

# EFFEKT AV REGULERINGEN PÅ HYDROLOGIEN I NÆRØYDALSVASSDRAGET

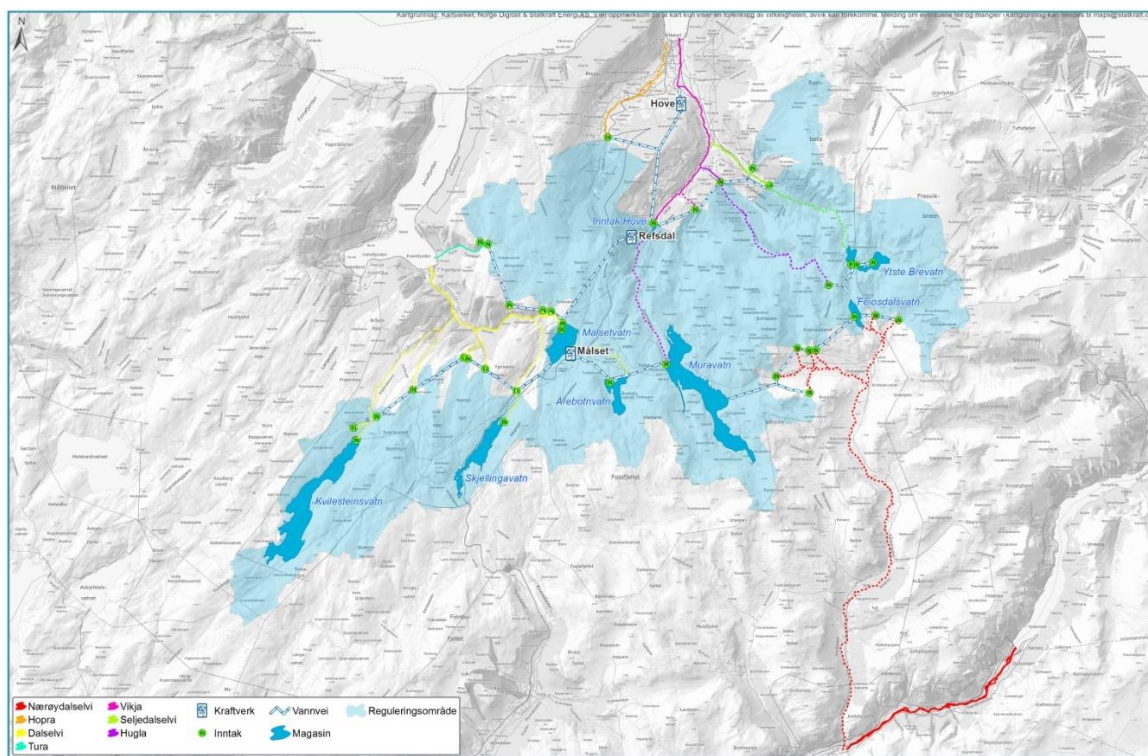
TIL: NVE v/Ingrid Haug

FRA: Statkraft Energi AS v/ Asgeir Petersen-Øverleir      SIGN.:

DERES REF.:      VÅR REF.:      DATO:  
201500408      201500408      28.08.2023

## Innledning

Arnafjord- og Vik reguleringen omfatter i alt fem vassdrag som drenerer til hav. Disse vises i figur 1, og er Dalselvi, Tura, Hopra, Vikja og Nærøydalselvi. Til hav representerer disse vassdragene et samlet tilsig fra et feltareal på omtrent 557 km<sup>2</sup>. Av dette fraføres ca. 207 km<sup>2</sup> fra sine naturlige vannveier og tilhørende avrenning, før det kjøres gjennom ett eller flere av de tre kraftverkene i reguleringen.



Figur 1. De berørte elvestrekninger i Arnafjord Vik reguleringen. De røde linjene viser strekninger for Nærøydalselvi. De stiplede linjene viser berørte strekninger fra inntakene i Vikadalen ned Jordalselvi til denne møter Nærøydalselvi. Nærøydalselvi er den heltrukne røde linjen. Kart: Statkraft Energi AS.

Innenfor hvert av disse vassdragene er de enkelte elvestrekningene påvirket av reguleringen i varierende grad. Nærøydalsvassdraget er minst påvirket. Det drenerer naturlig et felt på ca. 293 km<sup>2</sup> målt ved utløp hav. Fra dette feltet fraføres et areal på ca. 16.6 km<sup>2</sup>. Altså er Nærøydalsvassdraget som helhet ikke vesentlig berørt av reguleringen. Men betrakter man bielven Jordalselvi som er direkte berørt av fraføringen, har denne et feltareal på ca. 110 km<sup>2</sup> ved utløp Holmen småkraftverk, og er derfor relativt

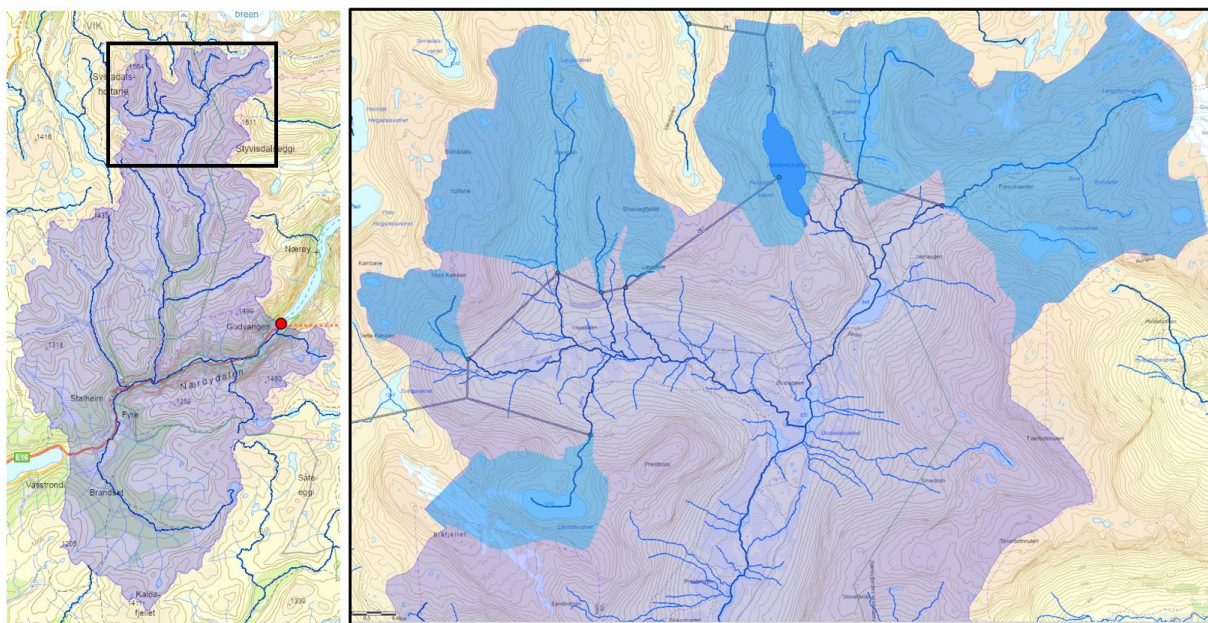
sett mer berørt av reguleringen enn hovedvassdraget. Men selv her er andelen uregulert felt relativt mye større enn fraføringen. Et naturlig spørsmål er da om det er spesielle perioder eller situasjoner der det fraførte feltet ville hatt større signifikans for vannføringen lengre ned i vassdraget?

