

# Forslag til norsk overvåkingsnettverk for å oppfylle NEC-direktivets krav om å overvåke effekter av luftforurensing



# 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 Forslag til norsk overvåkingsnettverk for å oppfylle NEC-direktivets krav om å overvåke effekter av luftforurensing	Løpenummer 7456-2020	Dato 30.01.2020
Forfatter(e) Øyvind Garmo (NIVA), Vegar Bakkestuen (NINA), Sverre Solberg (NILU), Volkmar Timmermann (NIBIO), David Simpson (Met), Ane Victoria Vollsnes (UiO), Per Arild Aarrestad (NINA) og Sissel Brit Ranneklev (NIVA)	Fagområde Overvåking	Distribusjon Åpen
	Geografisk område Norge	Sider 51 + vedlegg

Oppdragsgiver(e) Miljødirektoratet	Oppdragsreferanse Gunnar Skotte
Oppdragsgivers utgivelse: Miljødirektoratet rapport M-1586   2019	Utgitt av NIVA Prosjektnummer 10300

<p>Sammendrag</p> <p>Norge har et eksisterende overvåkingsnettverk for å måle effekter av luftforurensninger som forsuring, overgjødning og ozoneksponering i økosystemer. Ved eventuell implementering av nytt NEC-direktiv «takdirektiv» (2016/2284/EU) må Norge rapportere inn overvåkingsnettverk og resultater fra overvåking av effekter av luftforurensninger i økosystemer. I denne rapporten er dagens overvåkingsnettverk vurdert med hensyn til de krav som stilles i nytt NEC-direktiv. Resultater viste at for innsjøer og elver er dagens overvåkingsnettverk relatert til forsuring tilfredsstillende. For overgjødning av skog, skogsjord og terrestrisk natur er det behov for oppgraderinger av overvåkingsnettverket. I forhold til ozonskader i vegetasjon er det behov for oppgraderinger av dagens overvåkingsnettverk. Det vil påløpe kostnader for opprettelse av nye overvåkingsstasjoner og oppgraderinger av dagens overvåkingsnettverk. Estimerte kostnader for å dekke mangler i eksisterende overvåkingsnettverk er angitt i rapporten.</p>
---

Fire emneord	Four keywords
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. NEC-direktivet/Takdirektivet</li> <li>2. Forsuring</li> <li>3. Eutrofi</li> <li>4. Ozon</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. National Emissions Ceilings (NEC) Directive</li> <li>2. Acidification</li> <li>3. Eutrophication</li> <li>4. Ozon</li> </ol>

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

*Øyvind Garmo*  
Prosjektleder

*Heleen de Wit*  
Forskningsleder

ISBN 978-82-577-7191-1  
NIVA-rapport ISSN 1894-7948

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

**Forslag til norsk overvåkingsnettverk for å  
oppfylle NEC-direktivets krav om å overvåke  
effekter av luftforurensing**

---

## Forord

Denne rapporten er skrevet i et samarbeid mellom Norsk institutt for vannforskning (NIVA), Norsk institutt for naturforskning (NINA), Norsk institutt for luftforskning (NILU), Norsk institutt for bioøkonomi (NIBIO), Meteorologisk institutt (Met) og Universitetet i Oslo (UiO). Ansatte ved hver institusjon har hatt ansvar for hvert sitt faglige bidrag. Fordeling i arbeidsoppgavene har vært som følgende:

Øyvind Garmo (NIVA) og Sissel Brit Ranneklev (NIVA), overvåking av overflatevann og rapport sammenskriving. Espen Lund (NIVA) og James Sample (NIVA), kart og databehandling, og Kari Austnes (NIVA), råd og innspill. Heleen de Wit (NIVA) har kvalitetssikret rapporten.

Vegar Bakkestuen/Per Arild Aarrestad (NINA) og Volkmar Timmermann (NIBIO), overgjødsling og forsuring av skogsjord, skog og terrestrisk natur.

Sverre Solberg (NILU), David Simpson (Met) og Ane Victoria Vollsnes (UiO), ozoneksponering av vegetasjon.

Gunnar Skotte har vært kontaktperson fra Miljødirektoratet, og han har bidratt aktivt i rapporteringen i forhold til reguleringer rundt NEC-direktivet (kap.1)

Takk til alle sammen for godt samarbeid.

