

Notat

Vurdering av klimagassutslipp fra vannkraft til EUs taksonomi

SAKSBEHANDLER / FORFATTER

Atle Harby

	BEHANDLING	UTTALELSE	ORIENTERING	ETTER AVTALE
GÅR TIL				
Energi Norge	X			
PROSJEKTNR / SAK NR	DATO	GRADERING		
502000548	2021-07-02	Åpen		

Bakgrunn

EU kommisjonen publiserte sin pakke for bærekraftig finansiering 21. april 2021 med blant annet "The EU Taxonomy Delegated Act on climate change mitigation and adaptation" med Annex I og Annex II. I Annex I (heretter kalt taksonomien) blir tekniske screeningkriterier for vesentlig bidrag ("substantial contribution") til "climate change mitigation" for vannkraft presentert. Energi Norge har bedt SINTEF Energi om bistand til å avklare og beskrive hvordan selskapene kan dokumentere at de møter de tekniske screening kriteriene. Dette notatet diskuterer og foreslår ulike måter å gjøre dette på.

Norge og alle land som har undertegnet Kyoto-protokollen må rapportere sine klimagassutslipp. I 2019 ble nye retningslinjer for rapportering av utslipp fra flere aktiviteter og områder, inkludert vannkraftmagasiner som er "flooded land", oppdatert gjennom "2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories". Atle Harby har deltatt i dette arbeidet, og anbefalinger i dette notatet bygger mye på arbeidet i IPCC. Miljødirektoratet (personlig kommunikasjon med Kathrine Loe Bjønness) antar at Norge vil starte å rapportere utslipp fra "flooded land" i 2023 eller 2024. Dette notatet kan derfor også være relevant for Miljødirektoratet som har ansvaret for nasjonal rapportering.

Notatet er utarbeidet av SINTEF Energi med gode diskusjoner og innspill fra Vegard Pettersen (Energi Norge), Gaute Egeland Sanda (Statkraft) og Sigve Næss (BKK). SINTEF Energi står ansvarlig for teksten og alle anbefalinger. Notatet er kvalitetssikret av Ingrid Vilberg.

Konklusjoner og anbefalinger

Vi gir her noen konklusjoner og anbefalinger, samt et forslag til trinnvis metode for bruk av kriteriene. Konklusjonene bygger på prinsipper brukt i IPCC og oppdaterte internasjonale publikasjoner innen klimagassutslipp fra magasin, samt skjønnsmessige vurderinger av notatets forfatter. Klimagassutslipp fra bygging og drift av vannkraftanlegg er ikke omtalt, det er kun utslipp fra magasiner som belyses i dette notatet.

- Når taksonomien skal tas i bruk, anbefaler vi først å sjekke om det aktuelle kraftverket er et **elvekraftverk** ("run-of-river"). Vi anbefaler å definere elvekraftverk som kraftverk med ovenforliggende magasin med mindre lagringskapasitet enn døgnmiddelvannføringen. Dersom det ikke er et elvekraftverk etter denne definisjonen, anbefaler vi å beregne "**power density**". Dersom "power density" faller under 5 W/m^2 , anbefaler vi å beregne livsløpsutslipp ved hjelp av **G-res Tool**.
- Vi anbefaler å bruke **netto areal av magasin** for beregning av "power density". Netto areal beregnes ved å trekke fra arealet av tidligere innsjø og/eller elv før magasinet ble etablert. Gamle flyfoto, Norge i bilder eller andre kilder kan brukes til å finne tidligere areal. NVE har også data på enkelte anlegg i Norge. Dersom det er vanskelig å finne data for dette, kan man bruke hele arealet for magasinet, inkludert det som naturlig var dekket av vann før magasinet ble etablert. Dette betegnes som brutto areal. For en god del kraftverk i Norge vil selv brutto areal gi en "power density" på over 5 W/m^2 . Det kan derfor være tidsbesparende å regne ut "power density" basert på brutto areal så fremt man ikke har netto areal lett tilgjengelig.
- Ved bruk av livsløpsanalyser for beregning av utslipp med **G-res Tool** eller andre metoder, anbefaler vi å skille mellom utslipp av metan og CO_2 . Ifølge IPCC skal metanutslipp regnes for **hele arealet (brutto areal)** av magasinet for både nye magasin og over 20 år gamle magasin. For CO_2 -utslipp skal man bare regne dette for magasin nyere enn 20 år. I magasin eldre enn 20 år regnes alle CO_2 -utslipp som en del av den naturlige karbonsyklusen, og skal ikke regnes med i utslippsberegninger. For beregning av CO_2 -utslipp anbefaler vi å bruke **netto areal**. Dette er innebygd i G-res Tool.
- For **systemgrenser** anbefaler vi at grensene settes til nedbørfelt inkludert overføringer fra nabofelt for et system av vannkraftverk, magasiner og overliggende nedbørfelt. Dersom det ikke er noen nedstrøms kraftverk eller magasin, kan systemgrensene settes til delnedbørfelt. Dette innebærer også at kraftselskap må samarbeide i nedbørfelt med flere regulanter.
- **Elvekraftverk** som ligger i system med et eller flere andre kraftverk og magasin, bør imidlertid analyseres sammen med andre kraftverk og magasin. Vi anbefaler da at slike elvekraftverk inngår i beregning av installert effekt for "power density"-metoden, og i metoder for å beregne utslipp pr kWh.
- Vi anbefaler at eventuelle **pumpekraftverk** evalueres under aktivitet 4.5 ("electricity generation from hydropower"). Disse vil da også inngå i beregning av installert effekt i nedbørfeltet innenfor systemgrensene. Installert effekt for produksjon av strøm (turbinmodus) må da brukes. Frittstående pumpekraftkraftverk uten tilsig fra, eller avløp til andre kraftverk kan evalueres under aktivitet 4.10 ("storage of electricity") der det ikke settes kriterier for klimagassutslipp, men kun krav til "do no significant harm".
- Der det blir behov for **beregning av klimagassutslipp**, anbefaler vi bruk av G-res Tool. Det må da beregnes utslipp for hvert enkelt magasin innenfor systemgrensene. Det kan være et alternativ å gjennomføre en beregning av et visst antall typiske magasin, der resultatene kan overføres til lignende magasin. Det er mulig å beregne utslipp pr m^2 for noen typiske magasin som karakteriseres med for eksempel høyde over havet, klimasone, aktivitet i nedbørfeltet, driftsmønster, oppholdstid, trofisk nivå, osv. Man kan da overføre resultatene til lignende magasin innen systemgrensene og summere utslipp for alle magasiner.