Hydrologikapitlet i revisjonsdokumentet er hovedsakelig tuftet på NVEs gjeldende mal for revisjonsdokument. Beskrivelse av utbyggingen og hydrologiske grunnlagsdata er her stort sett sentrert rundt aktuelle middel-, lav- og restvannføringer. Periodeperspektivet er stort sett årlig, men i noen tilfeller legges en sommer-/vinterperiode betraktning til grunn.

For å få et nærmere innblikk i enkelte effekter av reguleringen er det nødvendig å øke oppløsningen i tid og rom. I dette notatet ser man nærmere på effekten av de fraførte feltene på hydrologien i Nærøydalsvassdraget. Dette medfører en utvidet analyse på endringer i feltkarakteristika, og hvilke endringer i avrenning dette medfører under forskjellige avrenningssituasjoner.

## Nærmere beskrivelse av fraføringene i Nærøydalsvassdraget

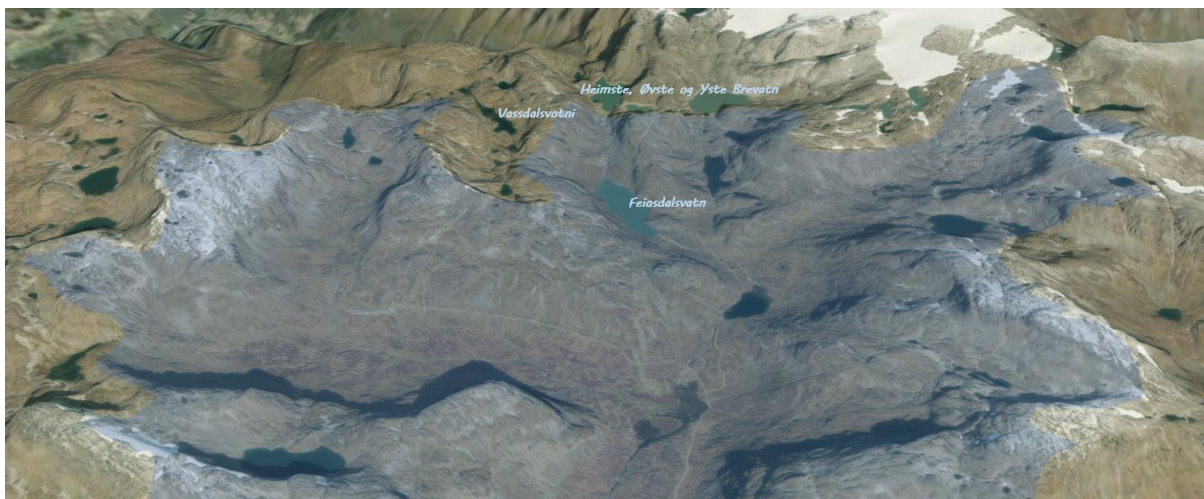
Figur 2 viser beliggenhet til inntak og tunneller samt de berørte avrenningsfeltene. Uavhengige uttak i NEVINA antyder at arealet til de fraførte delene varierer mellom 16.5 og 17.0 km<sup>2</sup>. Heretter legges arealet som ble funnet under utarbeidelse i revisjonsdokumentet fra 2019 til grunn, 16.6 km<sup>2</sup>. Naturlig felt til Nærøydalsvassdraget ved utløp hav som vist i figur 2 har et areal på ca. 293 km<sup>2</sup>. Dette betyr at omtrent 5.7 % av nedslagsfeltet er berørt av fraføringene.



Figur 2. Naturlig felt for Nærøydalsvassdraget ved utløp hav (ved E16 Ramsøybrui) samt forstørret utsnitt av de øvre deler der fraføringene ligger.

Man bør bemerke seg overføring fra de såkalte Brevotni<sup>1</sup> pluss Vassdalsvotni passerer gjennom dette systemet. Fra figur 1 ser man at overført vann herfra kommer inn i nordenden av Feiosdalsvatnet. Disse magasinene sees bedre i figur 3, der man også helt tydelig ser fra fargen på Brevatnene at tilsiget til disse er dominert av sedimentførende smeltevann fra Fresvikbreen. Brevatnene og Vassdalsvotni drenerer naturlig ned til Seljedalselvi og Hugla, respektivt, men overføres til Feiosdalsvatnet og videre til Muravatn etter utbyggingen. Feiosdalsvatnet drenerer naturlig ned i Nærøydalsvassdraget, men er etter utbyggingen stengt av med en dam i den sørlige delen ved naturlig utløp. Altså passerer det overføringer fra Brevotni gjennom tunnelen til Muravatn, i tillegg til det som tas inn via bidrag fra de fraførte feltene som vises figur 1. Det naturlige nedbørsfeltet til Brevatnene er på ca. 11.3 km<sup>2</sup> mens feltet til Vassdalsvotni er på omtrent 2.7 km<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Heimste Øvste og Yste Brevatn



Figur 3. Flyfoto av det naturlige feltet til øvre del av Jordalselvi der de fraførte delene befinner seg.

## Effekten av fraføring på hydrologien

### Årlig midlere vannføring i de fraførte feltene

Som nevnt i appendiks byr en analyse av endringen i årlig midlere tilsig grunnet regulering på flere problemer. Hovedproblemet er at dette ofte involverer en sammenligning på tvers av flere referanseperioder. I tillegg kan valg av metodikk for beregning av årlig midlere tilsig bety en del for resultatet. Resultatet er at tallfesting av endringen i tilsig er ikke-definitiv, og vil kunne variere fra analyse til analyse.

NINA rapport Bremset (2010) inneholder en av de tidlige estimerte tilsigstall for de fraførte feltene beregnet av hydrolog i Statkraft. I NINA rapporten står det (sic!):

*... Ifølge nyere kartgrunnlag er det samlet fraført et feltareal på 22 km<sup>2</sup>, som utgjør 7,6 % av det naturlige nedbørsfeltet til Nærøydalselva. Ut fra en normalavrenning for perioden 1960-1990 på 68 l/s/km<sup>2</sup>, utgjør det fraførte feltet en midlere vannføring på 1,5 m<sup>3</sup>/s. Det fraførte feltet tilsvarer ut fra dette grunnlaget 10,5 % av naturlig årsmiddelvannføring (Arve Tvede, Statkraft Energi AS, meddelt i elektronisk brev av 14.04.2010) ...*

