

Forbedrede metoder for utvikling og forvaltning av energi- og vannressurser

Håkon Sundt, Tor Haakon Bakken,
David Barton og Ingunn Saur Modahl

Oppsummering av CEDRENs prosjekt EcoManage

CEDREN

Centre for Environmental Design of Renewable Energy



Forbedrede metoder for utvikling og forvaltning av energi- og vannressurser

Håkon Sundt¹, Tor Haakon Bakken¹,
David Barton² og Ingunn Saur Modahl³

SINTEF Energi¹, NINA², Østfoldforskning AS³



Sundt, H., Bakken, T. H., Barton, D. & Saur Modahl, I. 2016.
Forbedrede metoder for utvikling og forvaltning av energi- og
vannressurser. - NINA Temahefte 69. 45 s.

Trondheim, oktober 2016

ISSN: 0804-421X
ISBN: 978-82-426-2962-3

RETTIGHETSHAVER
© Norsk institutt for naturforskning
Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse

GRAFISK FORMGIVING
Kari Sivertsen, NINA

FOTO OMSLAG
Per Eide/Edelpix

OPPLAG
100



KONTAKTOPPLYSNINGER

Norsk institutt for naturforskning (NINA)

Postadresse: Postboks 5685 Sluppen, 7485 Trondheim
Besøksadresse: Høgskoleringen 9, 7034 Trondheim
Telefon 73 80 14 00
<http://www.nina.no>

CEDREN, SINTEF Energi AS

Postadresse: Postboks 4761 Sluppen, 7465 Trondheim
Besøksadresse: Sem Sælands vei 11, 7034 Trondheim
Telefon 73 59 72 00
www.cedren.no

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 hovedforskingspartnere, med en rekke energiselskaper, norske og internasjonale FoU-institutter og universiteter som partnere.

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

Forord

Hensikten med dette temaheftet er å oppsummere funn fra CEDREN EcoManage-prosjektet gjennom konklusjoner og anbefalinger samt presentasjon av resultat fra utvalgte studier. Vi har sett nærmere på energiindikatorer, vannforbruk og økosystemtjenester som viktige element inn i planlegging og drift av vannkraftprosjekt. Gjennom videre utvikling av metoder og verktøy for analyser har vi med utgangspunkt i konkrete prosjekt i Norge og internasjonalt funnet forbedrede rutiner som kan gi bedre beslutningsgrunnlag i utvikling av vannkraft.

Alle utgivelser i EcoManage er oppsummert i siste kapittel.

Trondheim oktober 2016

Håkon Sundt

SINTEF Energi og prosjektleder for EcoManage i CEDREN

Innhold

Forord	4
Innhold	5
1 Om EcoManage	7
2 Konklusjoner og anbefalinger basert på resultater fra EcoManage	8
2.1 Energiindikatorer	8
2.2 Vannforbruk	9
2.3 Økosystemtjenester	11
3 Energiindikatorer	14
3.1 Hva er energiindikatorer?	14
3.2 Hvorfor energiindikatorer?	14
3.3 Hvilke energiindikatorer?	15
3.4 Utvalgte resultater fra arbeidspakken.....	16
4 Vannforbruk.....	21
4.1 Hva er vannforbruk?	21
4.2 Hvorfor vannforbruk?	21
4.3 Hva har blitt gjort i EcoManage på dette temaet?	22
4.4 Utvalgte resultater fra arbeidspakken.....	22
5 Økosystemtjenester	30
5.1 Hva er økosystemtjenester i vannkraftsammenheng?	30
5.2 Hvorfor Økosystemtjenester?	30
5.3 Hva har blitt gjort i EcoManage på dette temaet?	30
5.4 Utvalgte resultater fra arbeidspakken.....	32
6 Tilknyttede tema	40
7 Alle utgivelser fra EcoManage	42
Fotnoter	45





1 Om EcoManage

EcoManage har hatt som mål å oppnå forbedrede metoder for utvikling og forvaltning av energi- og vannressurser. Dette betyr at EcoManage skal bidra til en bedre forståelse for hvordan man kan oppnå økt verdiskapning, bedre miljøforhold og langsiktig bærekraft i eksisterende og nye vannkraftprosjekt.

EcoManage har vært et KPN (kompetanseprosjekt i næringslivet) finansiert gjennom Norges forskningsråds program EnergiX med brukerfinansiering fra sentrale vannkraftprodusenter og miljøforvaltning. Det har vært sentralt i EcoManage å utvikle metodikk og verktøy og demonstrere disse i regulerte vassdrag nasjonalt og internasjonalt.

Foto: PK Foto

2 Konklusjoner og anbefalinger basert på resultater fra EcoManage

2.1 Energiindikatorer

Om bruken av energiindikatorer i vannkraftproduksjon

- Vannkraft har klart høyest energieffektivitet sammenlignet med de andre vurderte elektrisitetsteknologiene, deretter fulgt av vindkraft.
- Elektrisitet produsert fra bioenergi, gass og kull har generelt en mye lavere energieffektivitet enn vannkraft og vindkraft.
- Opprustning og utvidelse av vannkraftanlegg gir har en svært høy energieffektivitet, spesielt målt gjennom EPR.
- Resultatene tyder på at flere norske vannkraftverk har en like god eller bedre energieffektivitet, målt ved EPR, enn mange internasjonale anlegg.
- Det er viktig å være klar over at EPR-indikatoren har andre systemgrenser enn NER og CED (EPR inkluderer ikke varmetap ved konvertering til elektrisitet som investert energi). Valg av energiindikator kan derfor påvirke rangeringen av termiske anlegg internt og mellom termiske teknologier.
- Energiindikatorer inkluderer ikke faktorer slik som tap av biologisk mangfold, klimagassutslipp, økonomi eller kvalitet av den leverte elektrisiteten.

2.2 Vannforbruk

Publiserte verdier over vannforbruk ved vannkraftproduksjon

- Det er fortsatt begrensede data over vannforbruk ved vannkraftproduksjon
- Publiserte verdier viser et stort variasjonsområde, fra nær null til mer enn 15 000 m³/MWh
- De fleste publiserte verdiene er framkommet gjennom bruk av en overforenklet metodikk, med klare svakheter
- Veldig få magasin som benyttes kun til vannkraftproduksjon eller har vannkraft som hovedformål befinner seg i områder med stor grad av vannknapphet

Svakheter i metodikk i mange publiserte studier

- De fleste publiserte verdier er framkommet gjennom en brutto beregning av fordampning fra vannmagasin som ikke trekker fra naturlig vanntap før etablering av magasin
- Det tas sjelden hensyn til at vannmagasin brukes til flere formål (jordvanning, drikkevannsforsyning, flomdempning, etc.) utover vannkraftproduksjon
- Alt vanntapet tilordnes det kraftverket som er direkte tilknyttet magasinet og ikke fordelt på alle produksjonsenheter som nyttiggjør seg den regulerte vannføringen
- Det tas ikke hensyn til om vanntapet foregår i et område med vannknapphet eller om det er i et området med rikelige vannressurser
- Det tas ikke hensyn til at magasin kan bidra til økt tilgjengelighet av vann i tørre perioder

Forslag til forbedret beregningsmetodikk

- Netto vanntap bør benyttes i framtidige analyser av vannforbruk ved vannkraftproduksjon
- Vanntap fra flerbruksmagasin bør fordeles mellom alle funksjoner som nyttiggjør seg magasinet, for eksempel basert på hvor stort vannvolum den enkelte funksjon benytter
- Analyser må omfatte hele det romlige området påvirket av reguleringen slik at både nytte og ulempe fordeles mellom alle vannkraftverk og brukere/funksjoner
- Lokal og regional vannknapphet må tas hensyn til, sammen med potensiell økt tilgjengelighet av vann
- Energikvalitetene som produseres må inngå i beregningene

Vannforbruk i norske vannkraftverk

- Norske vannkraftverk har et veldig lite vannfortavtrykk
- Ettersom det er rikelig tilgang på vann i Norge i de aller fleste perioder anses et lite vannfotavtrykk som uproblematisk
- Konstruksjonsfasen betyr relativt mer for vannfotavtrykket i Norge enn i andre områder av verden i forhold til driftsfasen (fordampning fra magasin)

Rollen til magasin og vannforbruk i internasjonal vannkraft

- Fordampning fra vannmagasin kan i enkelte områder av verden redusere årlig avrenning betydelig og bør analyseres ved planlegging av nye vannkraftprosjekter, likeså den økte tilgjengeligheten av vann grunnet regulering
- Kampen om vannressursene øker og forståelse av samvirket mellom flere magasin, ulike vannbrukere og varierende tilgjengelighet av vannressursene er viktig
- Klimaendringer vil i enkelte områder av verden påvirke tilgjengelige vannressurser betydelig.

Generelle anbefalinger

- Vannforbruk ved vannkraftproduksjon representerer en omdømmerisiko for vannkraft, slik at alle positive effekter bør inngå i hydrologiske analyser
- Beregning av vannforbruk bør inngå som en standard analyse ved vurdering av nye vannkraftprosjekter.
- Hydrologisk risiko ved utvikling av ny vannkraft bør kartlegges, da små endringer i klima og økt vannuttak til konkurrerende formål kan påvirke tilgjengelige vannressurser til vannkraftproduksjon betydelig.
- Robuste planleggingsverktøy som fanger opp samvirket mellom alle typer vannbruk innenfor et nedbørfelt og støtter analyser med lang tidshorisont bør utvikles og testes. Dette vil synliggjøre langtids risiko for investeringer og identifisere mulighetsrom for utvikling av vannkraftprosjekter.

2.3 Økosystemtjenester

Vurdering av kombinasjoner av tiltak i regulerte vassdrag

- Prosjektet har vist at modeller for vannkraftproduksjon, hydrologi, hydromorfologi, mesohabitat, smoltproduktivitet, elveestetikk og økonomisk verdi av laksefiske kan kobles sammen for å gi beslutningsgrunnlag for avveininger mellom elveregulering og –restaurering
- Vi har vist hvordan gjøre kostnadseffektivitetsanalyse og multikriterieanalyse av tiltakskombinasjoner.
- Det er prøvd ut modellverktøy for usikkerhetsanalyse på tvers av alle modellene, noe som har styrket troverdigheten i modellberegningen og gjort det lettere å diskutere modellantagelser med brukerinteresser
- Resultater fra testing av metodologien i Mandalselva viser at restaurering av laksehabitat er kostnadseffektivt i forhold til høyere minstevannføring.

Bruk av multikriterie-verktøy inn i beslutningsprosesser i vannkraftplanlegging og revisjonssaker

Multikriterieanalyse er en strukturert prosess for å vurdere tiltaksalternativer, som systematisk kartlegger brukerinteressers preferanser og avveininger mellom en rekke beslutningskriterier som ikke har samme målenhet. Multikriterieanalyse gjør det lettere å etterprøve hvordan kriterievalg og -vektning påvirker rangering av tiltak.

- Vi brukte multikriterieanalyse til en gjennomgang av datagrunnlaget for nasjonal prioritering av konsesjonsrevisjoner
- Vi viste hvordan MKA kan bidra til mer gjennomsliktig strukturering og etterprøvbare prioriteringer i konsesjonsrevisjoner
- Vi brukte Bayesianske nettverk til å vurdere hvor mye de ulike kriteriene bidrar til rangering av prosjekter
- Resultatene viser at kraftproduksjonstap vektlegges mange ganger sterkere enn samlede miljøhensyn i den nasjonale prioriteringen av konsesjonsrevisjoner
- Videre viser vi at kvaliteten på informasjonen om miljøkriterier henger sammen med vektning av disse – jo dårligere informasjonsgrunnlag jo større er vektleggingen av kriteriet (en slags føre-var praksis)
- Multikriterieanalyser gjør det mulig å kommunisere beslutningsgrunnlag på en mer gjennomsliktig måte i revisjonssaker på nasjonalt nivå, og i konsekvensutredning av enkeltprosjekter på lokalt nivå.