Forslag til trinnvis metode for beregninger av klimagassutslipp

- 1) Bestem systemgrenser som fortrinnsvis inkluderer alle magasin og kraftverk i samme vassdrag, inkludert overføringer. Dette kan innebære samarbeid mellom flere regulanter. I vassdrag der det er flere regulanter, er det som regel en brukseierforening som kan koordinere dette.
- 2) Beregn så installert effekt (W) og areal (m^2) fra alle magasin og kraftverk i samme vassdrag, inkludert overføringer og eventuelle pumpekraftverk. I første omgang kan totalt areal brukes, altså brutto areal. Der man kommer over $5 W/m^2$ for systemet er dette tilstrekkelig rapportering.
- 3) Der man faller under $5 W/m^2$, bør netto areal beregnes slik at arealer som var innsjø eller elv før neddemming, trekkes fra i beregning av "power density". Hvis man da kommer over $5 W/m^2$, er dette tilstrekkelig rapportering.
- 4) Der man fortsatt faller under $5 W/m^2$, bør G-res Tool brukes for hvert magasin, eventuelt ved hjelp av overføring av resultater fra andre magasin der G-res Tool er brukt. Totale utslipp fra alle magasin fordeles deretter på alle kraftverk i systemet etter produksjonen (GWh) i hvert kraftverk. Vær oppmerksom på at resultatene må verifiseres.

En slik trinnvis gjennomgang av alle magasin og kraftverk for et kraftselskap kan gjøres av kraftselskapet selv, av konsulenter eller andre oppdragstakere, eller i regi av myndighetene. Der man har interesse og kapasitet til å gjøre dette i kraftselskapene, anbefaler vi å gjøre dette. En mulighet kan være å engasjere SINTEF Energi eller andre med kompetanse som rådgivere til dette arbeidet. Det kan også være en mulighet å søke finansiering gjennom et anvendt forskningsprosjekt. Dersom G-res Tool eller andre metoder innen livsløpsanalyse ("life-cycle GHG emissions", kriterie (c) i taksonomien) tas i bruk, er det et krav om verifisering av en uavhengig tredjepart. The International Hydropower Association (IHA) tilbyr slik verifisering ved bruk av G-res Tool. Vi antar også at konsulenter og andre som har gjennomgått kurs eller deltatt i arbeidet ved utvikling av G-res Tool kan verifisere bruken.

EUs taksonomi for bærekraftig finansiering

Under kapittel 4.5 "Electricity generation from hydropower" i EUs taksonomi heter det:

"The activity complies with either of the following criteria:

- a) the electricity generation facility is a run-of-river plant and does not have an artificial reservoir
- b) the power density of the electricity generation facility is above $5 W/m^2$
- c) the lifecycle GHG emissions from the generation of electricity from hydropower, are lower than $100gCO_2e/kWh$. The lifecycle GHG emissions are calculated using Recommendation 2013/179/EU or, alternatively, using ISO 14067:2018, ISO 14064-1:2018 or the G-res tool. Quantified life-cycle GHG emissions are verified by an independent third party."

Under kapittel 4.10 "Electricity storage" i EUs taksonomi heter det: "Construction and operation of facilities that store electricity and return it at a later time in the form of electricity. The activity includes pumped hydropower storage."

