

# Tålegrenser for forsuring og overskridelser for seks vassdrag i Vestland fylke





# RAPPORT

**Hovedkontor**

Gaustadalléen 21  
0349 Oslo  
Telefon (47) 22 18 51 00

**NIVA Region Sør**

Jon Lilletuns vei 3  
4879 Grimstad  
Telefon (47) 22 18 51 00

**NIVA Region Innlandet**

Sandvikaveien 59  
2312 Ottestad  
Telefon (47) 22 18 51 00

**NIVA Region Vest**

Thormøhlensgate 53 D  
5006 Bergen  
Telefon (47) 22 18 51 00

**NIVA Danmark**

Njalsgade 76, 4. sal  
2300 København S, Danmark  
Telefon (45) 39 17 97 33

Internett: [www.niva.no](http://www.niva.no)

Tittel Tålegrenser for forsuring og overskridelser for seks vassdrag i Vestland fylke	Løpenummer 7586-2021	Dato 10.02.2021
Forfatter(e) Kari Austnes, James E. Sample, Espen Lund	Fagområde Sur nedbør	Distribusjon Åpen
	Geografisk område Vestland	Sider 50 + vedlegg

Oppdragsgiver(e) Statsforvaltaren i Vestland	Oppdragsreferanse Kjell Hegna
	Utgitt av NIVA Prosjektnummer 190246

<p>Sammendrag</p> <p>Det har blitt beregnet tålegrenser for forsuring og overskridelse av disse for Samnanger-, Uskedals-, Eksingedals-, Modals-, Yndesdals- og Flekke- og Guddalsvassdraget. Overskridelser er beregnet for dagens (2012-2016) og framtidig (2030) avsetning av svovel og nitrogen. For 2012-2016 var det overskridelser av tålegrensene i mange delnedbørfelt og i ett eller fire vassdrag som helhet, avhengig av hvilken tålegrensemodell som ble benyttet. Med redusert avsetning i 2030 var overskridelsene lavere, og færre områder var overskredet. Det var størst overskridelse i Yndesdalsvassdraget, mens det ikke var overskridelse i Uskedalsvassdraget. Det er viktig å merke seg at på grunn av forsinkelser i systemene kan det være forsuring selv om tålegrensene ikke er overskredet. Men så lenge det ikke er overskridelse vil forsuringen gradvis avta, og de sure episodene vil bli mindre hyppige og alvorlige. Forbedringen fram mot 2030 forutsetter at landene overholder internasjonale forpliktelser med hensyn til utslippsreduksjoner.</p>
---

<p>Fire emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Tålegrenser</li> <li>2. Overskridelser</li> <li>3. Sur nedbør</li> <li>4. Elver</li> </ol>	<p>Four keywords</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Critical loads</li> <li>2. Exceedances</li> <li>3. Acid deposition</li> <li>4. Rivers</li> </ol>
--	---

Denne rapporten er kvalitetssikret iht. NIVAs kvalitetssystem og godkjent av:

*Kari Austnes*  
Prosjektleder

*Øyvind Kaste*  
Kvalitetssikrer

*Sondre Meland*  
Forskningsleder

ISBN 978-82-577-7322-9  
NIVA-rapport ISSN 1894-7948

© Norsk institutt for vannforskning. Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse.

**Tålegrenser for forsuring og overskridelser for  
seks vassdrag i Vestland fylke**

## Forord

Sur nedbør har ført til forsuring og behov for kalking av mange vassdrag i Sør-Norge. På grunn av omfattende reduksjon av spesielt svovelutslipp, har den sure nedbøren avtatt kraftig siden 1980-tallet. Det er likevel fortsatt behov for kalking mange steder. Som bakgrunn for videre vurdering av kalkingsbehov har NIVA på oppdrag fra Statsforvaltaren i Vestland utarbeidet kart over tålegrenser for forsuring og nåværende og framtidig overskridelse av disse for seks vassdrag i Vestland fylke.

Arbeidet er basert på etablert metodikk og innhentede overvåkingsdata, samt tilgjengelige bakgrunnsdata. Statsforvaltaren v/Kjell Hegna har bistått med å vurdere inndeling av nedbørfeltene i delnedbørfelt, med å sørge for innlegging av eksisterende data i Vannmiljø og med litteratur og kalkingshistorikk. James Sample har utført beregninger, Espen Lund har utarbeidet kart og Kari Austnes har vært prosjektleder og stått for valg av metodikk, innhenting av data og skrivning av rapporten. Takk til Max Posch (IIASA) for uttak av EMEP-modellert avsetning.

Oslo, 10. februar 2021

*Kari Austnes*

---

---

# Innholdsfortegnelse

<b>Sammendrag</b> .....	<b>5</b>
<b>1 Introduksjon</b> .....	<b>7</b>
<b>2 Beskrivelse av vassdragene</b> .....	<b>9</b>
2.1 Samnangervassdraget .....	9
2.2 Uskedalsvassdraget .....	10
2.3 Eksingedalsvassdraget .....	12
2.4 Modalsvassdraget.....	13
2.5 Yndesdalsvassdraget .....	16
2.6 Flekke- og Guddalsvassdraget .....	17
<b>3 Metode</b> .....	<b>19</b>
3.1 Tålegrensemodeller .....	19
3.2 Inndeling av delnedbørfelt og valg av vannkjemiske data til tålegrenseberegningene.....	20
3.3 Øvrige data til tålegrenseberegningene.....	25
3.4 Avsetning av langtransporterte luftforurensninger .....	25
3.5 Beregning av overskridelser .....	26
<b>4 Resultater</b> .....	<b>27</b>
4.1 Samnangervassdraget .....	28
4.2 Uskedalsvassdraget .....	31
4.3 Eksingedalsvassdraget .....	34
4.4 Modalsvassdraget.....	37
4.5 Yndesdalsvassdraget .....	40
4.6 Flekke- og Guddalsvassdraget .....	43
<b>5 Diskusjon</b> .....	<b>46</b>
5.1 Usikkerheter .....	46
5.2 Vurdering .....	47
<b>6 Konklusjon</b> .....	<b>48</b>
<b>7 Referanser</b> .....	<b>49</b>

## Sammendrag

Formålet med dette oppdraget var å beregne tålegrenser for forsurening og overskridelser av disse for seks vassdrag i Vestland fylke: Samnanger-, Uskedals-, Eksingedals-, Modals-, Yndesdals- og Flekke- og Guddalsvassdraget. Bortsett fra Samnangervassdraget er alle kalket. Tålegrensene indikerer hvor mye forsurende avsetning systemene tåler. Ved hjelp av avsetningsdata kan det beregnes om det er overskridelse av tålegrensene og hvor stor den eventuelt er. Overskridelser ble beregnet for dagens (2012-2016) og framtidig (2030) avsetning av svovel og nitrogen.

Tålegrensene er beregnet med to ulike modeller: The Steady-State Water Chemistry Model (SSWC-modellen), som forutsetter at utlekkingen av nitrogen forblir konstant på dagens nivå, og The First-order Acidity Balance Model (FAB-modellen), som kan sies å representere et «worst case»-scenario. Beregningene er gjort både for hele vassdrag og for ulike delnedbørfelt. Inndelingen i delnedbørfelt har vært styrt av tilgangen på vannkjemiske data, samt hvilke deler det er spesielt interessant å foreta en separat beregning for. Vannkjemiske data har hovedsakelig blitt hentet fra Vannmiljø-databasen. Utvelgelsen av data har blitt gjort med tanke på best mulig representativitet i tid og rom. For de kalkede vassdragene er det estimert en «ukalket» kalsiumkonsentrasjon for utløpsstasjonen. Øvrige data har blitt hentet fra kartlag publisert av Norges vassdrags- og energidirektorat, nasjonale og internasjonale avsetningsberegninger og fra de nasjonale tålegrenseberegningene.

Resultatene viste at det for 2012-2016 var overskridelser av tålegrensene i mange delnedbørfelt og i ett eller fire vassdrag som helhet, avhengig av hvilken tålegrensemodell som ble benyttet. Med redusert avsetning i 2030 var overskridelsene lavere, og færre områder var overskredet. Det var størst overskridelse i Yndesdalsvassdraget, mens det ikke var overskridelse i Uskedalsvassdraget. I Modalsvassdraget og Eksingedalsvassdraget gjør overskridelser for sidevassdrag nederst i hovedvassdraget at det ikke er forventet noen snarlig forbedring av vannkvaliteten her. I Samnangervassdraget og Flekke- og Guddalsvassdraget tydet overskridelsene på at man kan forvente en sakte forbedring, men at det fortsatt vil være fare for sure episoder. Det er anslått at det fortsatt vil være kalkingsbehov i de kalkede vassdragene.

Det er viktig å merke seg at på grunn av forsinkelser i systemene kan det være forsurening selv om tålegrensene ikke er overskredet. Men så lenge det ikke er overskridelse vil forsureningen gradvis avta, og de sure episodene vil bli mindre hyppige og alvorlige. Jo lenger unna overskridelse systemet er, dess raskere vil gjenhentingene gå. Generelt gjelder også at forbedringen fram mot 2030 forutsetter at landene overholder internasjonale forpliktelser med hensyn til utslippsreduksjoner.

## Summary

Title: Critical loads of acidification and exceedances for six catchments in Vestland county

Year: 2021

Author(s): Kari Austnes, James E. Sample, Espen Lund

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN 978-82-577-7322-9

The objective of this exercise was to calculate critical loads of acidification and exceedances of these for six catchments in Vestland county: Samnanger, Uskedal, Eksingedal, Modal, Yndesdal and Flekke & Guddal. With the exception of Samnanger, there is liming in all catchments. The critical load indicates how much acidifying deposition the systems can tolerate. By using deposition data, the size of the critical load exceedance, if any, can be estimated. Exceedances were estimated for present (2012-2016) and future (2030) deposition of sulphur and nitrogen.

The critical loads are calculated using two different models: the Steady-State Water Chemistry (SSWC) model, which assumes that nitrogen leaching stays at present levels, and the First-order Acidity Balance (FAB) model, which can be said to represent a worst case scenario. The calculations are done both for entire catchments and for different sub-catchments. The splitting into sub-catchments has been guided by the availability of water chemistry data, and areas of special interest. Water chemistry data have mainly been collected from the Vannmiljø database. The selection of data has been made to achieve the best possible representation in time and space. For the limed catchments, an "unlimed" calcium concentration has been estimated for the outlet station. Remaining data have been collected from map layers published by the Norwegian Water Resources and Energy Directorate, national and international deposition estimates and from the national critical loads calculations.

Results showed that for 2012-2016 there were exceedances of the critical loads in many of the sub-catchments and either one or four of the complete catchments, depending on the applied critical loads model. With reduced deposition in 2030 the exceedances were lower, and fewer areas were exceeded. The exceedance was largest in the Yndesdal catchment, while there was no exceedance in the Uskedal catchment. In the Modal and Eksingedal catchments, improvement in the water quality cannot be expected in the immediate future due to exceedances in tributary catchments in the lower part of the main catchment. In the Samnanger and Flekke & Guddal catchments, exceedances indicated that a slow improvement can be expected, but that there will still be a risk of acid episodes. It is predicted that there will still be a need for liming in the limed catchments.

It is important to note that due to delays in the systems there can still be acidification even if the critical loads are not exceeded. However, as long as there is no exceedance, the acidification will slowly decline, and the acid episodes will become less frequent and severe. The further away from exceedance the system is, the quicker the recovery. In general, it should also be noted that the improvement towards 2030 presupposes that the countries meet the international commitments with respect to emission reductions.

# 1 Introduksjon

Forsuring av vann og vassdrag som følge av avsetning av langtransportert svovel og nitrogen har vært, og er fortsatt, et stort problem i Norge. Den atmosfæriske avsetningen har avtatt i de siste tiårene (Aas m.fl., 2017), og både utbredelsen og graden av forsuring har blitt kraftig redusert (Garmo og Skancke, 2019). Likevel er fortsatt mange elver og innsjøer forsuret.

For å redusere de negative effektene av forsuring på økosystemene har det vært utført en omfattende kalking av innsjøer og vassdrag, ikke minst laksevassdrag. Forsatt er det stor kalkingsaktivitet, selv om innsjøkalkingen er redusert i områder som historisk sett har fått mindre sur nedbør (Miljødirektoratet, 2020; Garmo m.fl., 2019).

Reduksjonen i sur nedbør skyldes reduserte utslipp av nitrogen- og spesielt svoveloksid. Dette er mye takket være Konvensjonen for langtransportert grenseoverskridende luftforurensning (LRTAP-konvensjonen). Til grunn for forhandlingene og protokollene under konvensjonen ligger konseptet om naturens tålegrenser. Naturens tålegrense er et anslag over hvor mye naturen kan motta av et forurensende stoff uten å påføres skade. Tålegrensene vil variere fra sted til sted avhengig av de naturlige forholdene. Hvor mye som kan slippes ut av et stoff vil dermed avhenge av tålegrensen der stoffet ender opp.

Programmet Naturens tålegrenser ble startet i 1989 i regi av Miljøverndepartementet. NIVA har som nasjonalt Focal Center i arbeidsgruppen ICP Modelling & Mapping under LRTAP-konvensjonen bidratt internasjonalt med utvikling av metoder for beregning av tålegrenser for svovel og nitrogen med hensyn til forsuring av overflatevann. Det er utarbeidet tålegrensekart for hele Norge og for Svalbard. Forrige oppdatering av tålegrenser og overskridelser i Norge ble publisert i 2018 (Austnes m.fl., 2018).

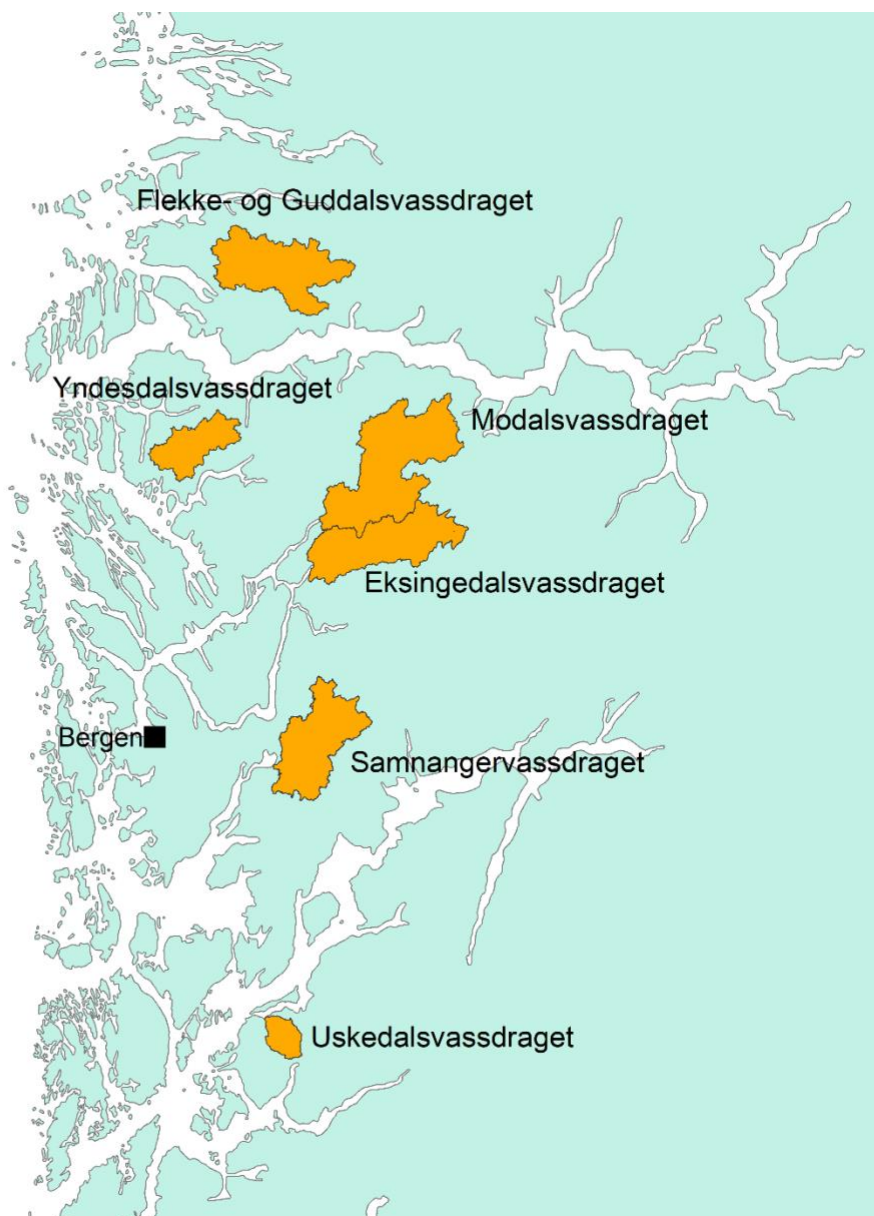
Tålegrensene for forsuring av overflatevann er basert på at syretilførselen ikke skal overskride den naturlige bufferproduksjonen i nedbørfeltet minus en mengde buffer som skal beskytte utvalgte biota mot skader. Den beskyttende bufferen er en grenseverdi som kalles  $ANC_{limit}$ . Den er primært satt med tanke på å kunne opprettholde en reproduserende ørretbestand. Når avsetningen er høyere enn tålegrensen vil man få overskridelse av tålegrensen og fare for forsuring av vannet.

Tålegrenser og overskridelser beregnes ved såkalte statiske («steady-state») modeller. Det vil si at de forutsetter likevekt mellom gjeldende avsetning av forsurende stoffer og den naturlige bufferproduksjonen i nedbørfeltet. De statiske modellene sier imidlertid ikke noe om når denne likevektssituasjonen vil inntreffe. Til det trengs dynamiske modeller, som forsuringsmodellen MAGIC (Cosby m.fl., 2001). MAGIC-modellen simulerer hvordan langvarig tilførsel av sur nedbør har ført til utvasking av basekationer i jorda (Kirchner og Lydersen, 1995) og beregner hvor lang tid det vil ta før den naturlige bufferproduksjonen er gjenopprettet etter en forsuringsperiode. Bedring av vannkjemien oppnås når tilførselene av basekationer til jorda fra forvitring og fra atmosfæren er større enn det som fjernes ved sur nedbør (Wright et al., 2005). Jo lavere avsetningen av sur nedbør er, dess fortere vil bufferkapasiteten øke.

Formålet med dette oppdraget var å beregne tålegrenser og overskridelser for seks vassdrag i Vestland fylke: Samnanger-, Uskedals-, Eksingedals-, Modals-, Yndesdals- og Flekke- og Guddalsvassdraget (Figur 1). Bortsett fra Samnangervassdraget er alle kalket. Tålegrensene viser



variasjonen i sårbarhet for forsuring. Overskridelsene er beregnet for dagens (2012-2016) og framtidig (2030) avsetningsnivå. Hvis det er overskridelser, ikke minst også i framtiden, indikerer det at det fortsatt vil være forsuring. Jo høyere overskridelsene er, dess lenger tid vil det ta før det ikke lenger er forsuring. På den annen side kan det fortsatt være forsuring selv om det ikke er overskridelser, på grunn av forsinkelsen i gjenopprettingen av den naturlige bufferproduksjonen.



Figur 1. Oversikt over vassdragene som inngår i prosjektet.

## 2 Beskrivelse av vassdragene

### 2.1 Samnangervassdraget

Samnangervassdraget har et totalt nedbørfeltareal på 236 km<sup>2</sup> (Figur 2). Vassdraget består av to hovedgreiner, Storelva i nord og Frølandselva i øst. Disse løper sammen i Frølandsvatnet. Utløpselva herfra, Tysseelva, renner ut i Samnangerfjorden ved Tysse. Lakseførende strekning går nesten opp til Fiskevatnet i Storelva, samt 2,7 km opp Frølandselva (Kambestad m.fl., 2020).

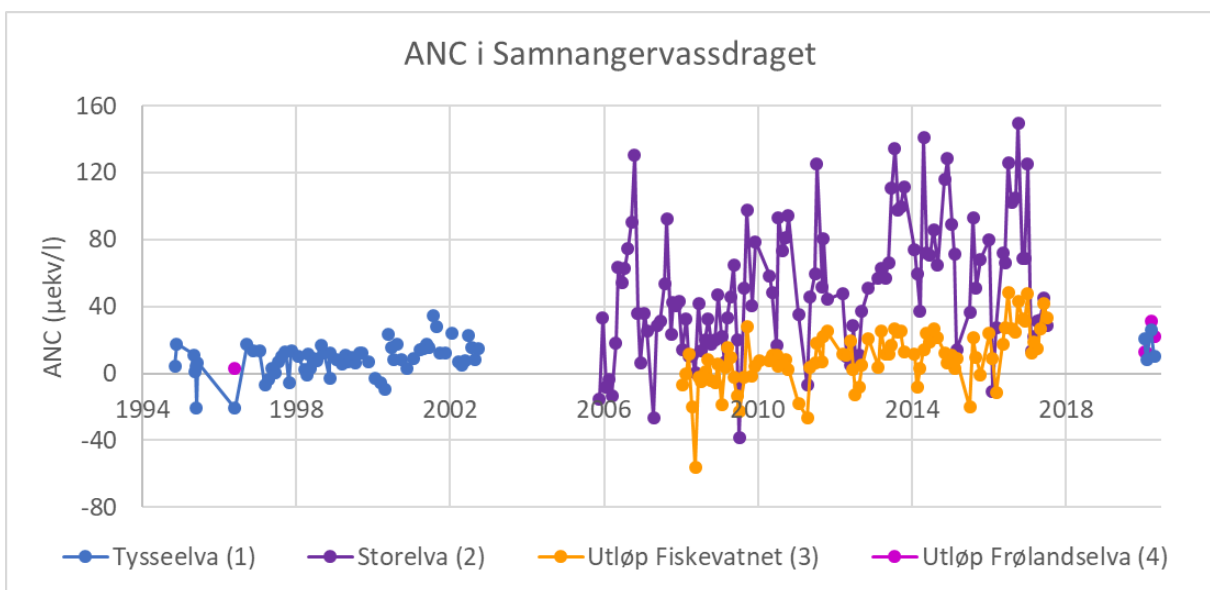
Hele den nordvestre delen av vassdraget er regulert, med overføringer av vann via Kvittingen kraftstasjon til Kvitingsvatnet og videre via Grønsdalsvatnet til Fiskevatnet. Fra Fiskevatnet ledes vannet i tunnel til Frølandsvatnet. Vannføringen i Storelva, som er det egentlige utløpet av Fiskevatnet er derfor kraftig redusert. Fra 2007 ble det lagt opp til at det skulle slippes vann fra Fiskevatnet til Storelva hvis vannføringen i Storelva gikk under 100 l/s (Kambestad m.fl., 2020). Etter pålegg om minstevannføring fra Olje- og energidepartementet i 2018 slippes det nå 500 l/s fra Fiskevatnet til Storelva i perioden 1.5-30.09 og 300 l/s resten av året.