Om restaureringskostnader som verktøy inn i vannkraftplanlegging

- Vannkraftprosjekter kan føre til til dels store inngrep i terrestrisk natur.
- Elvekraftverk har relativt sett større terrestriske inngrep i forhold til produksjonspotensialet enn magasin kraftverk.
- Restaurering av tilsvarende natur på en annen lokalitet – også kalt offsetting – har som mål fullverdig kompensasjon for inngrepet i forhold til habitatkvalitet og økosystemtjenester.
- EcoManage har vist hvordan restaureringskostnader kan anvendes på vannkraftprosjekter med og uten magasin. Restaureringskostnadene utgjør en praktisk måte å vurdere størrelsen på miljøkonsekvensene, og forenkler konsekvensvurdering i forhold til for eksempel livsløpsanalyse.

Brukermedvirkning i beslutningsprosesser

- Multikriterieanalyse er et prosessverktøy som åpner for mer brukerinteressedeltagelse i vurdering av tiltaksalternativer en dagens prosesser for konsekvensutredninger.
- Multikriterieanalyse fra Mandalselva viser at interesseforskjellene mellom aktørene i forhold til økosystemtjenester som fritidsfiske og elveestetikk ikke er så store som aktørene selv antar.
- EcoManage har vist hvordan integrert modellerings- og multikriterieanalyse kan bidra til å finne tiltak som balanserer ulike brukerinteresser.

3 Energiindikatorer

3.1 Hva er energiindikatorer?

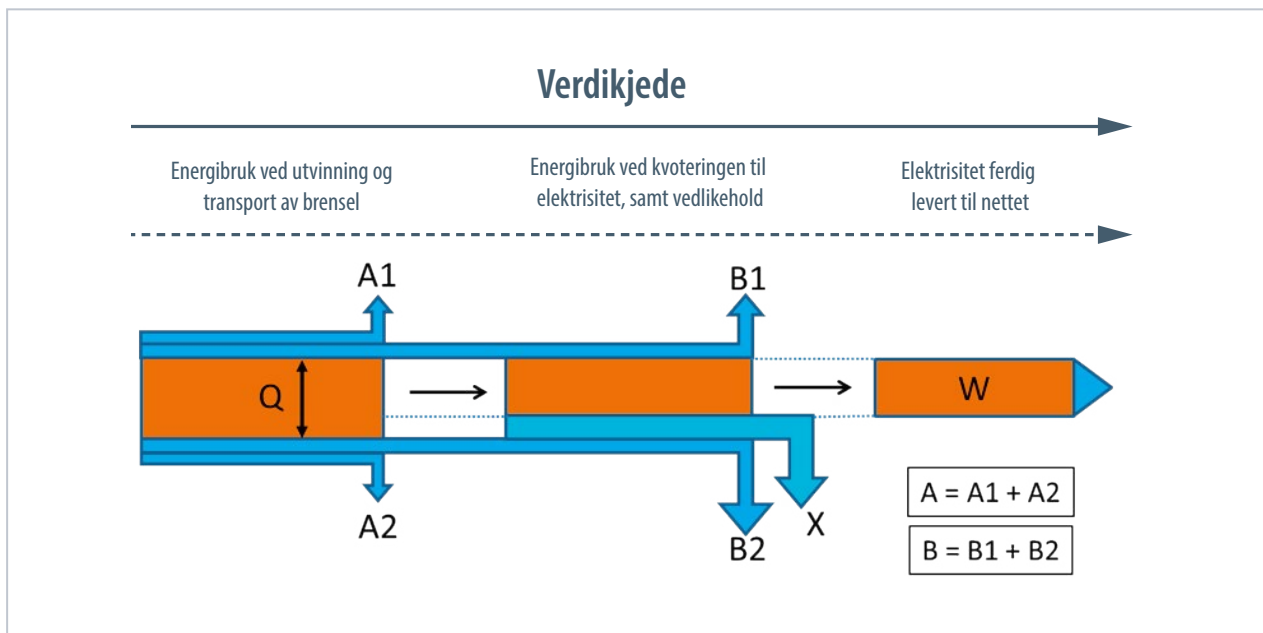
Gode energiindikatorer er enkle å forstå, robuste og transparente. Dette er det beste utgangspunktet for å separere de mest energieffektive formene for elektrisetsproduksjon fra de mindre energieffektive. Sammenlignet med livsløpsanalyse (LCA), så vil energiindikatoranalyse være en forenklet metodikk mer tilpasset beslutninger med kortere tidshorisont.

Figur 1 viser et eksempel på en verdikjede for en energiindikator, hvor ulike ledd danner utgangspunktet for beregning av forholdet mellom energi inn (Q) og energi ut (W).

3.2 Hvorfor energiindikatorer?

En energiindikator er et verktøy som danner et grunnlag for sammenligning av energiformer og energianlegg. Ved strategisk utvikling av energiresurser vil man kunne velge kriterier som undersøkes på tvers av energiformer (f.eks. miljøvirkninger på omgivelsene, kostnadseffektivitet, kvalitet på levert energi/elektrisitet). Videre vil det kunne være avgjørende å vite hvor mye energi man over et livsløpsperspektiv er nødt å investere for å få tilstrekkelig mengde energi ut.

I dag ser vi at fornybar energiproduksjon i stor grad blir ansett som den optimale veien mot lavutslippssamfunnet. Fossile energikilder skal erstattes av effektive fornybare energikilder. Samtidig skal overgangen skje hurtig og globalt. Flere regioner skal kobles sammen for utveksling av elektrisitet. Investering i ny fornybar energi krever kostnads-effektive investeringer, samtidig som miljøpåvirkningen skal være minst mulig. Gode fornybarprosjekt må baseres på et godt etablert sammenligningsgrunnlag.



Figur 1. Eksempel på verdikjede i elektrisitetsproduksjon

3.3 Hvilke energiindikatorer?

I EcoManage ble et utvalg av energiindikatorer vurdert for sammenligning av energi- og elektrisitetsproduksjon. Utvalget bestod av Cumulative Energy Demand (CED), Net Energy Ratio (NER) og Energy Payback Ratio (EPR). EPR er blant annet benyttet i en sammenligningsstudie i IPPC sin spesialrapport om fornybar energiproduksjon og tiltak mot klimaendringer¹.

Målet med arbeidspakke Energiindikatorer har vært å utvikle et konsistent rammeverk for å beregne energieffektiviteten for ulike teknologier for elektrisitetsproduksjon. Med dette på plass kan man gjennomføre mer pålitelige sammenligninger mellom teknologiene. Metodikken har blitt tatt i bruk i utvalgte norske vannkraftverk og verdiane sammenlignet med tilgjengelige internasjonale studier.

Publikasjon

How methodological issues affect the energy indicator results for different electricity generation technologies

Saur Modahl, Lerche Raadal, Gagnon, Bakken

Energy Policy, 2013

3.4 Utvalgte resultater fra arbeidspakken

Sammenligning av energieffektivitet mellom ulike produksjonsformer

Ved sammenligning av teknologiene ble EPR og CED valgt som verktøy, mens NER ble også tatt med for sammenligning av indikatorer. Med utgangspunkt i Figur 1 beregnes de tre ulike indikatorene som følgende:

$$EPR = W / (A + B)$$

$$CED = (A + B + Q) / W$$

$$NER = W / (A + B + Q)$$

A1 og **B1** er tap til energiinvesteringer ved bygging av infrastruktur ved henholdsvis utvinningsanlegg og konverteringsanlegg. **A2** er energibruk ved utvinning, prosessering og transport. **B2** er energibruk ved vedlikehold i hele levetiden til konverteringsanlegget. På **Figur 1** er **X** tap ved konvertering fra energikilde/brensel til elektrisitet. **W** er ferdig levert elektrisitet til nettet, altså gjenværende energi fra den opprinnelige iboende energien i energikilden/brenselet, **Q**.

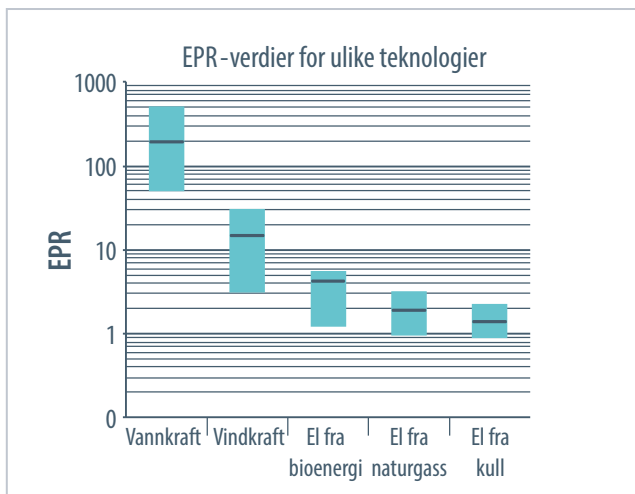
EPR viser hvor mye elektrisitet som kommer ut i forhold til energiinvesteringer i infrastruktur, transport og vedlikehold, men inkluderer ikke konverteringstap. **Høye** verdier for EPR gir **høy** energieffektivitet.

CED viser fordeling på livsløpsfaser og opprinnelsen til energien brukt i elektrisitetsproduksjonen. **Høye** verdier for CED gir **lav** energieffektivitet.

NER viser det samme som EPR, men inkluderer også konverteringstap, slik at det kan benyttes for å skille mellom høy og lav effektivitet i konverteringsleddet. **Høye** verdier for EPR gir **høy** energieffektivitet.

Ved tolkning av resultatene er det viktig å merke seg følgende:

- Beregningene har elektrisitet som sluttprodukt for å etablere et ensartet grunnlag for sammenligning. Bioenergi og gass/kull kan benyttes til varmeproduksjon, men dette er ikke analysert i denne studien.
- Beregningene inkluderer kun energi-investeringer som skjer til og med konverteringsanlegget, og inkluderer ikke nett og andre ledd frem til sluttbruker.
- Datagrunnlaget for studien er dels fra forfatterne egne analyser, dels data fra internasjonale databaser. Detaljer om datagrunnlaget kan derfor være ukjent for forfatterne og til en viss grad påvirke resultatene.
- Studien sier ikke noe om kvalitetene på den leverte elektrisiteten, slik som for eksempel regulerbarhet og fleksibilitet.
- Indikatorene beskriver kun energi-effektiviteten til de ulike anleggene og produksjonsformene, og inkluderer ikke andre miljøpåvirkninger som elektrisitetsproduksjonen vil kunne medføre, som for eksempel tap av biologisk mangfold, tap av urørte områder og utslipp av klimagasser.

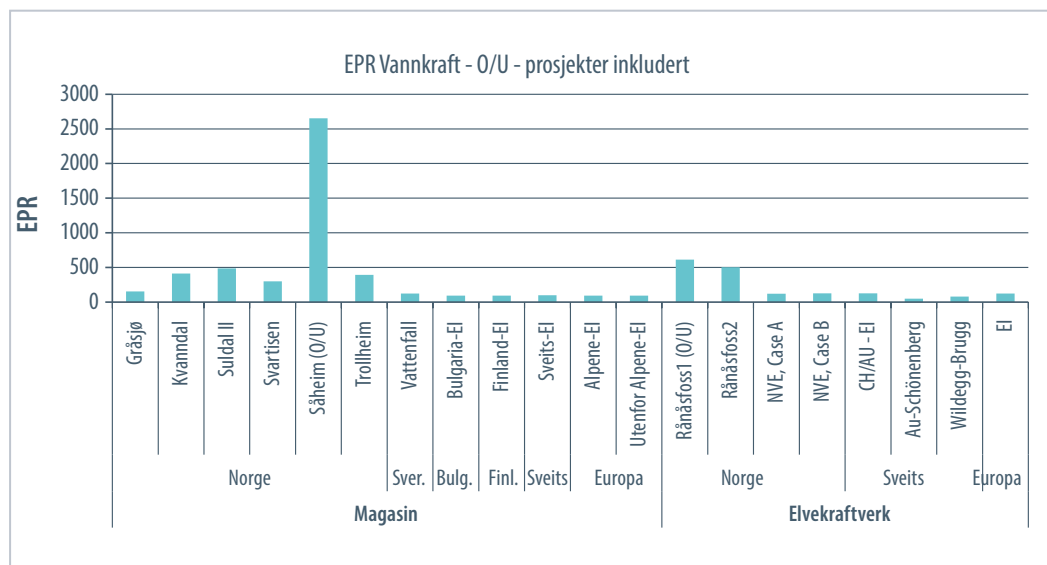


Figur 2. Sammenligning av EPR-verdier vist med logaritmisk skala.