Hamar, 28.1.2020

*Øyvind Garmo*

---

# Innholdsfortegnelse

<b>1</b>	<b>NEC-direktivet .....</b>	<b>9</b>
1.1	Bakgrunn .....	9
1.2	Krav til overvåking av effekter, rapportering av resultater og parametervalg i NEC-direktivet.....	9
<b>2</b>	<b>Tilførsler til Norge og økosystemenes sårbarhet .....</b>	<b>11</b>
2.1	Nitrogen og svovel .....	11
2.1.1	Metoder for beregning av tålegrenser .....	11
2.1.2	Tålegrenser for forsuring av overflatevann.....	11
2.1.3	Tålegrenser for forsuring av skogsjord.....	12
2.1.4	Tålegrenser for overgjødning av vegetasjon.....	12
2.1.5	Beregnete tålegrenser for vann, skogsjord og vegetasjon.....	14
2.1.6	Overskridelser av tålegrenser for vann, skogsjord og vegetasjon .....	15
2.2	Bakkenært ozon.....	19
2.2.1	Dagens nivåer av ozon.....	19
2.2.2	Vegetasjonens sårbarhet for ozoneksponering i Norge.....	23
<b>3</b>	<b>Overvåking av effekter .....</b>	<b>25</b>
3.1	Effekter i vann - dagens overvåkingsnettverk .....	25
3.1.1	Vurdering av dagens overvåkingsnettverk ift. krav i NEC-direktivet.....	26
3.2	Effekter i vegetasjon og terrestrisk natur – dagens overvåkingsnettverk.....	27
3.2.1	Dagens overvåkingsnettverk - ICP Forests Level II/Overvåkingsprogram for skogskader (OPS) Intensiv skogovervåking (NIBIO): .....	27
3.2.2	Dagens overvåkingsnettverk - ICP Forests Level I/Landsrepresentativ skogovervåking/Landsskogtakseringen (NIBIO): .....	29
3.2.3	Dagens overvåkingsnettverk for terrestrisk naturovervåking (NINA).....	30
3.2.4	Vurdering av dagens overvåkingsnettverk ift. krav i NEC-direktivet.....	33
3.3	Effekter i vegetasjon - dagens overvåkingsnettverk (bakkenært ozon) .....	34
3.3.1	Vurdering av dagens overvåkingsnettverk ift. krav i direktivet .....	37
3.4	Integrert overvåking av ferskvann og terrestriske økosystemer.....	38
<b>4</b>	<b>Forslag til utvidet overvåking.....</b>	<b>38</b>
4.1	Effekter i vann (forsuring).....	38
4.2	Effekter i vegetasjon og terrestrisk natur (eutrofi og forsuring) .....	38
4.2.1	Intensiv skogovervåking (ICP Forests Level II).....	38
4.2.2	Landsrepresentativ skogovervåking (ICP Forests Level I).....	39
4.2.3	Terrestrisk naturovervåking .....	39
4.2.4	Anbefalinger for andre terrestriske økosystemer (økologisk tilstand og nitrogenpåvirkning) .....	39
4.3	Effekter i vegetasjon (ozon).....	40
4.3.1	Utvidelse av dagens overvåkingsnettverk for ozon .....	40
4.3.2	Beregning av ozonopptak og eventuelle overskridelser av kritiske nivåer.....	41
4.3.3	Vegetasjonseksponering (POD) på ozonstasjonene.....	41
4.3.4	Beregning av POD for hele landet basert på CAMS-EMEP-3DV .....	41

---

4.3.5	Feltstudier .....	42
<b>5</b>	<b>Kostnadsoverslag .....</b>	<b>44</b>
5.1	Kostnader for terrestrisk overvåkingsnettverk for eutrofi og forsurening.....	44
5.1.1	Forslag «Høyt» ambisjonsnivå.....	44
5.1.2	Forslag «Lavt» ambisjonsnivå.....	44
5.2	Kostnader for overvåkingsnettverk for ozon.....	45
5.2.1	Utvidelse av dagens stasjonsnett for ozon.....	45
5.2.2	Beregning av ozonopptak og eventuelle overskridelser av kritiske nivåer .....	45
5.2.3	Feltstudier .....	45
<b>6</b>	<b>Konklusjoner .....</b>	<b>47</b>
<b>7</b>	<b>Referanser.....</b>	<b>47</b>
	Artikkel 9 og 10 i NECD.....	52
	Vedlegg 5 i NECD .....	52

## Sammendrag

Norge har aktiv overvåking av effekter fra luftforurensninger som forsuring, overgjødsling og ozon i luft. Overvåkingsnettverket dekker elver, innsjøer, skogsjord, skog, vegetasjon og terrestrisk natur. Ved eventuelt implementering av nytt NEC-direktiv «takdirektiv» (2016/2284/EU) i forhold til dagens gjeldende NEC-direktiv (2001/81/EF), må Norge rapportere inn resultater på overvåking av effekter av luftforurensninger i økosystemer.

I denne rapporten er dagens aktive overvåkingsnettverk vurdert med hensyn til de krav som stilles i nytt NEC-direktiv. Det ble vurdert om dagens overvåkingsnettverk er tilfredsstillende eller hvor vidt det er behov for oppgraderinger. Resultater viste at for innsjøer og elver er dagens overvåkingsnettverk tilstrekkelig til å oppfylle direktivets krav til effekter av nedfall av svovel- og nitrogenforbindelser. For overgjødsling av skog, skogsjord og terrestrisk natur er det behov for oppgraderinger av overvåkingsnettverket. For å måle effekter av ozon i vegetasjon er det også behov for oppgraderinger av dagens overvåkingsnettverk.

Det vil påløpe kostnader for opprettelse av nye overvåkingsstasjoner og oppgraderinger av dagens overvåkingsnettverk. Estimerte kostnader for å dekke mangler i eksisterende overvåkingsnettverk er angitt i rapporten.

## Summary

Title: Proposal for a Norwegian monitoring network to fulfill the NEC directive's requirement to monitor the effects of air pollution.

Year: 2019

Author(s): Øyvind Garmo (NIVA), Vegar Bakkestuen (NINA), Sverre Solberg (NILU), Volkmar Timmermann (NIBIO), David Simpson (Met), Ane Victoria Vollsnes (UiO), Per Arild Aarrestad (NINA) og Sissel Brit Ranneklev (NIVA).

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN 978-82-577-7191-1

Norway is actively monitoring the effects of air pollution such as acidification, eutrophication, and ozone in air. The monitoring network covers rivers, lakes, forest land, forests, vegetation, and terrestrial nature. When implementing a new NEC directive "National Emission Ceilings directive" (2016/2284 / EU), in relation to the current NEC directive (2001/81/EC), Norway must report results on monitoring of the effects of air pollution on ecosystems.