Figur 2. Kart over Samnangervassdraget med delnedbørfelt og prøvepunkter (se Tabell 1). Vannveier er markert.

Det har ikke vært gjennomført kalking av elvestrekningene i Samnangervassdraget. Fra 1995 til 2013 var det imidlertid kalking av innsjøer i den sørlige delen av nedbørfeltet til Frølandselva (Krokavatnet, Botnavatnet, Holmavatnet, Kvanneviksvatnet, Spongatjørn og Kikedalsvatnet) (Kambestad m.fl., 2016).

Forsuringsutviklingen i Samnangervassdraget (Figur 3) viser en jevn forbedring med økende ANC<sup>1</sup>. Storelva har nå relativt høy gjennomsnittlig ANC. Det er imidlertid fortsatt episoder med langt lavere ANC, som kan gi akutt skadelige forhold for fisk og annen biota. Disse episodene inntreffer spesielt om vinteren og våren når vannet i mindre grad bufres ved transport gjennom jorda. Utløpet av Fiskevatnet har langt lavere ANC-nivå, og her er disse episodene enda mer alvorlige, med verdier godt under null. For Tysseelva er det primært data et stykke tilbake i tid, men nyere data tyder på at verdiene fortsatt ligger relativt lavt. Det er lite data fra Frølandselva, men de ligger på samme nivå som Tysseelva.



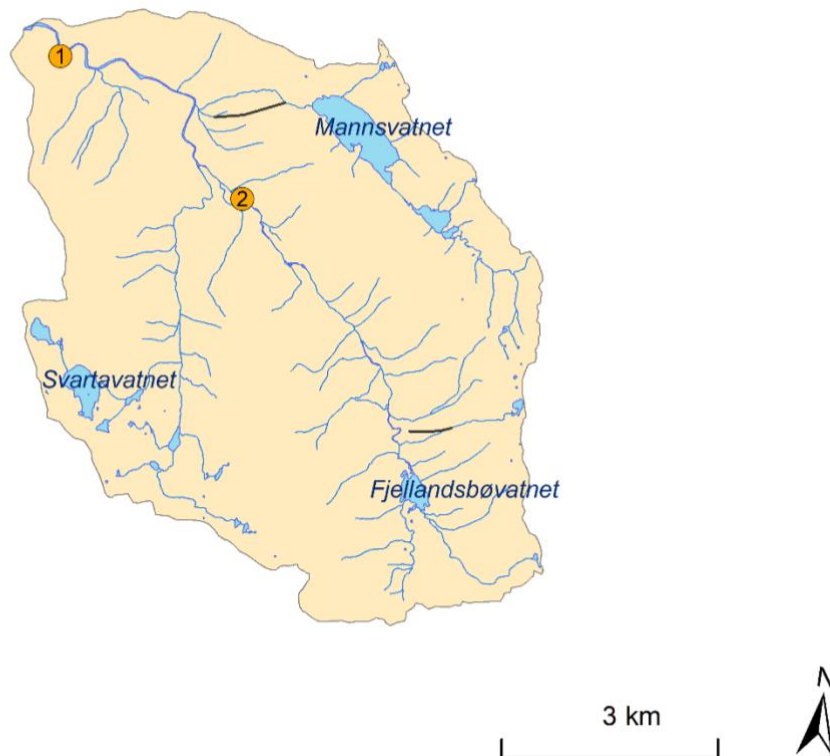
Figur 3. Utvikling i ANC i Samnangervassdraget (nummer henviser til prøvepunktene i Figur 2 og Tabell 1).

## 2.2 Uskedalsvassdraget

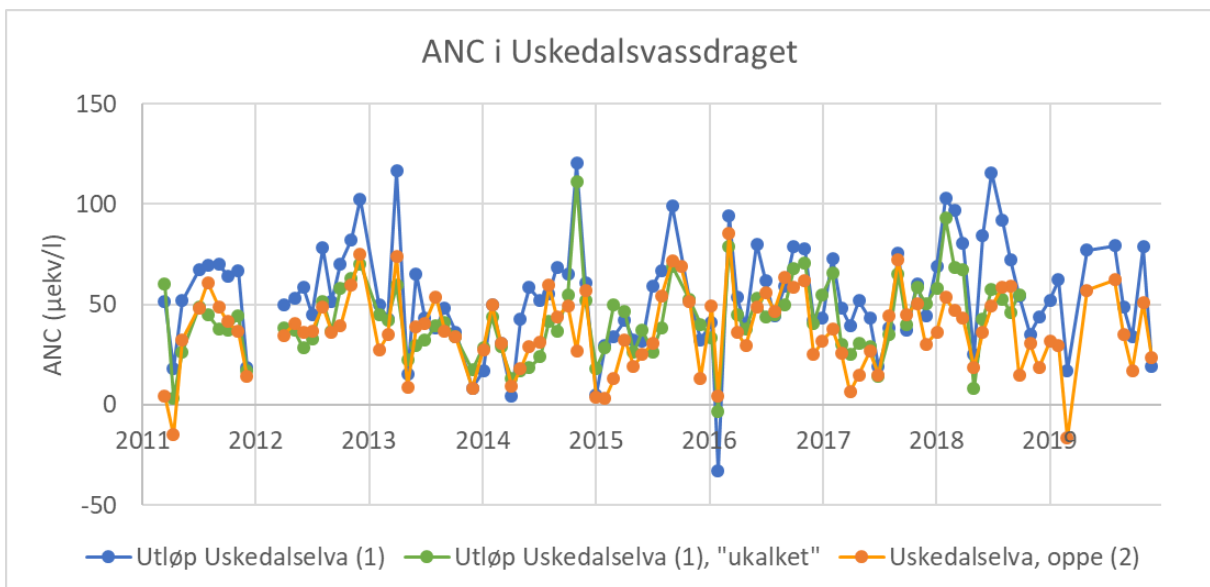
Uskedalsvassdraget er det minste av de vurderte vassdragene, med et nedbørfeltareal på 46 km<sup>2</sup> (Figur 4). Uskedalselva renner fra Fjellandsbøvatnet, med større sideelver fra Mannsvatnet (Tverrelva) og Svartavatnet (Bergsdalselva/Børsdalselva). Lakseførende strekning går opp og forbi Fjellandsbøvatnet, samt 1,1 km opp Børsdalselva (Miljødirektoratet, 2020).

Det er kun mindre, interne reguleringer i vassdraget. Børsdalselva er kalket med doserer siden 2002. Grovkalk har blitt benyttet fra 1990 til 2013, både i Børsdalselva og hovedløpet oppstrøms samløpet med Børsdalselva.

<sup>1</sup> Acid Neutralising Capacity (syrenøytraliserende kapasitet)



Figur 4. Kart over Uskedalsvassdraget med prøvepunkter (se Tabell 2). Vannveier er markert.

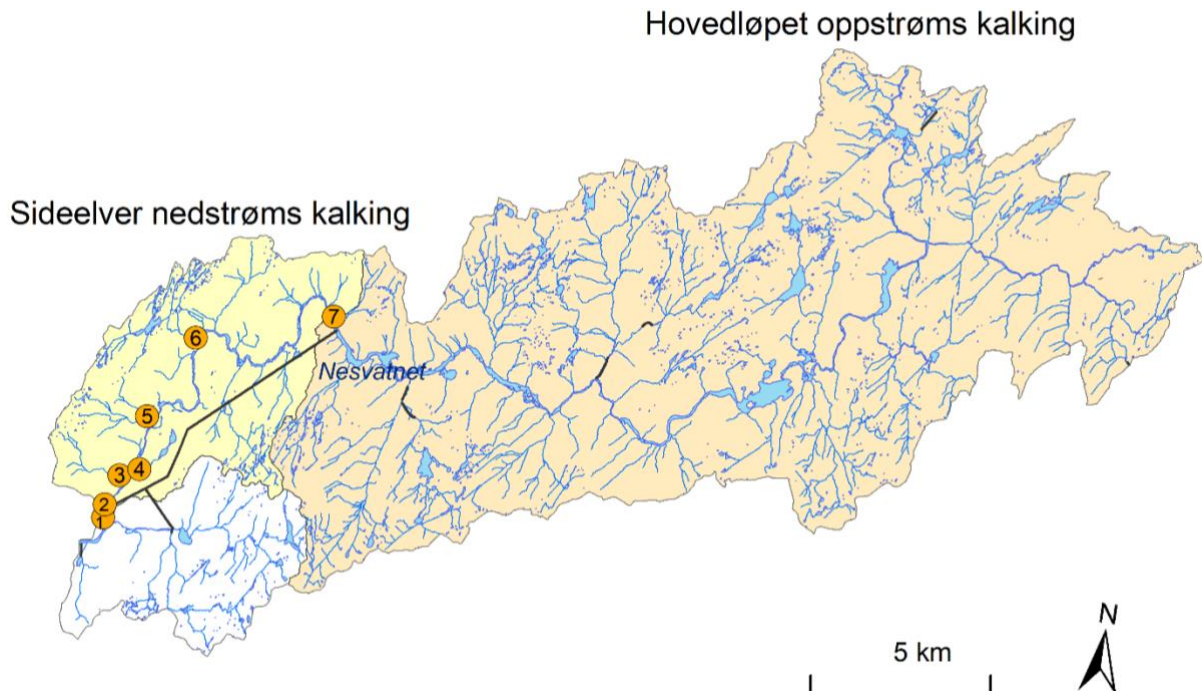


Figur 5. Utvikling i ANC i Uskedalsvassdraget (nummer henviser til prøvepunktene i Figur 4 og Tabell 2).

Forsurningsnivået i Uskedalsvassdraget er ganske variabelt (Figur 5). Stasjonen høyere opp i vassdraget (prøvepunkt 2) kan gå opp til over 80  $\mu\text{ekv/l}$  i ANC, men også ned til under -10  $\mu\text{ekv/l}$ . Bunn-nivåene nås ofte på våren, sannsynligvis i forbindelse med snøsmelting, men også på andre tider av året. Etter korrigering for kalking (se kapittel 3.2) ligger utløpet på omtrent samme nivå som stasjonen oppstrøms. Det er ingen tydelig trend i perioden med ANC-målinger.



## 2.3 Eksingedalsvassdraget



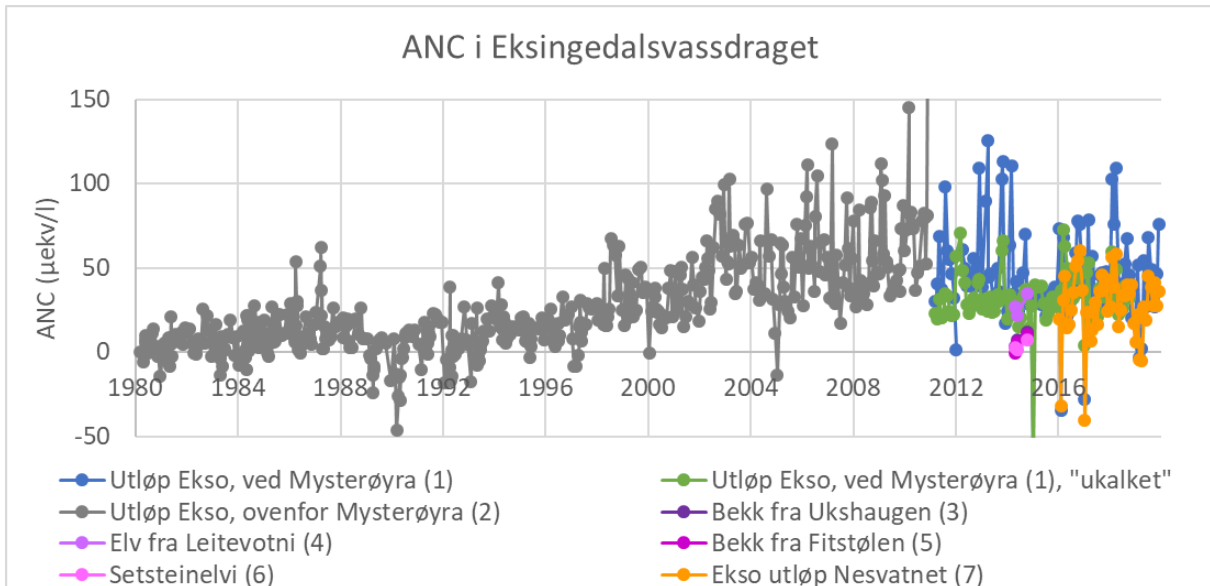
Figur 6. Kart over Eksingedalsvassdraget med delnedbørfelt og prøvepunkter (se Tabell 3). Vannveier er markert.

Etter reguleringer har Eksingedalsvassdraget et nedbørfelt på 255 km<sup>2</sup> (Figur 6). Store deler av det opprinnelige vassdraget (i øst) overføres til Evanger kraftverk (Vosso), mens Skjerjavatnets nedbørfelt (Figur 8) er overført til Modalsvassdraget<sup>2</sup>. Det er også store interne overføringer, fra Nesvatnet og fra Mysterelva (i sørvest). Avløpet fra overføringene kommer inn i Ekso rett før hovedutløpet til fjorden. Lakseførende strekning er 4,5 km opp hovedløpet, til Høsefossen (Miljødirektoratet, 2020).

Vassdraget har vært kalket med doserer nedstrøms Nesvatnet siden 1997. Det har også tidligere vært kalking i Mysterelvas nedbørfelt, både med grovkalk i elva (noen år fram til 2007) og med helikopter eller utlegging av grovkalk i innløpsbekker til Leirovatnet og Saudlandsvatnet (1995-2013).

Fra utløpet av Ekso finnes det ANC-verdier tilbake til 1980 (Figur 7). Det viser liten endring fram til kalkingen begynte. I de senere årene har ANC gått noe ned, som kan knyttes til redusert kalkforbruk (Miljødirektoratet, 2020). «Ukalket» ANC i utløpet ligger omtrent på samme nivå som oppstrøms kalking (prøvepunkt 7). Dette er et middels nivå, høyere enn på begynnelsen av 1980-tallet, men perioder med lave verdier kan forekomme, som våren 2019. Sideelvene i nedre del av vassdraget har lavere ANC, med unntak av elva fra Leitevotni, som hovedsakelig drenerer lavereliggende områder.

<sup>2</sup> REGINE-enheter som er tatt ut: 063.BA1B-C, 063.BB1-4, 063.BD, 063.B1AB, 063.B1C, 063.C2CB, 063.C2D1B, 063.C2E, 063.C3B, 063.C5AB, 063.C5C, 063.D1-4 (og oppstrøms der aktuelt)



Figur 7. Utvikling i ANC i Eksingedalsvassdraget (nummer henviser til prøvepunktene i Figur 6 og Tabell 3).

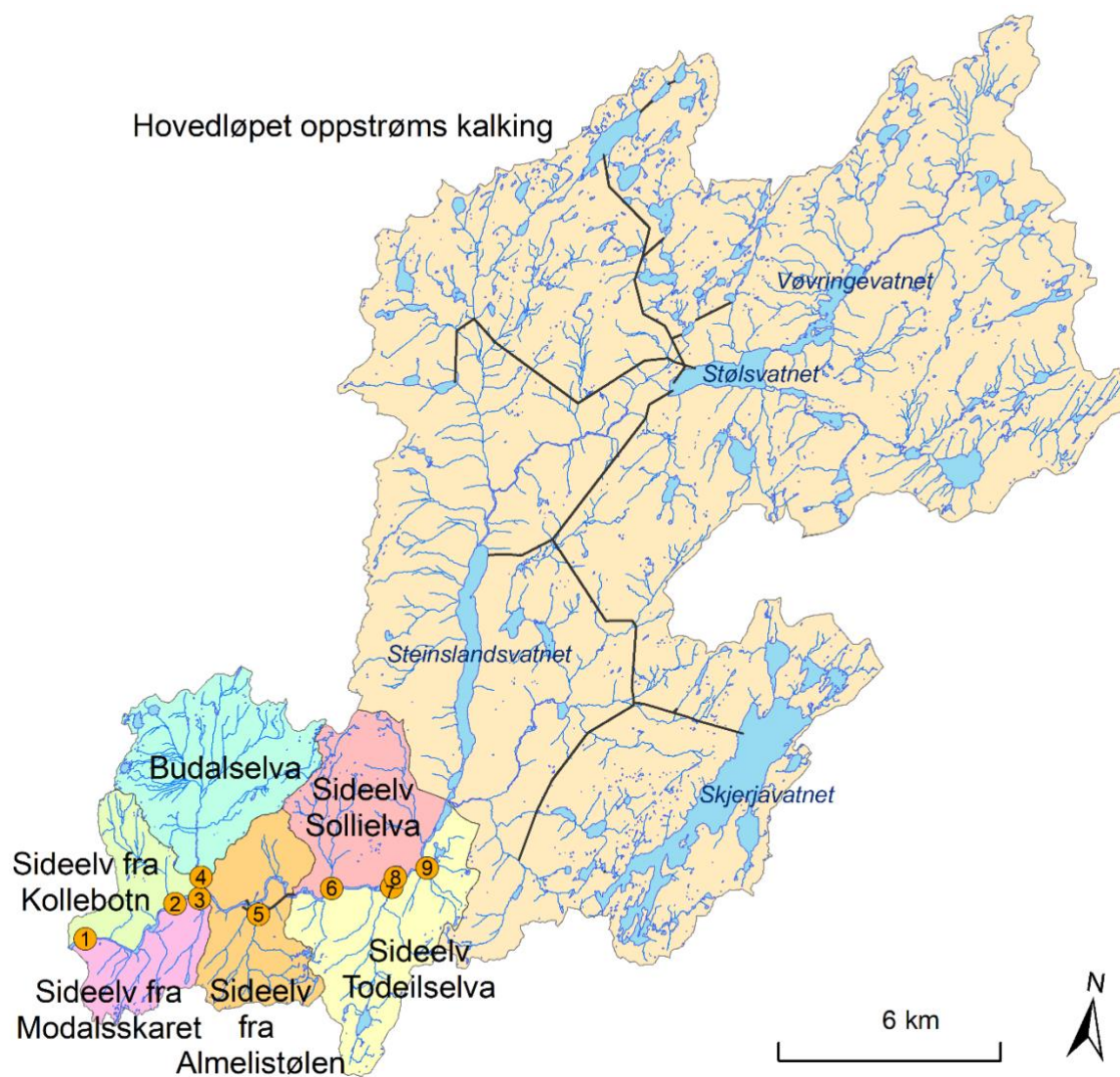
## 2.4 Modalsvassdraget

Modalsvassdraget har etter regulering et nedbørfeltareal på 381 km<sup>2</sup> (Figur 8). Skjerjavatnets nedbørfelt er overført fra Eksingedalsvassdraget, mens områder i øst er overført til Eksingedalsvassdraget med videre overføring til Evanger kraftverk. Et lite område helt i nord er overført fra Ortnevikvassdraget<sup>3</sup>. Det er også en rekke interne overføringer, spesielt i den øvre delen av vassdraget. Det har vært kalket med doserer ved Espeneset nedstrøms utløpet av Steinslandsvatnet siden våren 2016. Lakseførende strekning er opp til Steinslandsvatnet, med innløpsbekker (Miljødirektoratet, 2016).

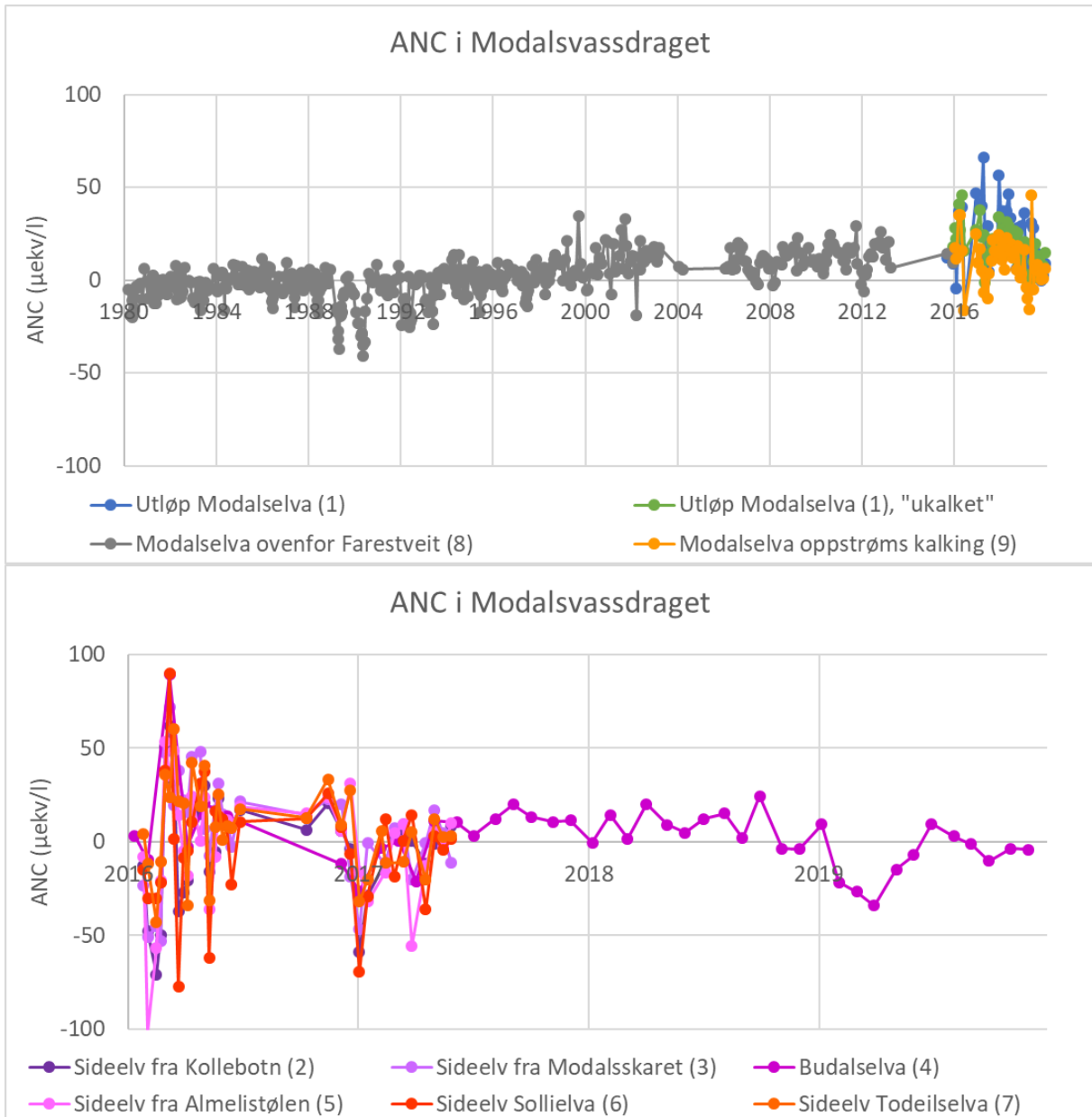
Data fra Modalselva strekker seg tilbake til 1980 (Figur 9). Her ser man en sakte forbedring i ANC. Fortsatt er det relativt lave nivåer, men ANC er bare unntaksvis under null. Verdiene fra utløpet ligger noe høyere enn stasjonen oppstrøms kalking, også etter korreksjon. Sideelvene har ofte lavere nivåer enn hovedløpet i samme periode. Men det er også et større spenn og stor variasjon. Større variasjon kan forventes i mindre elver med stor variasjon i vannføring, men 2016-verdiene kan sies å vise uvanlig mye variasjon.