Videre er det her beskrevet at pumpekraft med tilsig har de samme "Do No Significant Harm (DNSH)" kriteriene som for vannkraft gitt i kapittel 4.5. Det er ingen kriterier knyttet til klimagassutslipp for pumpekraft, som sorterer under kapittel 4.10. Norge har ikke mange pumpekraftverk, og de fleste av disse er integrert i et større vannkraftsystem. Det er derfor naturlig at kun enkeltstående pumpekraftverk evalueres under kapitel 4.10, mens pumpekraftverk som er en del av et større system evalueres under kapitel 4.5.

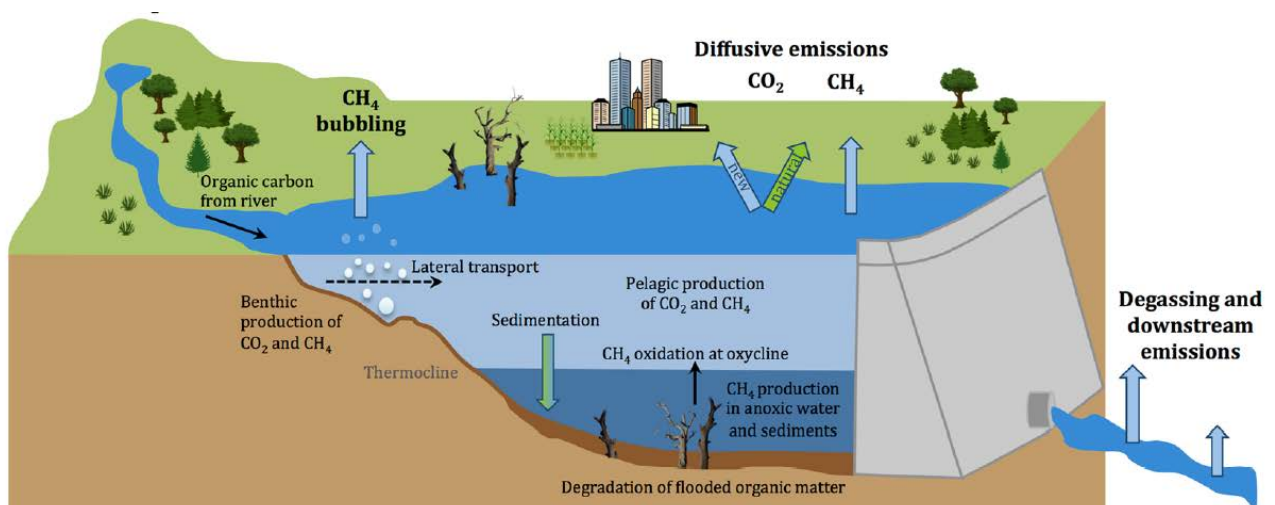
Klimagassutslipp fra vannkraft

Klimagassutslipp fra bygging og drift av vannkraftanlegg og utslipp forbundet med produksjon av utstyr og komponenter kan kvantifiseres gjennom livsløpsanalyser og bruk av databaser eller måledata slik det også gjøres for de fleste andre typer bygg og infrastruktur. Hovedutfordringen for vannkraft er imidlertid mulige klimagassutslipp fra magasiner. Det er kun utslipp fra magasiner som belyses i dette notatet.

Organisk materiale som er tilført fra nedbørfeltet eller gjennom prosesser i magasinet, brytes ned og slippes tilbake til atmosfæren som CO₂. Dette er en del av den naturlige karbonsyklusen, og slike utslipp ville ha skjedd et annet sted i systemet hvis magasinet ikke var der. Noe ekstra CO₂ kan slippes ut når nye områder settes under vann ved mobilisering av karbonkilder lagret i jordsmonnet. Det er også mulig at netto effekt av neddemming kan redusere utslipp dersom området før neddemming var en karbonkilde som for eksempel rismarker. Se figur 1 som illustrerer ulike prosesser og utslipp fra magasiner.

Dersom nedbryting av organisk materiale skjer i anoksiske miljø (mangel på oksygen), blir det organiske materialet brutt ned til metan i stedet for CO₂. Mange magasin og naturlige innsjøer har anoksiske forhold i områder nært bunnen, men metan kan lett omdannes til CO₂ hvis den passerer gjennom om lag 10 m med oksygenrikt vann. Dette betyr at det er mer sannsynlig at grunne områder med stillestående vann produserer metan, noen ganger også i form av såkalt bobling. Når inntak for vannkraftverk er lokalisert i en anoksiske sone i magasinet, er det mulig at metan kan trekkes gjennom turbinene og slippes ut til atmosfæren nedstrøms kraftverket.