In this report the current monitoring network is evaluated with regard to the requirements set in the new NEC directive. It was assessed whether the current monitoring network is satisfactory, or to what extent upgrades are required. Results showed that the existing monitoring network for lakes and rivers, is sufficient to meet the new directive's requirements for effects of deposition of sulfur and nitrogen compounds. For eutrophication of forests, forest soils, and terrestrial nature, improvement of the existing monitoring network is needed. The monitoring network for measurements of effects of ozone on vegetation needs an upgrading.

Costs will be incurred for the construction of new monitoring stations and upgrades of the current monitoring network. Estimated costs to cover deficiencies in existing monitoring networks are provided in the report.



# 1 NEC-direktivet

## 1.1 Bakgrunn

*Directive on national emissions ceilings for certain atmospheric pollutants*<sup>1</sup> ("NEC-direktivet", også referert til som takdirektivet, referert til videre i rapporten som «NECD») trådte i kraft i EU i 2001 (2001/81/EF). Direktivet ble innlemmet i EØS-avtalen i 2009, og er gjennomført i norsk rett gjennom endringer i flere forskrifter som regulerer utslipp fra berørte kategorier av utslippskilder. Direktivet hadde som formål å unngå overskridelse av kritiske belastningsgrenser for økosystemer og menneskers helse, gjennom å redusere grenseoverskridende luftforurensning. Det omfattet stoffene svoveldioksid (SO<sub>2</sub>), nitrogenoksider (NO<sub>x</sub>), ammoniakk (NH<sub>3</sub>) og flyktige organiske forbindelser (VOC), og satte tak for hver enkelt medlemsstats samlede utslipp fra og med 2010 for hvert av disse stoffene.

I 2016 vedtok EU et nytt direktiv (2016/2284/EU)<sup>2</sup> som erstattet direktivet fra 2001. Det nye direktivet er foreløpig ikke innlemmet i EØS-avtalen og derved ikke gjeldende i norsk rett. Det er imidlertid sannsynlig at dette vil skje, selv om det er uklart hvor lang tid denne prosessen vil ta, og hvilke utslippsreduksjoner Norge vil påta seg.

Hensikten med det nye direktivet er å ytterligere redusere utslipp av forurensninger til luft som kan skade menneskers helse eller økosystemer, nasjonalt eller i andre land. Direktivet skal bidra til å nå miljømålene som er satt i EUs luftpakke, og vil også bidra til å redusere utslippene av kortlivede klimadrivere (sot og metan). Det nye direktivet setter krav til reduksjoner i nasjonale utslipp gjeldende fra hhv. 2020 og 2030 for stoffene som reguleres i direktiv 2001/81/EF. I tillegg inneholder direktivet forpliktelser om utslippsreduksjoner for helseskadelige partikler (PM<sub>2,5</sub>). Helt nytt i direktivet er at landene skal rapportere fra overvåking av effekter av luftforurensninger i økosystemer.

I denne rapporten har fagpersoner fra aktuelle institusjoner i Norge vurdert det eksisterende norske overvåkingsnettverket for effekter av luftforurensninger i forhold til krav som stilles i direktiv (2016/2284/EU). Videre inneholder rapporten et forslag med estimerte kostnader til supplerende overvåking som skal dekke de områdene der det er avdekket mangler i eksisterende overvåkingsnettverk.

## 1.2 Krav til overvåking av effekter, rapportering av resultater og parametervalg i NEC-direktivet

Kravene til overvåking av effekter finner vi i direktivets artikkel 9 (se **Vedlegg A**). Hovedprinsippene i direktivet er at medlemslandene skal ha et overvåkingsnettverk som er representativt for landets ferskvannøkosystemer, naturlige og semi-naturlige habitater og skog-økosystemer. Overvåkingen skal være kostnadseffektiv og risikobasert, og skal samordnes med annen relevant overvåking fra direktivene 2008/50/EC (luftkvalitetsdirektivet), 2000/60/EC (vanndirektivet), 92/43 EEC (habitatsdirektivet), og hvis mulig LRTAP-konvensjonen (Convention on Long-range Transboundary Air Pollution). Data som er innhentet fra overvåking relatert til disse direktivene skal om mulig nyttiggjøres i det nye direktivet

Krav til rapportering av resultater fra effektovervåkingen er gitt i artikkel 10 i direktivet (se **Vedlegg A0**). Det reviderte direktivet stiller krav om at medlemslandene skal rapportere sitt overvåkingsnettverk innen 1. juli 2018, og data fra overvåkingen innen 1. juli 2019. Da direktivet ikke er implementert i norsk lovverk vil Norge ha behov for at disse tidsfristene utsettes.