<sup>3</sup> REGINE-enheter som er tatt ut: 064.CBB, 064.C5C og 064.AE  
REGINE-enheter som er tatt inn: 063.BD og 070.2AC



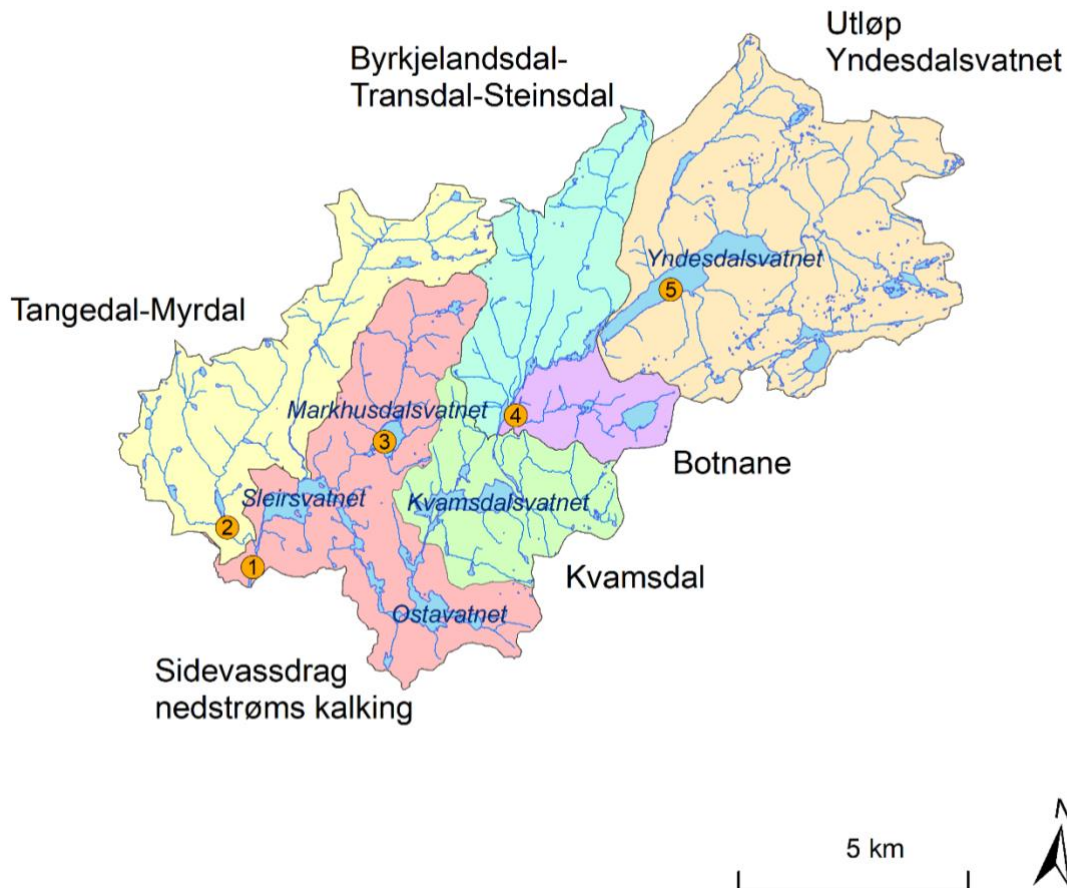


Figur 8. Kart over Modalsvassdraget med delnedbørfelt og prøvepunkter (se Tabell 4). Vannveier er markert.



Figur 9. Utvikling i ANC i Modalsvassdraget (nummer henviser til prøvepunktene i Figur 8 og Tabell 4). Hovedløpet øverst, sideelver nederst.

## 2.5 Yndesdalsvassdraget

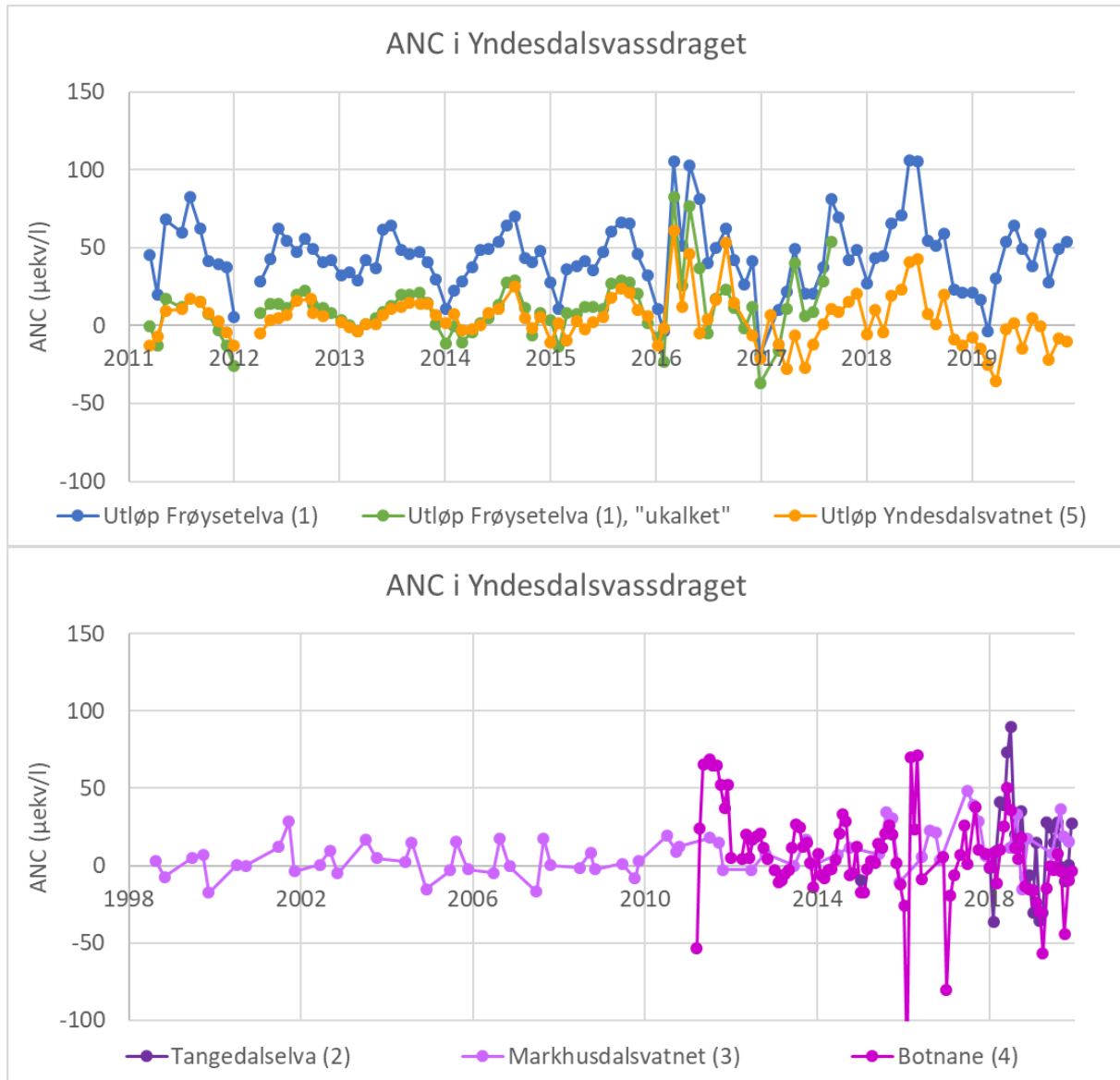


Figur 10. Kart over Yndesdalsvassdraget med delnedbørfelt og prøvepunkter (se Tabell 5).

Yndesdalsvassdraget har et nedbørfeltareal på 119 km<sup>2</sup> (Figur 10). Dette er etter at to mindre områder i nordøst er trukket fra. Her overføres vannet til Kløvtveit Kraftverk, Austgulen<sup>4</sup>. Yndesdalsvatnet høyt opp i vassdraget ble fullkalket fra 1991 til 2003. Fra høsten 1994 har det vært dosering av kalk i utløpet av Ostavatnet. Dette pågår fortsatt. Lakseførende strekning er opp til dette vannet (Miljødirektoratet, 2020).

For hovedløpet begynner ANC-dataene i 2011 (Figur 11). Disse viser lite tegn til endring. Utløpet av Yndesdalsvatnet har periodevis lav ANC, også negativ. Verdiene ligger høyere for utløpet av Frøysetelva på grunn av kalking, men også etter korrigering for dette ligger verdiene noe høyere her, spesielt de siste årene. Den lenger tidsserien for ANC fra Markhusdalsvatnet gir indikasjoner på en liten økning de siste årene.

<sup>4</sup> REGINE-enheter som er tatt ut: 067.6BC, 067.6B6B, 067.6B6A4B

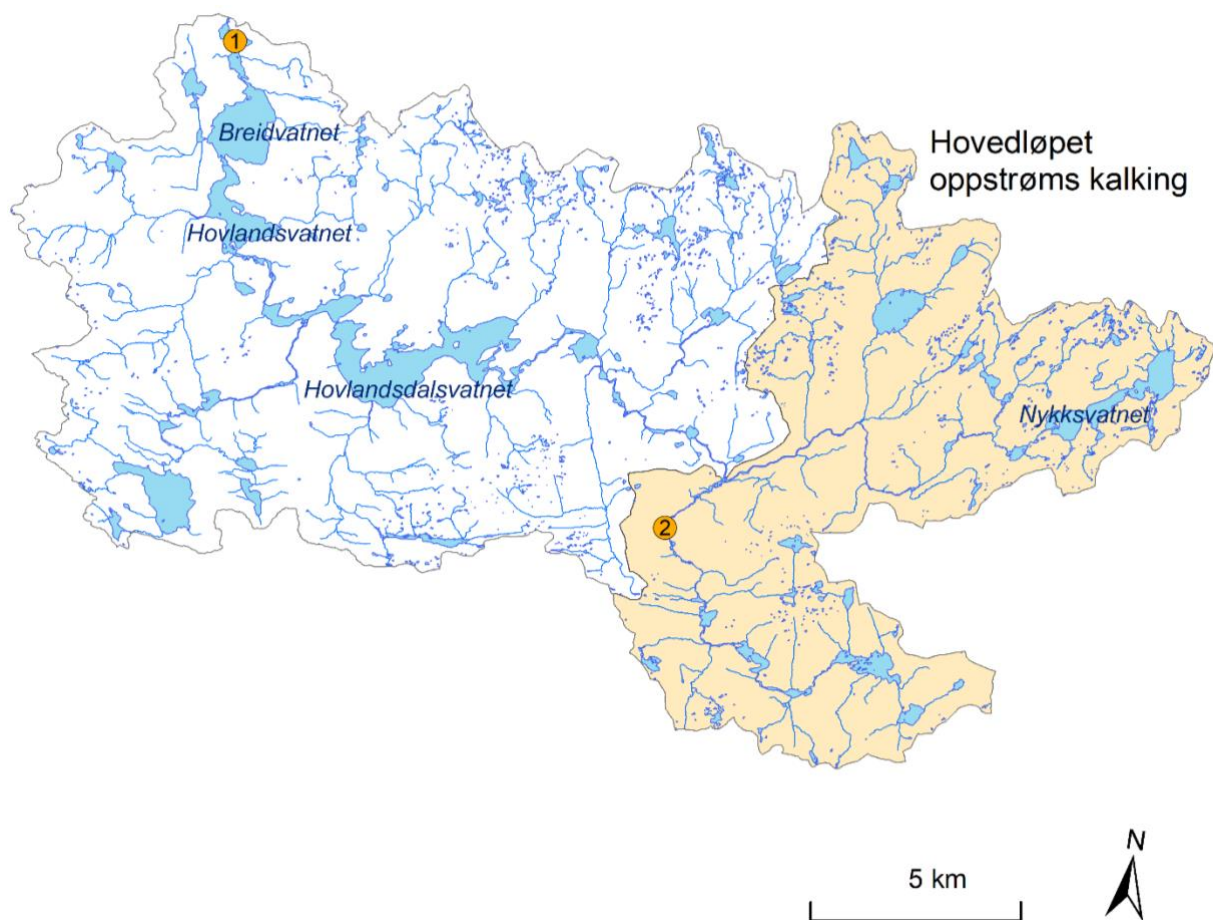


Figur 11. Utvikling i ANC i Yndesdalsvassdraget (nummer henviser til prøvepunktene i Figur 10 og Tabell 5). Hovedløpet øverst, sideelver nederst.

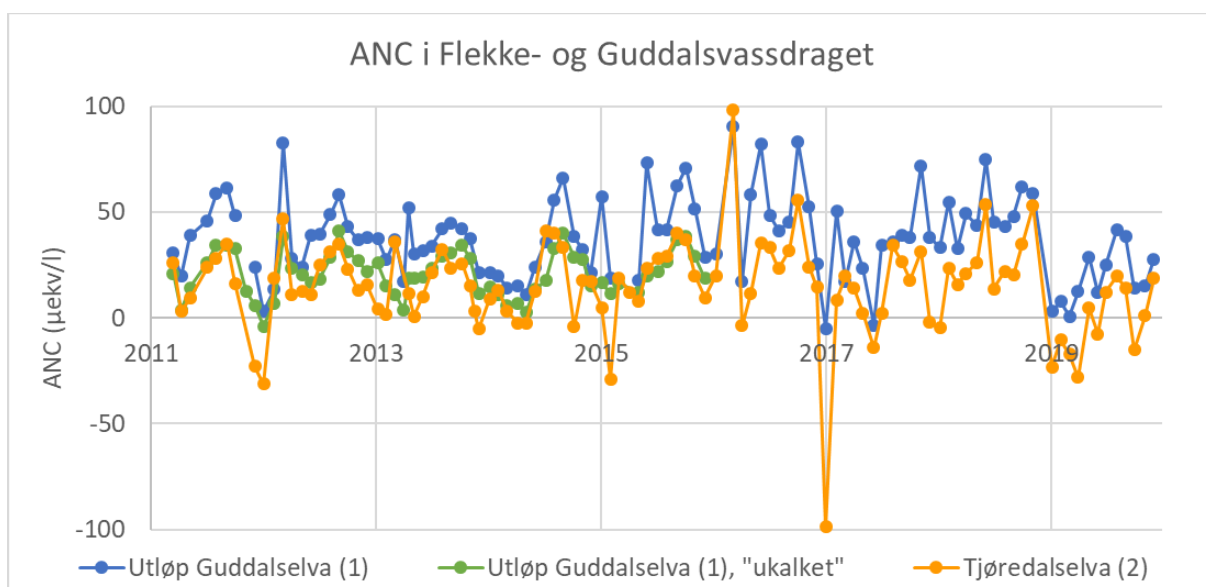
## 2.6 Flekke- og Guddalsvassdraget

Flekk- og Guddalsvassdraget har et nedbørfeltareal på 263 km<sup>2</sup> (Figur 12). To kalkdoserere har vært i drift siden 1997 – en i hovedløpet ved Tuland og en i sidevassdraget Espedalselva (utløp i Hovlandsvatnet). Enkelte innsjøer har vært kalket før 2010. Det var også terrengkalking i Hovlandselva (drenerer til Hovlandsvatnet) i 1998. Lakseførende strekning går opp til Harefossen nedstrøms Hovlandsvatnet (Miljødirektoratet, 2020).

ANC-verdiene (Figur 13) i Tjøredalselva høyt opp i vassdraget ligger som regel mellom 0 og 50 µekv/l, men går også noen ganger godt under null. De laveste verdiene opptrer gjerne om vinteren eller våren. Korrigert for kalking er nivået ved utløpet bare en anelse høyere enn i Tjøredalselva.



Figur 12. Kart over Flekke- og Guddalsvassdraget med delnedbørfelt og prøvepunkter (se Tabell 6).



Figur 13. Utvikling i ANC i Flekke- og Guddalsvassdraget (nummer henviser til prøvepunktene i Figur 12 og Tabell 6).



## 3 Metode

### 3.1 Tålegrensemodeller

Det er benyttet to ulike modeller for beregning av tålegrenser og tilhørende overskridelser:

- *The Steady-State Water Chemistry Model* (SSWC-modellen), som beregner tålegrenser for sterk syre og overskridelse med utgangspunkt i at utlekkingen av nitrogen forblir konstant på dagens nivå.
- *The First-order Acidity Balance Model* (FAB-modellen), som beregner separate tålegrenser for svovel og nitrogen, og samlet overskridelse gitt en potensiell høyere utlekking av nitrogen i framtiden.

Modellene er kort beskrevet her, men flere detaljer finnes i Henriksen og Posch (2001) og CLRTAP (2017).

I SSWC-modellen beregnes tålegrensen fra sjøsaltkorrigert før-industriell basekationkonsentrasjon og grenseverdien  $ANC_{limit}$ . Endringen i vannkjemien fra før-industriell tid til i dag anses kun å være et resultat av ionebytteprosesser i jorda som følge av avsetning av sure anioner. Beregningen av den før-industrielle basekonsentrasjonen er her gjort med den såkalte F-faktor-metoden, basert på dagens sjøsaltkorrigerede basekationkonsentrasjon og empirisk bestemte konstanter. Dette er en litt annen metodikk enn den som nå benyttes i de nasjonale beregningene (Austnes m.fl., 2018).

Det benyttes en variabel  $ANC_{limit}$ . Det vil si at  $ANC_{limit}$  settes høyere med stigende før-industriell basekationkonsentrasjon. Dette er begrunnet med at systemer med høyere før-industriell basekationkonsentrasjon har en høyere biodiversitet, som krever mer for å holdes intakt. Det er også lagt inn en variabilitet som gir lavere tålegrenser når konsentrasjonen av organiske syrer er høy, fordi systemene vil tåle mindre antropogen forsurening når den naturlige forsureningen er høy. Dette forklares nærmere i Lydersen m.fl. (2004) og Hindar og Larssen (2005). Konsentrasjonen av totalt organisk karbon (TOC) brukes som mål på organiske syrer.

FAB-modellen er en massebalansemodell, som tar hensyn til de ulike kildene til og sluk for nitrogen, svovel og basekationer i nedbørfeltet og innsjøen. Modellen beregner separate tålegrenser for svovel og nitrogen. Beregningene for basekationer og  $ANC_{limit}$  er de samme som for SSWC-modellen. Den viktigste forskjellen mellom FAB og SSWC er at FAB ikke bruker dagens opptak av nitrogen i nedbørfeltet, men antatt netto opptak under likevekt («steady state») en gang i framtiden. I dag tar vegetasjonen, særlig skog, opp mye av nitrogenet som avsettes. Under en framtidig likevekt antas systemet å være «mettet» på nitrogen slik at opptaket blir lavere enn i dag. Nitrogenet vil dermed bidra mer til forsurening, gitt samme avsetning. Nitrogenlekkasjen beregnes som tilført nitrogen fratrukket det som immobiliseres i jorda eller innsjøer, tilbakeføres til lufta gjennom denitrifisering eller evt. tas ut ved hogst.

Siden SSWC gir én tålegrenseverdi, mens FAB gir separate tålegrenser for svovel og nitrogen, er det ikke mulig å sammenligne tålegrensene direkte. Forskjellen mellom de to modellene kommer imidlertid til syne når man beregner overskridelser. I SSWC-modellen antas det at sulfat er mobilt, mens nitrogen vil holdes igjen i nedbørfeltet på samme nivå som nå. Nitrogenavsetningen inngår derfor ikke i beregningen av overskridelser, kun dagens nitrogenavrenning. Med FAB-modellen benyttes både svovel- og nitrogenavsetningen i beregningen av overskridelser. Ved samme avsetning vil overskridelsene som regel bli høyere med FAB-modellen, og den kan sies å representere et «worst case»-scenario.



### 3.2 Inndeling av delnedbørfelt og valg av vannkjemiske data til tålegrenseberegningene

For å beregne tålegrenser og overskridelser for vassdragene som helhet, er data fra utløpet benyttet. Vannkjemien her reflekterer den samlede effekten av forutgående prosesser i hele nedbørfeltet, og tålegrensen og overskridelsen kan sees på som et gjennomsnitt for nedbørfeltet som helhet. Parallelt til dette er det beregnet tålegrenser og overskridelser for ulike delnedbørfelt innen hvert vassdrag. Dette er for å kunne vurdere om sårbarheten og prognosene varierer innad i nedbørfeltet, dvs. mellom de ulike delnedbørfeltene som tilfører vann til hovedløpet. Utgangspunktet for inndelingen i delnedbørfelt er ulike sideelver, samt den øverste delen av hovedløpet. Inndelingen styres imidlertid også av tilgjengeligheten på vannkjemiske data. Det har ingen hensikt å definere egne delnedbørfelt hvis det ikke eksisterer gode data til å gjøre beregninger for disse. Dette gjør at det gjerne er større eller mindre arealer nederst i vassdragene som det ikke er gjort separate beregninger for (se hvite arealer i Figur 2, Figur 6 og Figur 12). For å kunne gjøre beregninger for flest mulig områder har ofte flere nærliggende områder til en sideelv blitt slått sammen til ett delnedbørfelt, hvor vannkjemien fra denne sideelva er ansett som representativ for hele delnedbørfeltet. Det er også tilfeller hvor gjennomsnittlig kjemi fra flere prøvepunkter er brukt som basis for ett delnedbørfelt eller at et prøvepunkt i ett delnedbørfelt er brukt som basis også i andre. Kartlag for nedbørfeltene og delnedbørfeltene er laget ved å velge ut REGINE-enheter fra kartlag publisert av Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE)<sup>5,6</sup>.

