere mulige miljøkonsekvenser.

Bruk ■ PSH-Sim har vært i bruk i flere CEDREN-prosjekter og masteroppgaver i Norge og i en case i Kina.

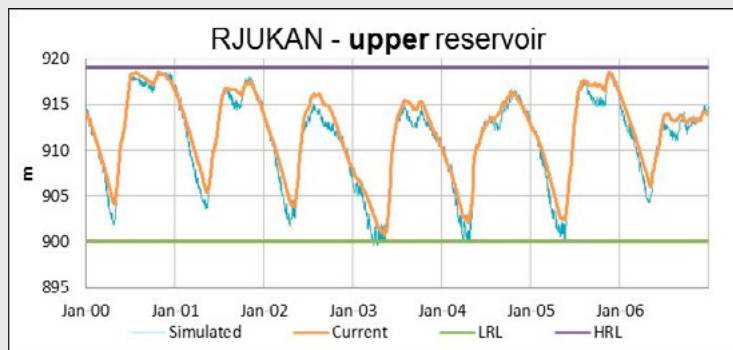
Potensial ■ Det er kartlagt at det i Norge finnes omkring hundre par med magasiner som kan være aktuelle for utbygging av pumpekraftverk. PSH-Sim kan være aktuell for å undersøke lagringspotensialet og miljøvirkninger i mange av disse. Tilsvarende problemstillinger finnes også utenfor Norge, for eksempel i Kina, der det satses stort på bygging av pumpekraftverk for balansering av vind- og solkraft.

”Results from the PSH model may provide useful information for real time operation of the grid system and for operation of the pumped storage power units and conventional hydropower generation units, as well as for the development plan in the future.

*Fra rapporten
“A case study in Baishan and
Hongshi hybrid pumped storage
hydropower station, Northeastern,
China” av Linmei Nie, Tong
Chang, Zhengping Zhang og
Ånund Killingtveit*

Modellstruktur PSH-Sim.
Modellen sjekker behov for
balansering (grønn boks)
mot eksisterende bruk av
magasinene (oransje boks).
Mulig lagring eller produksjon
bestemmes ut fra et kompromiss
mellom behov, kapasitet,
ledig volum og tilgjengelig
vannmengde.

Eksempel på simulert magasin-nivå i Møsvatn, som her er brukt som øvre magasin, mens Tinnsjø er brukt som nedre magasin i et mulig pumpekraftprosjekt. Kurvene viser dagens magasin-nivå (gul) og simulert nivå (blått) for en periode på 7 år fra 2000 til 2006. (LRL er LRV og HRL er HRV)



Åpent simuleringsverktøy for vannkraftturbiner

CEDREN-prosjekt:

HydroPEAK

Type innovasjon:

Nytt simuleringsprogram

Beskrivelse:

Program for å simulere drift av vannkraftverk i tidsplanet

Kontakt:

Pål-Tore Storli, NTNU
pal-tore.storli@ntnu.no

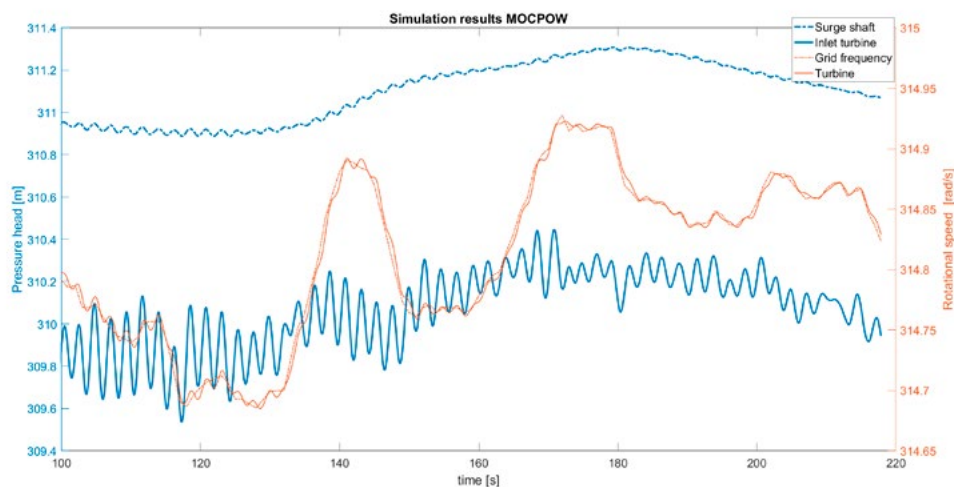
MOCPOW er et nytt simuleringsverktøy for å utføre simuleringer av vannkraftverk i tidsplanet. Verktøyet er laget for å unngå «blackbox»-problemet, et velkjent problem for programvare som er beskyttet mot innsyn, slik som programvare kjøpt over disk er.

Utfordring ■ Kvaliteten på simuleringsresultater blir ikke bedre enn inngangsdata og innebygde metoder i simuleringsverktøyet som anvendes. I forskningssammenheng stilles det så store krav til etterprøvnbarhet at det ikke kan aksepteres at man ikke har full kontroll over alle prosedyrer og metoder internt i simuleringen.

Det meste av simuleringsverktøy som kan kjøpes har ikke åpen kildekode, og da er verktøyet prinsipielt ikke egnet til å benyttes til simuleringer i forskningsøyemed, fordi man ikke har full kontroll på hva koden gjør.

Løsningen ■ Denne utfordringen gjorde det nødvendig å utvikle egen kode for å simulere drift ved vannkraftverk. Koden heter MOCPOW og benytter seg av den velkjente karakteristikkmetoden Method of Characteristics (MOC) samt en modell av karakteristikkene til en turbin, turbinregulator, en enkel generatormodell og en enkel spenningsregulator. MOCPOW er skrevet for bruk i programvaren MATLAB, men kan på sikt konverteres til gratis programvare som for eksempel Python.

Eksempel på variabler som kan hentes ut fra simuleringsprogrammet MOCPOW.

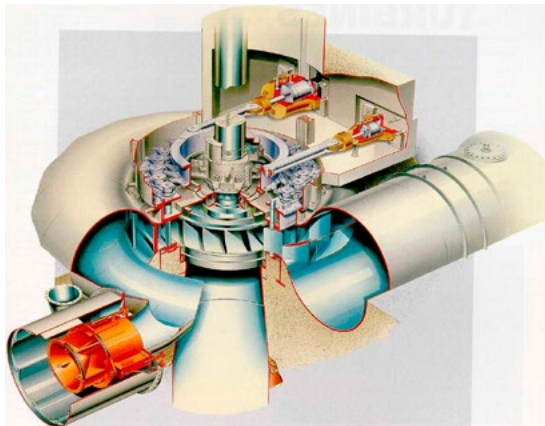


Bruk ■ MOCPOW er og har vært benyttet til å simulere drift ved vannkraftverk i forbindelse med forskning på Vannkraftlaboratoriet ved NTNU. Tidsskriftartikler og konferansebidrag har benyttet resultat fra simuleringer med MOCPOW.

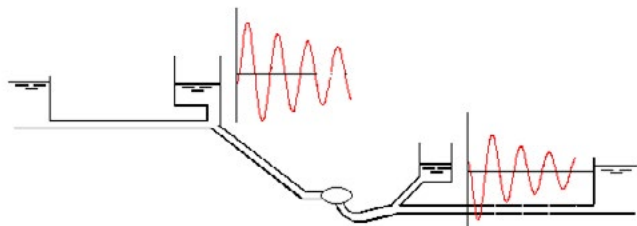
Potensial ■ MOCPOW kan brukes til å simulere lastavslag og pådrag, samt generell drift med regulering på eget nett eller i samdrift. Alle variabler i programmet kan hentes ut som output, for eksempel trykk og volumstrøm i hele tunnelsystemet, turtall og vannivå.

Programvaren kan med hjelp av litt utvikling kobles sammen med programvare som gjør simuleringer på energiflyt i elektrisitetsnettet. Dette vil muliggjøre simuleringer av energiflyten helt fra vann i magasin til sluttbruker. Dette er i dag mangelvare som åpen kildekode.

Figur med snitt av en typisk Francisturbin.



Nivåsvingninger i svingesjakter induisert av driftsendring i et kraftverk.