<sup>1</sup> På norsk: *Direktivet om nasjonale utslippstak for visse forurensende stoffer til luft* ("Takdirektivet")

<sup>2</sup> <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016L2284&from=EN>

Vedlegg V i direktivet gir en oversikt over anbefalte parametere som skal overvåkes (se **Vedlegg A**). I tillegg har EU-kommisjonen utarbeidet en veiledning for landene i utforming av overvåkingsnettverk. Vedlegg V og veiledningen i direktivet bygger i stor grad på metodikken som ligger til grunn for overvåkingen av effekter under LRTAP-konvensjonen, og det er lagt opp til at landene i størst mulig grad skal bruke eksisterende nettverk fra denne overvåkingen. Det er imidlertid viktig å understreke at hverken Vedlegg V eller veiledningsdokumentet for effektovervåking<sup>3</sup> stiller absolutte krav til overvåkingen. Veiledningsdokumentet for effektovervåking («*Ecosystem monitoring under Article 9 and Annex V of Directive 2016/2284 (NECD) - Guidance*», referert til videre som «NECD-guidance») ble ferdigstilt i 2017. Dokumentet er utviklet av Ambient Air Quality Expert Group, som er en ekspertgruppe knyttet til NEC-direktivet, i samarbeid med programsentere for de relevante effekt-gruppene under LRTAP-konvensjonen (ICP Waters, ICP Integrated Monitoring, ICP Vegetation og ICP Forests).

De aktuelle påvirkningene som omtales i dokumentet er forsurening, eutrofiering og ozonskade. Det er imidlertid åpning for at overvåkingsnettverket kan utvides etterhvert. Det legges også opp til en gradvis forbedring i målenettverket. Målenettverket i første syklus (2018-19) vil bli evaluert av Kommisjonen med hensyn til oppfyllelse av kravene i artikkel 9, for å vurdere om overvåkingen bør forbedres i neste periode (2022-23).

Dokumentet gir en rekke anbefalinger om hvordan overvåkingsstasjoner bør velges. Nedenfor er de viktigste anbefalingene gjengitt:

1. Overvåkingsstasjoner bør velges på lokaliteter:
  - som er sensitive for påvirkningen.
  - der påvirkning fra luftforurensning kan skilles fra annen påvirkning.
  - som er typiske for naturtypen.
2. Det samlede nasjonale overvåkingsnettverket skal være slik at det gir mulighet for:
  - analyse av gradienter.
  - gi forståelse for årsak-virkning.
  - gi data for modellering av kritisk belastning og overskridelse av tålegrenser.
3. Antall overvåkingsstasjoner og deres tetthet er avhengig av:
  - sensitiviteten til økosystemet.
  - størrelsen på påvirkningen.
  - arealet av naturtypen som er påvirket.
  - antall ulike habitater.

Det gis også en del andre føringer for valg av overvåkingsstasjoner:

- Selv om ikke hver enkelt overvåkingsstasjon trenger å ha høy biodiversitet, bør overvåkingsnettverket som helhet dekke områder som er lite forstyrret og har høy biodiversitet.
- Det er viktigere å ha god geografisk spredning på overvåkingsstasjonene enn å ha høy tetthet i enkeltområder<sup>4</sup>.
- Upåvirkede områder/referanseområder trenger lavere tetthet av overvåkingsstasjoner, men bør ikke utelukkes fra overvåkingsnettverket.
- De viktigste gradientene i medlemslandene bør dekkes av overvåkingsnettverket. De viktigste gradientene i forhold til klima (nedbør, temperatur), hydrologi og jord-pH bør variere systematisk.

<sup>3</sup> <https://ec.europa.eu/transparency/regexpert/index.cfm?do=groupDetail.groupDetailDoc&id=35724&no=3>

<sup>4</sup> <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/biogeographical-regions-europe-3#tab-data-visualisations>

- Hvert medlemsland bør i det minste dekke områder med høy deposisjon av forsurende og eutrofierende stoffer (på nasjonal skala) og høye konsentrasjoner av ozon. For langtidsstudier anbefales det også å inkludere referanseområder med lav deposisjon/konsentrasjon.
- I hvert land bør overvåkingsnettverket gjenspeile fordelingen av naturlige naturtyper i landet.

Overvåkingen som er beskrevet i veiledningsdokumentet er i stor grad basert på det som i dag gjøres under LRTAP-protokollen. Det er i noen sammenhenger påpekt at LRTAP mangler overvåking av nitrogeneffekter i terrestriske økosystemer utenom skog, og at dette også reflekteres ved manglende omtale i veiledningsdokumentet. Vi har derfor valgt å foreslå overvåking av nitrogeneffekter som går noe ut over det som beskrives i veiledningsdokumentet, siden vi mener teksten i artikkel 9 i direktivet også omfatter disse økosystemtypene.

## 2 Tilførsler til Norge og økosystemenes sårbarhet

### 2.1 Nitrogen og svovel

I programmet «Naturens tålegrense» som ble initiert i 1988 av Miljøverndepartementet, ble begrepet naturens tålegrense (eng.: "critical load») implementert i Norge. Begrepet ble definert som den høyeste atmosfæriske tilførselen av svovel og nitrogen som ikke gir skade på økosystemet. Programmet ga innspill til Nordisk handlingsplan mot luftforurensninger og protokoller i konvensjonen for langtransporterte grenseoverskridende luftforurensninger (Langtransportkonvensjonen/LRTAP-konvensjonen<sup>5</sup>). Tålegrenser benyttes blant annet for å beregne effekter av forurensningsreduerende tiltak, og aksepteres som utgangspunkt for politiske beslutninger om reduksjoner i utslipp av forurensende stoffer. I 1999 ble Gøteborgprotokollen<sup>5</sup> undertegnet under LRTAP-konvensjonen. Her reguleres utslippene av svoveldioksid, nitrogenoksid, ammoniakk og flyktige organiske forbindelser, slik at forsuring, overgjødning og bakkenært ozon reduseres. Tålegrensekonseptet ligger også til grunn for Gøteborgprotokollen. Medlemsland som har undertegnet protokollen har forpliktet seg til utslippsreduksjoner fram mot 2020.