Mange studier hevder å vise at vannkraft har betydelig klimagassutslipp, hovedsakelig på grunn av utslipp fra magasiner eller såkalt avgassing fra nedstrøms reservoarer. Imidlertid tar mange studier ikke hensyn til netto utslipp fra magasinet der naturlige utslipp skal trekkes fra. Annen menneskeskapt aktivitet kan forårsake utslipp, for eksempel industri, landbruk eller husholdninger oppstrøms eller direkte knyttet til magasinet. Mange magasin brukes også til mer enn vannkraft, slik at utslipp bør fordeles på flere aktører. Disse faktorene bør tas i betraktning ved evaluering av klimagassutslipp fra vannkraft. Beregningsmetoder som fokuserer på hva atmosfæren "ser" (Prairie et al 2017a) og som gir mulighet til å trekke fra utslipp som ellers ville ha funnet sted (IPPC 2019), er nå anerkjent og brukes blant annet i verktøyet G-res Tool (Prairie et al 2017b, IHA 2021).



Figur 1. Prosesser og utslippsveier for klimagasser i magasin (fra Prairie et al 2017a).

Flere studier forsøker å anslå samlede klimagassutslipp fra vannkraft, men det er stor spredning av resultater (Barros et al., 2011; Bastviken et al., 2011; Deemer et al., 2016; Hertwich, 2013; St. Louis et al., 2000; Rosentreter et al., 2021). Nye studier av IHA (IHA 2018) estimerer globale utslipp til 18,5g CO₂-eq/kWh fra vannkraft, men Harrison et al (2021) mener nye beregninger viser at globale utslipp er 29 prosent høyere enn tidligere antatt. For norsk vannkraft er klimagassutslipp estimert til 3,33 g CO₂-eq/kWh, der 2,11g CO₂-eq/kWh knyttes til utslipp fra magasiner (Silva and Modahl 2019).

Systemgrenser

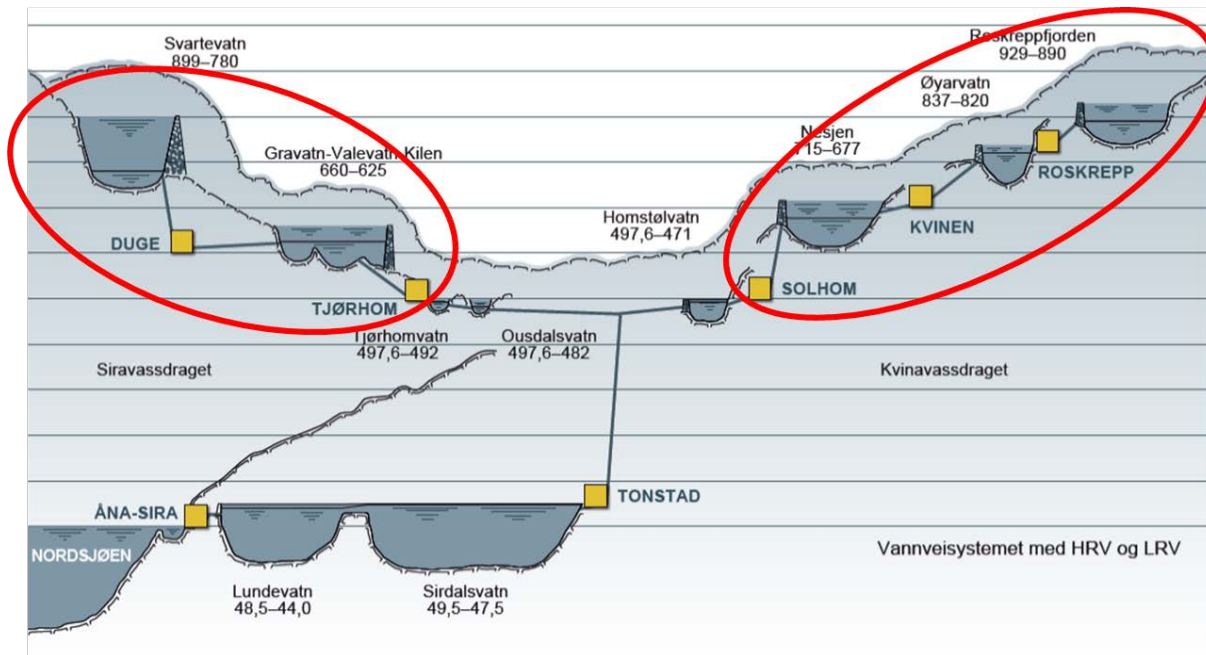
Det er viktig å sette fornuftige systemgrenser ved bruk av taksonomien. Dette gjelder både dersom man skal beregne "power density", og når man skal beregne klimagassutslipp fra et vannkraftverk med livsløpsanalyser. Det er et viktig element av livsløpsanalyser å bestemme systemgrenser, og dette er også reflektert i ISO-standardene ISO 14067:2018 og ISO 14064-1:2018, samt i G-Res Tool. Det er forholdsvis ukomplisert å sette systemgrenser for bygg og infrastruktur i seg selv, men det er mer utfordrende å bestemme for eksempel hvilke og hvor mange magasin som hører til hvilke kraftverk i et utbygd vassdrag med flere magasiner, overføringer og kraftverk.