Programvare for karakterisering av fleksibel drift og effektkjøring i elver

CEDREN-prosjekt:

EnviPEAK

Type innovasjon:

Ny programvare

Beskrivelse:

Programvare for karakterisering av fleksibel drift og effektkjøring i elver

Kontakt:

Julie Charmasson, SINTEF Energi
julie.Charmasson@sintef.no

COSH-Tool (Characterisation of Stream Hydropeaking Tool) er en programvare for å beskrive og kvantifisere raske endringer i vannføring og vannstand nedstrøms vannkraftverk med fleksibel drift og effektkjøring.

Utfordring ■ Samfunnets behov for elektrisitet varierer over døgnet og over året. Kraftproduksjonen må til enhver tid balansere strømforbruket. Vannkraft gir mulighet til å lagre vann i magasiner og produsere strøm på tidspunkt når etterspørselen etter elektrisitet er høy. Samtidig er det gunstig for den enkelte produsent å selge kraft i perioder hvor etterspørselen er stor og prisen gunstig.

Effektkjøring og fleksibel drift betyr som regel at vannkraftverket startes og stoppes ofte og hurtig. For kraftverk med utløp i elv innebærer dette at vannføring og vannstand i elva nedstrøms kraftverket endres ofte og hurtig. Det er forventet at behovet for fleksibilitet og effektkjøring vil øke i framtiden. For å evaluere virkningene av dette på fysiske og biologiske forhold, er første steg å kvantifisere hvordan vannføring og vannstand endrer seg.

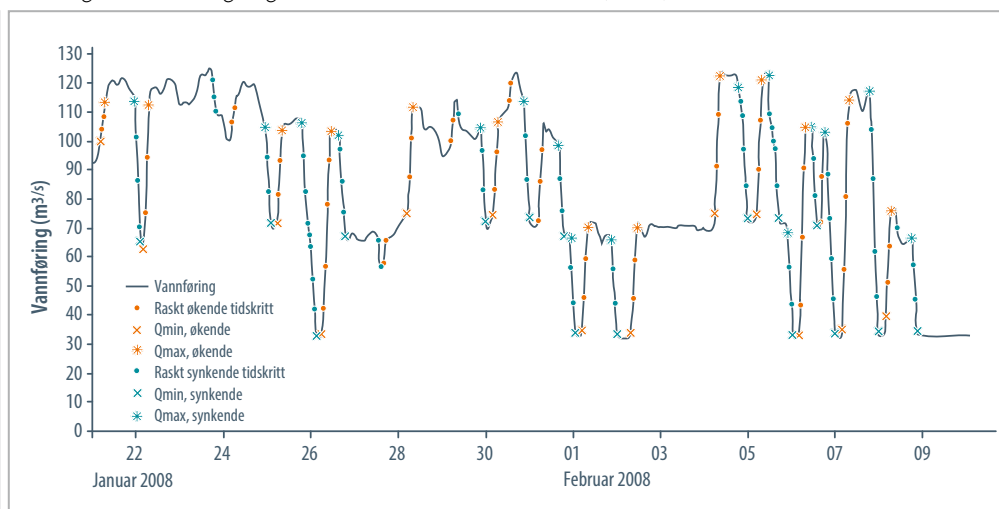
Løsningen ■ COSH-Tool er et dataprogram for å analysere vannføring og vannstand nedstrøms vannkraftverk med fleksibel drift og effektkjøring.

COSH-Tool beregner episoder med hurtige endringer i vannstand og vannføring ut fra en tidsserie. Programmet har en algoritme som definerer en episode med hurtige endringer for

Effektkjøring karakteriseres av hurtige økninger i vannstand.
 Foto: Tor Haakon Bakken



Vannføringssvingninger i et vassdrag med effektkjøring over en 20 dagers periode. Tidskritt med raske endringer i vannføringen er markert som små prikker (synkende – blå; økende – oransje). Q_{min} (+) og Q_{max} (*) markerer start og stopp av økninger og senkninger i vannføring. Figur fra Sauterleute & Charmasson (2014).



å skille disse fra naturlige svingninger. COSH-Tool beregner så parametre som beskriver:

- Størrelse på økning eller senking av vannføring og vannstand (amplitude)
- Hvor hurtig vannstand og vannføring endrer seg (hastighet)
- Hvor ofte endringer skjer (antall dager med og uten effektkjøring)
- Hvor lang tid det tar mellom hver episode (frekvens)
- I tillegg registreres når på døgnet endringene skjer i forhold til lysforholdene (daglys, tussmørke, mørke)

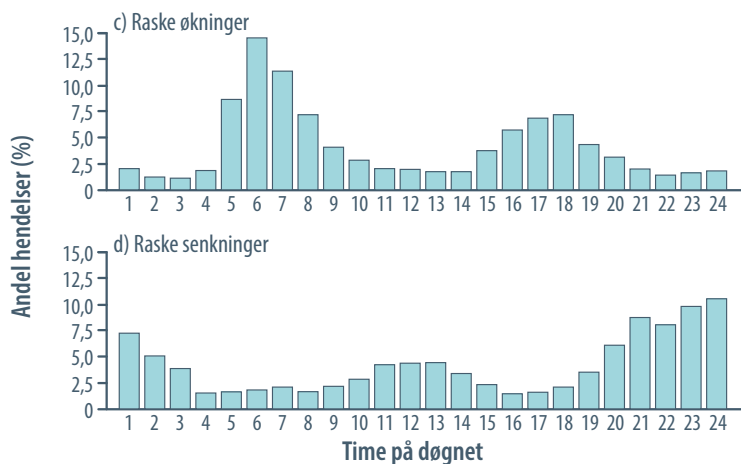
COSH-Tool gir statistikk for alle parametre per måned, sesong eller år. COSH-Tool er programmert i Python.

Bruk ■ COSH-Tool er testet ut i noen norske vassdrag. Programvaren er lånt ut til flere forskningsmiljø i utlandet og brukes av studenter og forskere.

Potensial ■ COSH-Tool gir en kvantitativ beskrivelse av fleksibel drift og effektkjøring i et bestemt vassdrag. Det kan brukes for å vurdere fysiske forhold og mulig påvirkning på økosystemet i vassdraget. COSH-Tool kan brukes som hjelpemiddel for vannkraftindustrien, forvaltningen og forskere i arbeid med å utvikle driftsstrategier og miljøtiltak i vassdrag med fleksibel drift og effektkjøring. COSH-Tool kan brukes for å sammenligne effektkjøring med andre regulerte og ikke-regulerte vassdrag.

Fordeling av vannstandssvingningene over døgnet i et vassdrag med effektkjøring. Fordelingene er basert på timesverdier av vannstand fra NVEs målestasjoner.

Vannstandsmåler i Daleelva. Effektkjøring er karakterisert av raske, hyppige og store vannstandsvariasjoner i elv.



Laserskanning av vannkraft-tunneler

CEDREN-prosjekt:

HydroPEAK

Type innovasjon:

Ny metode

Beskrivelse:

Laserskanning av geometri og ruhet i vannkraft-tunneler og eksport av data til strømningsmodeller

Kontakt:

Leif Lia, NTNU

leif.lia@ntnu.no

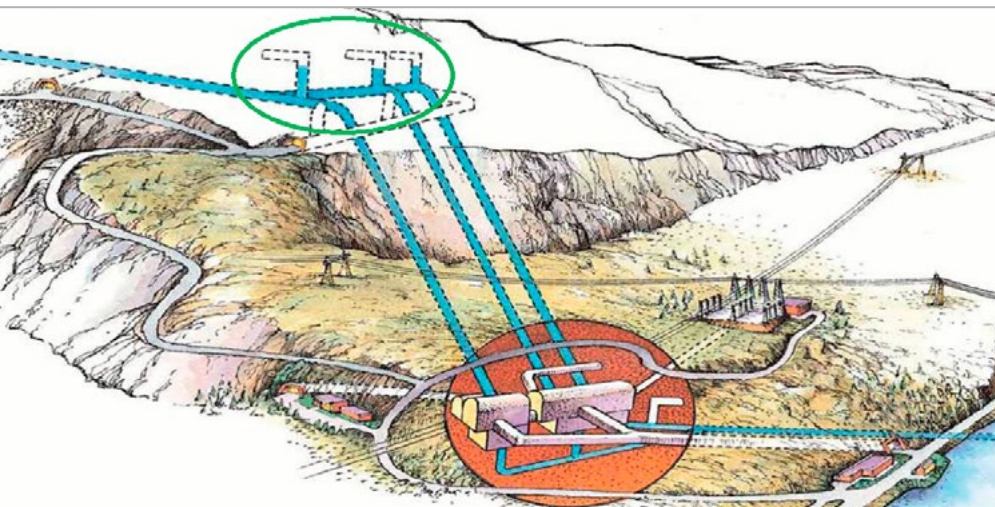
Det er et stort behov for å kartlegge geometrien til eksisterende vannkraft-tunneler. Kjenner man geometrien kan man beregne falltap og øke forståelsen for hva som skjer om driftsmønsteret endrer seg. CEDREN har testet en effektiv og nøyaktig metode for laserskanning av vannkrafttunneler.