Vannkjemiske data er i hovedsak hentet fra Vannmiljø-databasen<sup>7,8</sup>. For beregning av tålegrenser er det nødvendig med verdier for alle hovedionene (ANC-parameterne), samt totalt organisk karbon (TOC). Vannkjemien kan variere mye gjennom året og fra år til år, avhengig av blant annet nedbøren. Det er derfor best å benytte gjennomsnittlige data fra flere år og velge år hvor dataene er spredt ut over året. Samtidig bør det ikke brukes data fra så mange år at det er klare trender i dataene. For sammenligning mellom delnedbørfelt er det best å bruke data som i størst mulig grad er fra samme tidsperiode, men det må veies mot ønsket om tilstrekkelig mye data. Prøvepunkter og tidsperioder er altså valgt ut med tanke på best mulig representativitet i tid og rom. I praksis er det imidlertid en viss mangel på gode grunnlagsdata, og det har ofte vært nødvendig å benytte de dataene som er tilgjengelige. Gjennomsnittsverdier per delnedbørfelt er beregnet ved først å ta gjennomsnitt per måned, så per år og til sist på tvers av år og evt. på tvers av prøvepunkter (Tabell A.1).

Fem av vassdragene er kalket. I beregningene for hele vassdraget må det justeres for dette. Det gjøres ved å estimere en «ukalket» kalsium (Ca)-konsentrasjon, dvs. en Ca-konsentrasjon gitt at det ikke var kalket. Dette er gjort ved å benytte forholdet mellom kalsium og magnesium (Mg) enten fra samme prøvepunkt før kalking eller fra et prøvepunkt som ligger oppstrøms kalkingen. Så lenge geologien er relativt lik, bør også Ca/Mg-forholdet være det. Gjennomsnittlig Ca/Mg er beregnet etter samme prinsipper som over. Videre er dette brukt til å beregne en «ukalket» Ca-konsentrasjon for hver enkeltprøve fra utløpet. I teorien kan også sjøsalter påvirke Ca/Mg-forholdet. Det betyr at hvis prøvepunktet Ca/Mg-forholdet beregnes for ligger langt oppstrøms prøvepunktet som skal korrigeres, og dermed har antatt lavere avsetning av sjøsalter, burde man benytte sjøsaltkorrigerede verdier i beregningen av «ukalket» Ca. Begge metoder ble prøvd, men siden resultatene stort sett var veldig like, ble det valgt ikke å bruke sjøsaltkorrigering. Ekstra korrigeringer vil innføre mer

<sup>5</sup> Se <https://kartkatalog.nve.no/#kart> for oversikt over NVEs kartlag

<sup>6</sup> Med ett unntak for Yndesdalsvassdraget, se beskrivelse lenger ned

<sup>7</sup> <https://vannmiljo.miljodirektoratet.no/>

<sup>8</sup> Noen data fra Eksingedalsvassdraget er ikke i Vannmiljø

usikkerhet, og det var noen få eksempler hvor sjøsaltkorrigering gav negativ «ukalket» Ca-konsentrasjon.

Med unntak av Modalselva har det i de siste årene blitt kalket med en kalktype som kalles VK5 (Microdol 5\_VK). Den inneholder såpass mye Mg at korrigeringsmetoden ikke vil fungere. Det ble derfor ikke beregnet «ukalket» Ca-konsentrasjon for perioden etter at man begynte å kalke med VK5. Data fra denne perioden ble dermed ikke benyttet i tålegrenseberegningene. I Modalselva benyttes Biokalk, som har så lavt innhold av Mg at det anses uproblematisk.

### Samnangervassdraget

For Samnangervassdraget var det gode, nyere data for både Storelva ved utløpet til Frølandsvatnet og for utløpet av Fiskevatnet. Utløpet av Storelva ville under naturlige forhold dekke hele Storelvas nedbørfelt. På grunn av krafttunnelen fra Fiskevatnet deles imidlertid nedbørfeltet. Storelva ble derfor skilt ut som eget delnedbørfelt, med Kvernelva og lokale sidebekker til Storelva (REGINE-enhetene 055.B1 og 055.B2, Figur 2). Resten av det egentlige nedbørfeltet til Storelva ble definert som et eget delnedbørfelt kalt Utløp Fiskevatnet.

Frølandselva i sør ble skilt ut som eget delnedbørfelt til tross for at det var lite data tilgjengelig. Som den ene hovedgreina i vassdraget gir det hydrologisk god mening. Det gjenstående arealet kunne det ikke gjøres beregninger for. Det inkluderer det lille, separate nedbørfeltet REGINE 055.A9, som drenerer til Frølandsvatnet, samt lokalfeltet til Tysseelva nedstrøms Frølandsvatnet. Data fra Tysseelva er imidlertid benyttet for å beregne samlet tålegrense og overskridelser for hele Samnangervassdraget.

For utløpet av Storelva og Fiskevatnet (Tabell 1) var det ca. månedlige data fra hhv. 2006 til 2016 og 2008 til 2016. For 2017 var det data kun for halve året. Ettersom TOC-data i Storelva ikke var tilgjengelige for 2006-2007 og med ønske om å bruke samme tidsperiode, ble det her benyttet data for 2008 til 2016. Det ble antatt at bidraget fra Fiskevatnet til Storelva i denne perioden var minimalt<sup>9</sup>, og at vannkjemien målt i Storelva derfor hovedsakelig representerer delnedbørfeltet Storelva. Dette vil være annerledes etter 2018, hvor overføringen fra Fiskevatnet er større.

I Tysseelva var det overvåking av de nødvendige parameterne fra 1994 til 2002, men med mer jevnlig målinger (ca. månedlig) fra 1997. Her ble det derfor brukt data for perioden 1997-2002. Det ble også tatt fire prøver våren 2020. Disse ble kun benyttet til å fastsette TOC-konsentrasjonen, som ikke var tilgjengelig for 1997-2002. Det er dessuten generelt en fordel å bruke nyere TOC-data. I Frølandselva har det primært vært overvåking av et lite utvalg parametere. Før de nye prøvene i 2020 var det kun en prøve fra 1996<sup>10</sup> med data for ANC-parametere for vannlokaliteten lengst nedstrøms (prøvepunkt 4). I tillegg var det tre prøver fra et prøvepunkt rett oppstrøms fra 1997-1998. Her ble derfor dataene fra 2020 ansett som de beste.

Tabell 1. Prøvepunkter i Samnangervassdraget

Nummer i kart	Vannlokalitetskode	Vannlokalitet	UTM33 øst (x)	UTM33 nord (y)	Benyttet for (del)nedbørfelt
1	055-58813	Tysseelva, Samnanger 3	-7750,8	6728732	Samnanger
2	055-97626	Storelva Samnangervassdraget	-6148,9	6729731	Storelva
3	055-97634	Fiskevatnet, utløp	-4943,7	6733357	Utløp Fiskevatnet
4	055-58811	Frølandselva, Samnanger 1	-5621,3	6728795	Frølandselva

<sup>9</sup> Normalavrenningen for delnedbørfeltet er 960 l/s, så det bør ikke være ofte vannføringen går under 100 l/s

<sup>10</sup> Det er en prøve både fra 1995 og 1996 i Vannmiljø, men dataene er identiske, så det må være en feil. Det er derfor bare den ene prøven som er benyttet, og det er antatt at denne gjelder for 1996

### Uskedalsvassdraget

Det var kun to prøvepunkter med ANC-data i Uskedalsvassdraget (Tabell 2). Det ble ansett som mindre interessant å beregne separate resultater for nedbørfeltet til prøvepunktet lenger opp i vassdraget (prøvepunkt 2), så her ble beregningene kun gjort for hele vassdraget. Data fra prøvepunkt 2 ble brukt til å korrigere for kalking. Ettersom det ble kalket med VK5 fra november 2018, ble det kun benyttet data fra 2011 og fram til dette. Gjennomsnittlig Ca/Mg for 2011-2018 ble brukt til kalkingskorreksjonen.

Tabell 2. Prøvepunkter i Uskedalsvassdraget

Nummer i kart	Vannlokaltetskode	Vannlokaltet	UTM33 øst (X)	UTM33 nord (Y)	Benyttet for (del)nedbørfelt
1	045-58816	Uskedalselva, utløp	-9606,8	6678503	Uskedal
2	045-58817	Uskedalselva, øverst (referanse)	-7081,5	6676526	Uskedal (kalkingskorrigering)

### Eksingedalsvassdraget

Det ble beregnet tålegrenser og overskridelser for Eksingedalsvassdraget en god stund tilbake i tid (Kaste m.fl., 1996). Her ble det delt inn i 17 delnedbørfelt. På grunn av mangel på relevante data var det ikke aktuelt å benytte denne inndelingen nå. Det ble i stedet skilt ut to delnedbørfelt som var av spesiell interesse. Det ene var området oppstrøms kalking (REGINE 063.A5 og oppover, Figur 6). Her ble alle tilgjengelige data for prøvepunkt 7 (Tabell 3) benyttet (2016-2019). I tillegg var det ønskelig med en egen vurdering for det lokale nedbørfeltet til den kalkede delen av hovedløpet (REGINE 063.A3 og 063.A4). Her var det tre prøver fra 2014 fra hver av fire sideelver (Johnsen, 2015). Det ble ansett at disse samlet representerte dette området, med tre lokaliteter som representerte nedbørfelt som strekker seg helt opp til høyfjellet og en (elva fra Leitevotni) som representerer de mindre, laveliggende nedbørfeltene. Det ble derfor brukt et gjennomsnitt av verdiene for disse fire lokalitetene i beregningene for dette delnedbørfeltet.

Tabell 3. Prøvepunkter i Eksingedalsvassdraget

Nummer i kart	Vannlokaltetskode <sup>11</sup>	Vannlokaltet	UTM33 øst (X)	UTM33 nord (Y)	Benyttet for (del)nedbørfelt
1	063-58804	Storelvi (Ekso) ved Mysterøyri (1)	-379,6	6768477	Eksingedal
2	063-44503	Storelvi (Ekso) ovenfor Mysterøyra	-328,7	6768840	Eksingedal (kalkingskorrigering)
3		Bekk fra Ukshaugen	75,0	6769654	Sideelver nedstrøms kalking
4		Elv fra Leitevotni	627,0	6769819	Sideelver nedstrøms kalking
5		Bekk fra Fitstølen	840,0	6771288	Sideelver nedstrøms kalking
6		Setsteinelvi	2188,0	6773457	Sideelver nedstrøms kalking
7	063-58806	Storelvi (Ekso) ved utløp Nesvatnet (2)	6021,9	6774046	Hovedløpet oppstrøms kalking

For Mysterelva var det noen spredte data fra innsjøer, men ettersom påvirkningen fra kalking var uklar, ble det ikke gjort noen separat vurdering her. Det ble heller ikke gjort egne beregninger for området som drenerer til den helt nederste delen av Ekso (REGINE 063.A10).

For hele vassdraget ble verdier fra prøvepunkt 1 benyttet. Dette er oppstrøms utløpet av Mysterelva, men det meste av vannet herfra ledes gjennom krafttunnelen, som har utløp oppstrøms

<sup>11</sup> Prøvepunkt 3-6 er ikke vannlokalteter i Vanmiljø

prøvepunktet. Ettersom det her fantes data fra før kalking fra omtrent samme lokalitet (prøvepunkt 2), ble disse benyttet til å korrigere for kalking (gjennomsnittlig Ca/Mg for 1987-1996). På grunn av kalking med VK5 fra november 2018, ble gjennomsnittsverdier for prøvepunkt 1 beregnet for perioden 2011 til oktober 2018.

### Modalsvassdraget

Prøvetaking i sideelver i Modalsvassdraget (Johnsen, 2016) gav en mulighet til å definere mindre delnedbørfelt (Figur 8). Med unntak av Budalselva er delnedbørfeltene større enn de reelle nedbørfeltene til elvene, men elvene med prøvetaking ble vurdert representative for de ulike delnedbørfeltene. Inndelingen ble gjort basert på REGINE-enheter og geologien i området<sup>12</sup>. Det er bare prøvepunkt 5 (Tabell 4) som representerer mer enn en REGINE-enhet (064.A3-5). For fem av elvene var det bare data fra 2016 og 2017. Her ble derfor alle data brukt, selv om 2017-dataene bare var for første halvdel av året<sup>13</sup>. For Budalselva var det data fra 2016 til 2019. For 2016 manglet data fra halve året, og i dette tilfellet, med flere år med data, ble det vurdert som bedre å utelate 2016. Den øvre delen av vassdraget ble også definert som eget delnedbørfelt (REGINE 064.AA og oppover). Som for Budalselva ble det brukt data for 2017-2019.

Beregningene for hele vassdraget ble gjort basert på data fra utløpet. Også her ble kun data fra 2017 til 2019 benyttet. Både prøvepunkt 8 og 9 ble vurdert brukt til å korrigere for kalking, men beregningene basert på data fra prøvepunkt 8 gav mest rimelige resultater (med gjennomsnittlig Ca/Mg for 2006-2012).

Tabell 4. Prøvepunkter i Modalsvassdraget

Nummer i kart	Vannlokalitetskode	Vannlokalitet	UTM33 øst (X)	UTM33 nord (Y)	Benyttet for (del)nedbørfelt
1	064-28997	Moelva, utløp fjorden (VK1)	1056,6	6777545	Modal
2	064-80456	Sideelv fra Kollebotn	3484,0	6778494	Sideelv fra Kollebotn
3	064-80455	Sideelv fra Modalsskaret	4148,0	6778645	Sideelv fra Modalsskaret
4	064-82800	Budalselva (VK2)	4188,6	6779220	Budalselva
5	064-80454	Sideelv fra Almelistølen	5741,0	6778213	Sideelv fra Almelistølen
6	064-80453	Sideelv Sollielva	7720,0	6778914	Sideelv Sollielva
7	064-80452	Sideelv Todeiselva	9345,0	6778949	Sideelv Todeiselva
8	064-44504	Moelva ovenfor Farestveit	9441,3	6779204	Modal (kalkingskorrigering)
9	064-81557	Moelva ved Espeneset, oppstrøms kalking (VK4)	10295,7	6779464	Hovedløpet oppstrøms kalking

### Yndesdalsvassdraget

Tålegrenser og overskridelser for Yndesdalsvassdraget har blitt beregnet tidligere (Bjerknes m.fl., 2004). Her ble nedbørfeltet delt inn i tolv delnedbørfelt. Det var ikke tilstrekkelig med data for hvert enkelt delnedbørfelt, men ekstra prøvetaking ble gjennomført for å vurdere hvilke områder som var såpass like at de samme dataene kunne benyttes. I dette arbeidet har det vært sett til inndelingen som ble gjort den gangen, men på grunn av dagens behov og tilgjengeligheten av data er det delt inn i noe færre delnedbørfelt denne gangen (Figur 10).

<sup>12</sup> Kartlag Berggrunn N250 fra Norges Geologiske Undersøkelse

<sup>13</sup> For sammenligning ble beregninger gjort også med data bare for 2016. Det gav omtrent samme eller noe lavere overskridelse

Den øvre delen av vassdraget har blitt definert som ett delnedbørfelt, avgrenset av utløpet av Yndesdalsvatnet (REGINE 067.6C-D). Her har alle tilgjengelige data fra prøvepunkt 5 (Tabell 5) blitt benyttet (2011-2019). De øvrige delnedbørfeltene representerer ulike sidevassdrag. Det var en god dataserie fra utløpet av REGINE 067.6B5 (prøvepunkt 4). Data herfra ble benyttet til beregninger for delnedbørfeltet Botnane, hvor også den mindre REGINE 067.B7 ble tatt med. Bare data fra 2012 til 2019 ble brukt, på grunn av avvikende kalsiumverdier i 2011. For delnedbørfeltene Byrkjeldalsdal-Transdal-Steinsdal (REGINE 067.6BA-C, 067.6B6, 067.6B8) og Kvamsdal (REGINE 067.B1-4) var det ikke tilstrekkelig med data til bruk i beregningene, men eldre data herfra var på samme nivå som data fra Markhusdalsvatnet (prøvepunkt 3), så disse ble benyttet også her. Dataene går tilbake til 1998, men det ble valgt å benytte data kun for perioden 2011-2019, det samme tidsspennet som dekkes av de andre prøvepunktene.

Den resterende delen av vassdraget utgjør kun en REGINE-enhet (067.6A). Her ble det samlede nedbørfeltet til Tangedalselva og Myrdalselva skilt ut som ett delnedbørfelt, og data (2018-2019) fra Tangedalselva (prøvepunkt 2) ble benyttet. Nedbørfeltene for disse to elvene ble beregnet med NEVINA<sup>14</sup>. For delnedbørfeltet som utgjør resten av REGINE 067.6A ble data fra Markhusdalsvatnet benyttet, som over.

Beregninger for hele vassdraget ble gjort basert på data fra utløpet (prøvepunkt 1). Data fra oktober 2017 til 2019 ble utelatt, fordi det var blitt kalket med VK5. Ca/Mg for samme tidsperiode (2011-2017) fra utløpet av Yndesdalsvatnet ble benyttet til å korrigere for kalking.

Tabell 5. Prøvepunkter i Yndesdalsvassdraget

Nummer i kart	Vannlokalitetskode	Vannlokalitet	UTM33 øst (X)	UTM33 nord (Y)	Benyttet for (del)nedbørfelt
1	067-58825	Yndesdalselva ved Frøyset	-30407,3	6787648	Yndesdal
2	067-79150	Tangedalselva	-30965,4	6788512	Tangedal-Myrdal
3	067-42840	Markhusdalsvatnet	-27533,9	6790386	Sidevassdrag nedstrøms kalking, Kvamsdal, Byrkjeldalsdal-Transdal-Steinsdal
4	067-58824	Botnane, innløp Byrkjeldalsvatnet (referanse)	-24672,0	6790959	Botnane
5	067-40687	Yndesdalsvatnet, utløp	-21291,7	6793700	Utløp Yndesdalsvatnet (og kalkingskorrigering Yndesdal)

### Flekk- og Guddalsvassdraget

I Flekke- og Guddalsvassdraget var det lite relevante data for sideelvene. Det ble derfor kun definert ett delnedbørfelt, som utgjør den øvre delen av vassdraget, oppstrøms kalking (REGINE 082.DZ og 082.E-F, Figur 12). Her var det gode data både fra utløpet av Nykksvatnet og fra Tjøredalselva. Nykksvatnet ligger imidlertid på over 600 m.o.h.. Prøvepunktet i Tjøredalselva (prøvepunkt 2, Tabell 6) ble ansett som mer relevant for å representere både de høyereliggende og lavereliggende delene av delnedbørfeltet. Alle tilgjengelige data ble brukt (2011-2019). I beregningene for hele vassdraget ble prøvepunktet helt nederst i Guddalselva ved Trollefoss brukt. Ettersom det ble kalket med VK5 fra oktober 2016, ble kun data for 2011-2015 benyttet. Korrigering for kalking ble gjort med gjennomsnittlig Ca/Mg fra Tjøredalselva for samme tidsperiode.

<sup>14</sup> <http://nevina.nve.no/>

Tabell 6. Prøvepunkter i Flekke- og Guddalsvassdraget

Nummer i kart	Vannlokalitetskode	Vannlokalitet	UTM33 øst (X)	UTM33 nord (Y)	Benyttet for (del)nedbørfelt
1	082-50219	Rennestraumsvatnet, utløp (Trollefoss 10)	-15601,0	6835165	Flekk-Guddal
2	082-58875	Tjøredalselva (2)	-5382,5	6823611	Hovedløpet oppstrøms kalking (og kalkingskorrigering Flekke-Guddal)

### 3.3 Øvrige data til tålegrenseberegningene

Areal for nedbørfeltene og delnedbørfeltene er beregnet fra kartlagene. Totalt innsjøareal per felt er beregnet ved å benytte kartlaget for NVEs innsjødatabase. Midlere årstilsig for 1961-1990 for REGINE-enheten er benyttet som vannføringsdata. Verdien for totalt oppstrøms areal (totTilsig) er benyttet, med mindre enkelte REGINE-enheter er regnet som eget delnedbørfelt, hvor tilsig for REGINE-enheten(e) er brukt (regineQ). Tilsigsdata tar høyde for blant annet overføringer fra andre nedbørfelt som følge av vannkraftaktivitet. For delnedbørfelt Tangedal-Myrdal i Yndesdalsvassdraget er normalavrenning og areal hentet fra NEVINA-beregningene. Tilsvarende tall for delnedbørfeltet Sidevassdrag nedstrøms kalking ble beregnet ved å trekke verdiene for Tangedal-Myrdal fra verdiene for hele REGINE-enheten (067.6A).

Nitrogenuttaket ved hogst er beregnet med utgangspunkt i dataene som benyttes i de nasjonale tålegrenseberegningene. Her er uttaket fastsatt per rute i et rutenett som dekker hele Norge, basert på skogdekke og produktivitet (Frogner m.fl., 1994). Nitrogenuttaket per delnedbørfelt er beregnet som arealveiet gjennomsnitt av verdiene for ruten(e) som delnedbørfeltet overlapper med. I de aller fleste tilfeller er verdien null, fordi det er lite produktiv skog i disse områdene.

Alle verdier som er beregnet per delnedbørfelt eller nedbørfelt er gitt i Tabell A.2. Konstantene som benyttes i beregningene (Tabell A.3) er de samme som benyttes i de nasjonale tålegrenseberegningene, med unntak av konstantene som benyttes i beregning av før-industriell basekationkonsentrasjon (konstanter for beregning av F-faktoren og før-industriell sulfatkonsentrasjon).

### 3.4 Avsetning av langtransporterte luftforurensninger

Avsetningsdataene for 2012-2016 er de samme som er benyttet i Austnes m.fl. (2018). Dette er de nyeste landsdekkende dataene. Avsetningen er beregnet ved en kombinasjon av målte verdier og kjemisk transportmodellering (EMEP-modellen, Simpson m.fl., 2012), og dataene er tilgjengelige for et rutenett med oppløsning på 0,1° x 0,1°. Som basis for avsetningsdata for 2030 er det benyttet simulerte avsetningsdata fra EMEP (Cooperative programme for monitoring and evaluation of the long-range transmissions of air pollutants in Europe, LRTAP)<sup>15</sup>, som tar høyde for endringer i framtidig avsetning etter revisjonen av Gøteborg-protokollen (LRTAP-konvensjonen) i 2012. Disse dataene er gitt på et 0,25 x 0,5 bredde-lengdegrad-rutenett. EMEP-modellen simulerer godt endringen i avsetningen, men treffer ikke alltid like godt på nivået i Norge (Austnes, 2015). Avsetningen i 2030 er derfor beregnet ved å bruke norske avsetningsdata for 2012-2016 sammen med den relative endringen fra 2015 til 2030 basert på EMEP-data.