Figur 2 viser en skjematisk framstilling av magasin, kraftverk og overføringer i Sira-Kvina systemet. Det vil være mulig å sette systemgrenser for øvre deler av både Sira- og Kvina-vassdraget, som skissert med røde sirkler i figur 2. Kriteriene for karbonutslipp i taksonomien skal gi et mål på mengden karbonutslipp fra kraftverket sammenlignet med størrelsen på eller produksjonen fra kraftverket. Det er derfor ikke logisk at bare de små magasinene i Tjørhomvatn, Ousdalsvatn og Homstølvatn skal regnes som magasin for Tonstad kraftverk, siden de store reguleringsmagasinene (Svartevann, Roskrepp, m.fl.) lenger oppstrøms i systemet også reguleres for kraftproduksjon i Tonstad. Lundevann og Sirdalsvann har begge store brutto areal og forholdsvis lite netto areal. Selv ved å bruke netto areal, vil Åna-Sira kraftverk få en lav "power density". For dette eksemplet fra Sira-Kvina, vil det være naturlig å slå sammen alle magasin og alle kraftverk i hele systemet uten å dele inn i to eller flere vassdragsdeler.

For eksemplet i figur 2 er det Sira-Kvina kraftselskap som driver alle anleggene. I virkeligheten er det også noen få mindre kraftverk i både Sira- og Kvina-vassdraget, men dette har vi sett bort fra for å illustrere systemgrenser. En mulig utfordring kan være dersom flere ulike selskap har reguleringsanlegg i samme vassdrag. Dersom disse benytter helt eller delvis de samme magasin, blir det nødvendig med et samarbeid på tvers av selskaper.

Det vil være naturlig å beregne utslipp fra alle magasin i et regulert vassdrag og fordele utslipp på alle kraftverk som disse magasinene forsyner med vann. Den mest åpenbare måten å fordele utslipp på vil være å fordele den forholdsmessig etter kraftproduksjonen i hvert enkelt kraftverk. Dette må da også gjelde utslipp knyttet til bygging og vedlikehold av konstruksjoner, vannveier og komponenter i hele vassdraget. Det kan vurderes å beregne utslipp fra bygging, vedlikehold og komponenter i hvert enkelt kraftverk for seg, men det er da viktig å klargjøre hvor for eksempel grenser mellom utslipp fra tunnelsystemet, trykksjakt og maskiner og utstyr, går.

En del vassdrag har småkraftverk og elvekraftverk i mindre sidevassdrag som ikke har ovenforliggende magasin. Disse bidrar trolig lite til totalt installert effekt i et nedbørfelt, og de har som regel små eller ingen magasin. Det er derfor ikke hensiktsmessig å inkludere disse i beregningene, og de vil normalt oppfylle kriteriene enten som elvekraftverk eller ha en høy "power density", ved at de har relativt lite magasinareal sammenlignet med installert effekt.



Figur 2. Eksempel på hvordan systemgrenser kan settes i Sira-Kvina. Dersom man ikke inkluderer magasin og kraftverk i de røde sirklene for beregning av "power density" eller ved bruk av G-res Tool for Tonstad og Åna-Sira kraftverk, vil resultatene ikke reflektere klimagassutslipp som tar hensyn til hvordan magasin og kraftverk reguleres og driftes. Legg også merke til at Duge er et pumpekraftverk som er en del av hele Sira-Kvina systemet.

Pumpekraftverk med tilsig faller innenfor både aktivitet 4.5 (vannkraft) og aktivitet 4.10 (lagring av elektrisitet) i taksonomien. Alle norske pumpekraftverk har tilsig, og er i stor grad del av et større system med andre kraftverk. Det kan også her være utfordrende å sette systemgrenser, på samme måte som for konvensjonelle kraftverk. I de fleste tilfeller er det naturlig å regne pumpekraftverket inn som en del av hele vassdraget slik som i eksempelet vist over for Sira-Kvina (Duge er for eksempel et pumpekraftverk). Dersom det er snakk om et rent pumpekraftverk som ikke er en del av et større system med andre kraftverk, kan systemgrensene eventuelt settes til begge magasin og selve kraftverket. I tillegg vil det være utfordringer med å beregne klimagassutslipp da det ikke finnes målinger eller gode beregninger av klimagassutslipp fra pumpekraftverk. Såkalte indirekte utslipp, for eksempel utslipp knyttet til elektrisitet for å pumpe, skal også inkluderes ifølge ISO-standardene og praksis for livsløpsanalyser.