Utfordring ■ Mer varierende kjøring i et vannkraftverk for å balansere vind- og solkraft-produksjon gir hyppigere hastighetsendringer i tunnelen som fører vannet fra magasinet og til turbinene. Dette kan medføre erosjon og ras i tunnelene, slik at sand og stein havner i turbinene. Kraftverkene trenger derfor kunnskap om hvordan systemet reagerer på endringer i kjøring, hvilke produksjons-mønstre som kan tillates, og hvilke tiltak de eventuelt må iverksettes for å forhindre skader.

Vanskelig adkomst, fuktig miljø og dårlig refleksjon fra fjellet, som ofte er dekket av slam, gjør at det er krevende å bruke laserskanning i vannkrafttunneler. Skanningen må utføres nå tunnelen er nedtappet, hvilket skjer sjelden og varer kort. Det er derfor viktig at arbeidet kan utføres raskt, men likevel med stor nøyaktighet

Løsningen ■ Ved hjelp av en laser som roterer 360 grader rundt sin egen akse er det mulig å kartlegge geometrien og overflaten i tunneler svært detaljert. En slik kartlegging muliggjør også en analyse av tunnelens ruhet. Dataene fra skanningen kan også importeres inn i modeller som kan simulere ulike strømningsmønstre. Ved å studere den

Tonstad kraftverk i Vest-Agder er Norges største målt i kraftproduksjon, og det er viktig å kjenne status for tunnel-systemet. Illustrasjon: Sira-Kvina kraftselskap ved Helge Steinnes



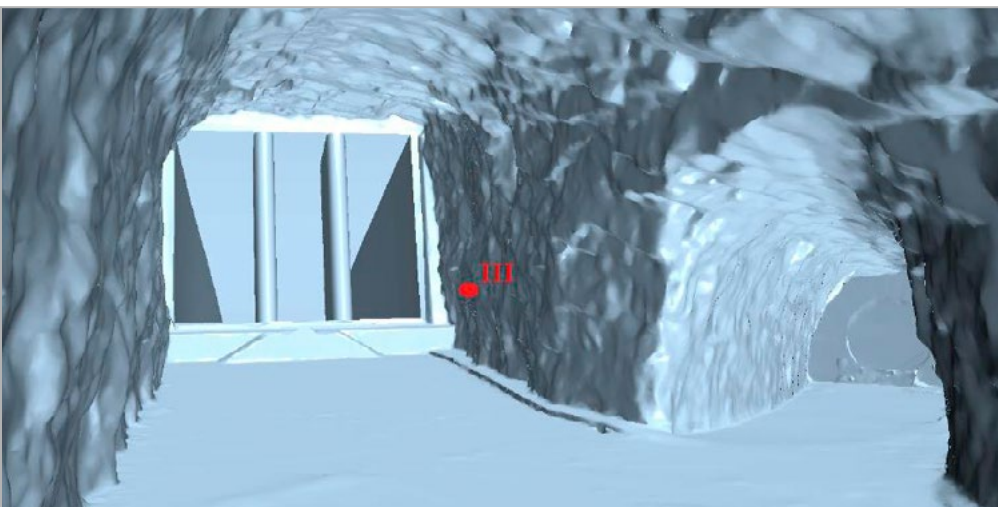
Test av skanneutstyret i adkomsttunnelen til Leirfossen kraftverk. Foto: Kari Bråtveit



nøyaktige geometrien til konstruksjonen, og å bruke den som underlag i fysiske og numeriske modeller kan man øke forståelsen for hvilke mekanismer som kan oppstå ved raske lastendringer i kraftverket, og hva man kan tillate av endringer.

Bruk ■ De første skanningsforsøkene ble utført i tilløpstunnel og sandfang til Tonstad kraftverk ved hjelp av en Topcon GLS-1500, som er en såkalt «Terrestrial laser skanner» (TLS). Denne skanner 360 grader rundt sin egen akse, og ± 35 grader vertikalt. Forsøkene viste at det er mulig å gjennomføre laserskanning og få nøyaktige data selv om fuktighet og slam er betydelige problem. Siden er flere andre tunneler skannet, også de med godt resultat. Metoden er også brukt for skanning av elvebunnen langs breddene.

Potensial ■ Metoden som er utviklet og testet åpner for en langt raskere og mer effektiv datainnsamling for geometri og ruhetsforhold i råsprengte vannkraft-tunneler. Bare i Norge finnes det over 3500 km med vannkraft-tunneler, og fleste parten er utførte som råsprengte fjelltunneler. Få av disse er hittil målt opp og kartlagt. Metoden som her er presentert viser at dette nå kan utføres på en trygg og effektiv måte.



*Tredimensjonal modell av tunnelen rett foran varegrindene på toppen av trykksjakt. Modellen er generert på basis av laserskannede data.
Illustrasjon: Kari Bråtveit*

Drone til kartlegging av elvetopografi

CEDREN-prosjekt:

EnviPEAK

Type innovasjon:

Produkt og metode

Beskrivelse:

Fjernstyrt drone utstyrt med kamera, og programvare for å analysere bilder

Kontakt:

Peggy Zinke, SINTEF Energi
Peggy.zinke@sintef.no

Bruk av elvedrone med programvare for billedanalyse kan forenkle og effektivisere kartlegging av bunntopografi i elver.

Utfordring ■ Når man analyserer og beregner f.eks. flomrisiko eller habitatforhold i elver kan man bruke hydrauliske modeller. For å kunne tilpasse modellene trengs det detaljerte beskrivelser av bunntopografien i elva. Manuel innmåling kan være svært arbeidskrevende og til dels risikofyllt for de som ferdes i elva, og dataene kan være beheftet med usikkerheter.

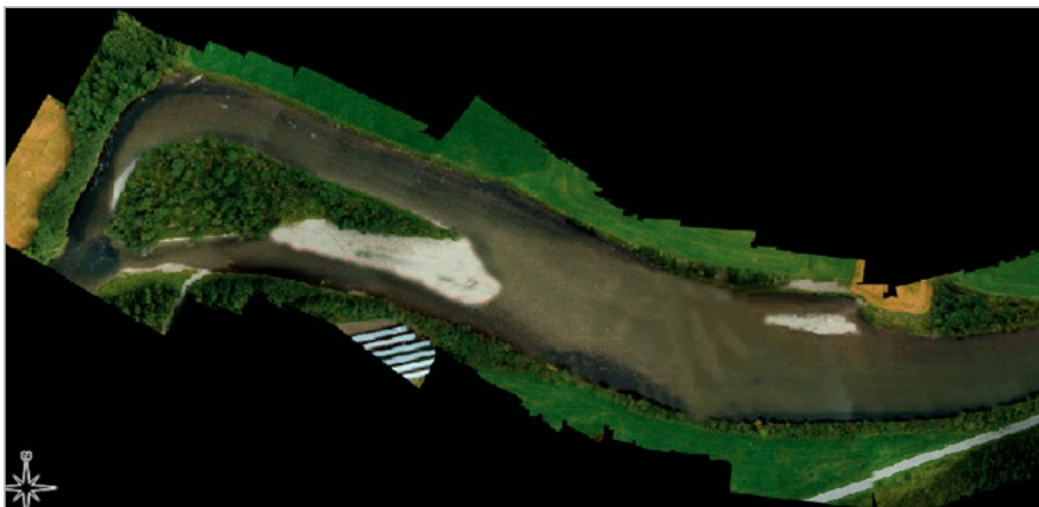
Løsningen ■ CEDREN har utviklet og testet en metode med fjernstyrt drone utstyrt med høyoppløselig kamera for å kartlegge elvebunnen. Kartlegging med drone gir en heldekkende beskrivelse av elvebunnen.