Energiindikatoren EPR

For energiindikatoren EPR viser analysen at vannkraft har vesentlig høyere verdier for energieffektivitet enn de andre energikildene i studiet, se **Figur 2**. Høy EPR gir høy effektivitet.

EPR for utvalgte vannkraftanlegg i Norge og Europa viser at opprustings- og utvidelsesprosjekter (O/U) er spesielt energieffektive, se **Figur 3**. Dette gjelder vannkraftanleggene Såheim og Rånåsfoss 1, EPR-verdiene for disse O/U-prosjektene inkluderer ikke energibruk ved den opprinnelige byggingen av anleggene. **Figur 3** viser også at vannkraftverk med magasinering er mer energieffektive enn elvekraftverk. Ecolnvent-databasen er benyttet for å hente ut data for internasjonale vannkraftanlegg.



Figur 3. EPR-verdier for ulike vannkraft-prosjekt

Energiindikatoren CED

Som for EPR viser CED-analysen at vannkraftanlegg kommer ut som de mest energieffektive, se **Figur 4**. Lav CED-verdi gir høy energieffektivitet.

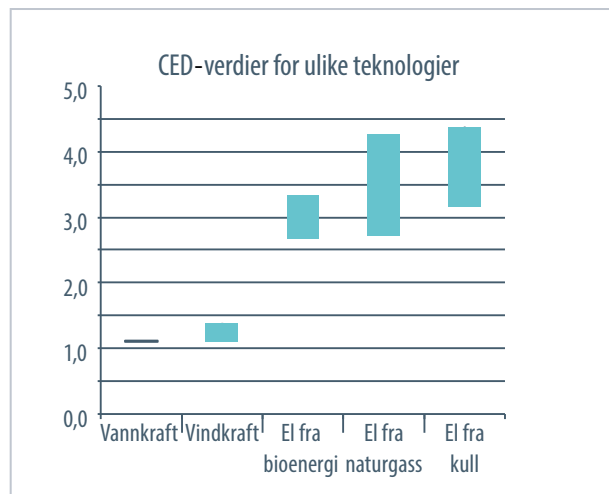
Ved nærmere analyse av det beste og det dårligste alternativet for hver av de ulike energikildene ser man at variasjonen er liten for vannkraft og vindkraft, men mer sprikende for de tre andre energikildene, se **Figur 5**.

Alle tre energiindikatorerne (NER ikke vist under resultater) viser at vannkraft har klart høyest energieffektivitet sammenlignet med de andre vurderte elektrisitetsteknologiene. Dette er begrunnet med at mengden levert elektrisitet er høy sammenlignet med investert energi til infrastruktur, transport, konvertering og vedlikehold.

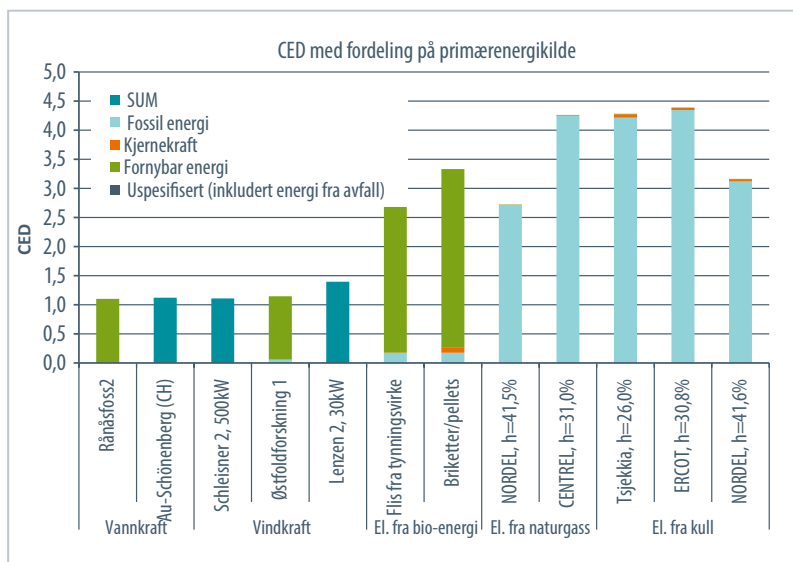
Vindkraft er nest beste teknologi hos alle tre indikatorene i dette studiet.

Opprustning og utvidelse av vannkraftanlegg gir svært høy energieffektivitet for EPR, med grunnlag i at det meste av energiinvesteringene allerede er gjort utenfor systemgrensene for EPR-analysen.

Figur 5. CED-verdier for de ulike energikildene, her vist med beste og dårligste alternativ innenfor datagrunnlaget. Fargene på søylene viser primærenergikilden som benyttes for å produsere elektrisiteten. Mørkeblå stolper indikerer at primærenergikildene er ukjente.



Figur 4. Sammenligning av CED-verdier



Elektrisitet fra bioenergi har høyere energieffektivitet enn tilsvarende fra gass og kull, men har vesentlig lavere energieffektivitet enn vann- og vindkraft.

Det kan være store forskjeller i energieffektivitet mellom anlegg innenfor og mellom de ulike energikildene. Ulike systemgrenser mellom energiindikatorene kan derfor gi ulik rangering av enkeltanlegg selv om konklusjonen er rimelig klar når det gjelder hvordan de ulike teknologiene presterer. For eksempel inkluderer ikke EPR-beregninger varmetap ved konvertering til elektrisitet (anleggets virkningsgrad), og et «billig» varmekraftanlegg kan dermed prestere bra på EPR (lite innsats i form av byggematerialer) sammenlignet med et annet varmekraftanlegg, men samtidig komme dårlig ut på CED (lavere virkningsgrad ved konvertering fra varme til elektrisitet).

Enkelte elvekraftverk kan ha høyere energieffektivitet enn vannkraftverk med magasin-kapasitet. Energieffektivitet kan i noen tilfeller være uavhengig av installert kapasitet.

Energiindikatorer inkluderer ikke faktorer slik som tap av biologisk mangfold, klimagass-utslipp, økonomi eller kvalitet av den leverte elektrisiteten.

4 Vannforbruk

4.1 Hva er vannforbruk?

Vannforbruket ved produksjon av en vare eller tjeneste er ofte definert som den vannmengde som forsvinner, eller brukes opp, ved framstilling av den bestemte vare eller tjeneste gjennom hele livsløpet. For de aller fleste varer, herunder også elektrisitetsproduksjon, er fordampning det største vanntapet. For vannkraft er fordampning fra magasinoverflate som regel det klart dominerende tapet. Produksjonsvann som går gjennom turbinene regnes ikke som «forbrukt» vann.

4.2 Hvorfor vannforbruk?

Mange steder i verden er det kamp om vannressursene. Vannmagasin benyttes til en rekke tjenester, blant annet drikkevannsforsyning, irrigasjon, flomvern og vannkraftproduksjon, i noen tilfeller samtidig. Klimaendring kan direkte eller indirekte gi vannknapphet i visse regioner og føre til økt fordampning og mindre vann tilgjengelig for ulike tjenester.

IPCC sin spesialrapport om fornybar energi¹ sammenlignet en rekke teknologier for elektrisitetsproduksjon med hensyn på vannforbruk. Teknologiene ble forsøkt sammenlignet ut fra et livsløpsperspektiv og vannforbruket per produsert energienhet (m^3/MWh) ble sammenlignet. Den høyeste verdien for vannkraft viste seg å være mye høyere enn alle andre teknologier, mens den laveste verdien var nær $0 \text{ m}^3/\text{MWh}$. Den høye verdien ble forklart utfra store fordampningstap fra magasin, mens den lave var beregnet fra et kraftverk uten magasin i umiddelbar nærhet. Det var imidlertid påpekt at sammenligningen var basert på lite og muligens ikke-representative data.

4.3 Hva har blitt gjort i EcoManage på dette temaet?

I EcoManage har det på temaet vannbruk blitt fokusert på følgende:

- Utfordringer ved beregning av vannbruk og forslag til alternativ metodikk
- Systemgrenser ved vannbruksberegninger
- Allokering av vannbruk i flerbruksmagasin
- Fordelene ved vanntilgjengelighet i vannknappe regioner

Mål i arbeidspakke Vannforbruk har vært å evaluere og videreutvikle eksisterende metodikk for beregning av vannforbruket ved vannkraftproduksjon, samt gjennomføre pilotstudier i regioner der vannforbruket ved vannkraftproduksjon potensielt er problematisk, og i områder hvor tilgjengelige vannressurser er rikelige og fordampningstapene begrensede.

Publikasjon

Are reservoirs water consumers or water collectors? Reflections on the water footprint concept applied on reservoirs

Bakken, Kjosavik, Killingveit, Alfredsen
Water Resource Management, 2015

4.4 Utvalgte resultater fra arbeidspakken

For å utfordre konklusjonene fra SRREN¹-rapporten, samt senere studier som estimerte enda høyere vannbruksverdier for vannmagasiner, så tok vi tak i data fra ICOLD sin database for dammer². Databasen inneholder over 40 000 registreringer av dammer med damhøyde over 15 m og vannmagasinene tilknyttet dammene. Dette datasettet ble sammenstilt med informasjon om vannknapphet.

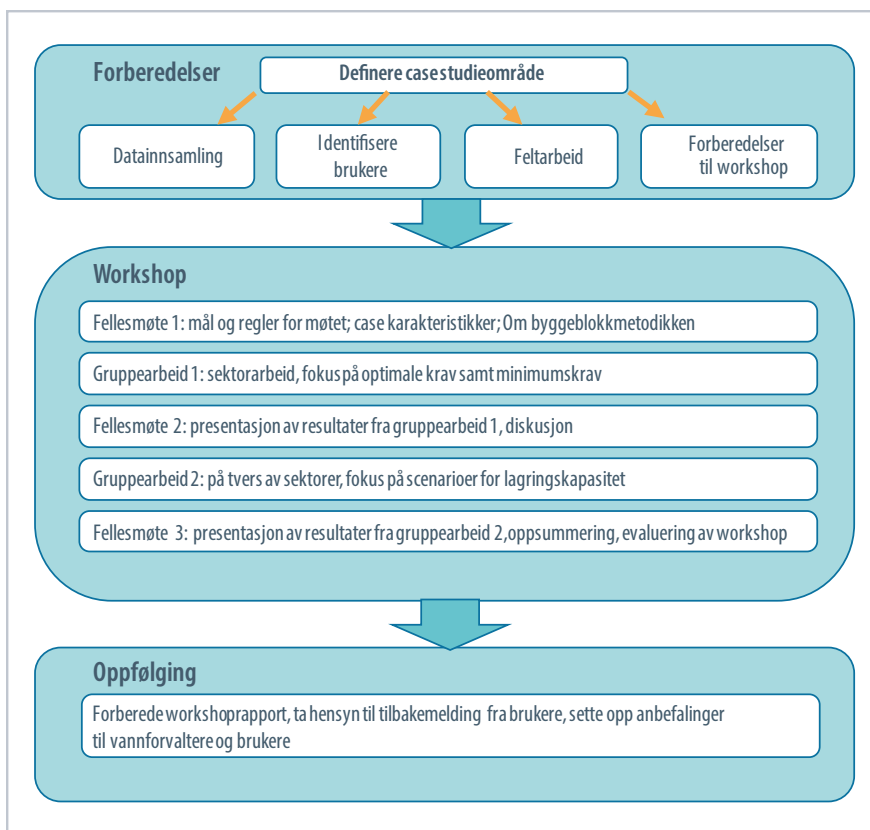
Resultater fra analysen viser at kun noen få utvalgte vannmagasin i vannknappe områder benyttes utelukkende til vannkraftproduksjon. Alle magasin har jo som formål å utjevne den naturlige hydrologiske variasjon slik at vann er tilgjengelig når behovet er der. Lagringsbehovet for vann bestemmes av det vannbehovet magasinet skal møte, om det er til jordvanning, drikkevann, strømproduksjon, eller andre formål. Bortsett fra flomsikring, som er litt annerledes enn de andre funksjonene, så bygges magasiner for å øke tilgjengeligheten av vann i tørre perioder. Beregning av vannforbruk slik det er gjort i flesteparten av de internasjonalt publiserte studiene er basert på en overforenklet metodikk som ikke tar opp i seg vannmagasiners positive virkning gjennom å øke tilgjengeligheten av vann i tørre perioder.