Hydrologen referert til ovenfor er gått av med pensjon så det er ukjent hvilket grunnlag som ble benyttet for å komme frem til tallene. Men for det første ser man at arealet på de fraførte feltene ikke samstemmer med nyere tall man får fra NVE applikasjoner. Estimater gjort i NEVINA, der deler av feltgrensene er tatt ut manuelt av hydrologer i Statkraft, ble beregnet til 16.6 km<sup>2</sup>. Tall fra NVE atlas, som også er delvis basert på manuelle vurderinger av analytikere i NVE, er marginalt høyere og på 16.8 km<sup>2</sup>. Uansett, arealet fra 2010 er ca. 30 % større enn de senere estimater – inkludert de mest objektive estimatene i form av tall fra NVE atlas. Siden areal er multiplikativ proporsjonal med tilsig i den aktuelle anvendelsen, peker dette mot at tallene for midlere avrenning fra de fraførte feltene er signifikant overestimert i analysen ovenfor. Videre er det oppgitt et midlere tilsig på 68 l/s/km<sup>2</sup> for de aktuelle feltene. Det refereres til perioden 1960 – 1990, noe som antyder at avrenningskart kan ligge til grunn for tilsiget. Dette er en del lavere enn tilsigene fra revisjonsdokumentene, der tilsiget på de fraførte feltene ble estimert til å ligge mellom 74.2 l/s/km<sup>2</sup> og 82.2 l/s/km<sup>2</sup>. Hovedgrunnen til dette avviket er at metodikk benyttet i revisjonsdokumentet korrigerer avrenningskart ut fra data fra nærliggende og representativ målestasjon. I dette tilfellet ble målestasjon Målset benyttet som korreksjonsserie. Det kan også nevnes at de nye avrenningskartene til NVE for perioden 1991 – 2020 er i ferd med å bli tilgjengeliggjort, antyder at de fraførte feltene har et middeltilsig på ca. 71 l/s/ km<sup>2</sup>.

Analysen fra 2010 kom frem til at de fraførte feltene har en midlere avrenning på 1.5 m<sup>3</sup>/s. Benyttes samme metode og tall fra revisjonsdokumentet kommer man frem til 1.3 m<sup>3</sup>/s. Avviket forklares stort sett av forskjell i feltareal.

### *Årlig midlere vannføring i restfeltet*

Det er endringer i restfeltet som er av størst interesse. Som nevnt i appendiks er den sikreste måten å studere dette på via bruk av direkte målinger av vannføring før og etter regulering. For det første unngår man her alle usikkerheter i avrenningskartet. For det andre inkluderes tilstrømmende vann fra de fraførte feltene. Fraføringene har en effekt på tilsiget. Men å si hvilken, krever en del analyse. For det første er det greit å påpeke at ikke alt vannet vil bli fraført. Under store tilsig vil det være overløp på ett eller flere av de syv bekkeinntakene. Dette skyldes at vannføringen inn til inntakene overskrider maksimal inntakskapasitet som er bestemt av den geometriske og hydrauliske utformingen på inntakskonstruksjonen. Torv, rekved, buskas og kratt, etc. som fester seg ved inntaket, typisk i ristene, kan også redusere kapasiteten midlertidig. Oppstuvning fra tunellsegmentene på grunn av kapasitetsbegrensninger der vil også kunne redusere kapasiteten på inntakene og forårsake overløp. Dette inntreffer typisk under flomsituasjoner. Et annet tap å regne med er overløp på Feiosdalsvatnet.

Resultatet er overløpt vann som vil finne veien ned i vassdraget gjennom de naturlige vannveiene. Dessverre har ikke Statkraft noen målinger som kan gi en kvantifisering av disse tapene. Man har heller ikke noe historikk på vannstand i Feiosdalsvatnet fra før 2023, så historiske overløp herfra kan heller ikke kalkuleres. Det totale arealet som er tilknyttet overføringen til Muravatn er ca. 31 km<sup>2</sup>. Man antar at kapasiteten på tunellen mellom Feiosdalsvatn og Muravatn er på ca. 10 m<sup>3</sup>/s, men vil øke som følge av økt vannstand og trykk i inntakene under flom. Det kan nevnes at Norconsult i 2017 gjorde en flomanalyse for dammene tilknyttet Muravatn og Skjeldingavatn, og kom da frem til en kapasitet på 11 m<sup>3</sup>/s. Luken på overføringen står stort ofte åpen. Det er da plausibelt å tro at denne kapasiteten ikke sjelden blir overskredet i perioder med høy avrenning, slik at betydelige deler av tilrenningen til bekkeinntakene på tunellstrengen tapes, og at vannstanden i Feiosdalsvatn stiger og medfører overløp på dammen der. Dette vil øke nedstrøms vannføringskalkulasjoner som inkluderer perioder med tap, som for eksempel årsmiddelavrenning. Men perioder uten tap, som for eksempel episoder med tørke sensommers og kuldeperioder vinterstid, vil ikke være forbundet med overløpt vann.

Revisjonsdokumentet benytter målingene ved stasjonen Skjerpung i Nærøydalselvi for å beregne årlig midlere vannføring før og etter regulering. Analysen viste at for uregulert situasjon er det oppgitt feltareal på 268 km<sup>2</sup> og et middeltilsig på 16.2 m<sup>3</sup>/s, og for regulert situasjon feltareal på ca. 252 km<sup>2</sup> og et middeltilsig på 15.8 m<sup>3</sup>/s. Dette antyder en nedgang på ca. 0.5 m<sup>3</sup>/s i midlere avrenning – noe som er en del lavere enn estimerer på middeltilsig i de fraførte feltene. En åpenbar forklaring er bidrag fra tap på bekkeinntakene og overløp på Feiosdalsvatn. Videre, siden bakgrunnen for uregulert periode er sammenhengende data i perioden 1909 – 1938, mens perioden 1972 – 2016 ble lagt til grunn for regulert periode. Ut fra dette påpekes det at datausikkerhet kan også være en bidragsgivende faktor, siden de to oppgitte periodene har forskjellig vannføringskurve og forskjellig metodikk for vannstandsregistrering. En analyse av vannføringskurvene for de to periodene på NVEs database Hydra 2 viste at den nye kurven er ganske sikker og generelt av god kvalitet. Kurven for den gamle kurven ble ansett som mindre bra, spesielt på lave og høye vannføringer. Man kan derfor mistenke at middeltilsig for den uregulerte perioden basert på data 1909 og 1938 kan være beheftet med systematiske feil i vannføringskurven. En tredje komponent som kan undersøkes er om beregningene kan være påvirket av systematiske klimatiske trender i området. I NVE rapport Pettersson (2012) er det beregnet totaltilsig for deler av Sognefjorden (vassdragene 69 – 80). NVE rapporten viser at middelveidien for perioden 1909 – 1938 er noe lavere enn for perioden 1972 – 2010. Nærmere bestemt er middelveidien for totalavløpet 1909 – 1938 estimert til 1656.7 mm, mens totalavløpet for perioden 1972 – 2010 stipuleres til 1775.0 mm. Assosierte år-til-år standardavvik er på 14 % og 17 %, respektivt. Det er en del usikkerhet i rapportens beregninger, og en del variasjon mellom vannmerker benyttet i analysen. Uansett, kan man ut fra disse tallene anta at forholdet mellom totaltilsiget i perioden 1909 – 1938 og perioden 1972 – 2010 er på 0.93. Og som nevnt i appendiks er man her affisert av problematikken med å sammenligne tall fra forskjellige referanseperioder. Man kunne tenkt seg en øvelse med å skalere, eller «flytte», observasjonene fra regulert periode tilbake til perioden benyttet før regulering ved å skalere ned data ned 5 til 10 prosent. Man kommer da frem til en nedgang i middelvannføring på henholdsvis 1.2 til 2.0 m<sup>3</sup>/s – noe som korresponderer bedre med tall basert på avrenningskart. Uansett er en slik skalering beheftet med store usikkerheter.