Dronen har et høyoppløselig kamera hengende under seg som tar bilder av elva fra lufta. Dronefotoene analyseres basert på fargetoner i fotoet. Gjennom en kalibreringsprosess knyttes fargetonene i pixelene til et bestemt vanddyb. Bilder med komplette vanddyb over strekningen som overflys omgjøres deretter til datafiler som beskriver bunntopografien på det format den enkelte hydrauliske modell krever.

Drone med kamera montert under klar til å fly over elva. Foto: Peggy Zinke



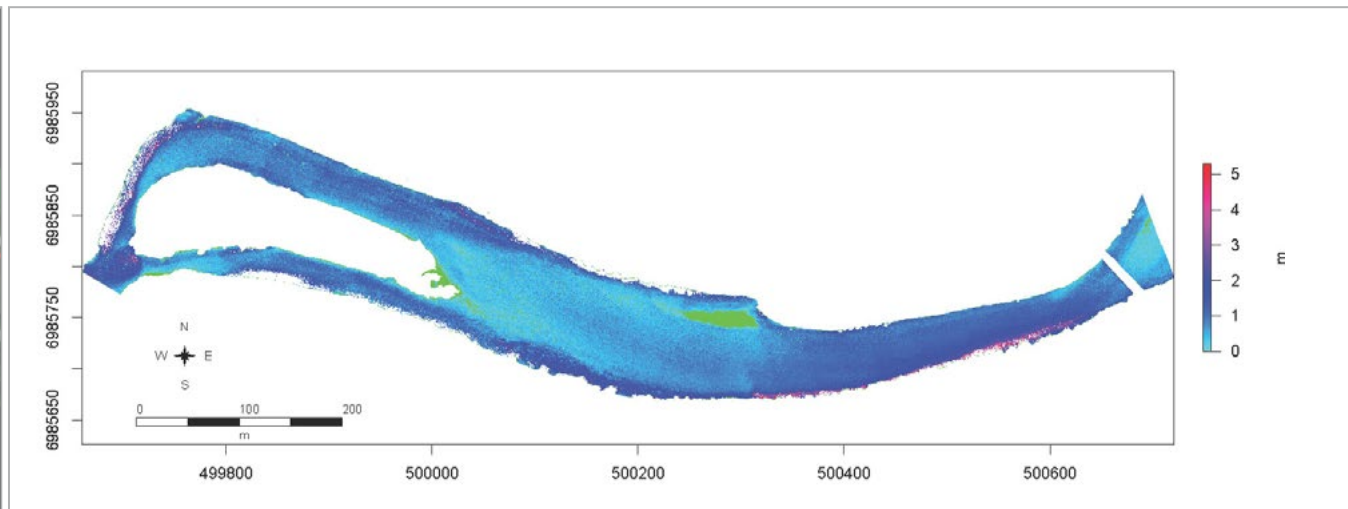
Elva sett fra en drones perspektiv.



Bruk ■ CEDREN har testet elvedronen i Surna og Teigdalselva med godt resultat. Internasjonalt er det stor interesse for kartlegging med drone, og CEDREN samarbeider med flere internasjonale miljøer med den hensikt å videreutvikle og operasjonalisere metoden.

Potensial ■ Det er et stort potensiale for bruk av droner til å kartlegge bunntopografien i elv. Ettersom elvebunnen kartlegges ved hjelp av gi fargeverdier som kobles til vanddyb, kreves relativt klart vann. Metoden er derfor trolig mindre egnet i de aller største elvene og i elver med mye partikler i vannet. Det er både et nasjonalt og internasjonalt marked for tjenester basert på metodikken.

Bunntopografi av elvestrekning generert utfra bilder tatt fra drone.



Kameraoppsett for å studere gyteatferd til laks og sjøaure

CEDREN-prosjekt:

EnviPEAK

Type innovasjon:

Ny metode

Beskrivelse:

Kameraoppsett for å studere gyteatferd til laksefisk i elv

Kontakt:

Helge Skoglund, UNI Research Miljø
Helge.Skoglund@uni.no

Knut Wiik Vollset, UNI Research Miljø
Knut.Vollset@uni.no

Gytestudio er et nytt kameraoppsett for å studere gyteatferd til laks og sjøaure i elv ved hurtige endringer i vannføring og vannstand.

Utfordring ■ Effektkjøring er en type drift av vannkraftverk som medfører raske endringer i vannføring og vannstand. Resultatet kan bli at laksens og sjøaurens gyteområder i perioder blir helt eller delvis tørrlagt. Slike brå endringer i habitatforholdene vil kunne forstyrre gyteatferden til fisken.

Det er imidlertid ukjent hvordan slike forstyrrelser påvirker gyting, og om fisken for eksempel vil unngå å bruke de tradisjonelle gyteområdene hvis den regelmessig blir forstyrret.

Per dags dato er dokumentasjon om gyting på områder berørt av vannstandsendringer enten utført som sporadiske observasjoner eller ved å identifisere gytegroper i etterkant av gytingen. Dette gjør det vanskelig å finne ut hvordan fisken reagerer på raske endringer i vannføring og vannstand som følge av effektkjøring, og dermed hvordan slike driftsmønstre i kraftstasjoner påvirker gyting.

Løsningen ■ For å teste hvordan gyting påvirkes under hurtige vannføringsfluktusjoner er det utviklet et videosystem med åtte undervannskameraer som ble plassert på et gyteområde (gytestudio). Dermed kan man observere atferden til fisken uten at den blir forstyrret av menneskelig tilstedeværelse.



Gytende laks registrert med kamera fra gytestudio i Daleelva.
 Alle foto: Uni Research Miljø

Det ble gjort registreringer gjennom gytetiden på et gyteområde i Daleelva i Hordaland gjennom to gytessesonger. Resultatene viser at fisken flykter fra utsatte gyteområder ved raske vannstandsreduksjoner, men at den var raskt tilbake og fortsatte gyting når gunstig vannføring ble gjenopprettet. Analysene fra videoopptakene viste også at laks og aure hadde ulike responser på vannstandsendringer, noe som trolig skyldes forskjeller i fiskestørrelse mellom de to artene.

Bruk ■ Resultatene kan brukes til å gi råd om driftsmønster ved kraftstasjoner under gytetiden for laks og aure. Oppsettet kan også brukes til å få stedsspesifikke opplysninger om effekter av driftsmønster på gyteatferd nedstrøms kraftverk.

Potensial ■ Løsningen kan på generell basis brukes til å planlegge vannføringsregime i gytetiden for å sikre gode gyteforhold. I tillegg kan kameraoppsettet brukes til å utrede effekter av vannføringsregime i spesifikke vassdrag, og dermed utvikle vassdragsspesifikke vannføringsregimer for å sikre gunstige gyteforhold.

Gytestudio i et sideløp til Daleelva ved lav vannføring. Kameraoppsettet kan ses under vann.



Gyteområdet ved gytestudio i et sideløp til Daleelva ved høy vannføring. Ved denne vannføringen er området godt egnet for gyting, men kan bli helt eller delvis tørrlagt ved hurtige endringer i vannstand.



Restaurering av bunnsubstrat med ripping

CEDREN-prosjekt:

EnviDORR

Type innovasjon:

Ny metode

Beskrivelse:

Metode for å restaurere gyteplaser og oppvekstområder for ungfisk i regulerte elver med egnet bunnsubstrat og sedimenttransport

Kontakt:

Ulrich Pulg, UNI Research Miljø
ulrich.pulg@uni.no

Ripping er en effektiv metode til å restaurere gyteplaser og oppvekstområder for ungfisk i regulerte elver med egnet bunnsubstrat og sedimenttransport.

Utfordring ■ I regulerte elver er sedimentdynamikken ofte redusert. Større finsedimentandel og hardpakkete armeringslag er typisk. Dette fører ofte til dårlige gytehabitater, mindre skjul i elvebunnen, dårligere ungfiskhabitater og redusert ungfiskproduksjon.

Løsningen ■ I regulerte elver med grus eller rullestein i elvebunnen som er fortettet (armeringslag), sedimentert ned eller begrodd kan rensing av bunnforholdene være en effektiv måte å gjenskape gyteplaser eller skjul. I CEDREN ble det utviklet en metode for å rense og harve elvebunnen.