Byggeklossmetoden er en av flere metoder for å fordele vann i tid og rom (King et al). En versjon av metoden ble benyttet i et studie i Sri Ram Sagar-magasinet i Godavari-vassdraget i India, et flerbruksmagasin hvor vannet benyttes til irrigasjon, drikkevannsforsyning og vannkraftproduksjon. Byggeklossmetoden ble her brukt til å diskutere fordelingen av vann mellom ulike bruk

Sammen med vannbrukere i Godavari-vassdraget gjennomførte norske og indiske forskere en gruppeøvelse hvor vannet skulle fordeles mellom ulike bruk, gitt et sett med klimascenarier. Grunnlaget for arbeidet var å se på scenario i dagens hydrologiske regime (normale og tørre år), samt i fremtidens klima, karakterisert ved mer regn i den våte sesongen, hyppigere tørke i den tørre sesongen og økt sedimentering i magasinet (reduert lagringskapasitet).

Tilbakemeldingen fra brukerne var positiv og viste at byggeklossmetoden også kan benyttes øke forståelsen for vannbehov mellom sektorer og redusere konfliktnivået.

Figur 6. Oversikt over gruppeøvelse benyttet av forskere og vannbrukere i Godavari-vassdraget



Publikasjon

Water allocation with use of the Building Block Methodology (BBM) in the Godavari Basin, India

Bakken, Skarbøvik, Gosain, Palanisami, Sauterleute, Egeland, Kakumanu, Sekhar, Harby, Tirupataiah, Stålnacke

Journal of Sustainable Development, 2013

Publikasjon

Water consumption from hydropower plants – review of published estimates and an assessment of the concept

Bakken, Killingtveit, Engeland,
Alfredsen, Harby

Hydrology and Earth System Sciences,
2013

Et vannfotoavtrykk forteller hvor mye vann som forbrukes i løpet av en periode ved produksjon av en bestemt tjeneste eller produkt.

De fleste studier som har beregnet vannforbruk fra vannkraftproduksjon har benyttet en svært forenklet metodikk hvor vannforbruket er beregnet basert på brutto fordampning. Fordampning fra området før vannkraftproduksjonen startet er ikke trukket fra for å gi netto fordampning.

Denne metoden viser dermed ikke total endring vannkraftproduksjon gir på lokale vannressurser og ei heller tar høyde for den økte tilgjengeligheten i tørre perioder magasin kan gi.

Ofte legges hele vannforbruket til vannkraftproduksjon uten å ta hensyn til at mange magasiner, særlig i tørre områder, benyttes til flere formål, såkalte flerbruksmagasin.

Som en del av studiet om vannforbruk ble den forenklete metodikken dokumentert, analysert og diskutert og en rekke metodiske svakheter ble identifisert:

- De fleste studier beregner brutto vannforbruk
- Vanntap fordeles ikke mellom de ulike funksjoner i flerbruksmagasin, alt tilordnes kraftproduksjon
- Ulike studier bruker ulike systemgrenser i tid og rom
- Forenklet metodikk gir et manglende bilde på hvordan vannforbruk påvirker lokale vannressurser
- Det tas ikke høyde for den økte tilgjengelighet av vann magasiner gir, som potensielt har stor samfunnsmessig verdi, særlig i områder med vannknapphet.

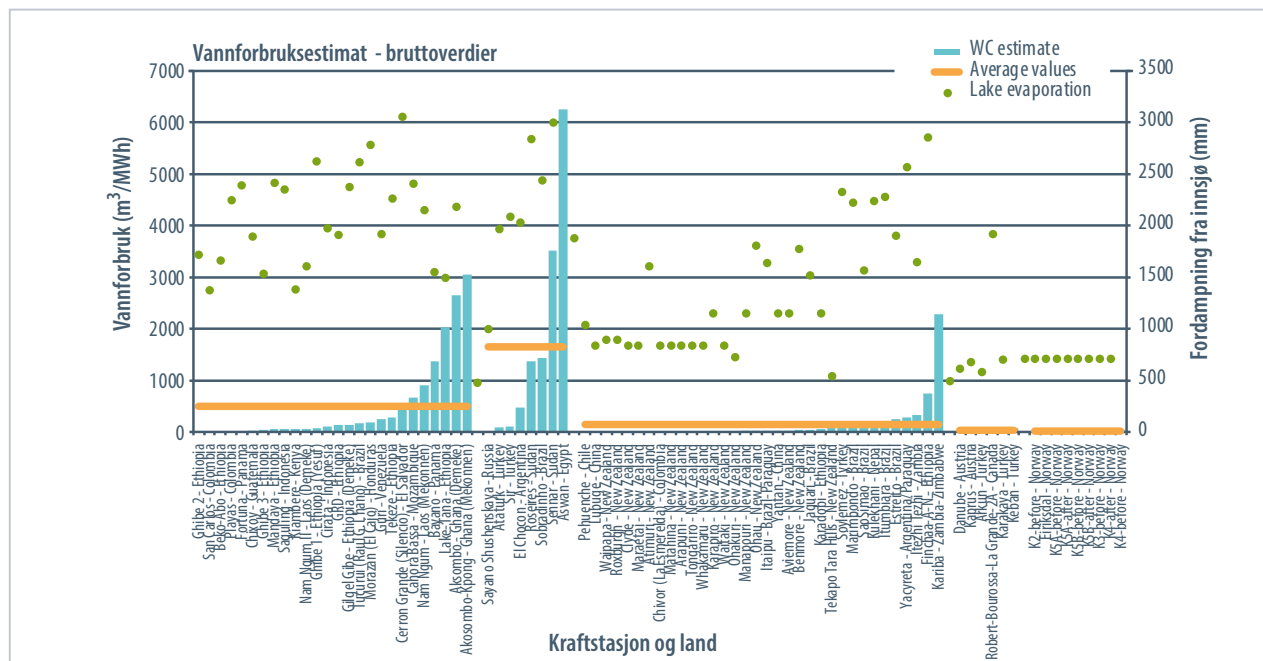
Vi gikk gjennom ulike metoder for beregning av vannforbruk, og fant at brutto fordampning fordelt på årlig kraftproduksjon er den dominerende metoden. I tilfeller hvor brutto- og nettoberegninger begge var tilgjengelige i samme magasin, så vi at nettoverdiene for vannforbruk var i størrelsesorden 12-60% av brutto vannforbruk. Nyere

studier i CEDREN viser at netto vannforbruk kan være enda lavere enn 12% av brutto vannforbruk. Dette betyr at bruk av bruttoverdier kan gi et veldig feilaktig bilde av hvordan vannkraftproduksjon påvirker vannressursene.

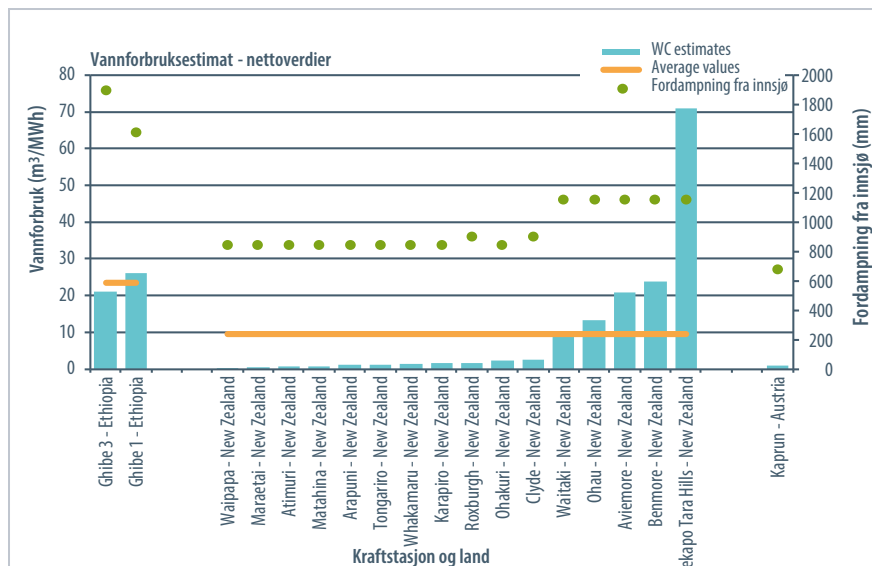
Resultater viser at det innenfor hver klimasone er både lave og høye verdier for vannforbruk. Aswan-dammen i Egypt har høyest brutto vannforbruk med 6 250m³/MWh, se **Figur 7**. I klimasonene D (vist for Østerrike, Tyrkia og Canada) og E (vist for Norge) er bruttoverdiene relativt lave.

Nettoestimat av vannforbruk i tre studier for vannkraftverk i Etiopia, New Zealand og Østerrike viser at netto vannforbruk ligger på 12 til 60 prosent av bruttoestimatene, se **Figur 8**. Nye studier i CEDREN viser at netto vannforbruk kan være veldig lavt i forhold til brutto vannforbruk. Resultatene fra to norske vassdrag viser at netto vannforbruk er mindre

Figur 7. Bruttoverdier for vannforbruksestimater i fem ulike klimasoner



Figur 8. forholdet mellom netto og brutto vannforbruksestimater for utvalgte prosjekt



enn 5% av brutto vanntap. Dette innebærer at bruk av bruttotall kan gi et helt feilaktig bilde av hvordan vannkraftreguleringer og -produksjon påvirker de lokale vannressursene. Vi anbefaler å utarbeide bedre metodikk for beregning av vannfotavtrykk, slik at det er mulig å presentere et mer korrekt bilde av hvordan vannkraftproduksjon påvirker tilgjengelige vannressurser, og danner et rettferdig grunnlag for sammenligning med andre energikilder og mellom vannkraftprosjekter.

Publikasjon

Climate change and increased irrigation demands - what is left for hydropower generation? Results from two semi-arid basins

Bakken, Almestad, Rugelbak, Escobar, Micko, Alfredden
Energies, 2016

Klimaendringer i vannknappe regioner påvirker vanntilgangen i fremtidige vannkraftprosjekt. I fremtiden vil det bli større kamp om vannressursene, spesielt i varme og tørre regioner.

I EcoManage ble to regulerte vassdrag i henholdsvis Tyrkia og Albania analysert, hvor ny vannkraftproduksjon utvikles. Studiene analyserte tilgjengelig vann ved dagens klima og dagens nivå av vannuttak til irrigasjon (jordvanning), og hvordan klimaendringer og endret irrigasjon vil påvirke tilgang på vannressursene i framtiden.

Analysen viste at følgende faktorer vil påvirke hvor mye vann som blir tilgjengelig for vannkraftproduksjon og andre vannbrukere:

- Tilgjengeligheten av vann er veldig følsom for endringer i klima i områder med potensielt stor fordampning
- Tilgjengeligheten av vann nedstrøms er direkte relatert til irrigasjon oppstrøms
- Grad av regulering av vassdraget, hvor økt regulering oppstrøms potensielt kan redusere tilgjengeligheten nedstrøms
- Prioritering av vannbrukere kan endre tilgjengeligheten vesentlig
- Langsiktige investeringer i vannprosjekter krever forbedrede planleggingsverktøy

Analysen viste at i enkelte tilfeller kan et oppstrøms vannmagasin, selv om det i utgangspunktet kun skal benyttes til vannkraftproduksjon, innebære en trussel for nedstrøms vannbrukere. Dette er omvendt av hvordan oppstrøms magasin normalt vil påvirke kraftproduksjon nedstrøms i Norge. Årsaken til at oppstrøms magasin kan redusere vannmengdene til nedstrøms brukere er dels økt fordampningstap, men særlig det faktum at høyere reguleringsgrad muliggjør større uttak til for eksempel irrigasjon.

Ved planlegging av nye prosjekter er det avgjørende med detaljkunnskaper om både klimaendringer og lokal bruk og utvikling av vannressursene.