Magasinstørrelse

I de fleste beregninger både for "power density" og livsløpsanalyser vil det være behov for å definere størrelsen eller arealet på berørte magasin. Mange vannkraftmagasiner var opprinnelig en eller flere innsjøer før de ble tatt i bruk til magasin. I IPCC-rapporten "2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories" heter det:

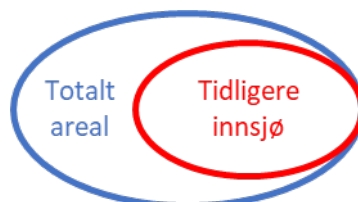
"Flooded Lands are defined in the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (Wetlands) as water bodies where human activities have caused changes in the amount of surface area covered by water, typically through water level regulation. Here, we also consider: i) waterbodies where human activities have changed the hydrology of existing natural waterbodies thereby altering water residence times and/or sedimentation rates, in turn causing changes to the natural flux of greenhouse gases, and ii) waterbodies that have been created by excavation, such as canals, ditches and ponds. Flooded Lands include waterbodies with seasonally variable degrees of inundation, but would be expected to retain some inundated area throughout the year under normal conditions."

Dette betyr at både magasin som er laget ved neddemming av land og såkalte senkningsmagasin som ikke har økt arealet til tidligere innsjø, i utgangspunktet skal regnes med. Det er ulike regler for metan og CO₂, noe som henger sammen med at den kan forekomme metanutslipp fra vannkraftmagasiner i hele levetiden, mens CO₂-utslipp som skyldes menneskelig aktivitet stort sett bare foregår i de første årene et magasin etableres. IPCC definerer nye eller unge magasin som magasin som er under 20 år gamle – definert som "Land Converted to Flooded Land". Over 20 år gamle magasin er definert som "Flooded Land Remaining Flooded Land" av IPCC.

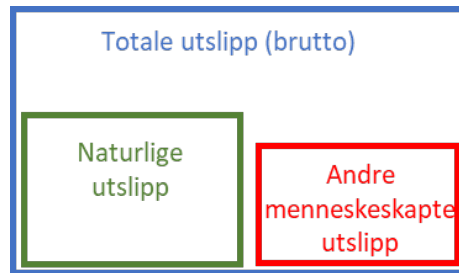
Ifølge IPCC skal metanutslipp regnes for hele arealet (brutto areal) av magasinet for både nye magasin og over 20 år gamle magasin. For CO₂-utslipp, skal man bare regne dette for magasin nyere enn 20 år. I magasin eldre enn 20 år regnes alle CO₂-utslipp som en del av den naturlige karbonsyklusen, og skal ikke regnes med i utslippsberegninger.

For andre aktiviteter som rapporteres i nasjonale klimagassregnskap, anbefaler IPCC en metodikk som kalles "managed land proxy". Denne metodikken regner alle utslipp fra en aktivitet som menneskeskapt når et område blir tatt i bruk, for eksempel til skogsdrift, landbruk eller urbanisering. Denne metodikken passer dårlig for aktiviteter knyttet til vann, ettersom vannet i seg selv kan transportere organisk materiale, karbon og klimagasser mellom ulike områder og aktiviteter. De fleste naturlige og uberørte ferskvannssystemer slipper også ut klimagasser, som da tilbakeføres til atmosfæren som en del av den korte karbonsyklusen.

IPCC har derfor tillatt to metoder for beregning av klimagassutslipp fra "Flooded land", som åpner for å bruke enten brutto eller netto areal av vannkraftmagasin. Det er også tillatt å trekke fra utslipp som ikke skyldes neddemming av land, noe som vil gi netto utslipp. Med netto utslipp har man da først bare regnet med utslipp fra netto areal, og så i tillegg trukket fra utslipp som stammer fra annen aktivitet som for eksempel jordbruk, skogsdrift, industri eller urbane områder. Dette vil også hindre dobbelttelling, da for eksempel landbruksvirksomhet i nedbørfeltet allerede må rapportere sine utslipp. I tillegg til disse to netto-prinsippene, er det også mulig å fordele utslippet på de aktivitetene som benytter seg av magasinet. Dette kan være andre formål som irrigasjon, drikkevannsforsyning, flomdemping eller andre tjenester i tillegg til vannkraft. De fleste fagmiljøer anbefaler sterkt å benytte disse netto-beregningene som dermed korrigerer arealet man bruker beregninger, trekker fra andre menneskeskapt utslipp, og fordeler de faktiske utslipp på aktiviteter som benytter magasinet. Dette tredoble netto-prinsippet anbefales også av SINTEF Energi for livsløpsanalyser. Ved beregning av "power density" er det kun nødvendig å ta hensyn til netto areal, mens netto utslipp og fordeling av utslipp i forhold til aktivitet ikke spiller noen rolle. Hvilke prinsipp som ligger til grunn for beregningene vil ha stor betydning for norsk vannkraft. Figur 3 viser en liten skisse som forklarer netto og brutto areal, mens figur 4 viser en skisse av hvordan netto og brutto utslipp henger sammen med naturlige og menneskeskapt utslipp.



Figur 3. Skisse av et magasin der tidligere innsjø er en del av arealet. Netto areal er totalt areal minus arealet av tidligere innsjø. For beregning av "power density" anbefaler vi å bruke netto areal. I livsløpsanalyser skal totalt areal legges til grunn for beregninger av metanutslipp, mens det for magasin yngre enn 20 år skal beregnes utslipp av CO₂ fra totalt areal minus arealet av tidligere innsjø.