Arbeidet gjennomføres med gravemaskin og «ripper». Ripperen er en «stålklo» som opprinnelig er utviklet for å rive opp tele (teleripper). Gravemaskinen harver elvebunnen med å trekke ripperen gjennom elvebunnen. Dermed blir armeringslag løsnet, finsediment blir mobilisert og tatt av vannstrømmen, mens rullestein og grus blir liggende – med mye hulrom for fisken innimellom.

Ved ripping etterlignes sedimentdynamikk ved naturlige flommer. I forsøk ble finsedimentet først og fremst transportert til rolige partier (kulper, innsjøer og elvemunnig) der det var

Før: Armert og gjengrodd elvebunn i Aurlandselva, med svært lite hulrom for ungfisk (vektet skjul 1). Foto: Ulrich Pulg



Elvebunn etter ripping med mye hulrom for ungfisk som den bruker som habitat (vektet skjul 18). Foto: Ulrich Pulg



finsedimentbunn fra før og der det ikke gjorde skade. Men, transport av finsediment bør evalueres og overvåkes når metoden skal anvendes.

Ripping krever vedlikehold dersom ikke årsakene til sedimentering og gjengroing fjernes. I forsøk gjort i CEDREN forventes behov for gjentakelsesintervall på 10-20 år. Gjentakelsesintervaller og anvendbarhet av ripping er avhengig av elvemorfologi, sedimenttransport og vannføringsdynamikk. Vedlikeholdsbehovet er mindre i vassdrag med tilstrekkelig store flommer og lav transport av finpartikler (< 1mm), sand og fingrus samt lav eller ingen organisk forurensing.

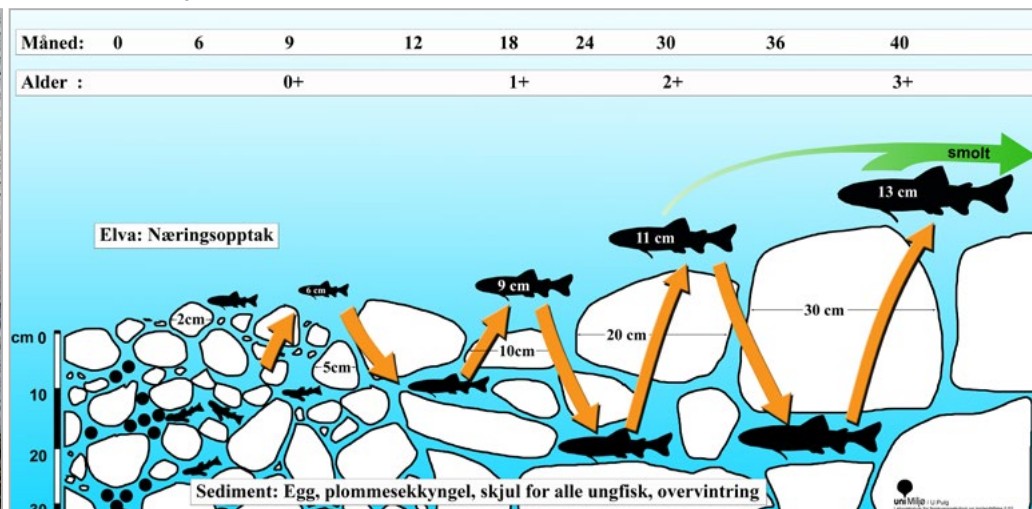
Bruk ■ Ripping er brukt i blant annet Aurlandselva, Frafjordelva, Tokkeåni, Apeltunelva, Steinvikbekken.

Potensial ■ I mange regulerte vassdrag er det mangel på riktig sammensatt substrat. Ripping kan sammen med andre miljødesign-tiltak være viktig for å gjenskape skjul og gode forhold for fisk

Ripper i aksjon i Aurland. Elvebunnen løsnes og renses. Foto: Ulrich Pulg



Hvorfor trenger ungfisk hulrom i elvebunn? Fordi de tilbringer store deler av livet sitt der. Grafikk: Ulrich Pulg



Metode for fysisk modellering av luftputekammer

CEDREN-prosjekt:

HydroPEAK

Type innovasjon:

Ny metode

Beskrivelse:

Metode for fysisk modellering av luftputekammer

Kontakt:

Kaspar Vereide, NTNU
kaspar.veraide@ntnu.no

En nyutviklet metode gjør det mulig å utføre fysiske modellforsøk av vannkraftverk med luftputekammer. Metoden kan brukes for å studere eksisterende luftputekammer og optimalisere designet av nye prosjekter.

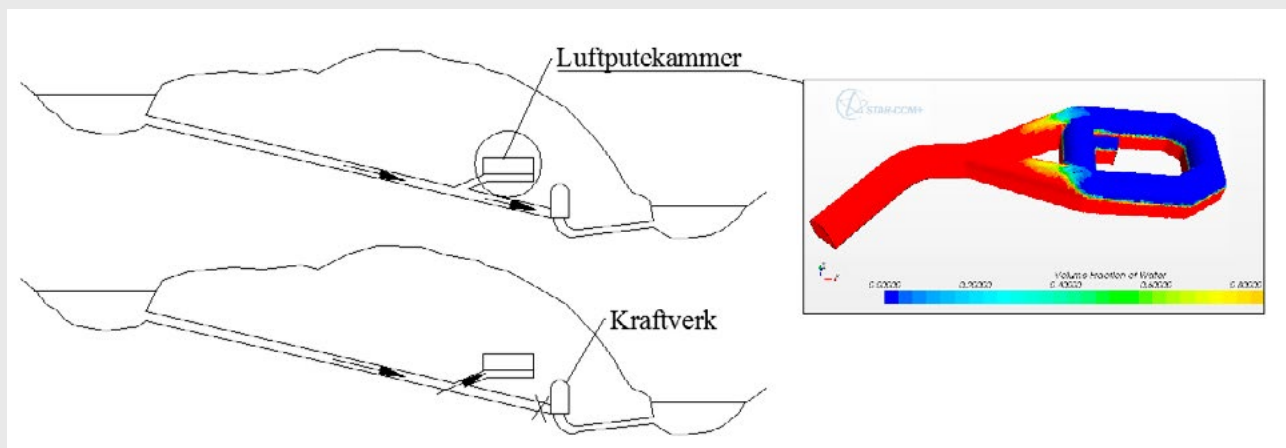
Utfordring ■ Et luftputekammer demper trykkstøt og trykkrefter fra vannet, når vannkraftverk starter og stopper, slik at kreftene i vannet ikke skader kraftverket.

Luftputekammer i norske kraftverk er store underjordiske fjellhaller som pumpes fulle av luft. Når kraftverket eksempelvis stoppes strømmer vannet inn i kammeret og komprimerer luften i stedet for å kolliderer inn i kraftverket.

Ettersom luftputekammer er en kompleks hydraulisk konstruksjon er det en fordel å kunne å utføre fysiske modellforsøk for å teste forskjellige design og driftssituasjoner. Slike modellforsøk har imidlertid vist seg å være en utfordring, siden de normalt krever at det atmosfæriske lufttrykket må skaleres.

Løsningen ■ Ved å heve den stedlige plasseringen av luftputekammeret i modellforsøket relativt til øvre magasin kan riktig forhold mellom trykk, volum og vannstand i luftputekammeret oppnås, uten å måtte skalere atmosfærisk lufttrykk.

Vannkraftverk med luftputekammer. Luftputekammeret fungerer som en airbag ved at det demper trykkstøt og trykkrefter fra vannet, når vannkraftverk startes og stoppes, slik at vannet ikke skader kraftverket.



Bruk ■ Metoden er brukt i et fysisk modellforsøk av Torpa vannkraftverk i Vassdragslaboratoriet på NTNU. Det ble her påvist at metoden kan benyttes blant annet til å fastslå maksimal trykkamplitude under avslag fra full last i kraftverket. Metoden er brukt i kombinasjon med endimensjonale simuleringer av kraftverket.