### *Lavvannsføringer i restfeltet*

Man kan anta at midlere årlig avrenning fra Nærøydalsvassdraget har gått ned i størrelsesorden 5 prosent, selv om dette varierer noe alt ettersom hvilken periode og metodikk som legges til grunn. Men

et spørsmål av kanskje større interesse er om fraføringene har større effekt i enkelte deler av året med lavvann? Dette avsnittet forsøker å kaste mer lys over dette aspektet.

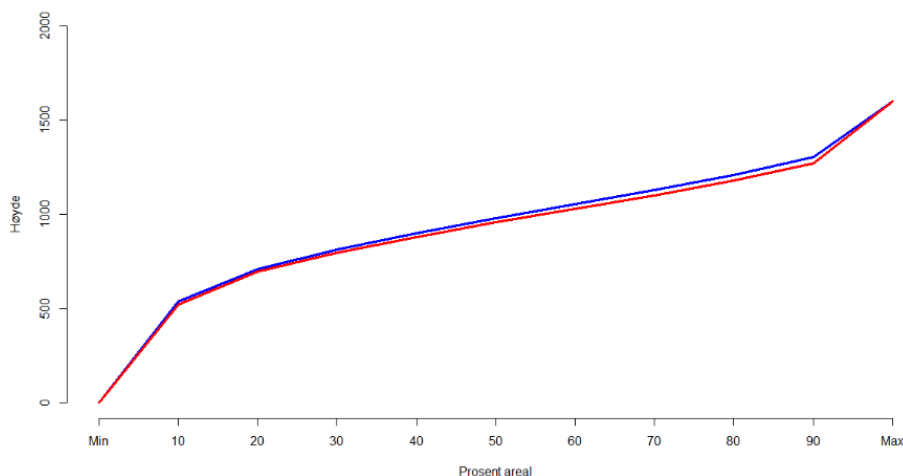
For å bedre forstå hvordan hydrologien ble endret etter utbygging må man blant annet studere hvordan feltegenskapene ble forandret. Tabell 1 viser endringen i utvalgte variabler, mens figur 4 viser endring i høydefordeling.

De fraførte feltene ligger omtrent i høydeintervallet 1070 – 1558 moh. Det er derfor ikke overaskende å se at hypsografikurven faller en smule i dette høydeintervallet. Uansett viser figuren at det fortsatt er betydelig areal i det aktuelle høydeintervallet etter reguleringen. Man kan derfor anta liten endring tilslagsbidraget fra snøsmelting etter regulering. Uansett vil fraføringene føre til en litt mindre andel snøsmeltingsavrenning på slutten av vårfloppen.

Tabell 1 viser ingen betydelige endringer i feltkarakteristika. Fordrøyning av tilsig er gunstig med tanke på å opprettholde avrenningen gjennom tørkeperioder i et avrenningsfelt. Det er derfor av interesse å se eventuelle forandringer i feltegenskaper kan ha endret dette. Større areal er ofte forbundet med økt responstid og dermed mer fordrøyning. Det totale arealet går selvsagt litt ned etter regulering, men ikke vesentlig. Ellers er det mindre endringer i feltparameterne man antar vil kunne bety noe for fordrøyning. Innsjøer fungerer som fordrøyningsmagasin. Sjøprosenten har gått marginalt ned. Man kan anta at de fordrøyende effektene av dette tilkomperes en god del ved at andelen snaufjell har minket og andel skog har økt. Man kan derfor anta at de positive effektene grunnet fordrøyning i tørkeperioder (f.eks. vinterlavvann eller sommertørker) ikke har blitt vesentlig mindre etter regulering.

Men endringen i bre er av spesiell interesse med tanke på bidrag i varme og tørre perioder om sommeren når snøen har smeltet. Breatlas (se figur 5) anbefales brukt av NVE for å ta ut arealer på breer. I denne applikasjonen ser man at det har eksistert en del småbreer/fonner i det naturlige feltet til Nærøydalsfeltet. Men selve Fresvikbreen har ikke vært en del av feltet i den perioden Breatlas dekker (tilbake til 1947).

Inkludert fraføringene ville det naturlige feltet i dag hatt ca. 0.1 km<sup>2</sup> breareal ifølge Breatlas. NVEs applikasjon Nevina, som bla. er benyttet for å ta ut kartene i figur 2, baserer seg på gamle tall for breer, og antyder 293 [km<sup>2</sup>·0.1[%] ≈ 0.3 km<sup>2</sup>. Siden man vet at mindre breer og fonner generelt har hatt stor tilbakegang de siste tiårene er det derfor ikke overaskende at Nevina gir et betydelig større breareal en hva dagens situasjon skulle tilsi. Figur 6 viser de to eksisterende breene i feltet slik de var i 2010.



Figur 4. Hypsografisk kurve for Nærøydalselvi ved utløp hav. Blå linje er før utbygging og rød linje er etter utbygging.

Tabell 1. Karakteristika for Nærøydalselvi ved utløp hav.

	Areal (km <sup>2</sup> )	Bre (%)	Dyrket mark (%)	Skog (%)	Sjø (%)	Snaufjell (%)	Q <sub>61-90</sub> (l/s/km <sup>2</sup> )
<b>Uregulert felt</b>	293	0.1*	1.2	22.1	1.4	67.2	54.3
<b>Regulert felt</b>	276	0.0	1.3	23.4	1.1	65.8	53.4

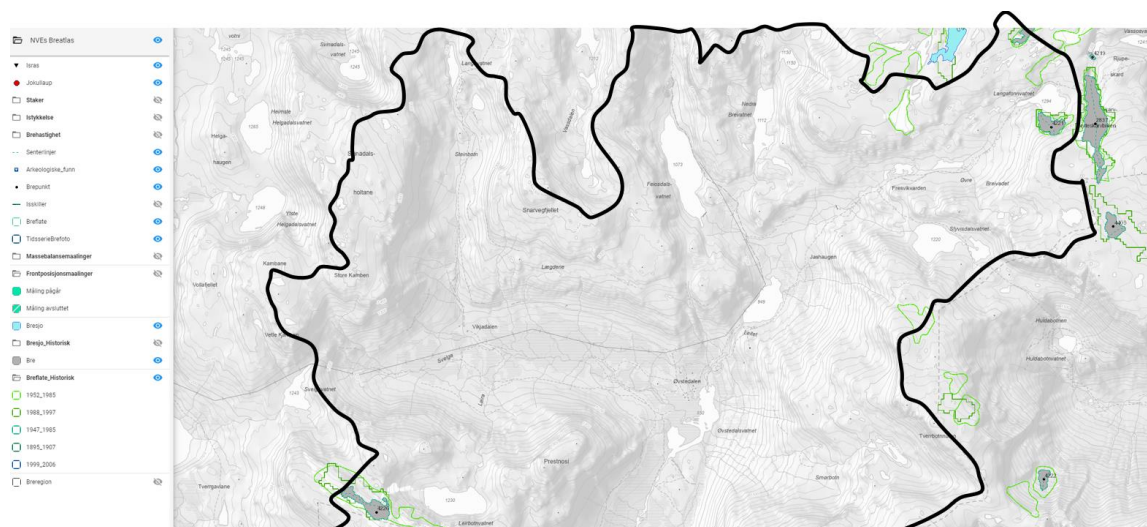
\* Dette tallet stammer fra Nevina og er gamle tall og er mye lavere per i dag (se nærmere forklaring i teksten).