<sup>15</sup> <https://www.emep.int/mscw/index.html>



### 3.5 Beregning av overskridelser

For SSWC-modellen beregnes overskridelsen som summen av svovelavsetningen og dagens nitrogenavrenning minus tålegrensen. Overskridelse med FAB-modellen er beregnet i samsvar med CLRTAP (2015) basert på tålegrensene og avsetningen for både svovel og nitrogen. Ettersom avsetningen kan variere innenfor samme nedbørfelt er overskridelsen beregnet som et arealveiet gjennomsnitt for hele nedbørfeltet eller delnedbørfeltet. Vanligvis oppgis bare overskridelsen som null hvis tålegrensen ikke er overskredet. For å illustrere avstanden til tålegrensen er det her også beregnet en «negativ overskridelse». Dette er kun gjort for overskridelser beregnet for SSWC-tålegrenser.

## 4 Resultater

Resultater beregnet for vassdragene som helhet basert på data fra hovedutløpet er vist i Tabell 7, mens resultater for delnedbørfelt innenfor de enkelte vassdragene er vist i de ulike delkapitlene og i Tabell A.4.

Felles for alle resultatene er at avsetningen var lavere i 2030. Dette skyldes en ytterligere forventet nedgang i utslipp. Dette gav også en lavere overskridelse i 2030 sammenlignet med 2012-2015. Nitrogen(N)-avsetningen var generelt høyere enn svovel(S)-avsetningen. Dette skyldes at nedgangen i avsetning har vært langt større for svovel enn for nitrogen (Aas m.fl., 2017). Som forklart i kapittel 3.1 er overskridelsene høyere når beregnet med FAB-modellen enn med SSWC-modellen.

Sammenligningen av resultatene for vassdragene som helhet (Tabell 7) viser at det var ganske stor forskjell i tålegrense. Yndesdalsvassdraget hadde lavest tålegrense, mens den var høyest i Uskedalsvassdraget. Disse forskjellene skyldes primært ulikheter i geologi, men forskjeller i avrenning kan også spille inn. Det var mindre forskjeller i avsetning, men den lå noe høyere for Uskedalsvassdraget, Yndesdalsvassdraget og Flekke- og Guddalsvassdraget enn de andre tre vassdragene. Dette kan skyldes at de ligger nærmere kysten, som gjør at en større andel av den langtransporterte forurensningen vaskes ut her.

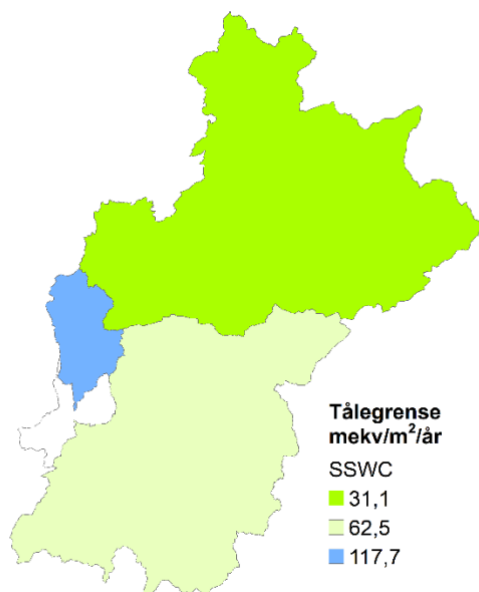
Beregnet med SSWC-modellen var det kun Yndesdalsvassdraget som hadde overskridelse av tålegrensen. Med FAB-modellen var det overskridelse for alle vassdragene med unntak av Uskedals- og Eksingedalsvassdraget for 2012-2016. For 2030 var det heller ikke overskridelse i Samnangervassdraget og kun marginal overskridelse for Flekke- og Guddalsvassdraget med FAB-modellen. Yndesdalsvassdraget skiller seg ut med høyest overskridelse. Det skyldes både lav tålegrense og relativt høyere avsetning. Tålegrensen var noe høyere for Flekke- og Guddalsvassdraget, men med relativt høy avsetning også her gav det overskridelse med FAB-modellen. Uskedalsvassdraget, med den høyeste N-avsetningen og relativt sett høy S-avsetning hadde ikke overskridelse, noe som kan tilskrives den høye tålegrensen.

Tabell 7. Tålegrense, avsetning og overskridelser for vassdragene som helhet, beregnet med utgangspunkt i data fra hovedutløpet. Alle verdier er i mekv/m<sup>2</sup>/år. Negative verdier for overskridelse (SSWC) betyr ingen overskridelse, men det gir en indikasjon på avstanden til overskridelse. For FAB er det ikke beregnet negativ overskridelse, så her er laveste verdi alltid 0.

Nedbørfelt	Tåle- grense (SSWC)	S- avset- ning 2012- 2016	N- avset- ning 2012- 2016	S- avset- ning 2030	N- avset- ning 2030	Over- skridelse 2012- 2016 (SSWC)	Over- skridelse 2012- 2016 (FAB)	Over- skridelse 2030 (SSWC)	Over- skridelse 2030 (FAB)
Samnanger	49,9	13,4	53,5	6,7	40,3	-8,4	6,7	-15,1	0
Uskedal	108,3	18,2	75,4	8,7	56,5	-15,1	0	-24,7	0
Eksingedal	70,9	10,7	44,1	4,7	34,3	-39,5	0	-45,4	0
Modal	34,4	10,4	42,9	4,5	33,7	-11,9	8,7	-17,8	0,4
Yndesdal	14,1	20,6	69,7	9,6	51,2	18,8	70,2	7,8	40,8
Flekk-Guddal	36,1	18,1	64,4	8,1	49,9	-10,5	34,0	-20,4	10,1

## 4.1 Samnangervassdraget

I Samnangervassdraget var tålegrensen for delnedbørfeltet Storelva langt høyere enn for delnedbørfeltet Utløp Fiskevatnet (Figur 14). Det samsvarer med ANC-verdiene (Figur 3), som var langt høyere for prøvepunktet nederst i Storelva. Delnedbørfeltet Frølandselva hadde en noe høyere tålegrense enn Fiskevatnet. Tålegrensen for hele nedbørfeltet lå som forventet mellom verdiene for de to største delnedbørfeltene.

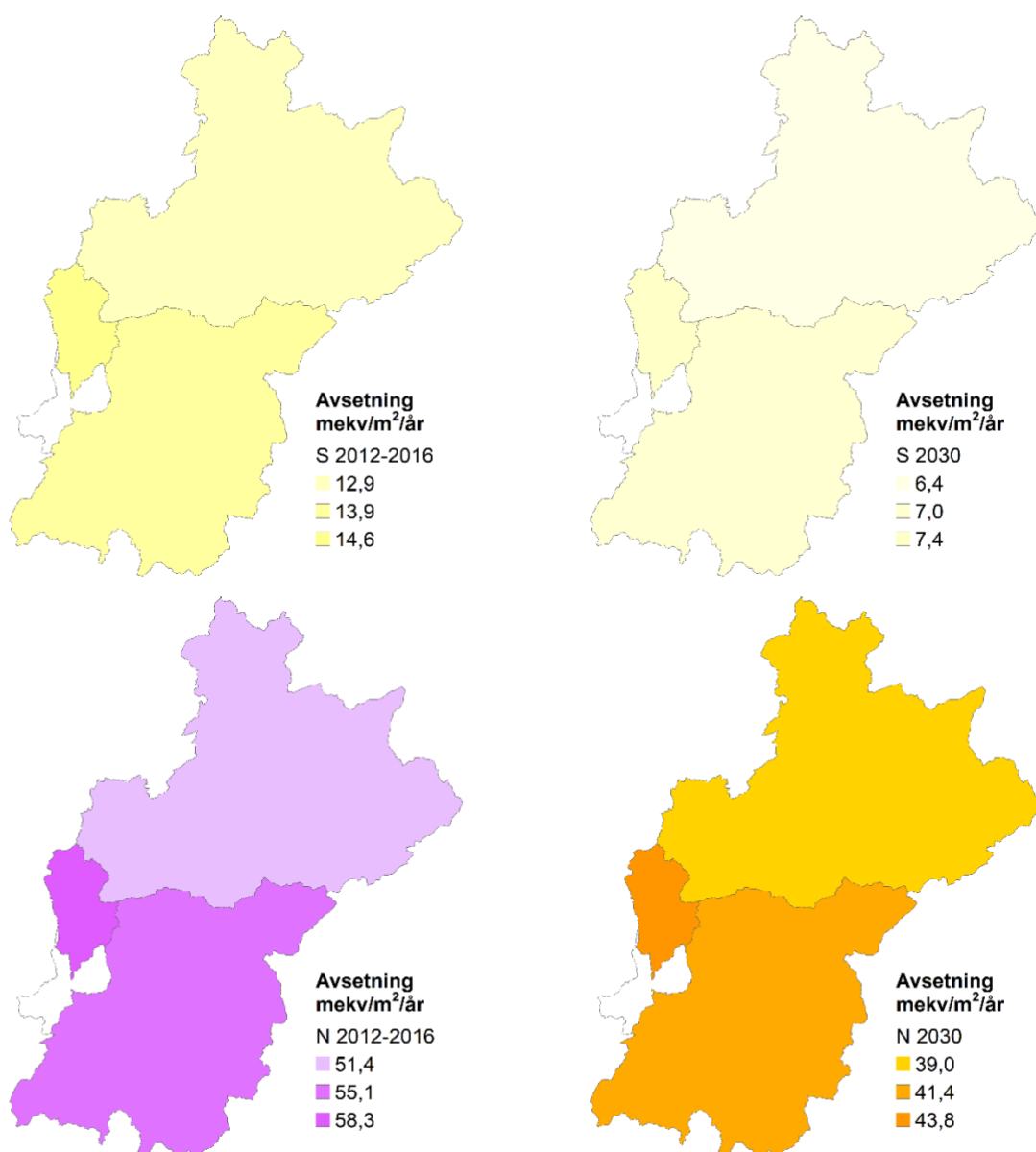


Figur 14. Tålegrenser for forsuring av overflatevann beregnet med SSWC-modellen for delnedbørfeltene i Samnangervassdraget (se Figur 2 for elveløp og navn på delnedbørfelt).

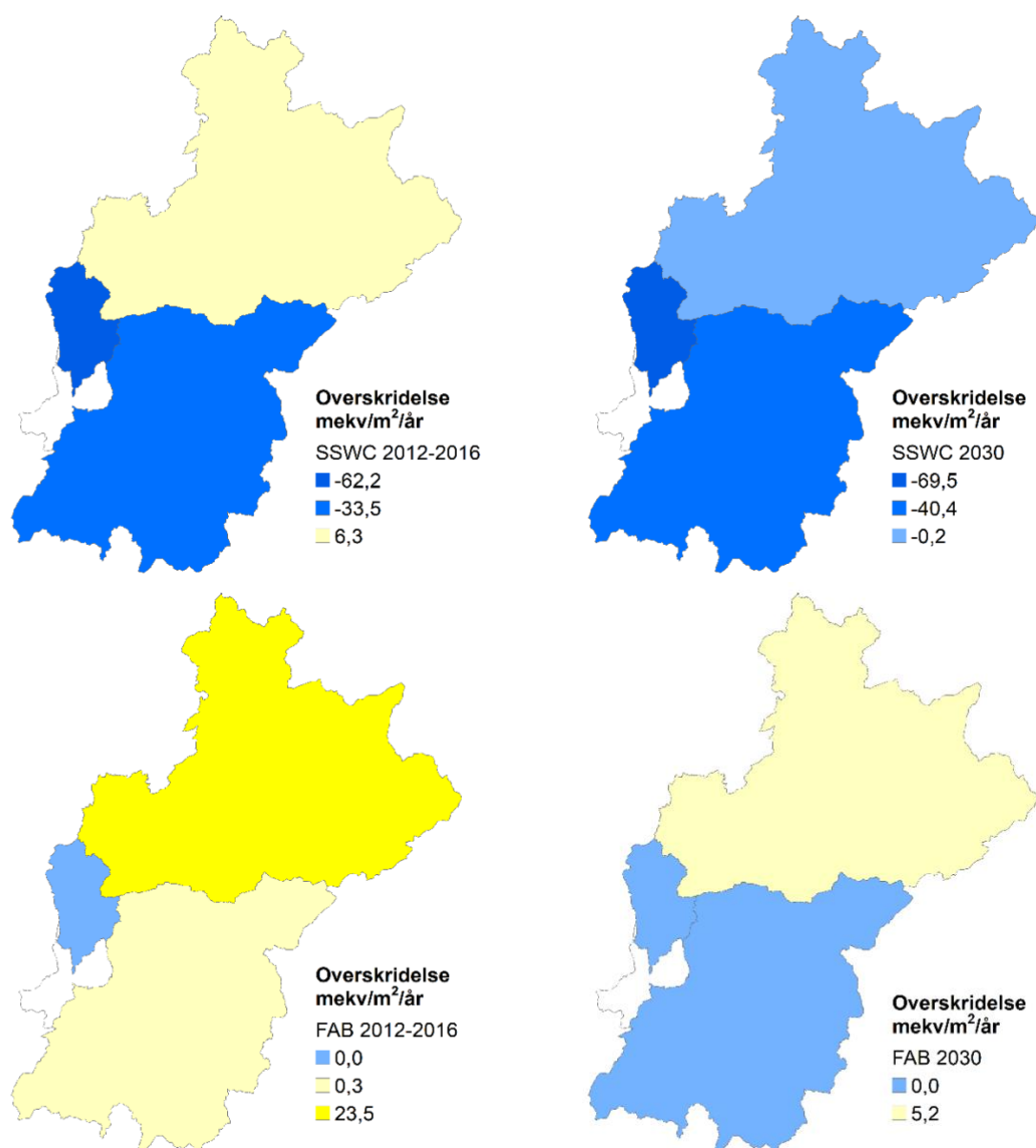
Avsetningen (Figur 15) var relativt lik for hele nedbørfeltet, som er forventet gitt oppløsningen i avsetningsdataene og at dette hovedsakelig er langtransportert forurensning. Nitrogenavsetningen var langt høyere enn svovelavsetningen, men de vannkjemiske dataene (Tabell A.1) indikerer at mye av nitrogenet fortsatt holdes igjen i nedbørfeltet.

Gitt variasjonen i tålegrensene var overskridelsene (Figur 16) generelt høyest for delnedbørfelt Utløp Fiskevatnet og lavest for delnedbørfelt Storelva, hvor det ikke var overskridelser med noen av beregningene. Med dagens (2012-2016) avsetning var Utløp Fiskevatnet overskredet med begge modellene, mens Frølandselva bare var marginalt overskredet med FAB-modellen. Bare Utløp Fiskevatnet var overskredet i 2030, med FAB-modellen. Med SSWC-modellen var det veldig nære overskridelse. Dette indikerer at det i beste fall bare vil være en sakte gjenhenting her. Både for delnedbørfeltene Fiskevatnet og Frølandselva kan man forvente sure episoder også framover. For Storelva-feltet var det relativt stor negativ overskridelse (SSWC), som indikerer gode muligheter for videre gjenhenting. Større bidrag av vann fra Fiskevatnet vil imidlertid gi en dårligere vannkvalitet enn det overskridelsen skulle tilsi, gitt det langt lavere ANC-nivået her (Figur 3).

Samnangervassdraget som helhet var bare overskredet med FAB-modellen (Tabell 7) for 2012-2016 og ikke i 2030, som betyr at man kan forvente forbedret vannkvalitet i Tysseelva, selv om sure episoder kan forekomme.



Figur 15. Svovel- (S, over) og nitrogenavsetning (N, under) for delnedbørfeltene i Samnangervassdraget beregnet for perioden 2012-2016 (venstre) og for 2030 (høyre).



Figur 16. Beregnet overskridelse av tålegrenser for forsuring av overflatevann med bruk av SSWC- (over) og FAB-modellen (under) for delnedbørfeltene i Samnangervassdraget for perioden 2012-2016 (venstre) og for 2030 (høyre).

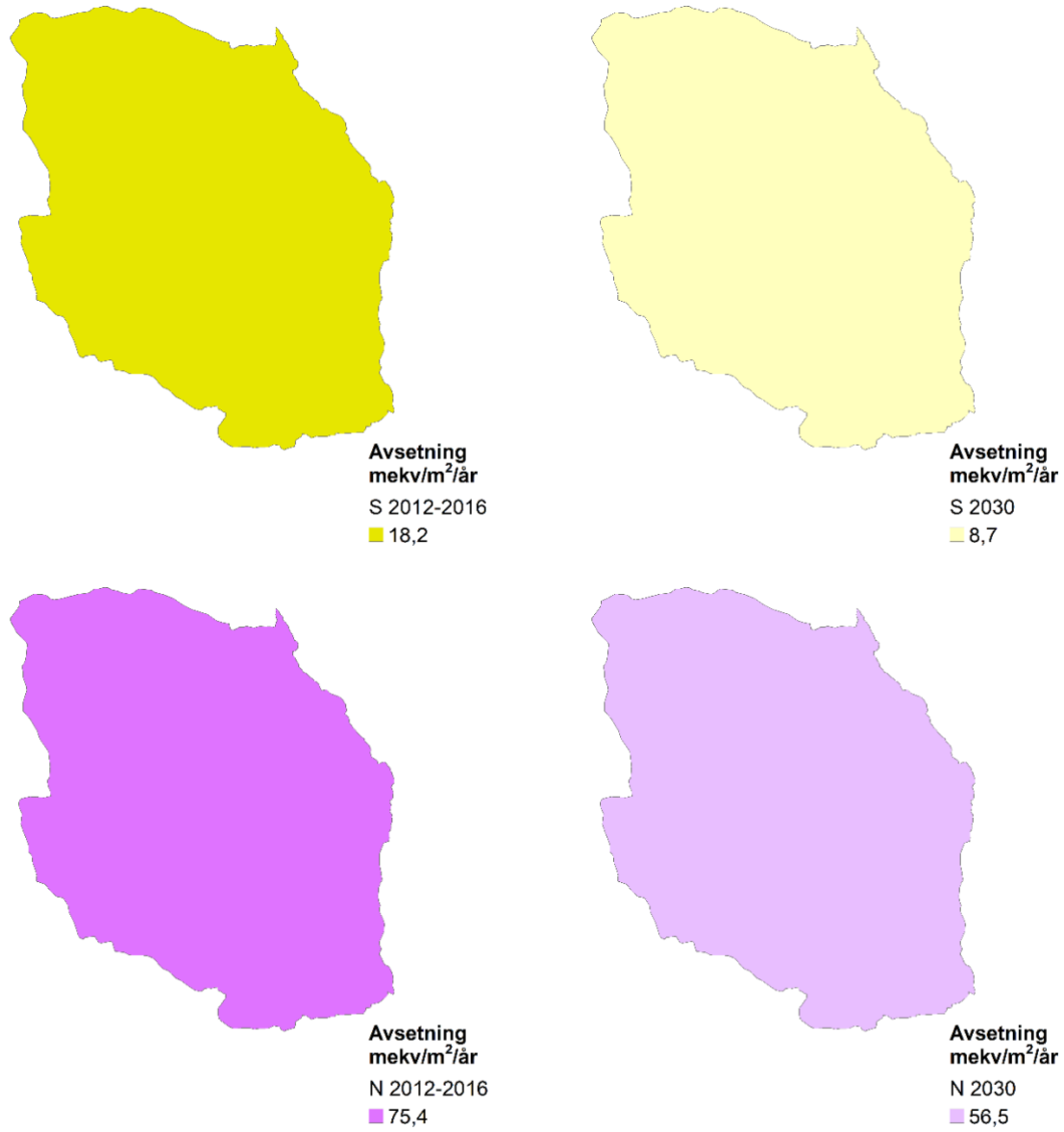
## 4.2 Uskedalsvassdraget

Det ble ikke gjort egne beregninger for delnedbørfelt i Uskedalsvassdraget. Som beskrevet i begynnelsen av kapittel 4 hadde Uskedalsvassdraget høy tålegrense relativt til de andre vassdragene (Figur 17), som gav ingen overskridelse (Figur 19) til tross for at avsetningen lå i det øvre sjiktet (Figur 18). Dette reflekteres også i ANC-nivået i vassdraget (Figur 5). De sure episodene kan fortsatt forekomme, men med en gradvis gjenhenting vil de opptre sjeldnere og være mindre alvorlige.



Figur 17. Tålegrenser for forsuring av overflatevann beregnet med SSWC-modellen for Uskedalsvassdraget (se Figur 4 for elveløp).



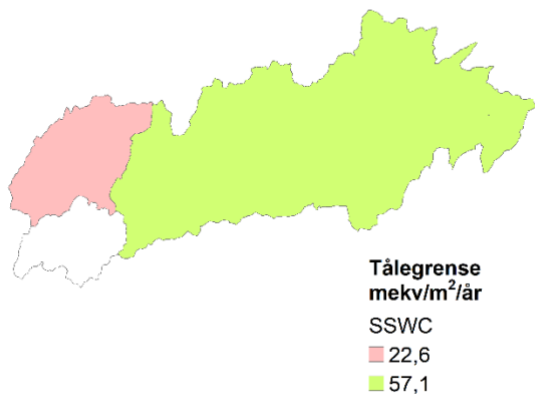


Figur 18. Svovel- (S, over) og nitrogenavsetning (N, under) for Uskedalsvassdraget beregnet for perioden 2012-2016 (venstre) og for 2030 (høyre).



Figur 19. Beregnet overskridelse av tålegrenser for forsuring av overflatevann med bruk av SSWC- (over) og FAB-modellen (under) for Uskedalsvassdraget for perioden 2012-2016 (venstre) og for 2030 (høyre).