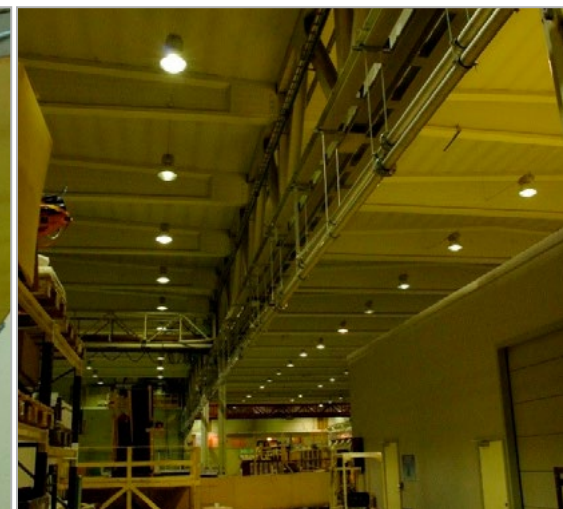
De fysiske modellforsøkene og de numeriske simuleringene viser seg å ha ulike styrker og svakheter, og en kombinasjon er fordelaktig. Den nye metoden for fysiske modellforsøk av luftputekammer kan brukes til å designe nye luftputekammer for nye kraftverk og til å teste eksisterende luftputekammer i eksisterende kraftverk.

Potensial ■ Ved utbygging av mer pumpekraft, vil bygging av nye luftputekammer bli aktuelt. Luftputekammeret er spesielt fordelaktig for pumpekraftverk, fordi reduserte trykk- og akselerasjonskrefter muliggjør en mer fleksibel drift og hurtigere start og stopp av anlegget. Metoden for fysiske modellforsøk kan da benyttes til å teste design av luftputekammer før disse skal bygges. Ved hjelp av fysiske modellforsøk vil man kunne redusere kostnadene for luftputekammeret og optimalisere driften av vannkraftverket.

Modell av luftputekammer i størrelse 1:65. Foto: Håkon Barstad i Europower



Fysisk modell av vannkraftverk i laboratoriet. Foto: Kaspar Vareide



Radarmobil for å kartlegge fuglers aktivitet

CEDREN-prosjekt:

BirdWind

Type innovasjon:

Forbedret metode

Beskrivelse:

Fugleradar for bedre kvalitet på data til miljøkonsekvensutredninger

Kontakt:

Roel May, NINA
roel.may@nina.no

Bruk av fugleradar gir bedre miljøkonsekvensutredninger for vindkraftverk.

Utfordring ■ Før vindkraftverk anlegges, skal det gjennomføres miljøkonsekvensutredninger for å vurdere hvilke mulige miljømessige konsekvenser anlegget kan ha. For å kunne vurdere konsekvenser av vindturbiner på fugler, trengs det objektiv informasjon både før og etter utbygging.

Det er for eksempel ikke mulig å kartlegge vår- og høsttrekk-korridorer ved visuell observasjon, fordi mye av trekket foregår når det er mørkt og under værforhold som gir dårlig sikt. Et vindkraftverk berører dessuten ofte et så stort areal at visuelle observasjoner blir svært vanskelig med tanke på å registrere fugler og deres atferd i hele luftrommet.

Det betyr for eksempel at det ikke er mulig å kartlegge vår- og høsttrekk-korridorer ved visuell observasjon, fordi mye av trekket foregår når det er mørkt og under værforhold som gir dårlig sikt. Et vindkraftverk berører dessuten ofte et så stort areal at visuelle observasjoner blir svært vanskelig med tanke på å registrere fugler og deres atferd i luftrommet.

Løsningen ■ Løsningen kan være å bruke fugleradar. Radar for å kartlegge trekk-mønstre og lokale bevegelser hos fugl har imidlertid tidligere ikke vært brukt i Norge, fordi det ikke fantes radarløsninger som var gode nok.

Moderne forskningsutstyr bidrar til gode løsninger for miljøet
 –MERLIN Avian Radar System ved Smøla vindkraftverk.
 Foto: Roel May



ROBIN mobil fugleradar – overvåking av fuglenes bevegelser hvor og når det måtte trengs. Foto: Erik Noort



CEDREN har tatt i bruk og testet ut mobile fugleradarsystemer for å samle inn data om fuglers atferd, samt å anvende radardata til konsekvensanalyser. Fugleradarene som CEDREN har anvendt er produsert av DeTect, Inc. (MERLIN Avian Radar System) og Robin Radar Systems (ROBIN 3D FLEX).

For å gjøre det enklere å finne egnet sted for å plassere, sette opp og kalibrere radarutstyret, har CEDREN utviklet metoder, redskaper og et protokoller. MERLIN fugleradar har blitt testet innenfor et vindkraftverk med hensyn til evnen til å detektere fugler over større områder.

Bruk ■ MERLIN-radaren ble finansiert av Statkraft og tatt i bruk i 2008 i Smøla vindkraftverk spesielt for å lære mer om hvorfor havørn ble drept av turbinene, og for å utvikle avhjelpende tiltak. Både MERLIN og ROBIN (finansiert av Forskningsrådet) har imidlertid gitt verdifull informasjon om mulige konsekvenser av vindkraftverk på fugl generelt og vært nyttige verktøy for å teste metoder for datainnsamling og som analyseverktøy. På oppdrag fra Statkraft ble fugleradar brukt til å studere hvordan et video-system festet på to turbiner for å detektere nærflyvende fugl fungerte. I tillegg har fugleradar blitt brukt til å registrere fugletrekk langs norskekysten ved Bremanger på oppdrag fra NVE. I de senere årene er fugleradar blitt anvendt for å teste atferdsrespons hos fugl på ultrafiolett lys og malte rotorblader i INTACT-prosjektet, samt effekten av merking av kraftledninger.

Potensial ■ CEDRENs fugleradar er et effektivt verktøy som samler data til alle døgnets tider gjennom hele året, og som effektivt gir opplysninger om hvor det er mest gunstig å lokalisere vindturbiner for å unngå konflikter med fugl. Utbygger vil kunne gi konsesjonsmyndigheter og miljøforvaltningen kvalitativt gode svar på om valgte vindkraftområder vil skape problemer for fugl.

Foto: Kjetil Bevanger



Foto: Espelie Dahl



Tiltak for å avbøte effektkjøring for fisk

CEDREN-prosjekt:

EnviPEAK

Type innovasjon:

Ny metode

Beskrivelse:

Metode for å avbøte effekter av effektkjøring for fisk

Kontakt:

Helge Skoglund, Uni Research Miljø
helge.skoglund@uni.no

Metode for å designe fysiske habitatforhold for å redusere stranding av gytegrøper og fisk som følge av effektkjøring og annen variabel kraftverksdrift.

Utfordring ■ Hurtige vannstandsreduksjoner som følge av effektkjøring og annen variabel kraftverksdrift kan føre til hurtig tørrlegging av elvebunnen, og dermed stranding av gytegrøper og ungfisk.

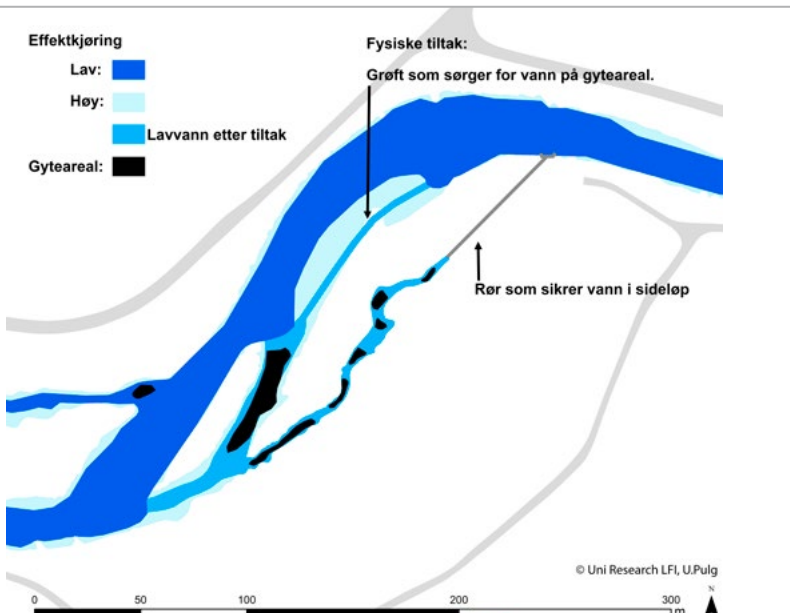
Selv om fysiske habitattiltak i elver har blitt en vanlig måte å kompensere for negative effekter av regulering, har det frem til nå vært utført få fysiske tiltak for å redusere stranding av gytegrøper og fisk i norske vassdrag.