Innenfor hydrologisk modellering benyttes ofte dag-grad metodikk for å representere bidrag fra bresmelting:

$$Q = C_b \cdot T \text{ [mm/dag]}$$

Der  $Q$  er avrenning fra bresmelting,  $C_b$  er en parameter kalt graddagsfaktor og  $T$  lufttemperatur. Graddagsfaktoren er typisk ansett som ukjent og bestemmes gjennom kalibrering. F.eks. anbefaler NVE å benytte en graddagsfaktor på 3.5 innenfor flomanalyser i felt med bresmelting når hydrologisk modellmetodikk skal benyttes (i perioder uten regn). Statkrafts offisielle HBV modeller for lokalfeltene tilknyttet kraftverkene Hove og Målset er kalibrert til 5.3 og 5.0, respektivt. Brearealet for disse to lokalfeltene er anslått til henholdsvis 0.25 km<sup>2</sup> og 5.31 km<sup>2</sup>.

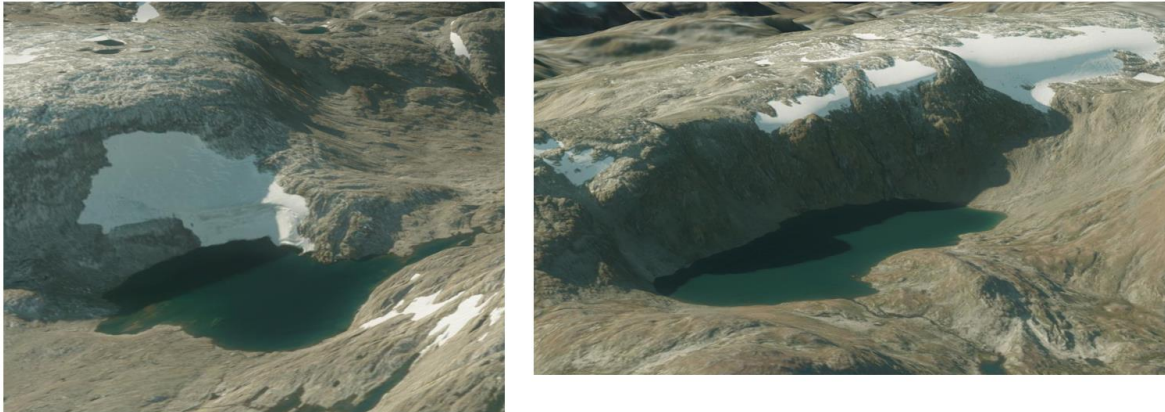
Episoder der bresmelting kan antas å bidra med en signifikant avrenningsdel er i perioder på sommeren da (i) snøsmeltingen er over; (ii) temperaturen er såpass høy at det smeltes en del breis, og (iii) det er lite eller ingen nedbør. Typisk tidspunkt for at dette skal kunne inntreffe er i august måned. Men deler av juni og september er også aktuelle. Statkraft har to meteorologiske målestasjoner i dette området, Sopandefjell og Hestavollan. Disse ligger på henholdsvis 1150 og 890 moh, respektivt. Høyeste snittemperaturen for disse to stasjonene i august i perioden 2010 – 2022 er på henholdsvis 10.4 °C og 11.2 °C. De fraførte feltene med bre ligger typisk mellom 1300 og 1500 moh. Altså kan man anta at døgnmiddeltemperaturen sjelden er over 10 °C her over lengre perioder i august – september. Plugges man inn en  $C_b$  på 5 og en døgnmiddeltemperatur på 10 °C i likningen over, kan man anta en midlere bresmelting på opp mot 50 [mm/dag] fra områdene dekket av bre i august. Legges man til grunn et areal på 0.1 km<sup>2</sup>, tilsvarer dette en middelavrenning på ca. 60 l/s. Effekten av dette på vannføringen nedover i Jordalselvi og deretter i selve Nærøydalselvi er uklart. Dette bestemmes gjennom prosesser som fordampning og smeltevannets bevegelse først gjennom mark- og grunnvann og deretter gjennom elveleienettverket som under lavvannsperioder vil ha mye innslag av myrer/våtmark i tillegg til innsjøer. Men vi antar i dette notatet ingen reduksjon eller signifikant fordrøyning.



Figur 5. Øvre del av uregulert felt for Nærøydalselvi med nåværende og historiske breutbredelser.

Hva er signifikansen på dette tilsigsbidraget i varme og tørre perioder på sensommeren, sammenlignet med den eksisterende lavvannsføringen i det regulerte feltet? Stasjonen Skjerping ligger som nevnt i Nærøydalselvi omtrent 4 km oppstrøms utløp til hav, og har etter regulering et oppstrøms areal på 252 km<sup>2</sup>. Figur 7 viser historisk vannføring ved Skjerping i aktuell periode. Man ser der at under tørre perioder ville bidraget fra bresmeltingen i de fraførte feltene vært omtrent i størrelsesorden 1/15 av faktisk vannføring ved Skjerping etter reguleringsperioden. Signifikansen, relativt sett, blir naturligvis større jo mer opp i Jordalselvi opp mot de aktuelle områdene man beveger seg. For eksempel, Jordalselvi ved utløp Holmen småkraftverk har etter regulering et areal på ca. 93 km<sup>2</sup>. Så her snakker man om at de fraførte feltene kunne hatt et bidrag på kanskje opp mot 1/6 av andelen fra faktisk restfelt under langvarige tørrperioder på sensommeren. Det må selvsagt påpekes her at usikkerheten i graddagsmodellen for bresmelting er ganske stor. Man noterer seg også fra figur 7 at 2021 var et ekstremt tørt år. En viktig bemerkning er at deler av vannføringen ved Skjerping stammer fra tapping utført av

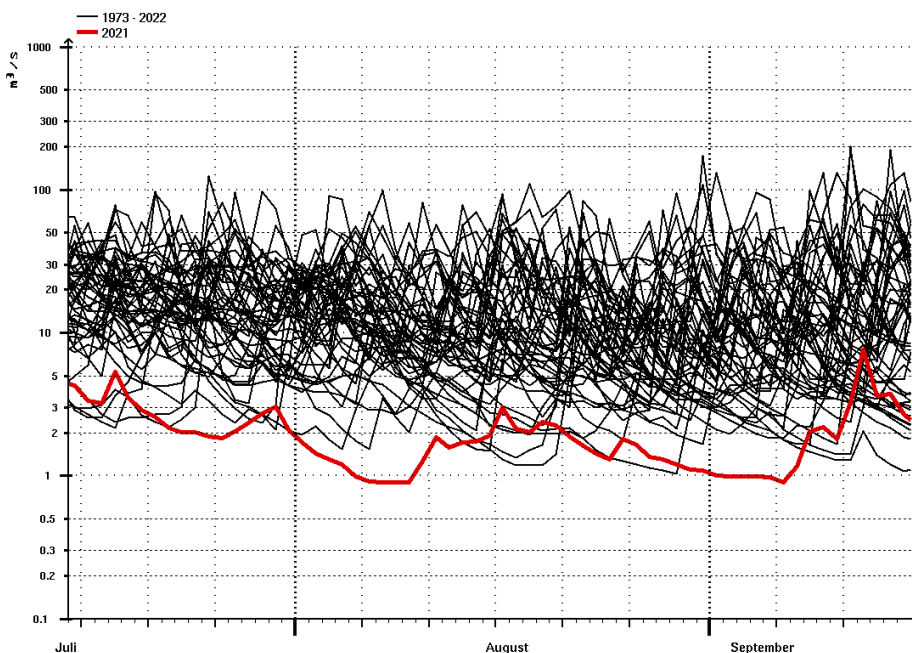
Statkraft etter en forespørsel fra Nærøydalen grunneierlag. Så faktisk bidrag fra bare restfeltet ville vært enda lavere – kanskje helt ned mot 500 l/s uten dette bidraget. Altså skiller denne hendelsen i 2021 seg ut fra resten av årene under påvirkning av regulering.