En livsløpsanalyse (LCA) av et produkt eller en tjeneste er definert som en systematisk kartlegging og vurdering av miljøvirkninger og ressursbruk gjennom hele livsløpet. Grensebetingelser varierer avhengig av hva som analyseres. Metodikken er standardisert i ISO 14044³. Vannknapphet er en av indikatorene i en LCA på lik linje med global oppvarming, forsuring, eutrofiering, ozonnedbrytning, med mere. I følge Water Footprint Network⁴ er vannfotavtrykket til et produkt eller tjeneste "totalt ferskvannsvolum benyttet for å produsere et produkt, inkludert alle steg i produksjonskjeden". Basert på umoden metodikk og manglende regionale data for beregning av vannfotavtrykk så har beregning av dette ofte blitt ekskludert fra LCA. I tillegg har databaser tendert til å

Publikasjon

The life-cycle water footprint of two hydropower projects in Norway

Bakken, Saur Modahl, Engeland, Lerche Raadal, Arnøy

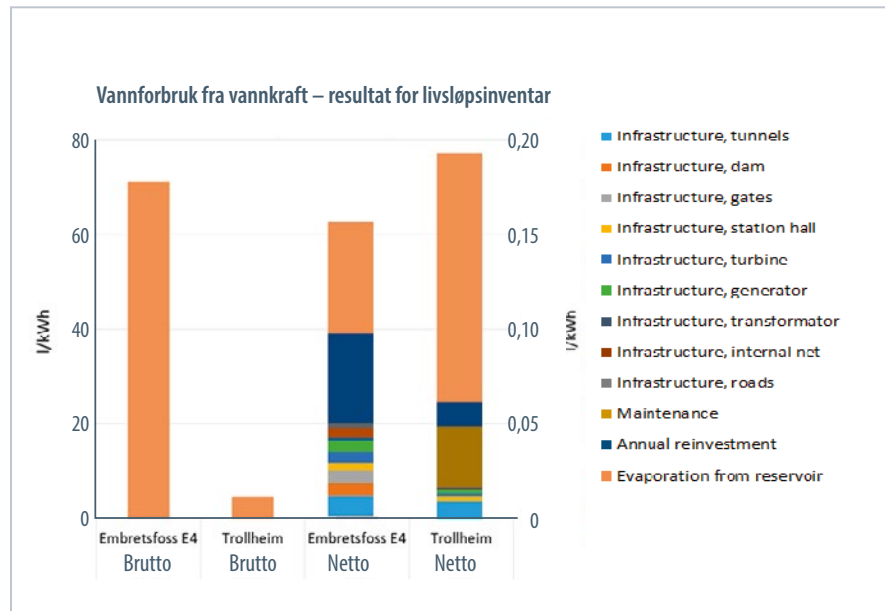
Journal of Cleaner Production, 2016

inneholde kun bruk av vann og ikke tilførsel av vann. I senere tid er dette blitt justert, slik at det nå finnes tilgjengelige data på begge deler.

Bakgrunnen for EcoManage-studiet er den stadig økende internasjonale interessen for å knytte vannfotavtrykk opp mot produkter og tjenester, blant annet i forhold til utviklingen av ISO Water Footprint Standard⁵.

Netto vannforbruk ble undersøkt i to livsløpsfaser for to vannkraftverk i Norge, Trollheim kraftverk i Surna og Embretsfoss 4 i Drammenselva.

Resultater fra studiet viser at nettoverdiene er vesentlig lavere enn bruttoverdiene for vannforbruk per produsert kraft. **Figur 9** viser brutto og netto vannforbruk. Netto vannforbruk sammenlignet med tilsvarende bruttoverdiene er svært lave, kun 0,2% for Embretsfoss 4 og 4,2 prosent for Trollheim. Disse verdiene er også lave ved sammenligning av andre tilsvarende studier for vannkraftverk.

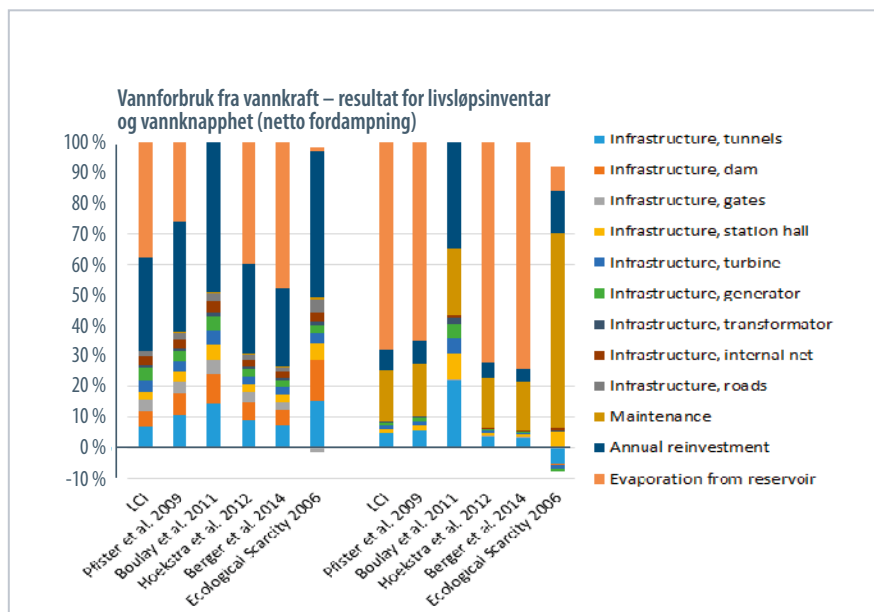


Figur 9. Brutto og netto vannforbruk hos to vannkraftverk i Norge. Brutto vannforbruk er vist på venstre side, netto vannforbruk på høyre side. De to vertikale aksene har ulike skala.

Vannforbruk beregnet ved bruk av netto fordampning-tilnærmingen viser 0,15 l/KWh for Embretsfoss 4 og 0,19 l/KWh for Trollheim. Disse verdiene er svært lave sammenlignet med tidligere studier av vannforbruk i vannkraftverk. Ved deling av livsfaser viser beregninger at driftsfasen står for henholdsvis 38 og 85 prosent av totalt netto forbruk av vann for Embretsfoss 4 og Trollheim.

Vannforbruket ble i studiet regionalisert og vannfotavtrykket beregnet ved bruk av fem ulike karakteriseringsmetoder for vannknapphet, se **Figur 10**.

Resultatene viste en ytterligere reduisering i vannforbruk på grunn av de lave karakteriseringsfaktorene for Norge. Tre av de fem metodene benyttet samt LCI (livsløpsinventar), og ga et konsistent bilde i forhold til det relative vannforbruket.



Figur 10. Vannfotavtrykk for Embretsfoss 4 på venstre side og Trollheim på høyre side ved bruk av seks ulike beregningsmetoder.

5 Økosystemtjenester

5.1 Hva er økosystemtjenester i vannkraftsammenheng?

Økosystemtjenester er goder og tjenester vi får fra naturen vi omgir oss med. I den sammenheng kan vassdragsregulering bidra til at vi kan nyttiggjøre oss økosystemtjenester i større grad, ved å sørge for at fremtidens vannkraftprosjekt er bærekraftig både i et økologisk og samfunnsøkonomisk perspektiv.

5.2 Hvorfor Økosystemtjenester?

I EcoManage ble ulike konsept som kan bidra til bedre utvikling og forvaltning av energi- og vannressurser studert. Konseptet økosystemtjenester er allerede godt etablert, men nytten av økosystemtjenester for å identifisere de sosiale kostnadene ved vannkraftutvikling er ikke fullt utviklet. Under dette temaet ligger det å utnytte et område i større grad ved å kompensere ved habitatforbedrende tiltak i et annet område av tilsvarende verdi, økologisk og økonomisk («biodiversity off-setting»). Ved å bruke metoder og verktøy som verdisseting av leveområder og multikriterieanalyse har forskerne undersøkt hvordan man kan utnytte vassdrag til kraftproduksjon og samtidig ivareta ulike tjenester knyttet opp mot bruk av vassdrag.

5.3 Hva har blitt gjort i EcoManage på dette temaet?

I EcoManage har vi utforsket om det er økologisk og økonomisk gjennomførbart å benytte biodiversity off-setting og tilsvarende konsepter innenfor vannkraftproduksjon. Med utgangspunkt i alternativer for offsetting og metoder for å involvere brukere i beslutningsprosesser ble følgende konsepter vurdert:

- Habitatkompensasjon
- Økosystemtjenester (hovedsaklig ved bruk av rehabiliteringskostnader)
- Livsløpsanalyser
- Multikriterie beslutningsstøtte



Som en del av kartlegging av brukerinteresser ble fotoscenario laget med og uten eksisterende terskler på ulike vannføringer. Resultatene ble brukt for å undersøke hvilke preferanser brukere av vassdraget hadde i forhold til blant annet estetikk. Foto: Berit Kohler og 3D Smia Bjørnar Dervo

Mål i arbeidspakke Økosystemtjenester har vært å demonstrere anvendeligheten av å bruke økosystemtjenester for å identifisere kostnader av vannkraftutbygging og designe verktøy for å internalisere disse kostnadene i vannkraftutbyggeres beslutningstaking. Mer spesifikt har prosjektet hatt som mål å evaluere habitatkompenserende tiltak, og bruk av multikriterieanalyser (MKA) for å vurdere habitatrestaureringstiltak.

Publikasjon (levert)

Modelling the effects of alternative mitigation measures on Atlantic salmon production in a regulated river

Bustos, Hedger, Fjeldstad, Alfredsén, Sundt, Barton

Water Resources and Economics, 2015

5.4 Utvalgte resultater fra arbeidspakken

Som en del av et prosjekt med analyse av miljøbasert vannføring ble en modelleringsstudie (trade-off mellom ulike faktorer) av kraftproduksjon, lakseproduksjon, miljøbasert vannføring og habitatforbedrende tiltak gjennomført. Målet med studiet var gjennom scenario å optimalisere kraftproduksjon og samtidig oppnå tilfredsstillende resultater for de andre faktorene. Ulike kombinasjoner av strategier for vannkraftproduksjon ble sammenstilt med alternativer for habitatforbedrende tiltak og slipp av miljøbasert vannføring. Laksepopulasjonsmodellen IB Salmon, utviklet i CEDREN, ble benyttet for å beregne potensiell gevinst i lakseproduksjon for de ulike alternativene.

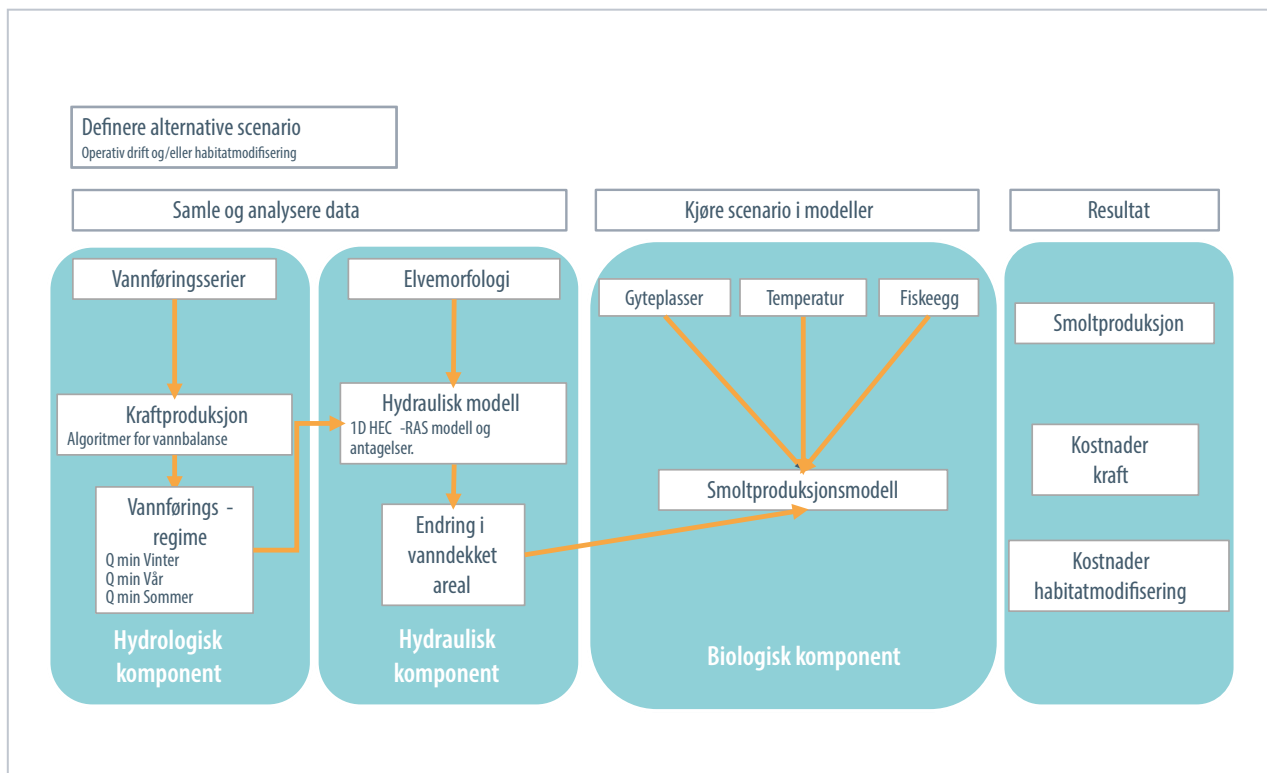
Tre alternative regimer for miljøbaserte vannføringer ble testet i tillegg til et regime foreslått av NVE. To ulike delstrekninger i samme vassdrag ble undersøkt. Slik kunne vi se hvordan samme vannføringslipp kunne ha ulik innvirkning avhengig av delstrekning. Hver av de fire vannføringsregimene var delt inn i vinter-, vår- og sommervannføringer, inkludert minimumskrav og grenser for laveste vannføring i perioder.