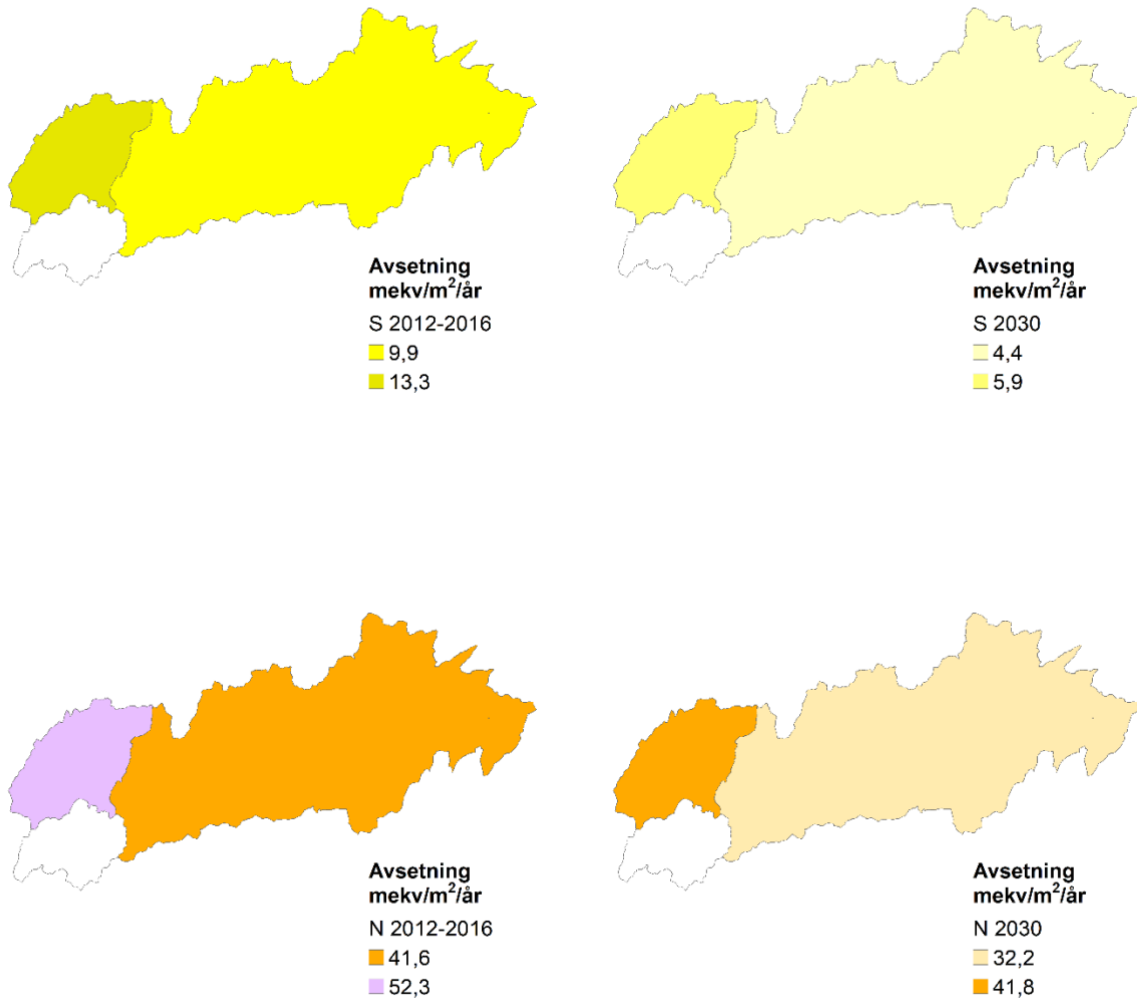
### 4.3 Eksingedalsvassdraget



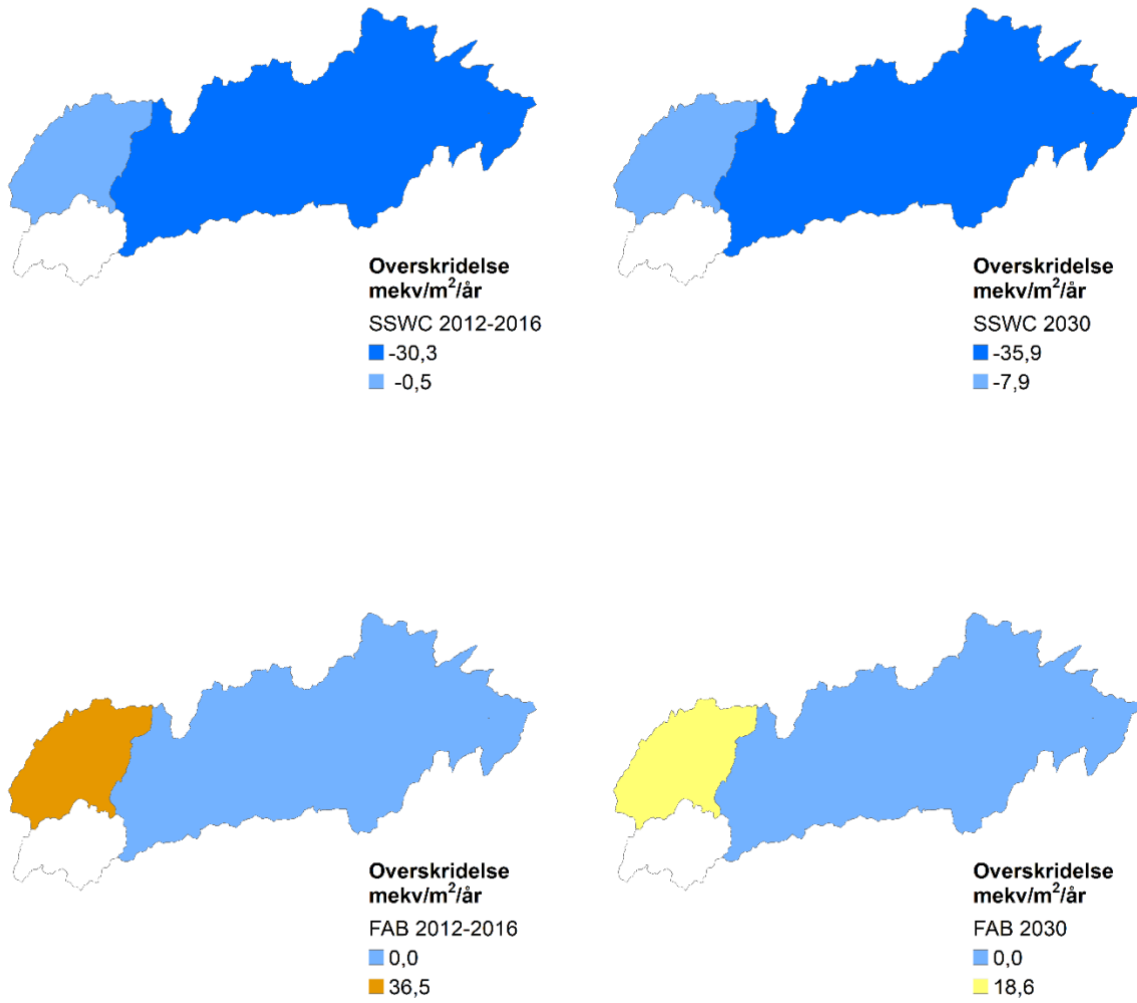
Figur 20. Tålegrenser for forsurening av overflatevann beregnet med SSWC-modellen for delnedbørfeltene i Eksingedalsvassdraget (se Figur 6 for elveløp og navn på delnedbørfelt).

Tålegrensen i Eksingedalsvassdraget var langt lavere for delnedbørfeltet Sideelver nedstrøms kalking enn i det større Hovedløpet oppstrøms kalking (Figur 20). Avsetningen var også noe høyere i nedstrøms-feltet (Figur 21). Samlet gav dette overskridelse med FAB for begge tidsperiodene (Figur 22). SSWC-modellen gav ikke overskridelse, men spesielt for perioden 2012-2016 var det veldig nære overskridelse. For Hovedløpet oppstrøms kalking ble det ikke beregnet overskridelse. Det samme var tilfellet for vassdraget som helhet (Tabell 7).

Overskridelsen for sideelvene nedstrøms er spesielt viktig i Eksingedalsvassdraget, på grunn av overføringen av vann fra Nesvatnet til utløpet av Eksingedalselva. Dette gjør at hovedløpet nedstrøms Nesvatnet er langt mer preget av vannkjemien i sideelvene enn det normalt ville vært. Det er sannsynlig at elva her vil være forsuret og i hvert fall være utsatt for sure episoder også framover.

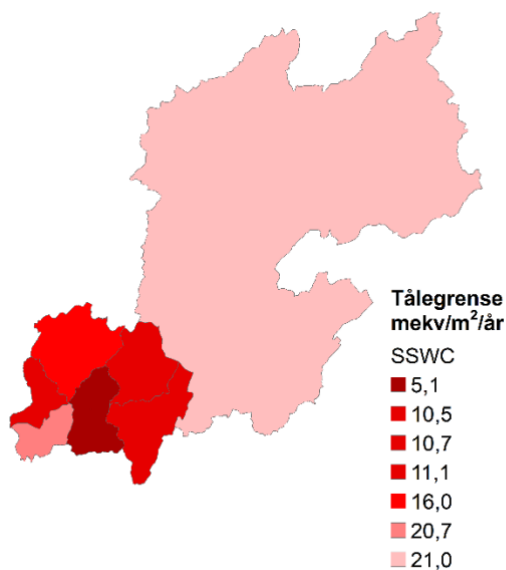


Figur 21. Svovel- (S, over) og nitrogenavsetning (N, under) for delnedbørfeltene i Eksingedalsvassdraget beregnet for perioden 2012-2016 (venstre) og for 2030 (høyre).



Figur 22. Beregnet overskridelse av tålegrenser for forsyning av overflatevann med bruk av SSWC- (over) og FAB-modellen (under) for delnedbørfeltene i Eksingedalsvassdraget for perioden 2012-2016 (venstre) og for 2030 (høyre).

#### 4.4 Modalsvassdraget

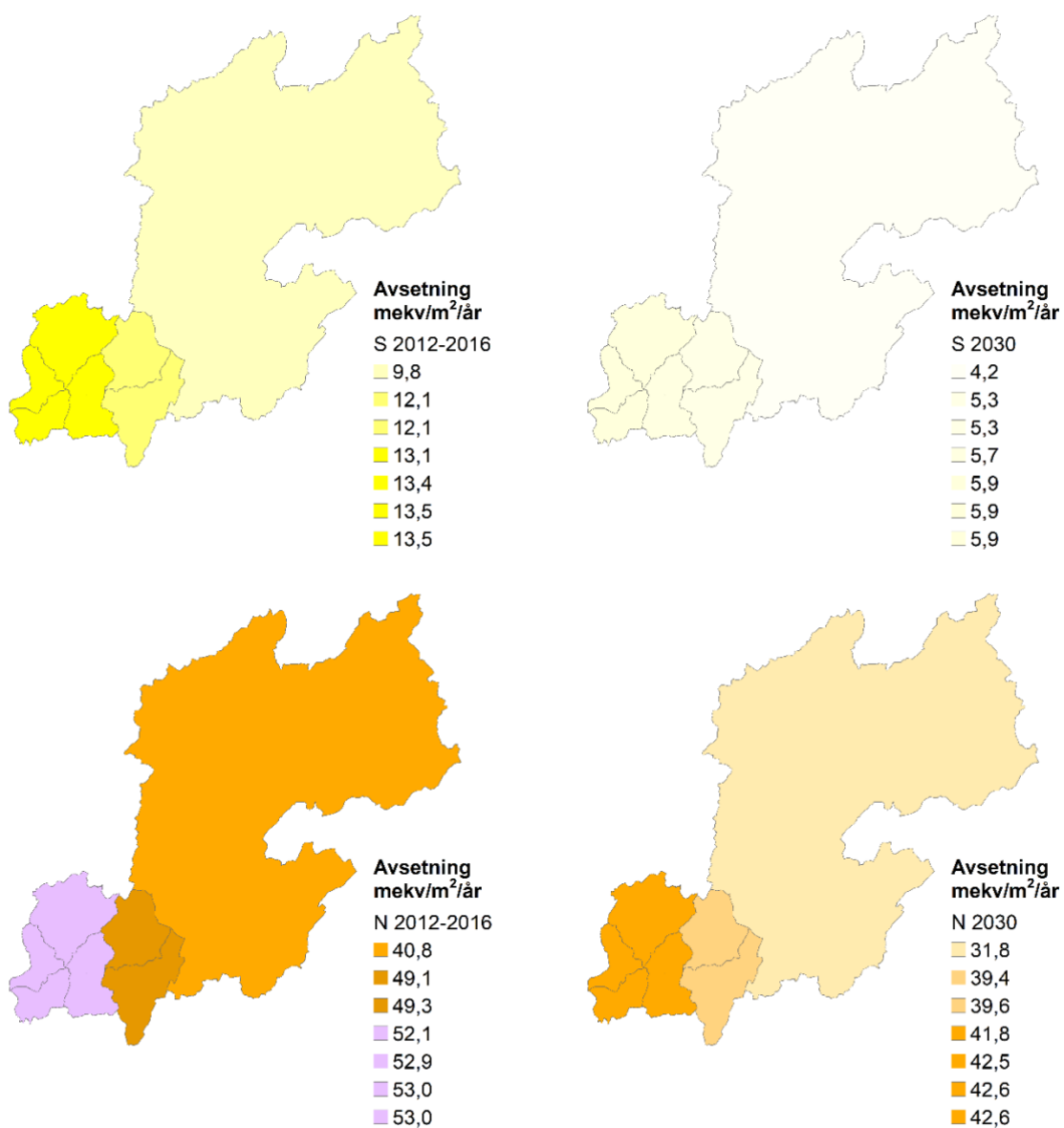


Figur 23. Tålegrenser for forsurening av overflatevann beregnet med SSWC-modellen for delnedbørfeltene i Modalsvassdraget (se Figur 8 for elveløp og navn på delnedbørfelt).

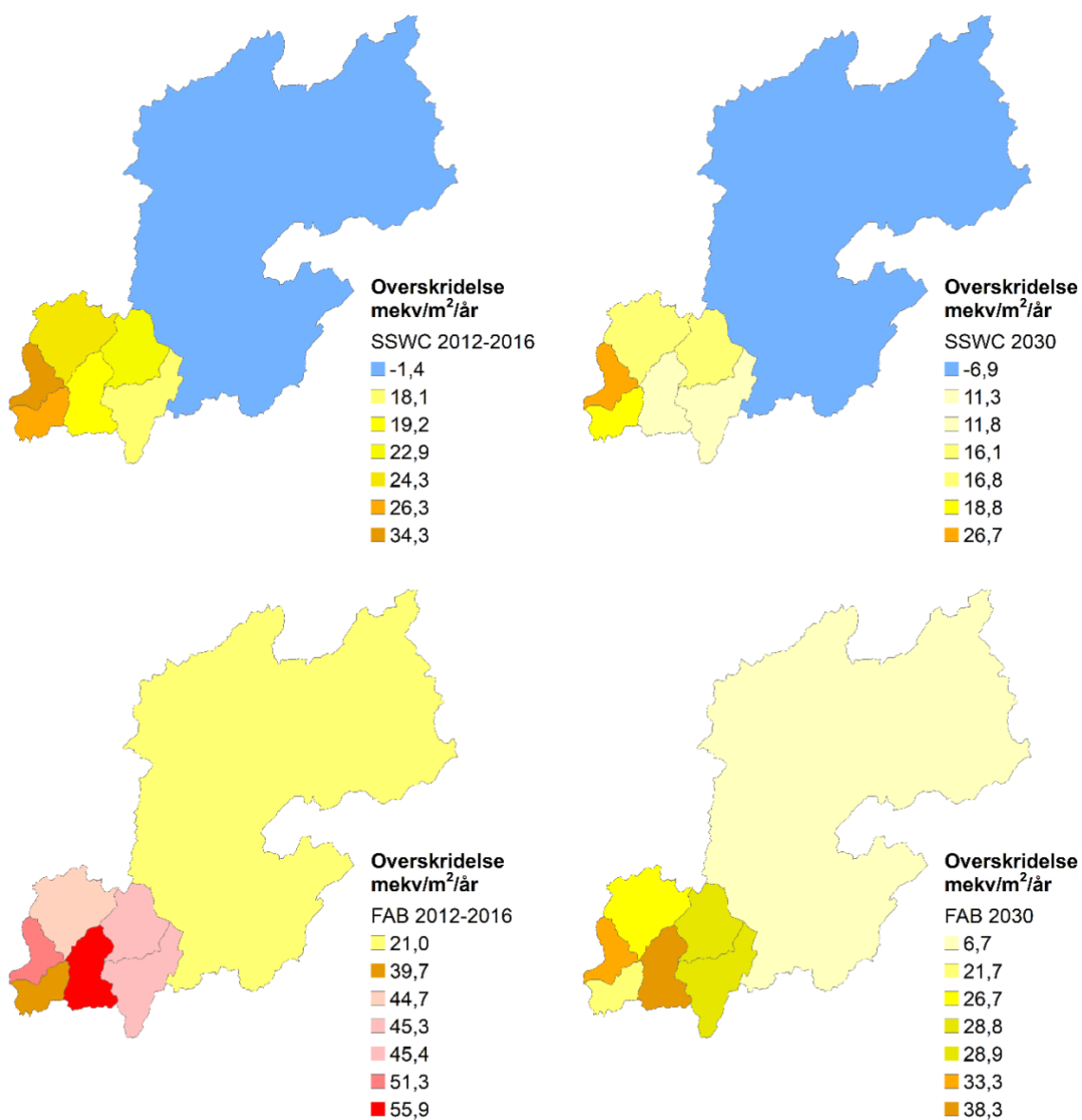
Tålegrensen i Modalsvassdraget var langt lavere for sideelvene nederst i vassdraget enn for delnedbørfeltet Hovedløpet oppstrøms kalking (Figur 23). Med noe høyere avsetning (Figur 24), var det også generelt høyere overskridelse for disse delnedbørfeltene (Figur 25). Med FAB-modellen var det overskridelse for alle delnedbørfeltene. Hovedløpet oppstrøms kalking var ikke overskredet med SSWC-modellen, men verdiene var ikke langt under 0 mekv/m<sup>2</sup>/år, så man kan bare forvente en sakte gjenhenting her. ANC-nivået oppstrøms (Figur 9) er også fortsatt relativt lavt.

Det var noe forskjell i overskridelse for de forskjellige delnedbørfeltene nedstrøms. De to modellene gav også noe forskjellig indikasjon på hvilke områder som hadde høyest og lavest nivå. Dataene for Budalselva kan anses som mest pålitelige, gitt flere år med data og mindre variasjon. Overskridelsen i Budalselva lå i den lavere enden av skalaen sammenlignet med de andre sideelvene. En test viste også at overskridelsen for de andre sideelvene lå noe lavere hvis kun data fra 2016 ble benyttet i beregningene. Men selv om de høyeste verdiene evt. er noe overestimert, er det klart at overskridelsen i disse sideelvene bidrar til forsurening i hovedløpet. Med FAB-modellen var det også overskridelse for vassdraget som helhet, om enn marginalt i 2030 (Tabell 7). Så lenge det er såpass kraftig overskridelse for sideelvene, kan man ikke forvente noen betydelig gjenhenting i selve Modalselva, og sure episoder vil fortsatt kunne forekomme.



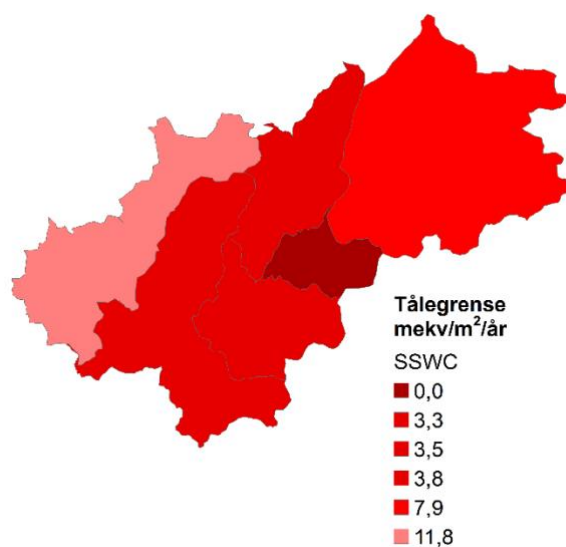


Figur 24. Svovel- (S, over) og nitrogenavsetning (N, under) for delnedbørfeltene i Modalsvassdraget beregnet for perioden 2012-2016 (venstre) og for 2030 (høyre).



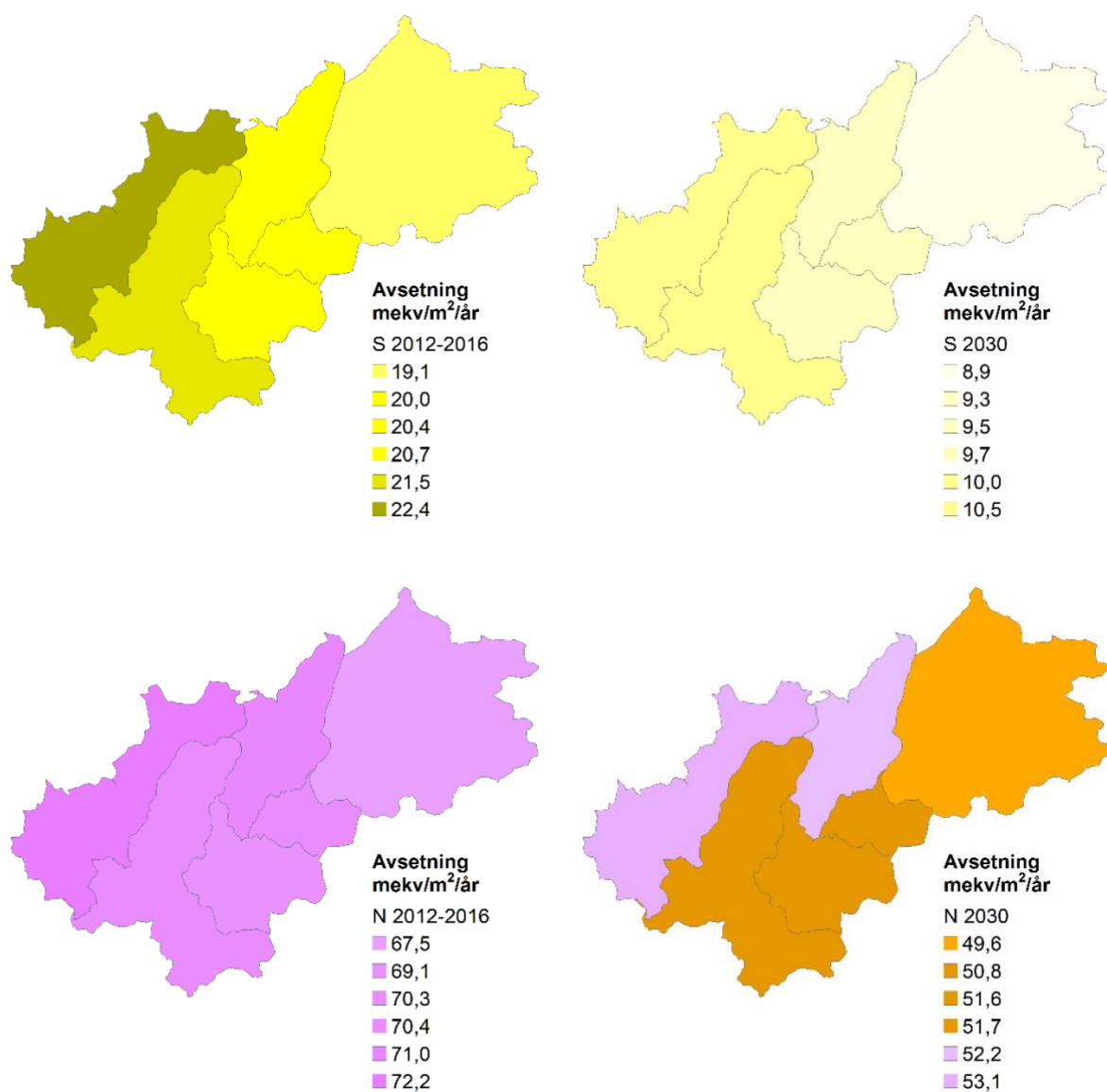
Figur 25. Beregnet overskridelse av tålegrenser for forsyning av overflatevann med bruk av SSWC- (over) og FAB-modellen (under) for delnedbørfeltene i Modalsvassdraget for perioden 2012-2016 (venstre) og for 2030 (høyre).