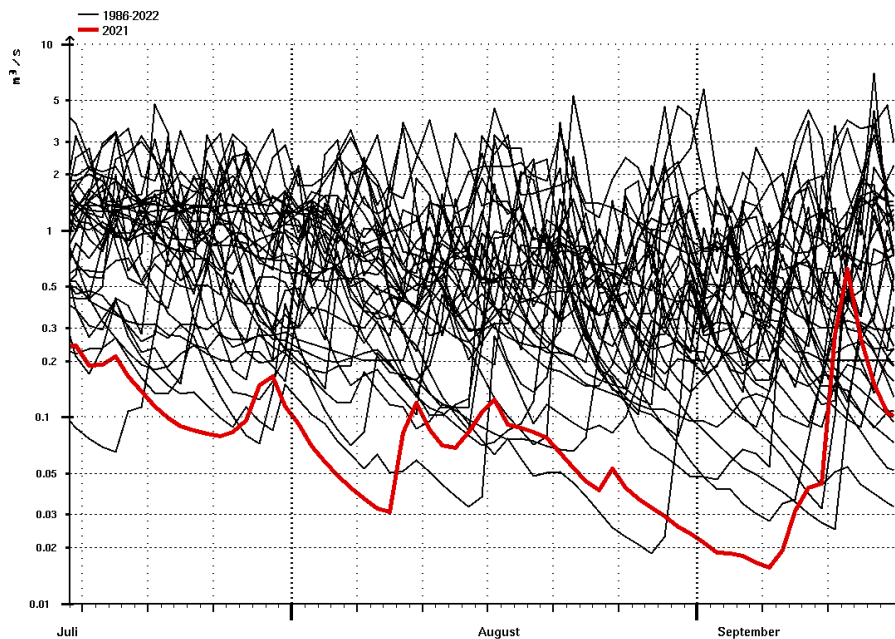
Figur 6. Satellittbilde fra 2010 (Norge i Bilder) fra de to største breene i fraførte feltet. Bre 4226 (NVE id) vest for Leirbotnvatn til venstre og bre 4221 sør for Langsfonnvatnet til høyre.

I tillegg til bresmeltingen ville selvsagt også resten av de fraførte feltene ha bidratt. Det er vanskelig å si med sikkerhet hvor mye tilsig disse gir under tørre sommermåneder. Ser vi på data fra stasjonen Målset (se figur 8) er tilsiget fra dette feltet på ca. 7.7 km<sup>2</sup> ned mot 15 l/s på det absolutt laveste. I følge Nevina er Målsetfeltet i snitt litt våtere på denne årstiden, med en midlere sommernedbør på 712 mm, mens tallet for de fraførte feltene i Nærøydalsvassdraget ligger på 529 mm. Målsetfeltet har ikke noe bretilsig å snakke om. Men feltet som drenerer til Målset har også litt mer prosentandel sjø og myr enn de aktuelle fraførte feltene. Dermed er det ikke rett frem å benytte Målset som donorfelt for den brefrie andelen av feltene som er fraført Jordalselvi, men det er det beste alternativet. Uansett kan kanskje anta at de fraførte feltene totalt sett i snitt ville bidratt med en vannføring i området 50 - 100 l/s nede ved samløp Jordalselvi og Nærøydalselvi under tørre og varme perioder på sensommeren.

Som nevnt har de aktuelle fonnene krympet betraktelig. I tillegg ser man fra figur 5 at flere fonner og småbreer har forsvunnet helt siden NVE startet karleggingen. Man kan forvente at denne utviklingen fortsetter de neste tiårene. Det er derfor meget mulig at de fraførte feltene ikke innehar noe bretilsig om noen år.



Figur 7. Multiårsplott av døgnmiddelvannføring fra stasjonen Skjerping i Nærøydalselvi i perioden 15.07 – 15.09. Merk at y-aksen er logaritmisk



Figur 8. Multiårsplott av døgnmiddelvannføring fra stasjonen Målset i perioden 15.07 – 15.09. Merk at y-aksen er logaritmisk.

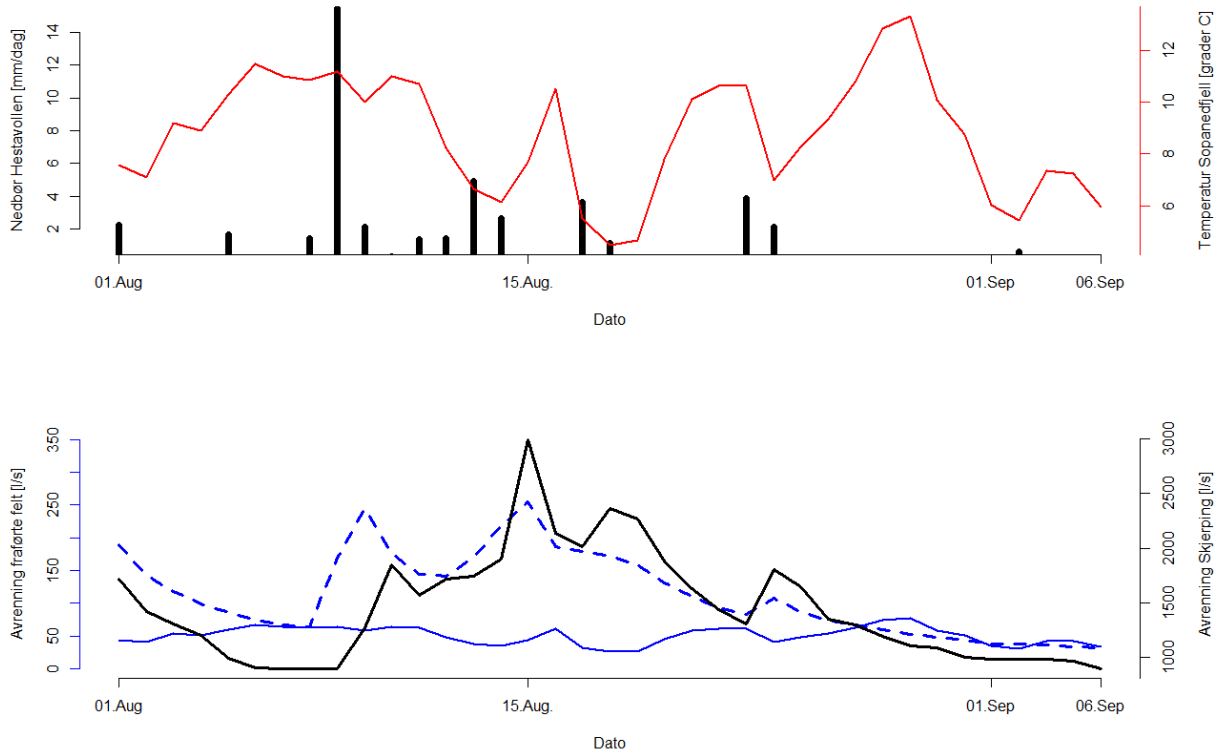
#### Bidrag fra de fraførte feltene sensommeren 2021