De ulike scenarioene ble kjørt gjennom ulike tre modellverktøy:

- 1 Kraftproduksjonsmodellen nMag for å beregne inntekter av kraftproduksjon
- 2 Den hydrauliske modellen HEC-RAS for å beregne hvordan vanddekt areal varierer med vannføring
- 3 Laksemodellen IB Salmon for å beregne smoltproduksjon

Figur 11 viser sammenhengen mellom de ulike modellverktøyene, angitt i tykk skrift, og de ulike faktorene som vil påvirke resultatene fra de foreslåtte vannføringsregimene.

Resultater fra modelleringsstudiet viser at det er mulig å oppnå like stor lakseproduksjon med lavere slipp av miljøbasert vannføring enn foreslått av NVE, og samtidig redusere tapt energiproduksjon. Tar man inn habitatforbedrende tiltak, kan man redusere slipp til miljøbasert vannføring ytterligere og samtidig øke smoltproduksjonen.

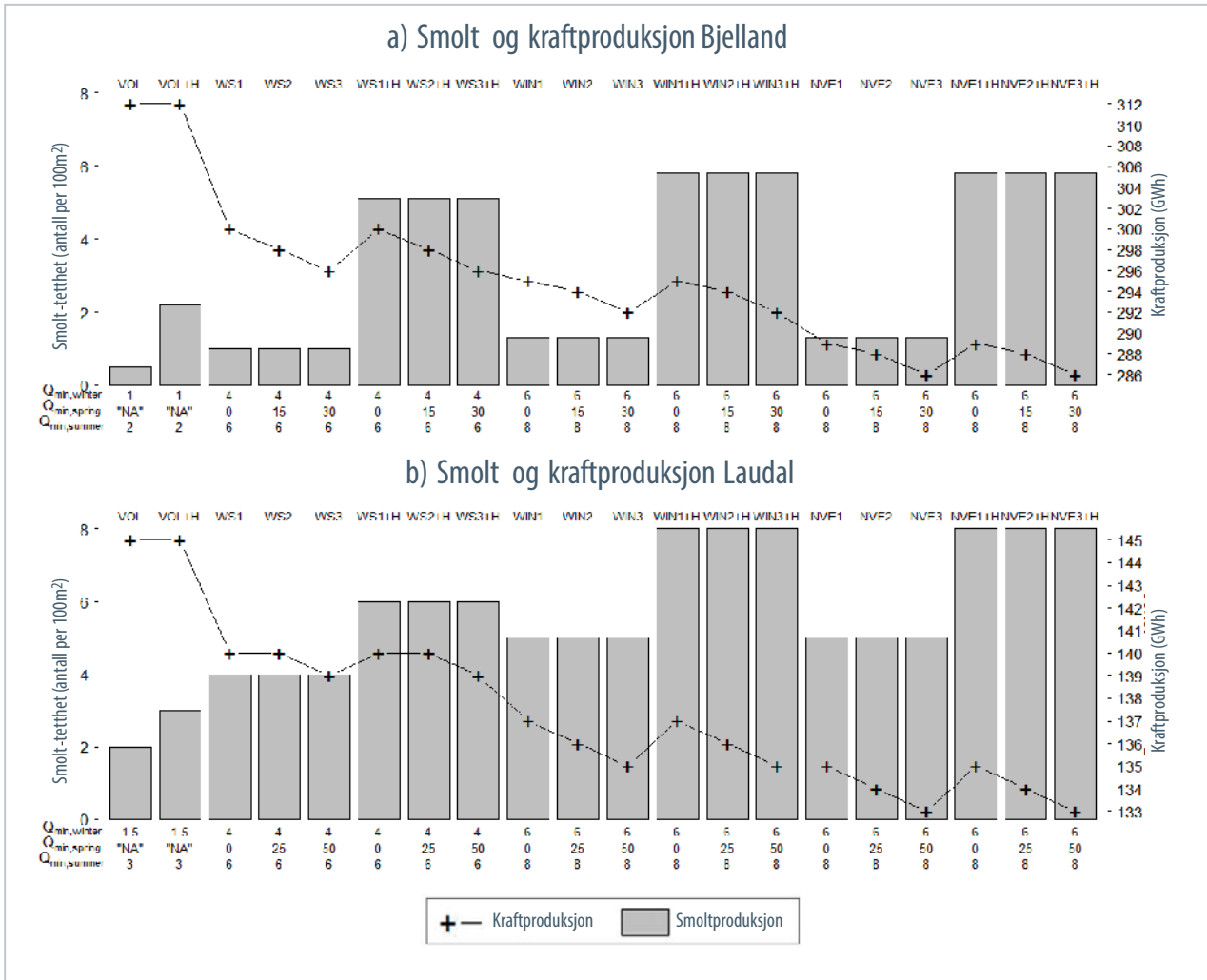


Figur 11. Sammenheng mellom modellverktøy og faktorer som vil påvirke resultat fra foreslåtte vannføringsregimer

Figur 12 viser resultater for to strekninger i Mandalselva, Bjelland og Laudal. De ulike vannføringsscenariene er vist horisontalt, mens kraftproduksjon er angitt som linje og antall smolt per areal er angitt som grå søyler.

Den foreslåtte metodikken i studiet er effektiv og et godt alternativ til standard metodikk for å vurdere regimer for miljøbasert vannføring, sammenlignet med enklere metoder som Q95 eller tilsvarende som i mindre grad baseres på lokale preferanser for nøkkelarter.

Figur 12. Resultater for to strekninger i Mandalselva. De ulike vannføringsscenariene er vist horisontalt, mens kraftproduksjon er angitt som linje og antall smolt per areal er angitt som grå søyler. Scenario med +H har habitatmodifiseringer.



Med grunnlag i NVE og Miljødirektoratets rapport Vannkraftkonsesjoner som kan revideres innen 2022 - Nasjonal gjennomgang og forslag til prioritering⁶ ble det i EcoManage gjennomført et studie av underliggende mekanismer og kriterier for valg av prioriterte vassdrag for revisjon i den nasjonale utredningen. Utredningen utført av NVE og Miljødirektoratet på oppdrag fra OED og MD gjennomgikk 395 vannkraftkonsesjoner som kan revideres innen 2022, i 187 ulike vassdrag / vassdragsavsnitt. 50 vassdrag gis høy prioritet ved revisjon, 53 vassdrag lavere prioritet og 84 vassdrag foreslås ikke prioritert.

I EcoManage ble det tatt i bruk multikriterie-beslutningsanalyse-teori i et Bayesian Belief Network-verktøy (software). Dette verktøyet ble benyttet for å vurdere den overordnede viktigheten av de ulike kriteriene som grunnlag for avgjørelsene tatt i utredningen fra NVE og Miljødirektoratet.

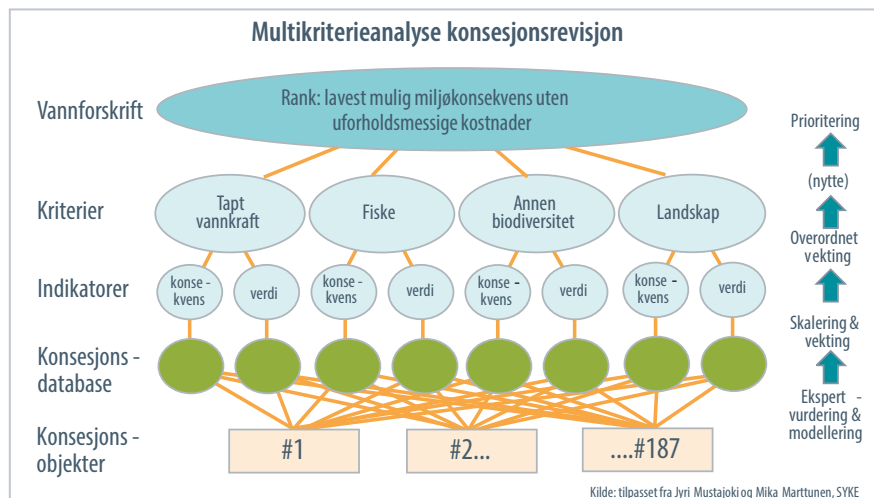
Det samme verktøyet ble benyttet for å se på hvilke avveininger som ble gjort mellom ulike miljøvirkninger og vannkraftproduksjon. Ytterligere ble det sett på hvilken innvirkning de foreslåtte avbøtende tiltakene i utredningen vil ha på vannkraftproduksjon i Norge i forbindelse med implementering av EUs vanddirektiv, og hvilke tiltak som faktisk er tilgjengelige for å oppnå godt økologisk potensiale i sterkt modifiserte regulerte vassdrag.

Publikasjon

Using a Bayesian belief network to diagnose significant adverse effect of the EU Water Framework Directive on hydropower production in Norway

Barton, Bakken, Madsen

Journal of Applied Water Engineering and Research, 2016



Figur 13. Strukturering og visualisering av prosess i NVE og Miljødirektoratets utredning

I hovedsak har konsesjoner med høy prioritet relativt store miljøvirkninger, med mindre utstrakt bruk av miljøbasert vannføring, og mindre krafttap. Utredningen identifiserte konsesjoner hvor miljøbasert vannføring var mest kostnadseffektive.

Struktureringen av grunnlagsdata (kriterier for prioritering av konsesjoner) i utredningen ved bruk av multikriterieanalyseverktøy viste at krafttap var den klart dominerende faktoren ved tildeling av høy prioritet, vektet sterkere enn miljøtiltak. Dette er ikke nødvendigvis i tråd med alminnelig metodikk for konsesjonsrevisjon⁷, hvor miljøtiltak prioriteres høyt. I grunnlagsdata for utredningen vises det også til at tilgang på data (overordnede eller områdespesifikke) påvirket kriterievekting.

En overordnet sammenligning av nåverdien av krafttap i høyt og lavt prioriterte konsesjoner viste et estimert gjennomsnittlig kostnadstap på 120 mill. NOK per vassdrag for å oppnå krav fra både EUs vanndirektiv og den norske vassdragslovgivningen. Dette er et første estimat og mest sannsynlig en overestimering.