## 4.5 Yndesdalsvassdraget

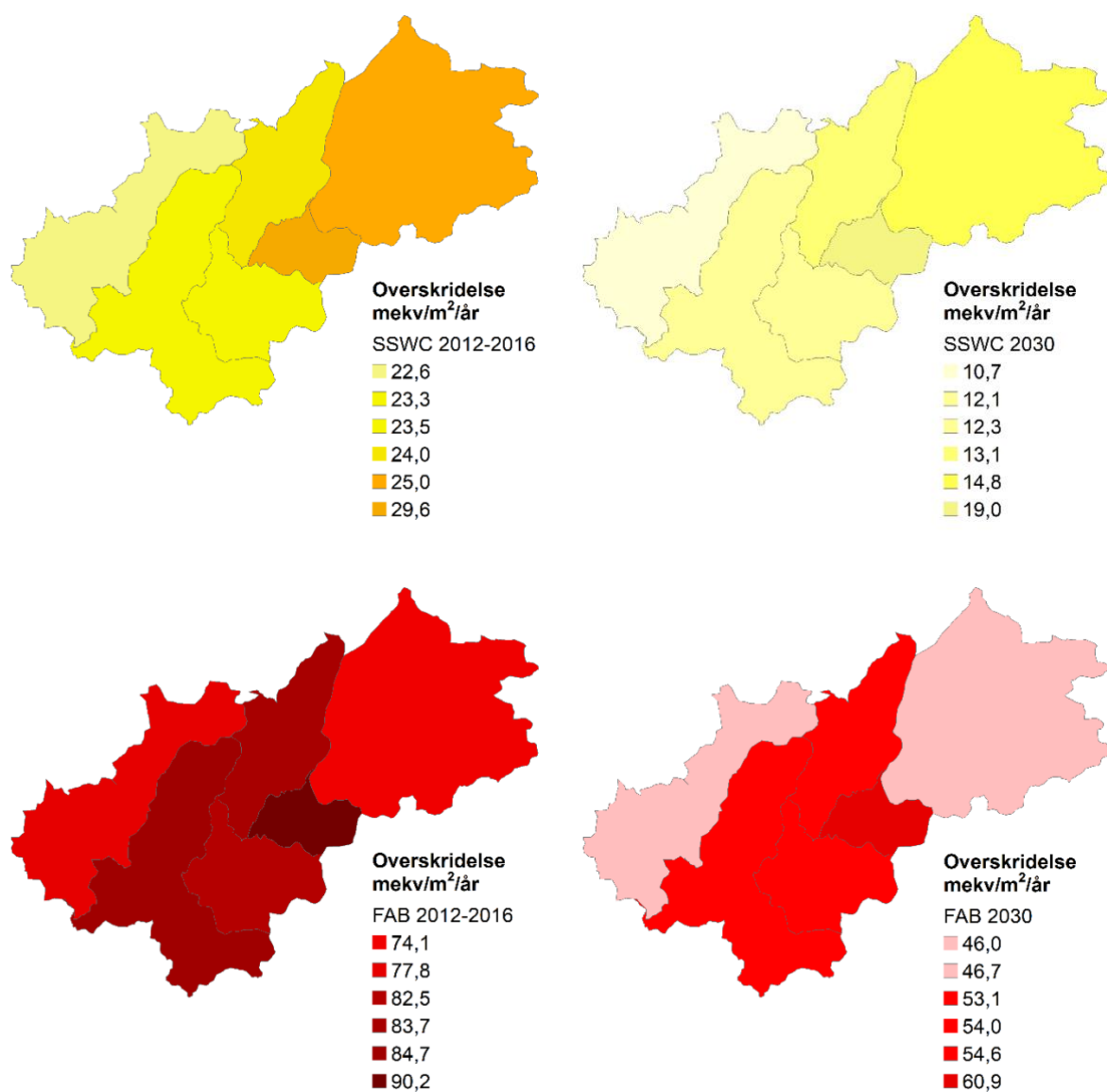


Figur 26. Tålegrenser for forsuring av overflatevann beregnet med SSWC-modellen for delnedbørfeltene i Yndesdalsvassdraget (se Figur 10 for elveløp og navn på delnedbørfelt).

Tålegrensen i Yndesdalsvassdraget var lav for alle delnedbørfeltene (Figur 26), og også for hele vassdraget (Tabell 7). Det var liten variasjon i avsetning mellom delnedbørfeltene (Figur 27), men avsetningen var høyere enn i flere av de andre vassdragene. Samlet gav dette overskridelse for alle delnedbørfeltene, og også for hele vassdraget, med begge modellene (Figur 28). Som forventet var overskridelsene lavere med SSWC- enn FAB-modellen og lavere for 2030 enn for 2012-2016, men alt tyder på at det her vil være forsuring langt fram i tid. Det bekreftes også av ANC-nivået for de ulike prøvepunktene (Figur 11). Overskridelsen var høyest for delnedbørfeltet Botnane og lavest for Tangedal-Myrdal. For øvrig gav de ulike modellene ulik indikasjon på hvor overskridelsen var størst.

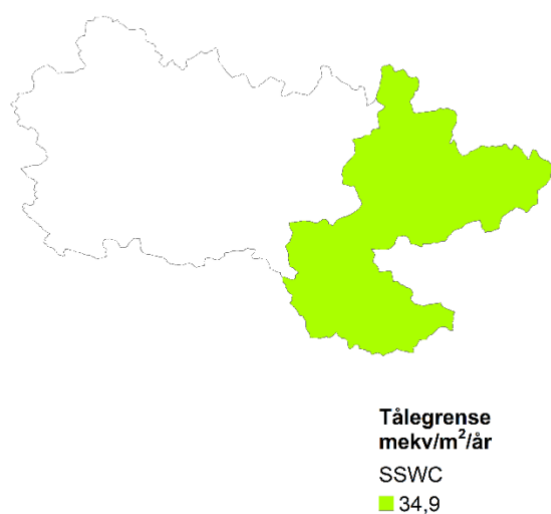


Figur 27. Svovel- (S, over) og nitrogenavsetning (N, under) for delnedbørfeltene i Yndesdalsvassdraget beregnet for perioden 2012-2016 (venstre) og for 2030 (høyre).



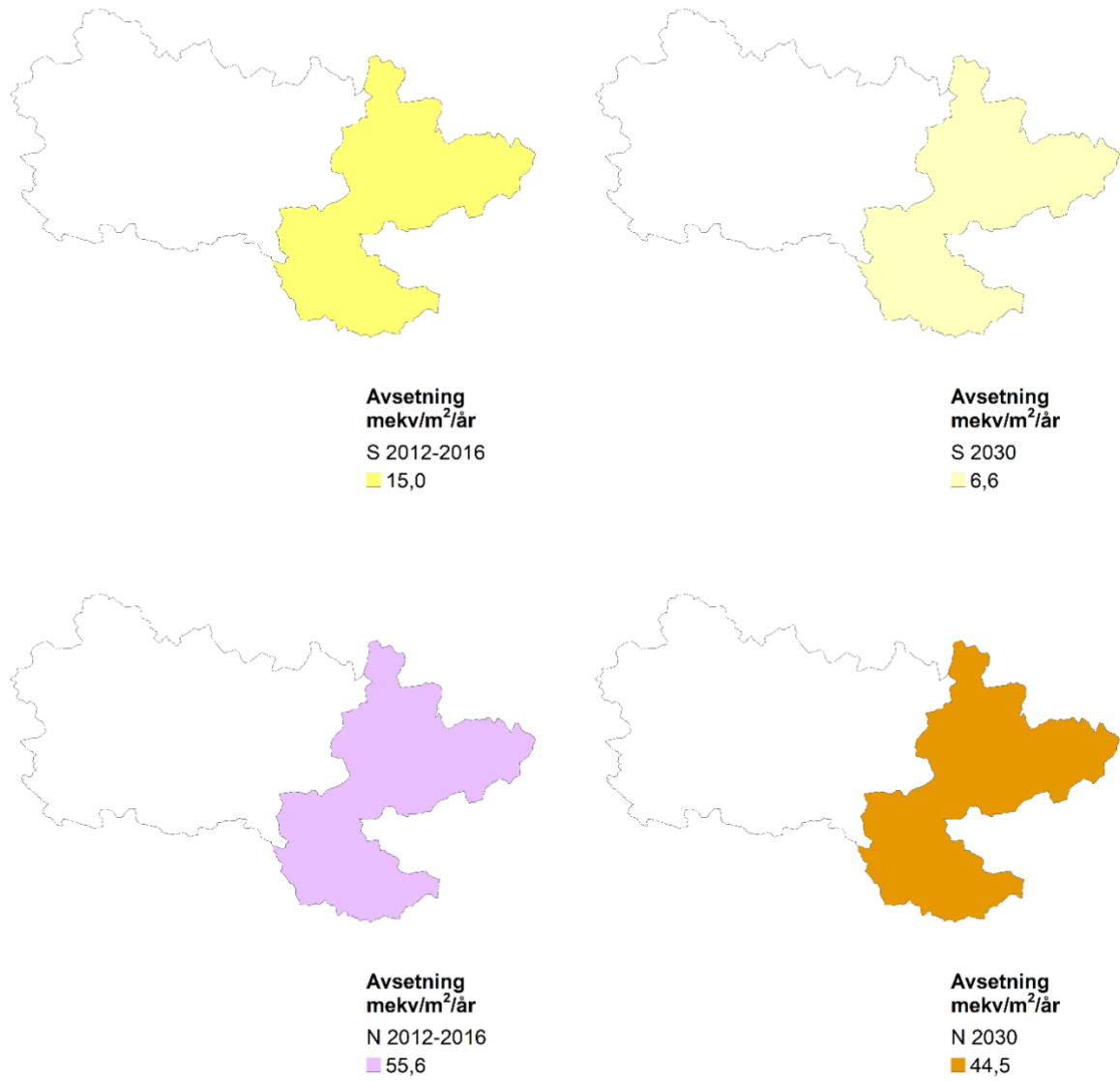
Figur 28. Beregnet overskridelse av tålegrenser for forsyning av overflatevann med bruk av SSWC- (over) og FAB-modellen (under) for delnedbørfeltene i Yndesdalsvassdraget for perioden 2012-2016 (venstre) og for 2030 (høyre).

## 4.6 Flekke- og Guddalsvassdraget

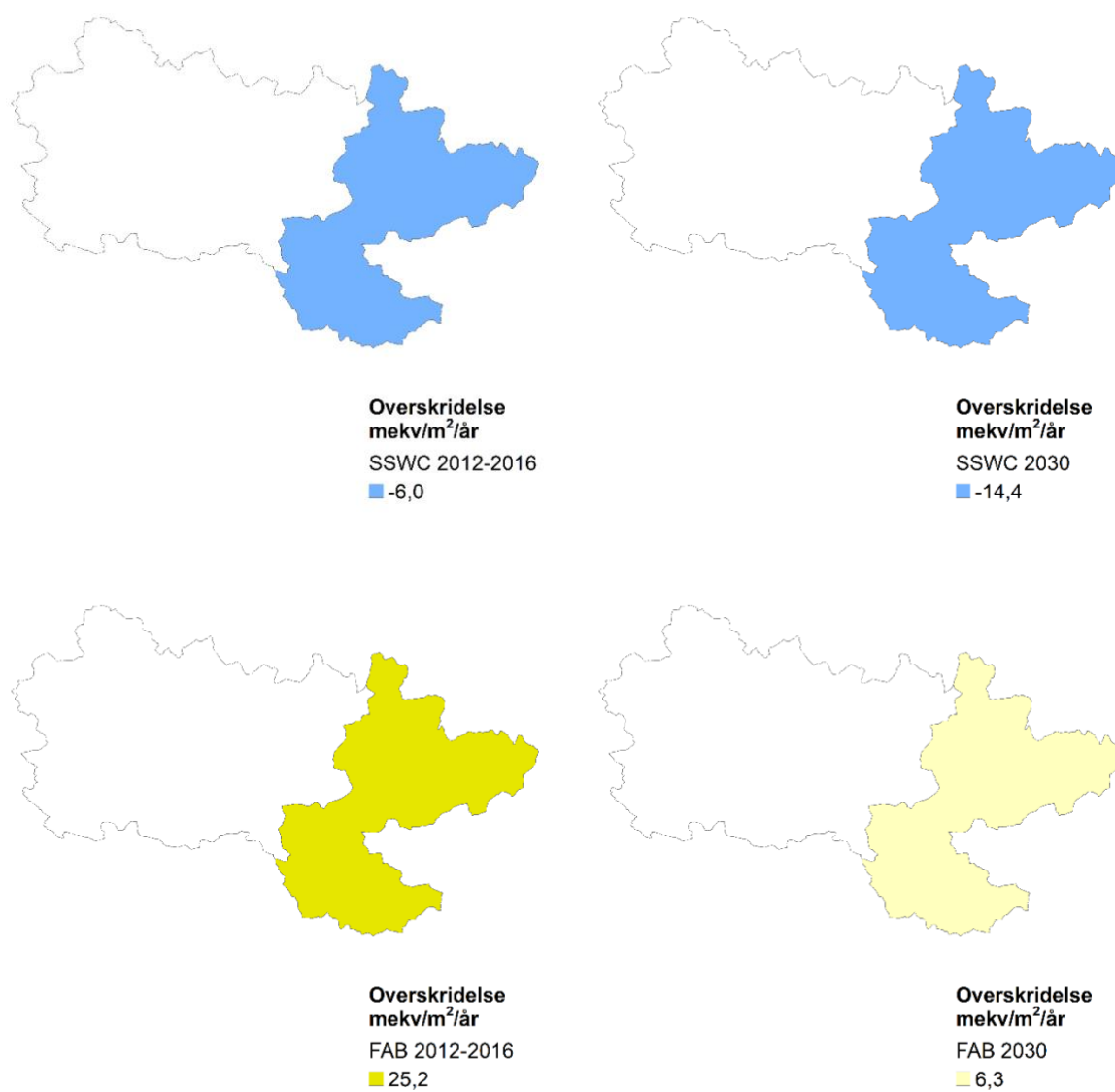


Figur 29. Tålegrenser for forsuring av overflatevann beregnet med SSWC-modellen for delnedbørfeltene i Flekke- og Guddalsvassdraget (se Figur 12 for elveløp og navn på delnedbørfelt).

For Flekke- og Guddalsvassdraget ble det bare gjort separate beregninger for delnedbørfeltet Hovedløpet oppstrøms kalking. Her var tålegrensen marginalt lavere enn for vassdraget som helhet (Figur 29, Tabell 7), og avsetningen var også noe lavere (Figur 30). Som for hele vassdraget var det kun FAB-modellen som gav overskridelse, men her var det overskridelse for begge tidsperiodene (Figur 31). På grunn av den ulike behandlingen av nitrogen i modellene var det noe lavere overskridelse med FAB oppstrøms enn for hele vassdraget, mens med SSWC var overskridelsen høyest (mindre negativ) for delnedbørfeltet. Generelt var det liten forskjell på delnedbørfeltet oppstrøms og hele vassdraget, som også går fram av ANC-nivået ved de to prøvepunktene (Figur 13). Gitt at det ikke var overskridelse med SSWC-modellen er det sannsynlig at det vil være en gradvis forbedring av vannkvaliteten i dette vassdraget. Forbedringen kan imidlertid gå sakte, og man vil fortsatt kunne forvente perioder og episoder med lave nivåer, også med ANC under null.



Figur 30. Svovel- (S, over) og nitrogenavsetning (N, under) for delnedbørfeltene i Flekke- og Guddalsvassdraget beregnet for delnedbørfeltene i Flekke- og Guddalsvassdraget for perioden 2012-2016 (venstre) og for 2030 (høyre).



Figur 31. Beregnet overskridelse av tålegrenser for forsyning av overflatevann med bruk av SSWC- (over) og FAB-modellen (under) for delnedbørfeltene i Flekke- og Guddalsvassdraget i perioden 2012-2016 (venstre) og for 2030 (høyre).



## 5 Diskusjon

### 5.1 Usikkerheter

Tålegrenser og overskridelser er beregnet basert på eksisterende metodikk og tilgjengelige data. Det vil alltid være en viss grad av usikkerhet knyttet til slike beregninger. En viktig usikkerhet er tilgangen på vannkjemiske data. Måleserien bør ha en viss lengde og frekvens for å fange opp den naturlige variasjonen og gi et godt gjennomsnittsestimat. Dette er spesielt viktig for elver, som kan ha stor variasjon i vannkjemis, særlig på sesongbasis. Beregninger basert på kun noen få vannprøver må derfor regnes som mer usikre (for eksempel Frølandselva i Samnangervassdraget). Det er også noe usikkerhet knyttet til å bruke data fra ulike tidsperioder for nedbørfelt som skal sammenlignes, men tålegrensemetodikken er relativt robust mot dette. Vannkjemien må for øvrig være mest mulig representativ for delnedbørfeltet som det skal gjøres beregninger for. Det vil for eksempel være større usikkerhet der prøvepunktet har et mye mindre nedbørfelt enn delnedbørfeltet det skal representere (eksempel: Hovedløpet oppstrøms kalking i Flekke- og Guddalsvassdraget). Det samme gjelder der kjemidata er hentet fra andre delnedbørfelt (Yndesdalsvassdraget).

Det er også usikkerhet knyttet til beregningen av «ukalket» Ca-konsentrasjon. Ca/Mg-forholdet vil variere, avhengig av vannføring og sjøsaltavsetning. Det kan også være noe avvik i Ca/Mg-forhold mellom prøvepunktet det er beregnet for og prøvepunktet som skal korrigeres. Usikkerheten er søkt minimert gjennom å bruke gjennomsnittsdata over tid, samt å undersøke at det ikke er store forskjeller i geologien i prøvepunktene nedbørfelt. Usikkerheter knyttet til dette, samt øvrige usikkerheter nevnt over knyttet til vannkjemien kan ha bidratt til at beregnede verdier for hele vassdraget ikke alltid tilsvarer et arealveiet gjennomsnitt av verdiene for delnedbørfeltene. For eksempel er tålegrensen noe høyere for hele vassdraget enn for de ulike delnedbørfeltene i både Modals- og Yndesdalsvassdraget.

Tålegrenseberegningene er basert på stofftransport, som beregnes fra konsentrasjon og avrenning. Det ligger derfor en viss usikkerhet i at avrenningstallene som er benyttet dekker en tidsperiode som ligger et stykke tilbake i tid (1961-1990). På grunn av klimaendringer kan man forvente at den nye normalavrenningen (1991-2020) vil ligge noe høyere (Hanssen-Bauer m.fl., 2015). Siden denne ikke er tilgjengelig, kunne det vært et alternativ å benytte nyere, målte vannføringsdata. Slike data er imidlertid bare delvis tilgjengelig, og det ble da vurdert som mer konsekvent å benytte samme type data i alle nedbørfeltene. Austnes m.fl. (2020) viste at for de nasjonale beregningene gav en økning i vannføring en nedgang i overskridelsene, men en realistisk økning (3-5%) gav bare minimale endringer. I denne rapporten er det brukt en litt annen metodikk for beregning av før-industriell basekationkonsentrasjon enn i de nasjonale beregningene (Austnes m.fl. 2018) (se kap. 3.1). Med metoden som er brukt i denne rapporten, kan effekten av endret vannføring slå begge veier. En test for Samnangervassdraget viste imidlertid at også her var endringene i overskridelse veldig små ved en 5% økning i avrenning.

Avsetningsdataene er basert på interpolerte verdier fra målestasjoner og modellerte verdier. Det kan være noe usikkerhet knyttet til bruk av disse lokalt, på grunn av topografiske forhold som kan gi lokal variasjon i avsetningen. Dette vil være mer framtrødende dess mindre nedbørfeltene er. Den nye metodikken benyttet fra 2012-2016 har imidlertid forbedret den romlige informasjonen, spesielt for våtavsetningen, som utgjør den største andelen av avsetningen (Aas m.fl., 2017). Dataene for 2030 er basert på framtidige utslippsscenarioer som naturlig nok er mer usikre. De forutsetter også at utslippene blir redusert i henhold til internasjonale avtaler.

Det er også usikkerhet knyttet til selve tålegrensemodellene. Dette er godt etablert metodikk, som har vært benyttet i arbeidet under LRTAP-konvensjonen i en årrekke. Mange av konstantene som inngår i beregningene er imidlertid basert på empiriske sammenhenger som kan endres noe over tid. Det ble gjort en evaluering av tålegrensemetodikken benyttet på nasjonalt nivå i 2020 (Austnes m.fl., 2020), men den evaluerer ikke F-faktor-metoden for estimering av den før-industrielle basekonsentrasjonen som er benyttet her. Dette er den eneste metoden som kan benyttes på lokalt nivå hvis ikke MAGIC-modellen er satt opp.