Sensommeren 2021 var en ekstrem lavvannsperiode, og denne analyseres nå litt nærmere ved hjelp av de ovennevnte betraktningene. Året 2021 er som nevnt uthevet i figur 7 og 8. For å studere hendelsen litt mer i detalj ble det tatt ut mer data. Øverste plott i figur 9 viser at det i sum falt veldig lite nedbør i området i august. Denne svikten i nedbør kom på toppen av en tørr periode i forkant. Fra 15. august til slutten av hendelsen 6. september kom det veldig lite nedbør. Lufttemperaturen på Sopandefjell vises også i øverste plott i figur 9. Ved å anta at denne var representativ for temperaturen ved fonnene i de fraførte delene av feltet kan man anvende daggrad formelen som er vist og kommentert lengre oppe. Dette gir et estimert tilslag fra ismelting som vist i nedre plott i figur 9. Ved å videre anta at stasjonen Målset kan benyttes for å representere avrenningen fra de brefrie delene av de fraførte feltene kan man estimere bidraget derfra. Dette vises også i figur 9. Skaleringsfaktoren mellom de fraførte feltene og Målset ble satt til  $(16.7/7.7) \cdot (69.2/72.8)$  der første del representerer arealskalering og andre del forskjell i klima basert på middeltilslag 1961 – 1990 fra NVE avrenningskart.

Som nevnt tidligere har Statkraft et magasin i de fraførte feltene, Feiosdalsvatn, som bla. mottar en del overført bretilslag fra de såkalte brevatnene. Sensommeren 2021 ble det sluppet vann fra en ventil på tunellen mellom Feiosdalsvatn og Muravatn i perioden 10. august kl. 13:00 til 13. september kl. 21:00. Vannføringen fra ventilslippet ble ikke målt direkte. Derfor kan man ikke si med sikkerhet hvilke vannmengder som ble tappet ned i Jordalselvi. Figur 10 viser vannføringen ut av tverrslagstunellen der ventilene befinner seg og litt videre nedover. Ut fra bildene kan man anta et sted mellom 200 og 500 l/s, men dette er veldig usikkert. Stasjonen på Skjerping kunne påvist effekten av tappingen lengre nede i hovedelven. Men dessverre kom også en del nedbør i denne perioden. Dette bidraget blandet seg med tappingen, og det er derfor vanskelig å si med sikkerhet hvordan forløpet ville vært uten tappingen. Som vist i figur 9 ble det på stasjonen Hestavollan målt ca. 15 mm den 09. august, og i de påfølgende dagene fra 10. august til 15. august ble det registrert ca. 10 mm på stasjonen. Det kom deretter ca. 5 mm i dagene 18 – 19. august, og 24. og 25. august ble det registrert ca. 6 mm.

Fra figur 9 kan man stipulere at andelen avrenning fra restfeltet, inkludert smelting fra fonnene, ville vært på omtrent 70 l/s når tørken var på sitt verste i slutten av september. Trekker man fra tappingen fra vannføringen på Skjerping, som også vises i figur 9, kommer man frem til at restfeltet bidro med mellom 400 og 700 l/s mot slutten av tørken da vannføringen var på sitt laveste. Altså kan man anta at bidraget fra de fraførte feltene ville vært omtrent ett sted mellom 1/7 og 1/10 av restfeltet målt ved Skjerping helt på slutten av tørkeperioden. Det kan nevnes at vannføringskurven for Skjerping er godt oppmålt på

vannføring ned mot 1000 l/s så data usikkerheten anses som lav. Nede ved Jordalselvi ved utløp Holmen småkraftverk kan man anta at bidraget kunne et sted vært mellom 1/2 og 1/3.



Figur 9. Viser data fra sensommeren 2021. Øverste plott viser døgngnedbør målt på Statkrafts stasjon Hestavollan (sorte søyler) som ligger i den sørlige enden av Målsetvatn, og døgnmiddel temperaturdata (rød linje) fra Statkrafts stasjon Sopandefjell som ligger litt sør for Målsetvatn. Nederste plott viser estimert tilsig fra de fraførte feltene i form av smeltevann fra breer/fonner (blå heltrukken linje) og bidrag fra de brefrie delene (blå stiplede linje), og vannføring ved stasjonen Skjerping (sort linje).



Figur 10. Vannføringen som resultat fra tapping i tunnelen mellom Feiosdalsvatn og Muravatn sensommeren 2021. Bilder tatt ved utløp tverrslagstunell og litt nedstrøms der leiet leder ned mot de øver deler av Vikjadalen.

## Oppsummering

1. Feltarealet til Nærøydalsvassdraget er ca. 293 km<sup>2</sup> målt ved utløp til hav. Av dette viser estimer fra NEVINA eller NVE Atlas at henholdsvis ca. 16,6 km<sup>2</sup> eller 16,8 km<sup>2</sup> er fraført pga. Arnafjord Vikreguleringen. Det betyr at kun ca. 5,7 % av nedslagsfeltet er berørte av reguleringen. I Bremset 2010 har Statkraft oppgitt at det fraførte feltarealet er ca. 22 km<sup>2</sup>. Dette er derfor noe overestimert. Det er ukjent hvilket grunnlag som ble benyttet til beregning av det tidligere oppgitte feltarealet.

2. Midlere avrenning er med oppdatert feltareal beregnet til 1,3 m<sup>3</sup>/s. I Bremset 2010 er dette oppgitt å være 1,5 m<sup>3</sup>/s, som stort sett forklares av forskjell i feltareal.

3. I tørre og varme perioder på sommeren ville de fraførte feltene i snitt kunne ha bidratt med 50-100 l/s nede ved samløpet av Jordalselvi og Nærøydalselvi. Dette inkluderer smelting fra småbreer/fonner i det naturlige feltet til Nærøydalsvassdraget. Fresvikbreen er ikke en del av dette tilsiget. Fresvikbreen drenerer til Brevotni, som igjen drenerer til Seljedalen og ikke Jordalen og Nærøydalselvi. I den ekstreme tørkperiden sensommeren 2021 ble det sluppet 200-500 l/s vann fra Brevotni via ventil i overføringen til Muravatn. Dvs. vann som naturlig hadde drenert til Seljedalen og ikke til Nærøydalselvi.

## REFERANSER

Beldring, S., Roald, L. A., Voksø, A. (2002). Avrenningskart for Norge, Årsmiddelverdier for avrenning 1961- 1990, Rapport nr 2, Norges vassdrags- og energidirektorat. 51 s.

Norges vassdrags- og energidirektorat (1987). Avrenningskart over Norge 1930-1960, Blad 1-8. Norges vassdrags- og energiverk, Vassdragsdirektoratet, Hydrologisk avdeling.