Publikasjon (skrives)

Land Use and Land Use Change Impacts on Terrestrial Habitats from Hydropower Development in the LCA Framework

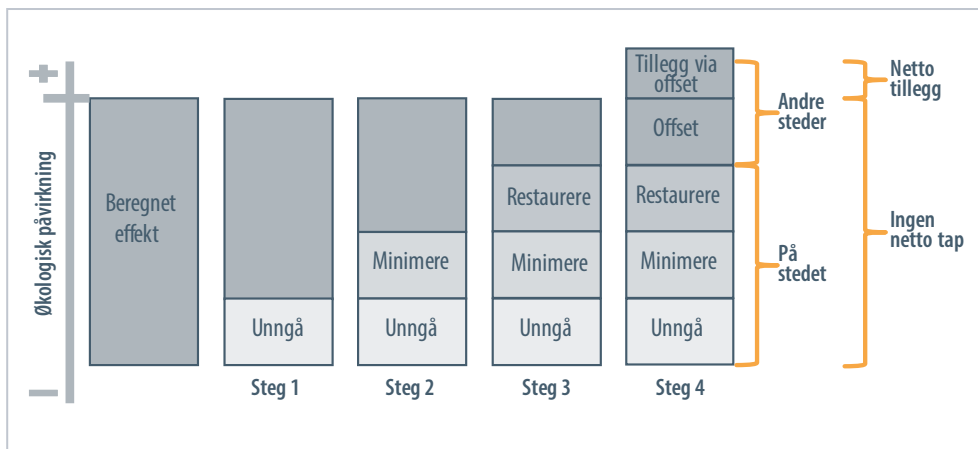
Lillesund, Hagen, Michelsen, Foldvik, Barton

The International Journal of Life Cycle Assessment

Fornybar energiproduksjon med tilhørende infrastruktur kan gi store naturinngrep. En livsløpsanalyse skal blant annet evaluere miljøkonsekvensene for varer, tjenester og energisystem og kan benyttes i planlegging av fornybarprosjekter. Et alternativ til livsløpsanalyse kan være å se på restaureringskostnader. Dette alternativet krever at man har god kunnskap om kostnader knyttet til ulike restaureringstiltak.

Restaurering innebærer forebygging, minimering eller reparering av naturinngrep. I tillegg vil offsetting ved restaurering på andre lokaliteter enn i det opprinnelige naturinngrepet kunne utnyttes. Dette grepet kan eventuelt bidra til positive miljøvirkninger om ytterligere tiltak benyttes. **Figur 14** beskriver hvilke steg som kan tas ved et mulig naturinngrep og hvordan tiltak for redusering av miljøvirkninger kan utføres. Øverst til høyre på figuren ser vi hvordan positive miljøvirkninger kan oppnås ved bruk av offsetting.

Endringer i leveområder og tap av biodiversitet på grunn av endring i arealbruk har tre hovedelementer som kan undersøkes i en livsløpsanalyse: 1) nedbygd eller endret areal, 2) over hvor lang tid arealet endres, og 3) kvaliteten på økosystemet som er påvirket. Å



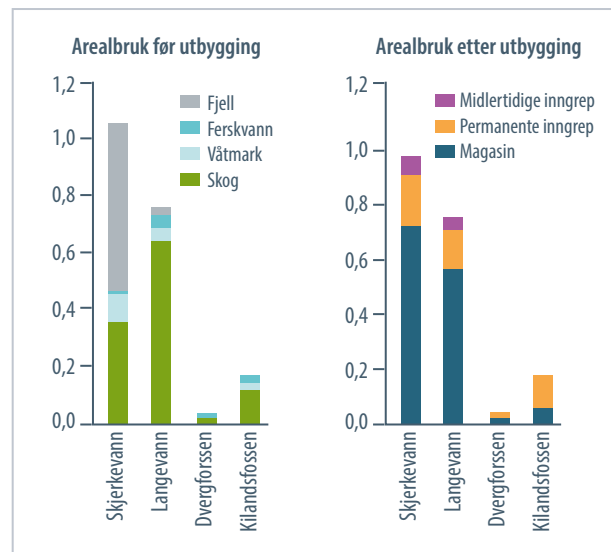
Figur 14. Steg som kan tas ved et mulig naturinngrep og hvordan tiltak for reduisering av miljøvirkninger kan utføres.

undersøke alle typer biodiversitet påvirket av naturinngrep er komplisert. Forenkling av undersøkelser f.eks. kun ved bruk av rødlistearter kan gi et mangelfullt bilde som ikke fanger opp helheten i økosystemet. Her kan restaureringskostnader og –tiltak benyttes som et alternativ.

Fire planlagte vannkraftprosjekt ble undersøkt i en studie med hovedfokus på terrestriske naturinngrep. To av prosjektene var oppgraderinger av magasin kraftverk (Skjerkevattn og Langevatn, henholdsvis 43 og 18 GWh ny kraft), mens de to andre var nye elvekraftverk (Dvergfossen og Kilandsfossen, henholdsvis 36 og 29 GWh ny kraft).

De sidestilte figurene (figur 15) viser endring i arealbruk (før og etter utvikling) innenfor påvirket areal for hver av de fire vannkraftprosjektene. TIC er midlertidige inngrep, PIC er permanente inngrep. De relative endringene er mest fremtredende hvor det er magasiner (Skjerkevattn og Langevatn). Kilandsfossen har arealendring (PIC) tilsvarende Skjerkevattn

Figur 15. Endring i arealbruk før og etter utbygging av vannkraftprosjekt innenfor påvirket areal



og Langevatn, tilknyttet ny infrastruktur. Dette indikerer at infrastruktur kan være det viktigste arealinngrepet for elvekraftverk. Det lave arealinngrepet for Dvergfossen er fordi den nye infrastrukturen plasseres på allerede utnyttet areal.

For hvert av de fire økosystemene vist i grafene over – fjell, ferskvann, våtmark, skog – ble en hypotetisk restaureringslokalitet med tidligere inngrep valgt. Basert på tidligere forskning innenfor restaureringsøkologi ble mål og tiltak for restaurering satt opp. Tiltakene ble så koblet til estimerte kostnader. Det ble antatt at et sunt økosystem har en verdi uavhengig om det leverer en tjeneste eller ikke.

Det er relativt nytt å kunne koble kostnader opp mot et spesifikt areal for habitattype (leveområde) og benytte dette i en sammenligning av ulike vannkraftprosjekt. Resultater fra studiet viser restaureringskostnader som funksjon av areal og i tillegg kraftproduksjon for hver av de fire prosjektene. Magasinprosjektene viste lavest kostnad per areal, mens elvekraftverkprosjektene viste de høyeste kostnadene. Motsatt viste magasinprosjektene høyest kostnad i forhold til produsert kraftmengde i motsetning til elvekraftverksprosjektene.

Samtidig ble restaureringskostnadene sammenlignet med andre metoder for estimering av påvirkning. Sammenligningen viste relativt tilsvarende resultat på tvers av metode, slik at det i dette tilfellet var like utslag på de ulike vannkraftprosjektene.

Oppsummert ser man at relative kostnader varierer mye mellom prosjekt. Andel våtmark i påvirket område kan gi store utslag. Oppgradering av eksisterende anlegg kan gi mindre arealinngrep enn i nye anlegg. Mengde produsert kraft er viktig ved bruk av denne metodikken, ved at «gode» prosjekt produserer mer kraft, mens mindre anlegg har større arealbruk relativt til kraftproduksjon.

Metodikk utviklet i EcoManage ble benyttet i et studie i Miljødesign Mandal-prosjektet. Avveininger mellom tiltak som vannføring, fjerning av terskler, og utlegging av gytegrus ble vurdert ut fra preferanser hos relevante interessenter i Mandalsvassdraget. Disse var kraftprodusenten, grunneiere, kommunen, fylkesmannen, fiskere, elveeiere og forskere. I tillegg ble NVE og Miljødirektoratet trukket inn ved at deres antatte vektlegging ble vurdert av interessentene. Tiltakene ble vurdert i henhold til fire vurderingskriterier: tiltakskostnader inkludert krafttap, smoltproduksjon, laksefiskeforhold og elveestetikk.

Notat

Multi-kriterie-analyse av restaureringstiltak i Mandalselva – Prosjekt Miljødesign Mandal

Barton

Notat til bruker

Målet med vurderingen var tredelt:

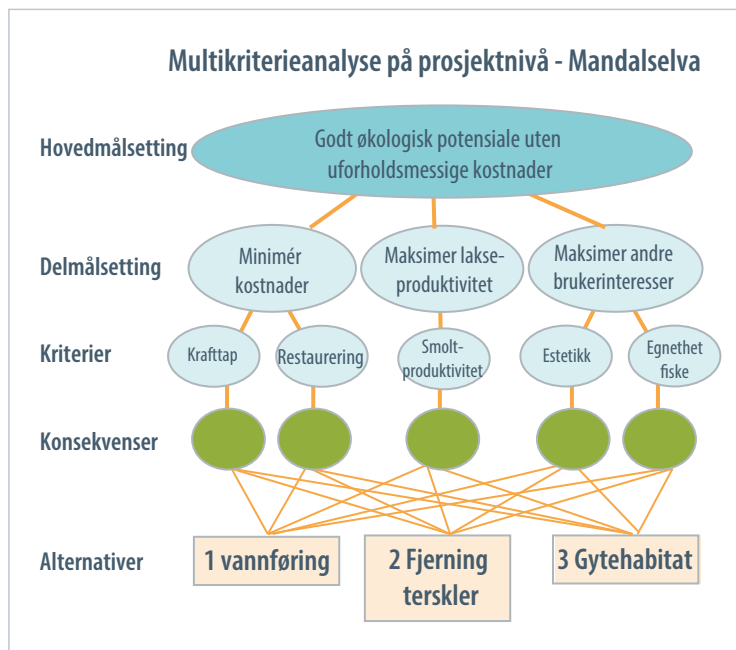
- 1 Å synliggjøre direkte interesseforskjeller mellom ulike interessenter med en kvantitativ metode
- 2 Å synliggjøre forskjeller mellom egne interesser og andre interessenters opplevelse av egne interesser
- 3 Å demonstrere multikriterieanalyse av tiltak med vekt oppgitt av interessenter i Mandalselva

Resultatene fokuserte på følgende:

- 1 Er brukerinteressene sammenfallende?
- 2 Hvor godt kommuniserer brukerne sine interesser til andre: sammenfall mellom interessentens egen vektning og andres forventninger til dem

Resultatene kan benyttes ved prioritering av tiltak eller tiltakskombinasjoner, med grunnlag i interessenters vektning av disse tiltakene. Ved å benytte slik metodikk er det mulig å systematisere brukerinteresser, ta begrunnede avgjørelser og vurdere konsekvenser av disse avgjørelsene.

Figur 16. Oversikt over elementer i interessekartlegging i Mandalselva.



Publikasjon

Demonstrating a new framework for the comparison of environmental impacts from small- and large-scale hydropower and wind power projects

Bakken, Aase, Hagen, Sundt, Barton, Lujala

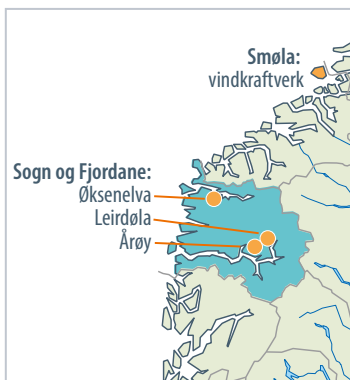
Journal of Environmental Management, 2014

6 Tilknyttede tema

Behovet for å erstatte fossil kraftproduksjon med fornybar kraftproduksjon vil øke antall fornybarprosjekt i fremtiden. Små- og storskala vannkraft og vindkraft er ansett som ren produksjon i forhold til fossil produksjon av kraft, men kan ha innvirkning på lokalt miljø gjennom redusert biodiversitet og tap av leveområder og ulike arter. Disse miljøvirkningene varierer i størrelse og utbredelse mellom ulike fornybarprosjekt.

En sammenligning av miljøvirkninger mellom små- og storskala vannkraft samt vindkraft ble gjennomført. 27 små vannkraftverk, tre store vannkraftverk og et vindkraftverk ble sammenlignet basert på følgende kriterier for miljøpåvirkning: arealbruk, redusering i urørt natur (INON), synlighet og påvirkning av rødlistearter. Studiet har hatt to funksjoner: 1) Utvikling av metodikk for sammenligning av utvalgt fornybarproduksjon på tvers av disipliner, 2) Konkret sammenligning av små- og storskala vannkraft og vindkraft. Grunnlaget for sammenligningen var prosjekt med tilsvarende energiproduksjonsvolum. I dette studiet ble det ikke tatt hensyn til kvaliteten på energiforsyningen (reguleringsmulighet og forsyningsikkerhet).

Figur 17. Lokaltetene til vindkraftverket og de tre store vannkraft-verkene.