Alt i alt er beregningene basert på den best tilgjengelige metodikken og de beste inngangsdataene, gitt omfanget av prosjektet. Det er ingen av usikkerhetene som tilsier en skjevhet i resultatene i en bestemt retning. I tilfeller hvor beregnet overskridelse er veldig nær tålegrensen er det vanskeligere å si med sikkerhet om det er overskridelse eller ikke.

## 5.2 Vurdering

For Samnangervassdraget var det spesielt de øvre delene av sidevassdraget Storelva, delnedbørfeltet kalt Utløp Fiskevatnet, hvor det ble beregnet overskridelser. Her vil man kunne forvente at det vil være forsuring en god stund framover, selv om redusert overskridelse for 2030 tyder på at det etter hvert vil bli forbedringer. Det surere vannet fra Fiskevatnet vil også påvirke vannkvaliteten nederst i Storelva, fordi det nå slippes større volum vann til denne delen. Vannkjemien i den nedre delen av Storelva burde derfor overvåkes nærmere, spesielt gitt at dette også er lakseførende strekning. For Frølandselva og Tysseelva kan man forvente en sakte forbedring, men det vil fortsatt være fare for sure episoder.

Uskedalsvassdraget er ikke overskredet, og det er forventet en gradvis gjenhenting, selv om sure episoder fortsatt kan forekomme. Børsdalselva i vest har lavere pH enn selve Uskedalselva (Miljødirektoratet, 2020). Det er derfor ikke urimelig at det er behov for kalking her, selv om det ikke er overskridelse i Uskedalsvassdraget som helhet. Det vil være en fordel med overvåking av ANC i Børsdalselva, for å kunne gjøre separate beregninger av tålegrenser og overskridelser her.

I Eksingedalsvassdraget er det spesielt sidevassdragene i nedre del av elva som gir grunn til bekymring. På grunn av overføringer har bidrag herfra stor påvirkning på den lakseførende strekningen av elva. Overskridelseberegningene viste at gjenhenting her i beste fall vil gå sakte, så det vil fortsatt være behov for kalking. Fortsatt, og gjerne utvidet, overvåking oppstrøms dosereren, men nedstrøms kraftuttaket (vannlokalt 063-58807) vil være viktig for å kunne følge utviklingen.

Overskridelser spesielt for sidevassdrag i den nedre delen av Modalsvassdraget indikerer at man ikke kan forvente noen betydelig gjenhenting i Modalselva med det første. Det tilsier at fortsatt kalking er nødvendig. Dette er også tilfellet for Yndesdalsvassdraget, hvor de største overskridelsene ble beregnet. I Flekke- og Guddalsvassdraget er situasjonen noe bedre, og man kan forvente en sakte gjenhenting. Det er imidlertid sannsynlig at det fortsatt vil være kalkingsbehov en god stund framover.

## 6 Konklusjon

Det har blitt beregnet tålegrenser for forsuring og overskridelse av disse for Samnanger-, Uskedals-, Eksingedals-, Modals-, Yndesdals- og Flekke- og Guddalsvassdraget. Overskridelser er beregnet for dagens (2012-2016) og framtidig (2030) avsetning av svovel og nitrogen. For 2012-2016 var det overskridelser av tålegrensene i mange delnedbørfelt og ett eller fire vassdrag som helhet, avhengig av hvilken tålegrensemodell som ble benyttet. Med redusert avsetning i 2030 var overskridelsene lavere og færre områder var overskredet. Det var størst overskridelse i Yndesdalsvassdraget, mens det ikke var overskridelse i Uskedalsvassdraget.

Det er viktig å merke seg at på grunn av forsinkelser i systemene kan det være forsuring selv om tålegrensene ikke er overskredet. Men så lenge det ikke er overskridelse vil forsuringen gradvis avta, og de sure episodene vil bli mindre hyppige og alvorlige. Jo lenger unna overskridelse systemet er, dess raskere vil gjenhentingene gå. Generelt gjelder også at forbedringen fram mot 2030 forutsetter at landene overholder internasjonale forpliktelser med hensyn til utslippsreduksjoner.

## 7 Referanser

Aas, W., Hjellbrekke, A.-G., Fagerli, H. og Benedictow, A., 2017. Deposition of major inorganic compounds in Norway 2012-2016. Norsk institutt for luftforskning, NILU-rapport 41/2017, 35 s.

Austnes, K. 2015. Exceedance of critical loads in Norway in 2020 – Comparing CCE and NIVA calculations. I: de Wit, H.A. og Wathne, B. (red.) Proceedings of the 30th Task Force meeting of the ICP Waters Programme in Grimstad, Norway 14th –16th October, 2014. ICP Waters Report 122/2015. NIVA-rapport 6793-2015, 58 s.

Austnes, K., Lund, E., Sample, J.E., Aarrestad, P.A., Bakkestuen, V. og Aas, W., 2018. Overskridelser av tålegrenser for forsuring og nitrogen for Norge. Oppdatering med perioden 2012-2016. Norsk institutt for vannforskning, NIVA-rapport 7239-2018, 26 s.

Austnes, K., Wright, R.F., Sample, J.E., og Clayner, F., 2020. Critical loads and the MAGIC model. Evaluating the country-scale applications in Norway using data from the 2019 national lake survey. Norsk institutt for vannforskning, NIVA-rapport 7557-2020, 52 s.

Bjerknes, V., Wright, R., Larssen, T. og Håvardstun, J., 2004. Kalkingsplan for Yndesdal-Frøysetvassdraget basert på tålegrenseberegninger og prognoser for reduksjoner av surt nedfall. Norsk institutt for vannforskning, NIVA-rapport 4882-2004, 52 s.

CLRTAP, 2015. Exceedance calculations, Chapter VII of Manual on methodologies and criteria for modelling and mapping critical loads and levels and air pollution effects, risks and trends. UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution.  
<https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/4292/dokumente/ch7-mapman-2016-04-26.pdf>

CLRTAP, 2017. Mapping critical loads for ecosystems, Chapter V of Manual on methodologies and criteria for modelling and mapping critical loads and levels and air pollution effects, risks and trends. UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution.  
<https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/4292/dokumente/ch5-mapman-2017-09-10.pdf>

Cosby, B.J., Ferrier, R.C., Jenkins, A., og Wright, R.F., 2001. Modelling the effects of acid deposition: refinements, adjustments and inclusion of nitrogen dynamics in the MAGIC model. *Hydrology and Earth System Sciences* 5(3): 499-517.

Direktoratsgruppen vanddirektivet, 2018. Veileder 2:2018 Klassifisering.

Frogner T., Wright R.F., Cosby B.J., og Esser J.M., 1994. Maps of critical loads and exceedances for sulphur and nitrogen to forest soils in Norway. Norsk institutt for vannforskning, Naturens tålegrenser fagrapport 56, NIVA-rapport 3090-1994, 27 s.

Garmo, Ø., og Skancke, L.B., 2019. Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Årsrapport – Vannkjemiske effekter 2018. Norsk institutt for vannforskning, NIVA-rapport 7416-2019, M-1466, 89 s.

- Garmo, Ø.A., Johnsen, S.I., Dokk, J.G., Holter, T.H., Håll, J.P., Løvik, J.E. og Olstad, K., 2019. Vannkjemisk utvikling og biologisk tilstand etter kalkslutt i innsjøer i Hedmark. Rapport fra overvåking i perioden 2015-2018. Norsk institutt for vannforskning, NIVA-rapport 7400-2019, 119 s.
- Hanssen-Bauer, I., Førland, E.J., Haddeland, I., Hisdal, H., Mayer, S., Nesje, A., Nilsen, J.E.Ø., Sandven, S., Sandø, A.B., Sorteberg, A. og Ådlandsvik, B. (red.), 2015. Kunnskapsgrunnlag for klimatilpasning oppdatert i 2015. Norsk klimaservicesenter (NKSS)-rapport nr. 2/2015, M-406, 204 s.
- Henriksen, A. og Posch, M., 2001. Steady-state models for calculating critical loads of acidity for surface waters. *Water, Air, and Soil Pollution Focus* 1: 375–398.
- Hindar, A. og Larssen, T., 2005. Modifisering av ANC- og tålegrenseberegninger ved å inkludere sterke organiske syrer. Norsk institutt for vannforskning, NIVA-rapport 5030-2005, 38 s.
- Johnsen, G.H., 2015. Overvåking av vannkvalitet i 4 sideelver til nedre deler av Ekso i 2014. Rådgivende Biologer rapport nr. 2043, 16 s.
- Johnsen, G.H., 2016. Overvåking av vasskvalitet i 5 sideelvar til Modalselva nedom kalkdoseraren i 2016. Rådgivende Biologer rapport nr. 2288, 21 s.
- Kambestad, M., Sægrov, H., Hellen, B.A., Kålås, S., Urdal, K. og Johnsen, G.H., 2016. Laks i Samnangervassdraget – status og behov for tiltak. Rådgivende Biologer rapport nr. 2269, 34 s.
- Kambestad, M., Hellen, B.A., Kålås, S., Sægrov, H., Sikveland, S.E. og Urdal, K., 2020. Undersøkelser av fisk, bunndyr og vannkemi i Samnangervassdraget. Sluttrapport for 2012–2016. Rådgivende Biologer rapport nr. 3053, 29 s.
- Kaste, Ø., Hindar, A., Skiple, A. og Henriksen, A., 1996. Tiltak mot forsurening av Ekso. Kalkingsplan, samt prognose for kalkbehov basert på tålegrenseoverskridelser fram mot år 2010. Norsk institutt for vannforskning, NIVA-rapport 3462-1996, 66 s.
- Kirchner, J.W. og Lydersen, E. 1995. Base cation depletion and potential long-term acidification of Norwegian catchments. *Environmental Science & Technology* 29(8): 1953-1960.
- Lydersen, E., Larssen, T. og Fjeld, E., 2004. The influence of total organic carbon (TOC) on the relationship between acid neutralizing capacity (ANC) and fish status in Norwegian lakes. *Science of the Total Environment* 326: 63-69.
- Miljødirektoratet (red.), 2020. Kalking i laksevassdrag skadet av sur nedbør. Tiltaksovervåking i 2019. M-1791, 410 s.
- Simpson, D., Benedictow, A., Berge, H., Bergström, R., Emberson, L.D., Fagerli, H., Flechard, C.R., Hayman, G.D., Gauss, M., Jonson, J.E., Jenkin, M.E., Nýíri, A., Richter, C., Semeena, V.S., Tsyro, S., Tuovinen, J.-P., Valdebenito, A. og Wind, P., 2012. The EMEP MSC-W chemical transport model – technical description. *Atmospheric Chemistry and Physics* 12: 7825-7865.
- Wright, R.F., Larssen, T., Camarero, L., Cosby, B.J., Ferrier, R.C., Helliwell, R., Forsius, M., Jenkins, A., Kopáček, J., Majer, V., Moldan, F., Posch, M., Rogora, M. og Schöpp, W., 2005. Recovery of acidified European surface waters. *Environmental Science & Technology* 39(3): 64A-72A.

## Vedlegg A. Data benyttet i tålegrenseberegningene

Tabell A.1. Gjennomsnittskonsentrasjoner for vannkjemiske parametere

Nedbørfelt	Delnedbørfelt	År	Ca	Cl	Mg	Na	SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub> -N	K	TOC
			mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	mg/l	mg/l
Samnanger		1997-2002	0,6	2,8	0,2	1,6	1,4	107	0,2	1,2 <sup>16</sup>
Samnanger	Storelva	2008-2016	1,3	4,1	0,5	2,4	1,8	211	0,4	3,6
Samnanger	Utløp Fiskevatnet	2008-2016	0,4	2,5	0,2	1,4	0,9	91	0,2	2,0
Samnanger	Frølandselva	2020	0,7	6,1	0,4	3,2	1,1	56	0,3	1,5
Uskedal		2011-2018 <sup>17</sup>	1,0 <sup>18</sup>	4,0	0,4	2,4	1,1	325	0,5	1,7
Eksingedal		2011-2018 <sup>17</sup>	0,8 <sup>18</sup>	2,9	0,3	1,6	0,9	104	0,3	1,7
Eksingedal	Sideelver nedstrøms kalking	2014	0,3	3,2	0,2	1,9	0,8	47	0,2	1,3
Eksingedal	Hovedløpet oppstrøms kalking	2016-2019	0,7	2,8	0,3	1,5	0,7	85	0,3	2,1
Modal		2017-2019	0,4 <sup>18</sup>	1,9	0,2	1,2	0,6	60	0,1	1,7
Modal	Sideelv fra Kollebotn	2016-2017	0,3	5,6	0,4	3,0	0,7	150	0,2	1,2
Modal	Sideelv fra Modalskaret	2016-2017	0,4	6,4	0,4	3,2	0,7	179	0,3	1,8
Modal	Budalselva	2017-2019	0,2	2,7	0,2	1,6	0,7	109	0,1	1,5
Modal	Sideelv fra Almelistølen	2016-2017	0,2	5,4	0,4	2,8	0,6	69	0,2	1,4
Modal	Sideelv Sollielva	2016-2017	0,4	7,5	0,5	3,8	0,8	118	0,2	1,4
Modal	Sideelv Todeiselva	2016-2017	0,3	5,2	0,4	2,8	0,6	95	0,2	1,0
Modal	Hovedløpet oppstrøms kalking	2017-2019	0,2	1,8	0,2	1,1	0,5	48	0,1	1,5
Yndesdal		2011-2017 <sup>19</sup>	0,3 <sup>18</sup>	5,1	0,4	2,9	1,0	50	0,2	3,4
Yndesdal	Tangedal-Myrdal	2018-2019	0,4	5,5	0,4	3,2	1,2	53	0,2	4,9
Yndesdal	Sidevassdrag nedstrøms kalking	2011-2019	0,3	4,8	0,3	2,7	1,0	29	0,2	3,0
Yndesdal	Kvamsdal	2011-2019	0,3	4,8	0,3	2,7	1,0	29	0,2	3,0
Yndesdal	Botnane	2012-2019	0,2	4,7	0,3	2,6	1,0	41	0,2	4,2
Yndesdal	Byrkjelandsdal-Transdal-Steinsdal	2011-2019	0,3	4,8	0,3	2,7	1,0	29	0,2	3,0
Yndesdal	Utløp Yndesdalsvatnet	2011-2019	0,2	4,2	0,3	2,3	0,9	46	0,2	2,5
Flekk-Guddal		2011-2015	0,4 <sup>18</sup>	4,2	0,3	2,4	1,0	36	0,3	3,3
Flekk-Guddal	Hovedløpet oppstrøms kalking	2011-2019	0,4	4,1	0,3	2,4	1,2	65	0,3	3,0

<sup>16</sup> TOC-data fra 2020<sup>17</sup> November-desember 2018 utelatt pga. kalking med VK5<sup>18</sup> Estimert «ukalket»<sup>19</sup> Oktober-desember 2017 utelatt pga. kalking med VK5

Tabell A.2. Øvrige verdier beregnet for hvert enkelt delnedbørfelt

Nedbørfelt	Delnedbørfelt	Areal delnedbørfelt	Areal innsjø	Tilsig	N-uttak ved hogst
		km <sup>2</sup>	km <sup>2</sup>	mm/år	mekv/m <sup>2</sup> /år
Samnanger		236	13	3693	0
Samnanger	Storelva	11	0,06	2721	0
Samnanger	Utløp Fiskevatnet	122	10	3761	0
Samnanger	Frølandselva	97	2,5	3780	0
Uskedal		46	1,3	3229	0,5
Eksingedal		255	5,9	2787	0
Eksingedal	Sideelv nedstrøms kalking	39	0,4	2645	0
Eksingedal	Hovedløpet oppstrøms kalking	194	5,0	2767	0
Modal		381	27	2822	0
Modal	Sideelv fra Kollebotn	6,9	0,004	2922	0
Modal	Sideelv fra Modalsskaret	7,1	0,03	2629	0
Modal	Budalselva	19	0,3	3458	0
Modal	Sideelv fra Almelistølen	12	0,07	2279	0
Modal	Sideelv Sollielva	14	0,1	2600	0
Modal	Sideelv Todeiselva	16	0,4	2460	0
Modal	Hovedløpet oppstrøms kalking	305	26	2837	0
Yndesdal		119	7,5	3418	0
Yndesdal	Tangedal-Myrdal	22	0,4	3141	0
Yndesdal	Sidevassdrag nedstrøms kalking	25	2,3	2613	0
Yndesdal	Kvamsdal	13	1,0	2971	0
Yndesdal	Botnane	6,1	0,5	3298	0
Yndesdal	Byrkjelandsdal-Transdal-Steinsdal	14	0,2	3591	0
Yndesdal	Utløp Yndesdalsvatnet	40	3,1	4169	0
Flekke-Guddal		263	20	2982	1,0
Flekke-Guddal	Hovedløpet oppstrøms kalking	94	6,0	2986	0

Tabell A.3. Konstanter. Verdiene er i samsvar med CLRTAP (2017), og videre referanser finnes der

Parameter	Forklaring	Verdi	Enhet
Ni	Langtids nitrogenimmobilisering i jorda	3,57	mekv/m <sup>2</sup> /år
fde	Andelen av tilgjengelig nitrogen for utlekking som frigjøres ved denitrifikasjon	0,1	
SN	Masseoverføringskoeffisienten for nitrogen (til beregning av retensjon i innsjøer)	5	m/år
SS	Masseoverføringskoeffisienten for svovel (til beregning av retensjon i innsjøer)	0,5	m/år
k	Proporsjonalitetskonstant i beregning av ANC <sub>oaa,limit</sub> <sup>20</sup>	0,2	
a	Atmosfærisk bidrag til før-industriell sulfatkonsentrasjon (til beregning av før-industriell sulfatkonsentrasjon)	3	mekv/m <sup>3</sup>
b	Andelen av dagens sulfatkonsentrasjon som har geologisk opphav (til beregning av før-industriell sulfatkonsentrasjon)	0,17	
S	Basekationfluksen som gir F = 1 (dvs. at all sur nedbør blir nøytralisert i nedbørfeltet) (til beregning av F-faktoren)	400	mekv/m <sup>2</sup> /år
Ca-r	Forhold til Cl i sjøvann, brukt til sjøsaltkorreksjon	0,037	
Mg-r	Forhold til Cl i sjøvann, brukt til sjøsaltkorreksjon	0,196	
Na-r	Forhold til Cl i sjøvann, brukt til sjøsaltkorreksjon	0,859	
SO4-r	Forhold til Cl i sjøvann, brukt til sjøsaltkorreksjon	0,103	
K-r	Forhold til Cl i sjøvann, brukt til sjøsaltkorreksjon	0,018	

<sup>20</sup> oaa = organic acid adjusted (justert for organiske syrer)

Tabell A.4. Tålegrense, avsetning og overskridelser for delnedbørfeltene. Alle verdier er i mekv/m<sup>2</sup>/år. Negative verdier for overskridelse (SSWC) betyr ingen overskridelse, men det gir en indikasjon på avstanden til overskridelse. For FAB er det ikke beregnet negativ overskridelse, så her er laveste verdi alltid 0.

Delnedbørfelt	Tålegrense (SSWC)	S-avsetning 2012-2016	N-avsetning 2012-2016	S-avsetning 2030	N-avsetning 2030	Overskridelse 2012-2016 (SSWC)	Overskridelse 2012-2016 (FAB)	Overskridelse 2030 (SSWC)	Overskridelse 2030 (FAB)
<b>Samnanger</b>									
Storelva	117,7	14,6	58,3	7,4	43,8	-62,2	0,0	-69,5	0,0
Utløp Fiskevatnet	31,1	12,9	51,4	6,4	39,0	6,3	23,5	-0,2	5,2
Frølandselva	62,5	13,9	55,1	7,0	41,4	-33,5	0,3	-40,4	0,0
<b>Eksingedal</b>									
Sideelver nedstrøms kalking	22,6	13,3	52,3	5,9	41,8	-0,5	36,5	-7,9	18,6
Hovedløpet oppstrøms kalking	57,1	9,9	41,6	4,4	32,2	-30,3	0,0	-35,9	0,0
<b>Modal</b>									
Sideelv fra Kollebotn	10,5	13,5	53,0	5,9	42,6	34,3	51,3	26,7	33,3
Sideelv fra Modalsskaret	20,7	13,5	53,0	5,9	42,6	26,3	39,7	18,8	21,7
Budalselva	16,0	13,4	52,9	5,9	42,5	24,3	44,7	16,8	26,7
Sideelv fra Almelistølen	5,1	13,1	52,1	5,7	41,8	19,2	55,9	11,8	38,3
Sideelv Sollielva	11,1	12,1	49,3	5,3	39,6	22,9	45,3	16,1	28,8
Sideelv Todeiselva	10,7	12,1	49,1	5,3	39,4	18,1	45,4	11,3	28,9
Hovedløpet oppstrøms kalking	21,0	9,8	40,8	4,2	31,8	-1,4	21,0	-6,9	6,7
<b>Yndesdal</b>									
Tangedal-Myrdal	11,8	22,4	72,2	10,5	53,1	22,6	77,8	10,7	46,7
Sidevassdrag nedstrøms kalking	3,3	21,5	70,4	10,0	51,7	23,5	84,7	12,1	54,6
Kvamsdal	3,5	20,7	69,1	9,7	50,8	23,3	82,5	12,3	53,1
Botnane	-7,8	20,0	70,3	9,3	51,6	29,6	90,2	19,0	60,9
Byrkjelandsdal-Transdal-Steinsdal	3,8	20,4	71,0	9,5	52,2	24,0	83,7	13,1	54,0
Utløp Yndesdalsvatnet	7,9	19,1	67,5	8,9	49,6	25,0	74,1	14,8	46,0
<b>Guddal</b>									
Hovedløpet oppstrøms kalking	34,9	15,0	55,6	6,6	44,5	-6,0	25,2	-14,4	6,3



## NIVA: Norges ledende kompetansesenter på vannmiljø

NIVA gir offentlig vannforvaltning, næringsliv og allmennheten grunnlag for god vannforvaltning gjennom oppdragsbasert forsknings-, utrednings- og utviklingsarbeid. NIVA kjennetegnes ved stor faglig bredde og godt kontaktnett til fagmiljøer i inn- og utland. Faglig tyngde, tverrfaglig arbeidsform og en helhetlig tilnæringsmåte er vårt grunnlag for å være en god rådgiver for forvaltning og samfunnsliv.



Norsk institutt for vannforskning

Gaustadalléen 21 • 0349 Oslo  
Telefon: 02348 • Faks: 22 18 52 00  
[www.niva.no](http://www.niva.no) • [post@niva.no](mailto:post@niva.no)