#### 2.1.1 Metoder for beregning av tålegrenser

For Norge er det utarbeidet tålegrenser for forsuring fra sterke syrer (svovel- og salpetersyre) til overflatevann og skogsjord, og for overgjødning (eutrofiering) av vegetasjon med nitrogen. Basert på avsetninger og tålegrenser er overskridelser beregnet for forskjellige tidsperioder fra 1982 til 2016. I 2018 ble siste beregning med data fra 2012-2016 gjennomført (Austnes et al., 2018). Tålegrenser for Norge er beregnet for enkeltruter i et rutenett. Hele Norge er dekket av 2303 ruter med størrelse ¼ lengdegrad og 1/8 breddegrad. For forsuring av overflatevann er tålegrensen beregnet for hver rute. For jord er tålegrensene beregnet for 662 av rutene, der det er skogsjord. For overgjødning av vegetasjon er tålegrenser gitt for ulike vegetasjonstyper, og vegetasjonskart ligger til grunn for tålegrensekartet.

#### 2.1.2 Tålegrenser for forsuring av overflatevann

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<sub>limit</sub>. Den er for Norge primært satt med tanke på å kunne opprettholde en reproduserende ørretbestand.

Tålegrensene for vann for Norge beregnes med to modeller: the Steady-State Water Chemistry (SSWC) og First-order Acidity Balance (FAB). Disse er beskrevet i mer detalj og med referanser i Austnes et al.,

<sup>5</sup> <http://tema.miljodirektoratet.no/no/Tema/Internasjonalt/Internasjonale-avtaler/Luftforurensning/>

(2018). Det er kun foretatt små justeringer av metodene de siste årene. For begge modellene benyttes en vannkjemi som er tilegnet rutene i beregningene. Denne er primært basert på data fra regionalundersøkelsen i 1986. TOC-konsentrasjon ble lagt til rutene senere, og denne er hentet fra regionalundersøkelsen i 1995.

Med SSWC-modellen beregnes tålegrensen fra før-industriell basekationkonsentrasjon og  $ANC_{limit}$ . 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. Før-industriell vannkjemi er modellert med den dynamiske modellen MAGIC (Model of Acidification of Groundwater in Catchments) for 83 forsurningsfølsomme innsjøer og overføres til rutene ved hjelp av en regresjonsmodell.

FAB-modellen er en massebalansmodell, 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 «steady state» en gang i framtiden. Da antas det at systemet er «mettet» på nitrogen slik at opptaket blir lavere enn i dag, og nitrogen vil dermed bidra mer til forsuring, gitt samme avsetning. Forskjellen mellom modellene blir størst der det er mye skog i nedbørfeltet, minst der det er mye bart fjell og skrint jordsmonn.

I begge modellene benyttes en  $ANC_{limit}$  som er justert for konsentrasjonen av organiske syrer. Modellene kalles da  $SSWC_{oaa}$  og  $FAB_{oaa}$  (oaa = organic acid adjusted).  $ANC_{limit}$  varierer også med før-industriell basekationkonsentrasjon.

### 2.1.3 Tålegrenser for forsuring av skogsjord

Tålegrensen for sterk syre til skogsjord er basert på at syretilførsel ikke skal medføre at forholdet mellom basekationer og aluminiumioner (BC:Al) i jordvannet blir lavere enn 1. Jordkjemiske data i Norge foreligger hovedsakelig for jord dekket av skog, og tålegrenser for jord er derfor kun beregnet for skogsjord.

Tålegrensene for skogsjord er beregnet med modellen Steady State Mass Balance (SMB). Beregningene gjelder tilførsel av svovel under forutsetningen at tilført nitrogen tas opp og ikke har en forsurende effekt. Dette er en forenkling som reflekterer dagens situasjon i skogsområder (høyt nitrogenopptak), men er et «best case»-scenario for framtiden, fordi det antas at nitrogentilførsel heller ikke i framtiden vil bidra til forsuring av skogsjord i Norge. For beregning av forvittringshastighet, en viktig inngangsparameter til SMB-modellen, er MAGIC-modellen benyttet. Se Austnes et al., (2018) for ytterligere referanser og mer detaljert beskrivelse.

### 2.1.4 Tålegrenser for overgjødning av vegetasjon

Tålegrenser for overgjødning av vegetasjon er basert på at tilførsel av nitrogen ikke skal overskride en bestemt årlig mengde for en gitt type vegetasjon. For Norge er tålegrensene anslått på basis av de samme empiriske grenseverdiene for ulike vegetasjonstyper (EUNIS habitatklasser<sup>6</sup>) som benyttes ellers i Europa (Achermann og Bobbink, 2003; Bruteig og Aarrestad, 2004; CLRTAP, 2004). Disse tålegrensene ble revidert i 2010, og noen naturtyper (blant annet næringsfattige vann) fikk lavere tålegrenser (Bobbink og Hettelingh, 2011). Tålegrensene for ulike områder fastsettes på bakgrunn av vegetasjonskart. Fra 2017 er det benyttet et vegetasjonskart utarbeidet av Northern Research Institute (Norut), basert på satellittdata (Johansen, 2009). Naturtypene i dette kartet ble oversatt til nærmeste EUNIS-klasse, for å kunne benytte tålegrensene anslått for disse som utgangspunkt (**Tabell 1**).