Pettersson, L-E. (2012). *Totalavløpet fra Norges vassdrag 1900 – 2010*, NVE rapport 39/2012.

Bremset, G., Sættem, L. M., Johnsen, B. O. (2010). Status for bestandene av laks og sjøaure i Nærøydalselva, Sogn og Fjordane. Samlerapport fra fiskebiologiske undersøkelser i perioden 2006-2008. NINA rapport 475.

---

## APPENDIKS

### Årlig midlere avrenning

#### *Referanseperioder*

Årsmiddelvannføring fra et gitt felt er den gjennomsnittlige vannføringen ut av feltet målt over mange år. På denne måten søker man å midle ut effekten av variasjon fra år til år. Begrepet antyder også en antagelse om stasjonære forhold, dvs. et stabilt klima over tid. Innenfor norsk hydrologi er begrepet om en slik stabilitet akseptert som stykkevis. Det vil si at man antar at middelvannføring kan endre seg signifikant fra en referanseperiode til en annen. Dette prinsippet illustreres godt i avrenningskartene som NVE publiserer (NVE, 1987; Beldring et al., 2002; Beldring et al., 2023). Disse kartene baserer seg på perioder 30 år. Den første utgaven av slike kart hadde 1931 – 1960 som referanseperiode. Den neste utgaven, som for øvrig ligger til grunn for hydrologien i revisjonsdokument for Arnafjord- og Vik reguleringen, baserer seg på perioden 1961 – 1990. I 2023 startet NVE publisering av tredje utgave som er tuftet på referanseperioden 1991 – 2020.

I Norge er den hydrologiske syklusen årlig siden den naturlige værsyklusen her repeterer seg hvert år. Men gitt variasjonene i meteorologi fra år til år, vil beregningen være forbundet med stor varians. Dette betyr at antall år man har til rådighet for å beregne årsmiddelavrenning vil kunne ha stor betydning. En beregning av middelvannføring utført på forskjellige perioder gi ganske forskjellige svar, selv om klimatologien generelt sett kan ansees som stabil i tidsrommet som dekker begge periodene. Dette kan igjen illustreres med utgangspunkt i NVEs avrenningskart. Selv om disse kartene opererer med en 30-års referanseperiode, f.eks. 1961 – 1990, vil man for en gitt måleserie kunne få forskjellige resultat om man benytter, si, 1961 – 1975 for kalkulasjon av middelvannføring eller 1976 – 1990. Ideelt sett, vil man ved å også benytte kalkulert år-til-år variabiliteter kunne forklare forskjellen som ikke-signifikant. Men dessverre vil dette ofte ikke stemme grunnet andre kilder til variabilitet som usikkerhet i målingene og faktisk endring i avrenningsregime.

#### *Beregningsmetodikk*

Det er generelt sett to fremgangsmåter for å beregne årlig midlere avrenning. Den første metoden er som allerede nevnt å benytte NVEs avrenningskart. Den andre metoden er å basere seg på målt vannføring. Selv om det å bruke faktiske observasjoner burde være førstevalget, har begge metodene sine styrker og svakheter.

De siste versjonene til avrenningskartene til NVE er tuftet på en blanding av målt vannføring og hydrologiske modeller drevet av nedbør og lufttemperatur. Nøyaktigheten til kartene er avhengig av en rekke faktorer (se Beldring et al., 2002 og Beldring et al., 2023 for mer detaljer). Er den hydrologiske modelleringen usikker for gitt felt, f.eks. grunnet unøyaktige meteorologiske inndata i aktuelt område, vil nøyaktigheten være begrenset. Om man i tillegg mangler representative stasjoner med målt vannføring i nærheten av feltet for justering/validering, vil usikkerhet kunne bli stor. I kartene for 1961 – 1990 ble er det antatt at usikkerheten i middeltilsig varierer fra  $\pm 5\%$  til  $\pm 20\%$ , og at usikkerheten normalt øker når størrelsen av området som betraktes avtar.

Kalkulasjon basert på direkte målinger er ikke problemfri. Hovedgrunnen er varierende datausikkerhet. En vannføringsstasjon baserer seg på at man har en automatiser måling av vannstand ved hjelp av vannstandssensor som lagres på en datalogger. Vannstandsserien transformeres deretter til vannføring ved hjelp av en oppmålt vannføringskurve. Grunnlaget for å konstruere en vannføringskurve er direkte målinger av vannføring i elven ved hjelp av flygel, saltfortynning, hydroakustikk, osv. og avlesning av korresponderende vannstand. Er det få målinger med stor spredning, eller varians, og/eller at store deler av transformasjonen fra vannstand til vannføring ligger i det umålte, eller ekstrapolerte, området av vannstand, vil vannføringsdata være usikre. I tillegg kan elvekanalen endre seg over tid slik at det oppstår en systematisk feil i transformasjonen. Selve målingen av vannstand med sensorer kan også være beheftet med tilfeldige og/eller systematiske feil. For det første vil en direkte beregning ved hjelp av målt vannføring være beheftet med usikkerhet. For det andre vil denne være avhengig av periode siden datausikkerhet kan være veldig dynamisk. Opp på dette vil en direkte beregning være påvirket av år-til-år variasjoner, som beskrevet i forrige avsnitt.

### *Usikkerhet i feltareal*

De fleste hydrologiske analyser involverer tallfesting av areal på avrenningsfelt. For en analyse av årlig midlere tilsig er dette helt essensielt. Statkraft baserer seg per dato av NVE verktøy for uttak av feltareal. Tidligere ble tall basert på manuelle uttaksmetoder benyttet. Typisk ble feltareal beregnet ved hjelp av subjektiv planimetrering på gjeldende kartgrunnlag. Eksempelvis har svært mange av Statkrafts reguleringer et konsesjonsgrunnlag basert på slike manuelle uttak av feltareal. Usikkerheten i areal basert på manuelle metoder avhenger av flere faktorer. Kompetanse og erfaring på aktuell analytiker er ett aspekt. Feltegenskapene har også en del å si. For eksempel vil man i felt med en stor andel flater områder kunne ha problemer med å bestemme vannskille. Også i tilfeller der man har innsjøer med flere utløp få problemer med å definere feltgrenser. Feltgrenser på breer er også utfordrende. Når det gjelder små felt, noe som ofte er tilfelle når det gjelder bekkeinntak, vil den relative usikkerheten kunne bli stor grunnet begrenset oppløsning på grunnlagskart.

Også innenfor bruk av NVEs automatiske verktøy er det usikkerheter. For det første vil usikkerheter i grunnlagskartene påvirke resultatet. I tillegg er det usikkerhet forbundet med selve algoritmene som ligger bak auto-genereringen. I praksis er det to NVE-applikasjoner man kan benytte. Den ene er NVE Atlas der feltgrenser er ferdig trukket. På forespørsel på bakgrunnen fra disse svarte NVE ansatt Thomas Væringstad 22. Mai 2023 som følger (sic!):

*«... Det er nok først og fremst manuell digitalisering, på lik linje med Regine-enheter tror jeg. NEVINA vil nok gi litt forskjeller noen steder, men for større felt med oppstrøms Regine-enheter, benyttes denne informasjonen også ...»*