Figur 4. Skisse av klimagassutslipp fra magasiner. For beregning av netto utslipp både av metan og CO₂, skal naturlige og andre menneskeskapt utslipp trekkes fra de totale utslippene. Dette gjelder både for metan og CO₂. Merk at CO₂ skal neglisjeres i magasin som er over 20 år gamle.

Beregningsmetoder

Taksonomien fastsetter flere ulike beregningsmetoder for å dokumentere at klimagassutslipp ikke overskrider grenser for det som regnes som bærekraftig. Vi vil her diskutere kort de ulike metodene og komme inn på utfordringer og mulige løsninger knyttet til ulike problemstillinger for hver metode.

Run-of-river plant

Det er ikke behov for å dokumentere utslipp fra elvekraftverk, ettersom de ifølge taksonomien ikke har et magasin. Det er imidlertid uklart hvordan et elvekraftverk defineres. En vanlig definisjon er et kraftverk med inntaksbasseng som har mindre lagringskapasitet enn døgnmiddelvanntilføringen inkludert overføringer og fraføringer, altså som i gjennomsnitt kan lagre vann inntil 24 timer. Mange steder kan imidlertid dette variere mye gjennom året. Videre er det for eksempel mange elvekraftverk i nedre deler av regulerte vassdrag som også drar stor nytte av magasiner som ligger høyere opp i vassdraget som forsyner flere kraftverk med vann. Det er liten grunn til å tro at elvekraftverk bidrar til betydelige menneskeskapt utslipp. Siden de fleste elvekraftverk i Norge befinner seg i vassdrag med reguleringsanlegg oppstrøms, anbefaler vi at disse overliggende anleggene inngår i beregninger av installert effekt og neddemmet areal sammen med resten av anleggene i vassdraget eller vassdragsdelen man har definert innenfor systemet (se avsnitt om systemgrenser).

Power density of the electricity generation facility is above 5 W/m²

Den såkalte "power density" har ingen direkte årsakssammenheng til klimagassutslipp fra magasiner. Det er imidlertid slik at små magasin med kort oppholdstid ofte har lavere klimagassutslipp enn store magasin med lang oppholdstid. Det er også ofte slik at kraftverk med høy installert effekt også har stor vannføring, slik at vannet for kort oppholdstid i magasinet, spesielt dersom magasinet ikke er stort. Begge disse forholdene vil gi en høy "power density", og det er et forenklet måltall som er brukt i mange sammenhenger. Utfordringen er også her systemgrensene, og det vil være mest naturlig å beregne "power density" for et helt vassdrag med flere magasin og kraftverk. Det er også en utfordring å finne arealet som skal brukes, men det anbefales å bruke kun neddemmet areal (netto areal, se avsnitt om "magasinstørrelse"). Dersom det ikke er mulig å finne arealet før neddemming, kan også brutto areal brukes. Ved bruk av brutto (totalt) areal, vil selvsagt nevner i brøken W/m² bli større, og dermed "power density" lavere. Både bruk av brutto og netto areal vil være i tråd med IPCC-rapporten "2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories".

Life cycle GHG emissions: Recommendation 2013/179/EU, ISO 14067:2018, ISO 14064-1:2018

Denne "Recommendation" og begge ISO-standardene gir generelle retningslinjer for prinsipper, metodologi, systemgrenser, rapportering og en rekke andre generelle faktorer for rapportering og deklarerer av klimagassutslipp. De gir ingen direkte anvendbar metodikk for beregning av utslipp fra vannkraft eller magasiner, men gir definisjoner og prinsipper for dette. Vi anbefaler ikke bruk av disse

retningslinjer eller standarder alene, men det er selvsagt nødvendig å følge prinsipper i disse. Etter vår vurdering ser de ut til å samsvare med generelle livsløpsanalyser og bruk av G-res Tool.

Life cycle GHG emissions: G-res Tool

G-res Tool er et beregningsverktøy for klimagassutslipp fra magasiner som bruker empiriske data for målte utslipp sammen med en rekke fysiske og kjemiske karakteristikker for disse magasinene. Modellen er utviklet for International Hydropower Association (IHA) av Yves Prairie og Sara Mercier-Bias ved University of Montreal, Jukka Alm ved Natural Resources Institute Finland (LUKE) og Atle Harby fra SINTEF Energi. Flere andre forskere og brukere har bidratt til testing, dokumentasjon og videreutvikling av modellen. Den er også brukt til å beregne utslippsfaktorer i "2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories". Modellen gir som regel gode resultater som er sammenlignbare med målinger der dette er gjort, men vi forventer ikke at G-res Tool gir gode resultater i magasiner med karakteristika som ligger utenfor det omfattende datamaterialet som er brukt til å lage modellen. Vi forventer imidlertid at resultatene for de aller fleste norske magasin blir gode, dog trolig noe overestimert. Dette henger sammen med at dokumenterte utslipp fra norske magasin (Silva and Modahl 2019) er blant de laveste som er brukt i det empiriske grunnlaget for G-res Tool. Det er likevel ikke forventet at feilen blir stor, og for enkelte magasin er det mulig at G-res Tool både over- og underestimerer de faktiske utslipp. Det er bare grundige målinger av reelle utslipp som kan beregne dette mer korrekt.