<sup>6</sup> <http://eunis.eea.europa.eu/habitats.jsp>

**Tabell 1.** Naturtyper i vegetasjonskartet fra Norut, tilsvarende EUNIS-klasse og tålegrenser fastsatt for disse, tålegrenser benyttet i tålegrensekartet og mulige effekter ved tålegrenseoverskridelser.

Tålegrenser i kg N/ha/år. # nokså pålitelig, (#) ekspertvurderinger og ## pålitelig.

Norut-nr.	Norut-navn	EUNIS-klasse	EUNIS-navn	2003	2011	Benyttet tålegrense	Indikasjon på overskridelse
1	Barskog - tett tresjikt	G3	Coniferous woodland	10–20#	5–15##	5	Endringer i jordprosesser, bakkenær vegetasjon, mykorrhiza, økt risiko for nærings-ubalanse og parasittisme
2	Barskog og blandingskog - åpent tresjikt	G4.2	Mixed taiga woodland with Betula		5-8(#)	5	
3	Lavrik furuskog	G3.B	Pine taiga woodland	10–20#	5–10#	5	
4	Lågurtskog og edellauvskog	G1	Broadleaved deciduous woodland	10–20#	10–20##	10	
5	Høgstaude- og storbregnelauvskog						
6	Blåbær- og småbregnebjørkeskog	G1.918	Eurasian boreal Betula woods <sup>1</sup>			5	
7	Kreklingbjørkeskog						
8	Lavrik bjørkeskog						
9	Tuemyr og lågvokst fastmattemyr	D1	Raised- and blanket bogs	5–10##	5–10##	5	Økt innslag av karplanter, endret moseflora, nitrogenmetting i torvmoser. N-akkumulasjon i torv og torvann
10	Høgvokst mattemyr (Høgstarmyr)	D2	Valley mires, poor fens and transition mires	10–20#	10–15#	10	Økt innslag av halvgress og karplanter, negativ effekt på torvmoser
11	Blautmyr og åpen sumpvegetasjon						
18	Urterik eng (lavland og fjell)	E1.9	Open non-Mediterranean dry acid and neutral grassland <sup>2</sup>	10–20(#)	8-15(#)	10	Økt gressvekst, nedgang i diversitet, tilbakegang av typiske arter
19	Gras- og musøresnøleie	E4.11	Boreo-alpine acidocline snow-patch grassland and herb habitats <sup>3</sup>			5	Ukjent
20	Ekstremsnøleier						
15	Lavhei	E4.2	Moss and lichen dominated mountain summits	5-10#	5-10#	5	Nedgang i lav, moser og lyngvekster
13	Gras- og frytlerabb	E4.3	Alpine and subalpine acid grasslands		5-10#	5	Økning i nitrofile graminider og endringer i diversitet
12	Eksponte rabber,	F2		5-15(#)	5-15#	5	Nedgang i lav, moser og lyngvekster

Norut-nr.	Norut-navn	EUNIS-klasse	EUNIS-navn	2003	2011	Benyttet tålegrense	Indikasjon på overskridelse
	blokkmark, berg i dagen (lavland og fjell)		Arctic, alpine and sub-alpine scrub habitats				
14	Lyngrik rabb						
16	Lyngrik leside						
17	Lynghei og frisk rishei (lavland og fjell)	F4	Temperate shrub habitats: wet and dry heaths <sup>4</sup>	10-20/25 (#)/##	10-20 #/(#)/##	10	Nedgang i røsslyng-dominans, moser og lav. Økt graminidevekst
21	Bre, snødekt mark	H4	Snow or ice-dominated habitats <sup>3</sup>			5	Ukjent
22	Vann	C	Inland surface water habitats <sup>5</sup>	5-10##	3-10##	3	Kortskudd-planter negativt påvirket. Økning i grønnalgevekst

Noen EUNIS-klasser benyttet her er ikke oppgitt i Bobbink og Hettelingh (2011).

<sup>1</sup>Tålegrense satt som for de andre fattige skogtypene.

<sup>2</sup>Tålegrense som for de mer spesifikke EUNIS-klassene i Bobbink og Hettelingh (2011)

<sup>3</sup>Tålegrense satt som for annen fjellvegetasjon.

<sup>4</sup>Tålegrense som for de mer spesifikke EUNIS-klassene i Bobbink og Hettelingh (2011), disse varierer noe i graden av usikkerhet.