Løsningen ■ I CEDREN er det utviklet en ny metode for å planlegge og utvikle kompenserende tiltak i vassdrag påvirket av effektkjøring. Tiltakene kan være operasjonelle/driftsmessige, tekniske tiltak i kraftverket eller fysiske tiltak i elveleiet.

Gjennom fysiske tiltak i elven kan habitatforholdene endres slik at egg og ungfisk i mindre grad utsettes for stranding og tørrlegging ved effektkjøring. For å få best mulig effekt bør tiltakene planlegges og gjennomføres for å motvirke flaskehals i fiskeproduksjon, jmfør konseptet med miljødesign. Ulike designløsninger inkluderer å øke gytemuligheter

Figur 1. Prinsippkisse som beskriver tiltak utført i Daleelva i Hordaland for å sikre vannføring i nøkkelhabitater ved effektkjøring.

Laks på gyteplass. Foto: Ulrich Pulg



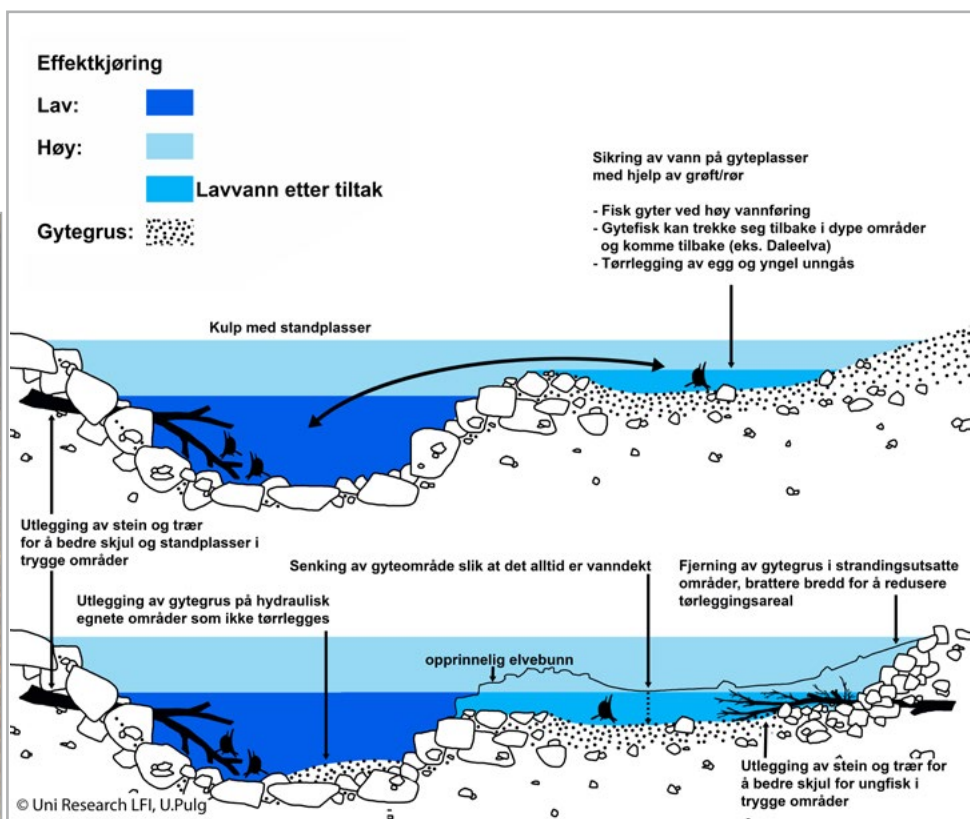
og skjulforhold for ungfisk på kontinuerlig vanddekte områder, økt bruk av sideløp og modifikasjon av elveleiet.

Metodene er blant annet brukt i Daleelva i Hordaland.

Bruk ■ Ved god planlegging og design av tiltak kan negative effekter av hurtige vannstandsendringer ved effektkjøring reduseres og dermed bidra til å styrke fiskebestander og bedre miljøstatus i elvene. Dette vil også kunne bidra til å dempe konfliktnivå med lokale fiskeinteresser og andre brukergrupper i vassdragene.

Potensial ■ Ved god planlegging og design av tiltak kan negative effekter av hurtige vannstandsendringer ved effektkjøring reduseres og dermed bidra til å styrke fiskebestander og bedre miljøstatus i elvene. Dette vil også kunne bidra til å dempe konfliktnivå med lokale fiskeinteresser og andre brukergrupper i vassdragene.

Prinsippskisse som beskriver hvordan en kan bedre gyte- og oppvekstforhold for fisk for å redusere negative effekter av hurtige vannstandsendringer nedstrøms vannkraftverk.



Sikrer trygge sitteplasser for fugl

CEDREN-prosjekt: OPTIPOL

Type innovasjon: Nytt produkt

Beskrivelse:

Sittepinne og fugleavviser i UV-bestendig plastmateriale. Selges som mastestett for 1,5 m faseavstand

Kontakt:

Jan Ove Gjershaug, NINA
jan.ove.gjershaug@nina.no

Sittepinne med fugleavviser som skal å hindre at hubro og andre store fugler dør av elektrokusjon når fuglene bruker kraftledningsstolper som utkikkspunkt.

Utfordring ■ Hubro er en rødlistet fugleart i Norge. En viktig dødsårsak for hubro skyldes elektrokusjonsulykker når fuglene kommer borti 22 kV-ledninger. Hubroen er en stor fugl med et stort vingespenn. Den vil lett kunne komme borti ledningene, hvis den prøver å lande på kraftledningsstolper.

Hubroen velger seg det høyeste punktet som utkikkspost. I flate, åpne landskap langs kysten er kraftledningsstolper ofte det høyeste punktet. Hubroen velger derfor å sitte der.

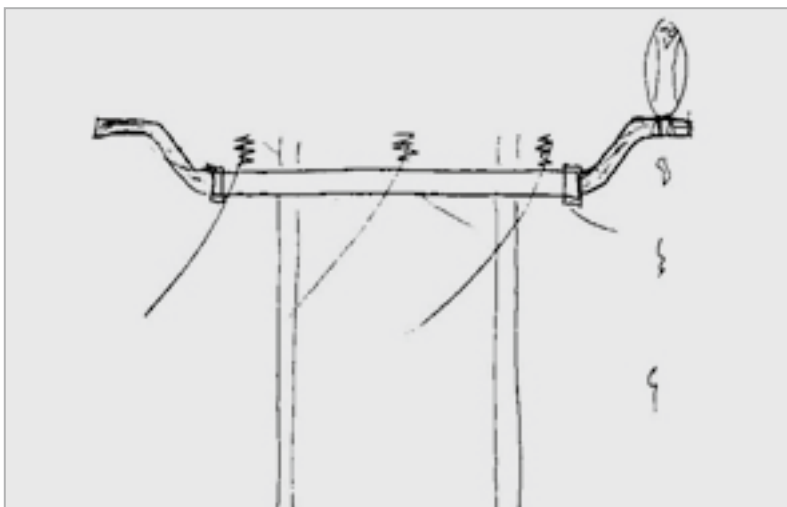
Mange steder langs kysten er det høy marin korrosjonsindeks. Det vil derfor være vanskelig å gjennomføre ordinære isolasjonstiltak av traverser, faseledere og andre metalleder i tilknytning til kraftledningene.

Løsningen ■ ble derfor å utvikle sittepinne for hubro til bruk på kraftledningstraverser. Sittepinnen er i praksis en horisontal forlengelse av traversene, samtidig som den har en knekk slik at sittestedet kommer høyere enn, og til siden for, faselederne. I tillegg til sittepinnen monteres plastpigger på oversiden av den ordinære delen av traversen, slik at fuglene ikke setter seg her.

Elektrokusjonsulykker er en viktig årsak til at hubro dør.
Foto: Jan Ove Gjershaug



Basert på forskning i CEDREN har forskerne utviklet en sittepinne for hubro til bruk på kraftledningstraverser.



Bruk ■ Firmaet Eltjeneste AS i Trondheim produserte de første prototypene av sittepinnen i 2011. Per 2016 har Eltjeneste AS produsert flere enn 150 sett med sittepinner og fugleavvisere. Disse er solgt til norske nettselskaper og er blant annet montert i Nordland, i Agder og på Møre.