G-res Tool er laget for å beregne utslipp fra et forenklet system som har ett magasin og ett tilhørende kraftverk. Dette er gjort slik siden mye av datagrunnlaget gjelder ett magasin, selv om det i mange tilfeller kan komme fra magasin som har overføringer både fra og til andre magasin.

Ved bruk av G-res Tool for beregning av klimagassutslipp i vassdrag med flere magasin og flere kraftverk, bør man først beregne utslipp fra hvert enkelt magasin. Det må imidlertid gjøres vurderinger om såkalte nedstrøms utslipp og avgassing påvirker magasin lenger nedstrøms i vassdraget. Det kan spesielt være viktig i vassdrag med magasin som ligger nært hverandre og nødvendig der utløp av kraftverk går direkte til inntaksmagasinet til neste nedstrøms kraftverk.

Dersom G-res Tool eller andre metoder innen livsløpsanalyse ("life-cycle GHG emissions", kriterie (c) i taksonomien) tas i bruk, er det et krav om verifisering av en uavhengig tredjepart. Det er ikke gitt retningslinjer i taksonomien om hvordan en slik verifisering skal foregå. The International Hydropower Association (IHA) tilbyr kurs i G-res Tool, og de tilbyr også tredjeparts verifisering av resultater fra analyser og beregninger med bruk av G-res Tool. En slik verifisering følger noen standard retningslinjer og koster 750 GBP for hvert magasin. Vi antar også at konsulenter og andre som har gjennomgått kurs eller deltatt i arbeidet ved utvikling av G-res Tool kan verifisere bruken.

Referanser

Barros, N., Cole, J. J., Tranvik, L. J., Prairie, Y. T., Bastviken, D., Huszar, V. L. M., et al. 2011. Carbon emission from hydroelectric reservoirs linked to reservoir age and latitude. *Nature*.

Bastviken, D., Tranvik, L. J., Downing, J. A., Crill, P. M., & Enrich-Prast, A. 2011. Freshwater methane emissions offset the continental carbon sink. *Science*. <https://doi.org/10.1126/science.1196808>.

Deemer, B. R., Harrison, J. A., Li, S., Beaulieu, J. J., DelSontro, T., Barros, N., et al. 2016. Greenhouse gas emissions from reservoir water surfaces: A new global synthesis. *BioScience*.

Hertwich, E. G. (2013). Addressing biogenic greenhouse gas emissions from hydropower in LCA. *Environmental Science and Technology*, 47(17), 9604–9611.

IHA: <https://g-res.hydropower.org/>

IHA. 2018 Hydropower Status Report. <https://www.hydropower.org/publications/2018-hydropower-status-report>

IPCC 2019, 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Calvo Buendia, E., Tanabe, K., Kranjc, A., Baasansuren, J., Fukuda, M., Ngarize, S., Osako, A., Pyrozhenko, Y., Shermanau, P. and Federici, S. (eds). Published: IPCC, Switzerland.

Prairie, Y., Alm, J., Beaulieu, J., Barros, N., Battin, T., Cole, J., del Giorgio, P., DelSontro, T., Guérin, F., Harby, A., Harrison, J., Mercier-Blais, S., Serça, D., Sobek, S. & Vachon, D. (2017a). Greenhouse Gas Emissions from Freshwater Reservoirs: What Does the Atmosphere See? *Ecosystems*.

Prairie, Y., Alm, J., Harby, A., Mercier-Blais, S. & Nahas, R. (2017b). The GHG Reservoir Tool (G-res) Technical documentation, UNESCO/IHA research project on the GHG status of freshwater reservoirs. Version 1.12. In: p. 76

Rosentreter, J. A., Borges, A. V., Deemer, B. R., Holgerson, M. A., Liu, S., Song, C., et al. 2021. Aquatic ecosystems are highly variable sources contributing half of the global methane emissions. *Nature Geoscience*. [https://doi.org/https://doi.org.10.1038/241561-021-00715-2](https://doi.org/10.1038/241561-021-00715-2)

Silva, M. and Modahl, I.S. 2019. The inventory and life cycle data for Norwegian hydroelectricity. AR 01.19 Open memo, Østfoldforskning.

St. Louis, V. L., Kelly, C. a., Duchemin, É., Rudd, J. W. M., & Rosenberg, D. M. 2000. Reservoir surfaces as sources of greenhouse gases to the atmosphere: A global estimate. *BioScience*, 50(9), 766–775. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2000\)050\[0766:RSASOG\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2000)050[0766:RSASOG]2.0.CO;2).