Figur 17 viser lokalitetene til vindkraftverket og de tre store vannkraft-verkene som punkter, samt Sogn og Fjordane fylke, hvor de 27 småskala vannkraftverkene var lokalisert, i mørk grå.

Resultatene viser at arealbruk, redusering i INON, synlighet og påvirkning av rødlistearter egner seg godt for sammenligning av miljøvirkninger mellom ulike fornybare kraftproduksjoner (i dette tilfellet vannkraft og vindkraft). Kvantitative parametere gjøre det enklere å direkte sammenligne på tvers av teknologier, også som funksjon av mengde produsert kraft.

Videre bør andre parametere vurderes for å dekke andre miljøvirkninger enn de som er behandlet i dette studiet. De fire valgte parametere dekker ikke alle miljøvirkninger fra

fornybarprosjekt da de ikke erstatter alle fysiske og biologiske kvaliteter i naturen. Aktuelle parametere å ta inn i slike analyser kan være påvirkning fra infrastruktur, reguleringsmuligheter (fra magasin) og forsyningssikkerhet. I tillegg kan politiske føringer tydeliggjøres med hensyn på prioritering av fornybarutvikling og miljøvirkninger, sett i lys av mulige avveininger mellom prosjekt.

Resultatene fra studiet viser at småskala vannkraft kommer best ut på arealbruk (per produsert kraft), ved sammenligning av samme mengde produksjon med storskala vannkraft og vindkraft. Vindkraft kommer ut relativt likt med storskala vannkraft med hensyn til arealbruk. Vindkraft har mindre reduksjon av INON-arealer sammenlignet med storskala vannkraft. Småskala vannkraft påvirker rødlistearter i større grad enn de to andre produksjonene. Det er store individuelle variasjoner mellom prosjektene som har inngått i studiet (vannkraft), noe som indikerer at god planlegging og tilfredsstillende avbøtende tiltak kan redusere miljøvirkninger vesentlig i utvikling av fornybarprosjekt.

Alle fornybarprosjekt påvirker miljøet rundt seg på en eller annen måte. Minimering og avbøting av slike effekter er samfunnsmessig relevant. Et spesifikt fornybarprosjekt kan påvirke rødlistearter mindre enn andre, mens en annen fornybarteknologi kan være et bedre valg om man vil redusere påvirkning på INON-områder. Potensialet for avbøting (enten på stedet eller som offsetting/kompensasjon på andre lokaliteter) kan også variere mellom teknologier. Dagens praksis i Norge med lokal prosess for lokale prosjekt inkludert avgjørelse fra myndighetene kan gi dårligere ressursbruk og miljøvirkninger, også innenfor en gitt teknologi. Et alternativ kan være forespørsler om "det beste fornybarprosjektet uavhengig av teknologi" i en region, gitt at et visst volum av kraft skal utvikles og produseres.

7 Alle utgivelser fra EcoManage

Publikasjon – Energiindikatorer

How methodological issues affect the energy indicator results for different electricity generation technologies

Saur Modahl, Lerche Raadal, Gagnon, Bakken

Energy Policy, 2013

Energy indicators for electricity production

Lerche Raadal, Saur Modahl, Bakken

2012

Brief – Energiindikatorer

Energieffektiv elektrisitetsproduksjon

Bakken, Lerche Raadal, Saur Modahl

2013

Publikasjon – Energiindikatorer / Vannforbruk

Allocation of water consumption in multipurpose reservoirs

Bakken, Saur Modahl, Lerche Raadal, Bustos, Arnøy

Water Policy, 2016

The life-cycle water footprint of two hydropower projects in Norway

Bakken, Saur Modahl, Engeland, Lerche Raadal, Arnøy

Journal of Cleaner Production, 2016

Publikasjon – Vannforbruk

Are reservoirs water consumers or water collectors? Reflections on the water footprint concept applied on reservoirs

Bakken, Kjosavik, Killingtveit, Alfredsen

Water Resource Management, 2015

Water allocation with use of the Building Block Methodology (BBM) in the Godavari Basin, India

Bakken, Skarbøvik, Gosain, Palanisami, Sauterleute, Egeland, Kakumanu, Sekhar, Harby, Tirupataiah, Stålnacke

Journal of Sustainable Development, 2013

Water consumption from hydropower plants – review of published estimates and an assessment of the concept

Bakken, Killingtveit, Engeland, Alfredsen, Harby

Hydrology and Earth System Sciences, 2013

Water consumption from hydropower production: review of published estimates

Bakken, Killingtveit, Engeland, Alfredsen, Harby

Proceedings of H09, IAHS-IAPSO-IASPEI Assembly, 2013

Climate change and increased irrigation demands - what is left for hydropower generation? Results from two semi-arid basins

Bakken, Almestad, Rugelbak, Escobar, Micko, Alfredsen

Energies, 2016

Rapport – Vannforbruk

World Energy Resources - Charting the Upsurge in Hydropower Development

Bakken et al.

World Energy Council, 2015

Publikasjon (proceedings) – Vannforbruk

The effect of change in climate and irrigation practice on the hydropower resources in Kizilirmak River Basin, Turkey
Bakken, Rugelbak, Escobar, Sorman, Alfredsen, Killingtveit
COLD-konferansen, 2015

Publikasjon – Økosystemtjenester

Naturens flomdemping – hva er den økonomiske verdien av økosystemtjenester fra et nedbørfelt?
Barton, Lindhjem
Samfunnsøkonomen nr. 4, 2013

Publikasjon (levert) – Økosystemtjenester

Modelling the effects of alternative mitigation measures on Atlantic salmon production in a regulated river
Bustos, Hedger, Fjeldstad, Alfredsen, Sundt, Barton
Water Resources and Economics, 2015

Publikasjon – Økosystemtjenester / Integrasjon

Using a Bayesian belief network to diagnose significant adverse effect of the EU Water Framework Directive on hydropower production in Norway
Barton, Bakken, Madsen
Journal of Applied Water Engineering and Research, 2016

Rapport – Økosystemtjenester / Integrasjon

Multi-criteria analysis applied to environmental impacts of hydropower and water resources regulation projects
Catrinu-Renström, Barton, Bakken, Marttunen, Mammoliti Mochet, May, Hanssen
2013

Publikasjon – Integrasjon

Impacts from hydropower production on biodiversity in an LCA framework - a review
Gracey, Verones, Hertwich
The International Journal of Life Cycle Assessment, 2015

Demonstrating a new framework for the comparison of environmental impacts from small- and large-scale hydropower and wind power projects
Bakken, Aase, Hagen, Sundt, Barton, Lujala
Journal of Environmental Management, 2014

Brief – Integrasjon

The need for water as energy storage for better integration of renewables
Hülsmann, Harby, Taylor
2015

Publikasjon (skrives) – Energiindikatorer / Vannforbruk

Regionalization of water consumption and the effect on water footprint results for hydropower
Saur Modahl, Lerche Raadal, Bakken

Publikasjon (skrives) – Vannforbruk

The water footprint of hydropower production - state of the art and methodological challenges
Bakken, Killingtveit
Global challenges

Notat – Økosystemtjenester

Multi-kriterie-analyse av restaureringstiltak i Mandalselva – Prosjekt Miljødesign Mandal
Barton
Notat til bruker

Rapport (skrives) – Økosystemtjeneste

Modelling effects of residual discharge regimes and spawning habitat remediation on the Atlantic salmon population in bypasses within the River Mandalselva
Hedger, Bustos, Fjeldstad, Forseth, Barton,
NINA Rapport

Publikasjon (skrives) – Økosystemtjeneste

Land Use and Land Use Change Impacts on Terrestrial Habitats from Hydropower Development in the LCA Framework
Lillesund, Hagen, Michelsen, Foldvik, Barton
The International Journal of Life Cycle Assessment

Publikasjon (skrives) – Økosystemtjeneste/ Integrasjon

Biodiversity offsetting in hydropower: a multi-criteria analysis using Bayesian belief networks
Barton, Sundt, Köhler, Bustos, Hedger, Fjeldstad, Alfredsen, Forseth, Ås, Madsen
Ecosystem Services

Masteroppgave – Vannforbruk

Impacts of Cascade Hydropower Power Plants on the flow of the River System and water level in Lake Turkana in Omo-Ghibe Catchment, Ethiopia
Mamuye Busier Yesuf
NTNU

The Effect of Ethiopian Hydropower Reservoirs on Blue Nile River Flow Regime
Mu-Ez Araya Tefferi
NTNU

Analyse av vannforbruk i Kizilirmak ved bruk av WEAP-modellen
Jørgen Melhuus Rugelbak
NTNU

Evaluation of methods measuring the water consumption of hydropower
Sören Weichert
NTNU

Observation and modelling of evaporation in Norway
Phillip Thumser
NTNU

Modelling of water allocation and availability in Devoll River Basin, Albania
Christian Almestad
NTNU

Environmental flows in Nepal - an evaluation of current practices and analysis of the Upper Trishuli -I Hydroelectric Project
Narayan Hari Rijal
NTNU

Implementation of land use impacts on terrestrial habitats from hydropower production in a LCA framework
Vilde Fluge Lillesund
NTNU

Masteroppgave – Økosystemtjeneste

Modelling the trade-off between the production of Atlantic salmon (*Salmo salar*) and power at Laudal Hydropower plant
Ana Adeva Bustos
NTNU

Masteroppgave – Økosystemtjeneste/Integrasjon

A new approach towards comparing environmental impacts from small-scale hydropower, large-scale hydropower and wind power
Anne Guri Aase
NTNU

Kronikk – Vannforbruk

Demninger er helt nødvendige
Killingtveit, Bakken
Aftenposten Viten

Fotnoter

1 - IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation, 2011

2 - International Commission On Large Dams, World Register of Dams

3 - International Organization for Standardization (ISO), 2006

4 - Hoekstra et al., 2011 - <http://waterfootprint.org/>

5 - ISO 14046, 2014

6 - NVE-rapport nr. 49 2013

7 - OED - Retningslinjer for revisjon av konsesjonsvilkår for vassdrags-reguleringer

NINAs publikasjoner

NINA Rapport

Dette er en elektronisk serie fra 2005 som erstatter de tidligere seriene NINA Fagrapport, NINA Oppdragsmelding og NINA Project Report. Normalt er dette NINAs rapportering til oppdragsgiver etter gjennomført forsknings-, overvåkings- eller utredningsarbeid. I tillegg vil serien favne mye av instituttets øvrige rapportering, for eksempel fra seminarer og konferanser, resultater av eget forsknings- og utredningsarbeid og litteraturstudier. NINA Rapport kan også utgis på annet språk når det er hensiktsmessig.

NINA Kortrapport

Dette er en enklere og ofte kortere rapportform til oppdragsgiver, gjerne for prosjekt med mindre arbeidsomfang enn det som ligger til grunn for NINA Rapport. Det er ikke krav om sammendrag på engelsk. Rapportserien kan også benyttes til framdriftsrapporter eller foreløpige meldinger til oppdragsgiver.

NINA Temahefte

Som navnet angir behandler temaheftene spesielle emner. Heftene utarbeides etter behov og serien favner svært vidt; fra systematiske bestemmelsesnøkler til informasjon om viktige problemstillinger i samfunnet. NINA Temahefte gis vanligvis en populærvitenskapelig form med mer vekt på illustrasjoner enn NINA Rapport.

NINA Fakta

Faktaarkene har som mål å gjøre NINAs forskningsresultater raskt og enkelt tilgjengelig for et større publikum. De sendes til presse, ideelle organisasjoner, naturforvaltningen på ulike nivå, politikere og andre spesielt interesserte. Faktaarkene gir en kort framstilling av noen av våre viktigste forskningstema.

Annen publisering

I tillegg til rapporteringen i NINAs egne serier publiserer instituttets ansatte en stor del av sine vitenskapelige resultater i internasjonale journaler, populærfaglige bøker og tidsskrifter.

ISSN 0804-421X
ISBN 978-82-426-2962-3

Norsk institutt for naturforskning

NINA Hovedkontor

Postadresse: Postboks 5685 Sluppen, NO-7485 Trondheim

Telefon: 73 80 14 00, Telefaks: 73 80 14 01

E-post: firmapost@nina.no

Organisasjonsnummer 9500 37 687

<http://www.nina.no>



Samarbeid og kunnskap for framtidens miljøløsninger