Potensial ■ Det er ca. 63 000 km luftledninger i tilknytning til 22 kV-nettet, og følgelig flere hundre tusen stolper som er potensielle elektroksjonsfeller for fugl. Det bygges stadig nye 22 kV-ledninger, og gamle oppgraderes. Hvis sittepinner tas i bruk i tilknytning til nybygging og oppgradering vil det være et stort salgspotensial for løsningen. Potensialet blir meget stort, hvis nettselskaper tar i bruk løsningen i tilknytning til eksisterende strømnett.

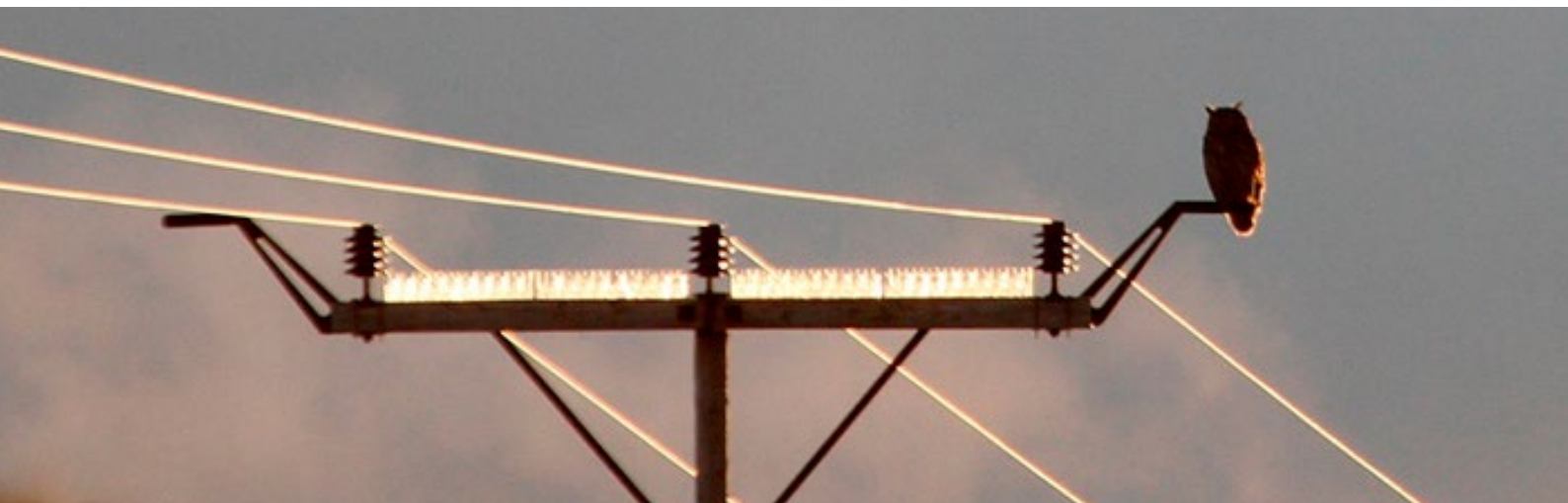
Nettselskapenes egen feil- og avbruddstatistikk viser at driftsforstyrrelser pga. fugl er et stort problem i mange områder. Sittepinnen vil bidra til å redusere korte driftsavbrudd og spenningsfall. Det har stor betydning for moderne apparater som kontor- og datautstyr, kontroll- og styringsutrustninger.

Bruk av sittepinne vil kunne bidra til å styrke nettselskapenes miljøprofil.

” Erfaringene med sittepinnen er god. Vi har observert hubro på pinnene, og etter at pinnene ble installert er det ikke meldt om døde hubroer i vårt område.

Spesialrådgiver
Kjell Skoglund i BKK

*Hubro i solnedgang. Hubroen velger seg det høyeste punktet når de sitter og speider etter byttedyr. En opphøyet sittepinne kombinert med plastpigge på oversiden av traversen, sikrer at hubroen sitter på trygg avstand fra kraftledningene.
Foto: Jan Ove Gjershaug*



Utnytter energien fra pastavannet

CEDREN-prosjekt:

EnviPEAK

Type innovasjon:

Nytt konsept for varmegjenvinning

Beskrivelse:

Pakke av eksisterende VVS- produkter

Kontakt:

Tor Haakon Bakken, SINTEF Energi
tor.haakon.bakken@sintef.no

Løsning som gjenvinner energi fra varmt avløpsvann i husholdninger før denne energiresursen forsvinner ut i det kommunale avløpsnett.

Utfordring ■ Anslag fra NVE og SSB antyder at 10 til 20 % av energiforbruket i en vanlig husholdning går til oppvarming av vann i varmtvannsbereeder. Ytterligere energi går til oppvarming av vann i vaskemaskin, oppvaskmaskin og i forbindelse med matlaging. Det totale energiforbruket til oppvarming av vann i en vanlig husholdning kan derfor være i størrelsesorden 25 % av det totale energiforbruket. Spørsmålet er om det går an å ta vare på og gjenvinne noe av det varme avløpsvannet før vannet forsvinner fra huset og ut i det kommunale avløpsnett?

Løsningen ■ Ideen går ut på å ta vare på varmen i avløpsvannet før vannet forsvinner ut i det kommunale avløpsnett og bruke varmen til å varme opp nytt rent vann eller til å varme opp rom i hus.

Ideen er et system som automatisk skiller varmt fra kaldt vann i avløpsystemet i huset, dvs. før vannet slippes ut på stikkledning. Systemet «tapper» energien i det varme avløpsvannet og bruker dette til oppvarming av varmtvannsbereeder eller rom. Deretter slippes det det avkjølte vannet tilbake til avløpsledningen og ut av huset sammen med kaldt avløpsvann.

Ved å installere en enkel VVS-løsning kan varmen fra pastavannet brukes til å varme opp nytt vann eller rom i huset. Foto: MaxStraeten



Olje- og energiminister Tord Lien overrekker Grønn Fases energipris for innovasjonsideen til CEDREN-forsker Tor Haakon Bakken. Foto: Marita Sætnan



En sensor installeres høyt opp i de rørene som frakter varmt og kaldt avløpsvann for å måle temperaturen i vannet. Når avløpsvannet holder en viss temperatur, ledes vannet inn i et eget rør som videre sluser vannet inn i et internt system hvor varmen i vannet tappes. Varmetappingen gjøres gjennom bruk av en varmeveksler. Energien som gjenvinnes kan benyttes til oppvarming av nytt kaldtvann eller til å varme opp rom i huset.

Bruk ■ Løsningen er blitt installert i enkelte husholdninger. Fra 1. januar 2015 ga ENOVA tilskudd til varmegjenvinning fra avløpsvann fra kjøkken, bad og vaskerom (gråvann). Etersom virkemiddelapparatet har støttet dette tiltaket til energieffektivisering og det ikke er noen større tekniske utfordringer, vurderes ideen som realisert, gitt at den er konkurransedyktig på pris.

Potensial ■ Det antas at en stor andel av husholdninger og kontorbygg i Norge kan benytte seg av denne formen for varmegjenvinning som CEDREN har utviklet. Løsningen kan brukes både ved nybygging og ved rehabilitering. Den økonomiske lønnsomheten av tiltaket avhenger blant annet av strømprisen.

” Det er fantastisk å se at det finnes så kreative og smarte nye ideer som kan være med på å løse noen av de største utfordringene vi står overfor.

Tord Lien,
olje- og energiminister

Det antas at en stor andel av husholdninger og kontorbygg i Norge kan benytte seg av denne formen for varmegjenvinning som CEDREN har utviklet. Løsningen kan brukes både ved nybygging og ved rehabilitering. Foto: Kari Sivertsen



Fornybar energi på lag med naturen!

CEDREN 2017
Redaktør: Astrid Bjerkås, NINA og Julie Charmasson, SINTEF Energi
Grafisk utforming: Kari Sivertsen, NINA

CEDREN

SINTEF EnergiAS,

Besøksadresse: Sem Sælands vei 11, 7034 Trondheim

Postadresse: Postboks 4761 Sluppen, 7465 Trondheim

Telefon: 73 59 72 00

www.cedren.no

CEDREN

Centre for Environmental Design of Renewable Energy