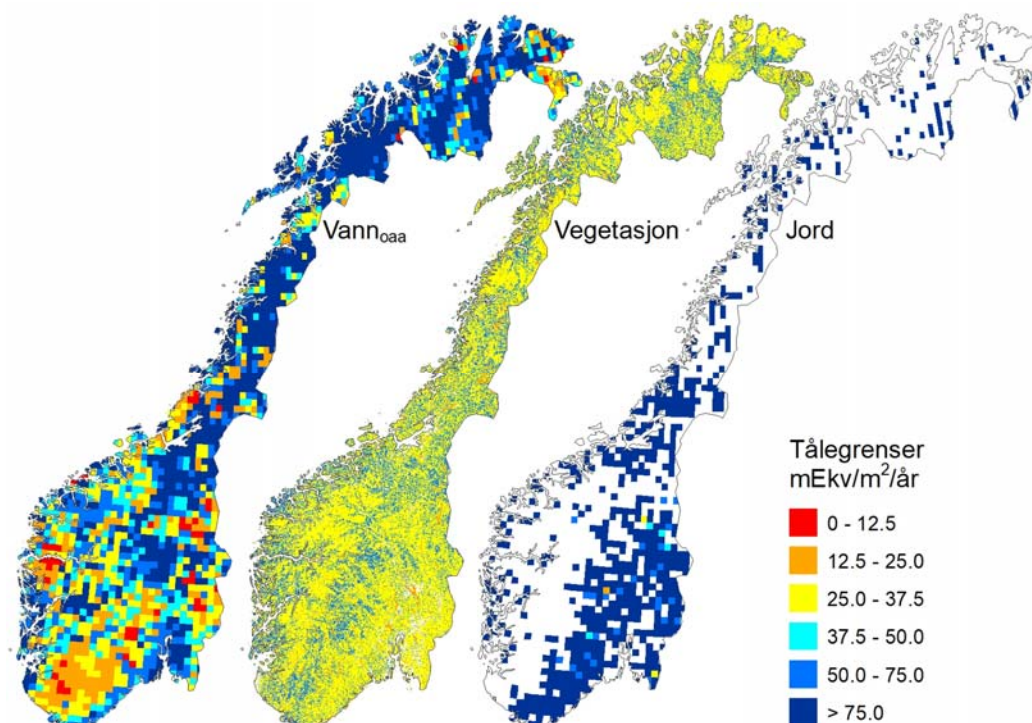
<sup>5</sup>Tålegrense som for oligotrofe innsjøer, men samme gjelder dystrofe, bare med noe mer usikkerhet.

I noen tilfeller eksisterte det ikke noe forslag til tålegrense for den EUNIS-klassen som lignet mest på naturtypen i vegetasjonskartet. I disse tilfellene ble tålegrensen for lignende naturtyper benyttet. Tålegrensene i Bobbink og Hettelingh (2011) er angitt som intervaller med en øvre og en nedre tålegrense. I tråd med føre var-prinsippet og Norges relativt kjølige klima og næringsfattige jordsmonn, tilsvarende de benyttede tålegrensene den laveste verdien i intervallet (med ett unntak).

Det ble ikke satt noen tålegrense for naturtypene «Dyrka mark», «By og tettsted» og «Uklassifisert/skygge» i Norut-kartet, da det ble ansett som henholdsvis irrelevant (de to første) eller for usikkert (den siste). Disse arealene er likevel med i totalarealet ved beregning av prosent overskredet areal. I tidligere rapporter har dyrka mark og urbane områder blitt gitt en høy tålegrense, som gir samme resultat.

### 2.1.5 Beregnede tålegrenser for vann, skogsjord og vegetasjon.

I **Figur 1** vises tålegrenser for vann (etter SSWC<sub>0aa</sub>-modellen), vegetasjon og skogsjord (etter SMB-modellen).



**Figur 1.** Tålegrenser i vann (SSWC<sub>0aa</sub>-modellen), vegetasjon og jord. Det er kun benyttet tre forskjellige verdier for tålegrenser for vegetasjon i Norge. Tålegrensekartet for vegetasjon viser derfor, i motsetning til de andre tålegrensekartene, kun disse tre verdiene, altså 5 eller 10 kg N/ha/år (35,7 eller 71,4 mekv/m<sup>2</sup>/år) for terrestrisk vegetasjon og 3 kg N/ha/år (21,4 mekv/m<sup>2</sup>/år) for ferskvann (Austnes et al., 2018).

Tålegrensekartet for vann (**Figur 1**) viser at de laveste tålegrensene (røde og oransje ruter) finnes i hovedsak i sørlige og vestlige deler av Norge, der berggrunnen er dominert av granitt og gneis, men følsomme områder finnes også spredt over hele landet.

Tålegrensekartet for de to ulike nivåer for terrestrisk vegetasjon (**Figur 1**) er jevnt fordelt i landet, og variasjonene er lokale, ikke regionale.

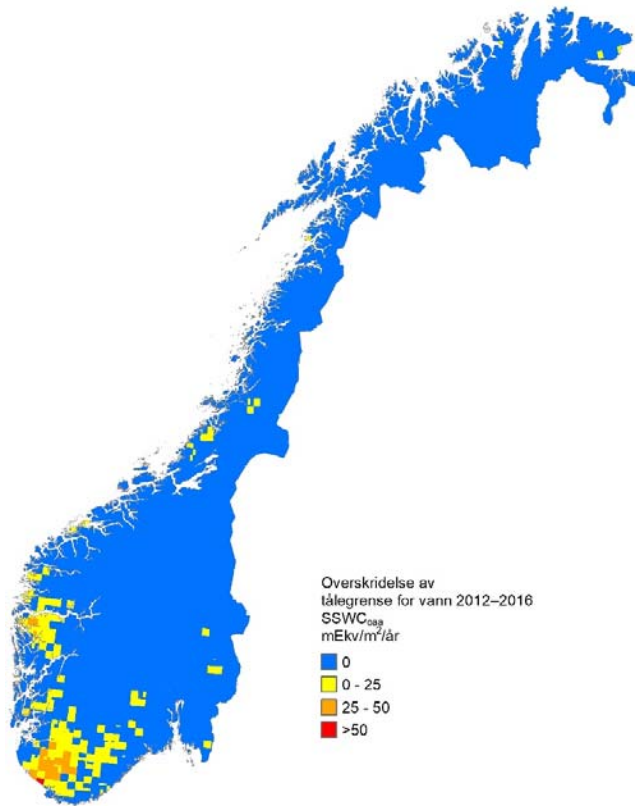
Tålegrensekartet for skogsjord (**Figur 1**) viser at i de områder hvor det finnes skogsjord, er tålegrensene generelt høye.

### 2.1.6 Overskridelser av tålegrenser for vann, skogsjord og vegetasjon

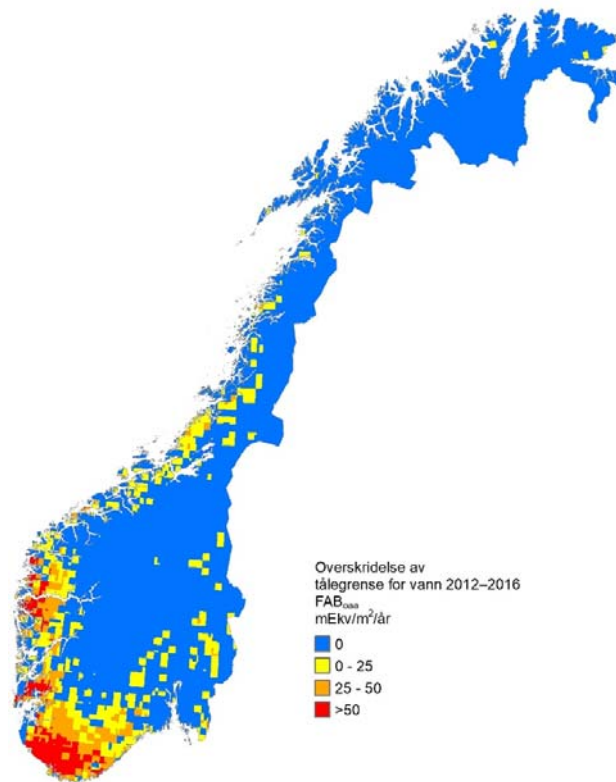
Overskridelse av tålegrenser beregnes forskjellig for de ulike typene tålegrenser, avhengig av om de tar hensyn til avsetning av svovel, nitrogen eller begge. Hovedprinsippet er imidlertid at hvis avsetningen er høyere enn tålegrensen, får man overskridelse.

#### 2.1.6.1 Vann

Tålegrensen for forurensning av overflatevann er overskredet for 7 % av Norges areal ved bruk av SSWC<sub>0aa</sub>-modellen og 19 % ved bruk av FAB<sub>0aa</sub>-modellen for perioden 2012-2016, gitt den nye metoden for avsetningsberegninger (Austnes et al., 2018). FAB<sub>0aa</sub>-modellen forutsetter et større bidrag fra nitrogen til forurensning enn SSWC<sub>0aa</sub>-modellen, noe som gir høyere overskridelse. Overskridelser av tålegrenser i vann er vist i **Figur 2** og **Figur 3**.



**Figur 2.** Beregnet overskridelse av tålegrenser for forsurening av overflatevann med bruk av SSWC<sub>0aa</sub>-modellen for 2012-2016 med ny metode for avsetningsberegning.



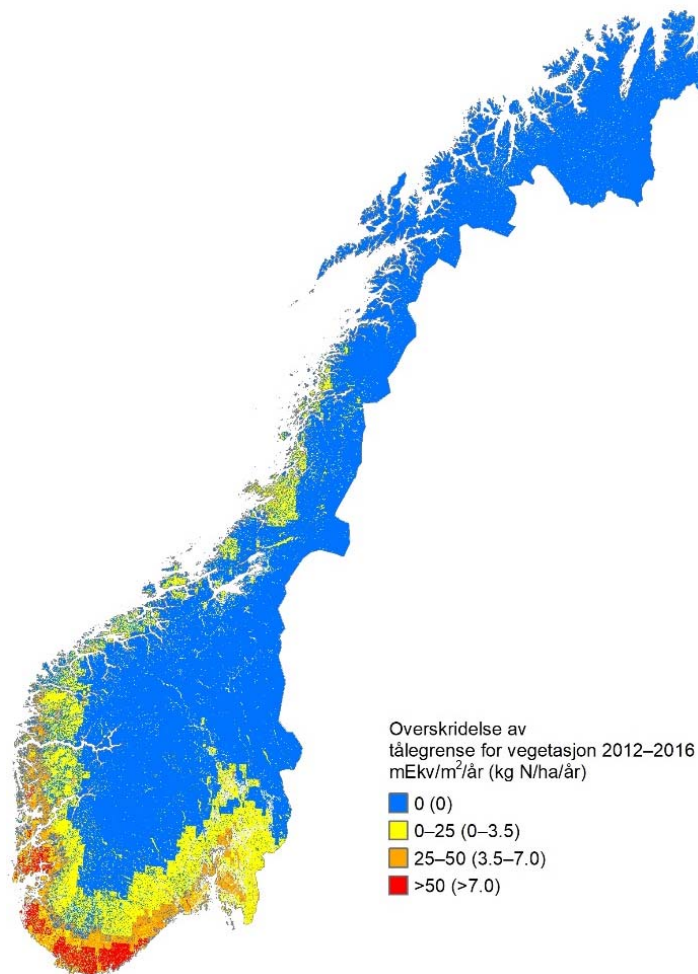
**Figur 3.** Beregnet overskridelse av tålegrenser for forsurening av overflatevann med bruk av FAB<sub>0aa</sub>-modellen for 2012-2016 med ny metode for avsetningsberegning.



Fra **Figur 2** og **3** ser vi at overskridelser av tålegrenser for forsuring i vann er i hovedsak lokalisert sørvest i landet, i spredte områder innlands, langs kysten og i lavlandet. Områder nord for Trøndelag er i mindre grad berørt.

### 2.1.6.2 Vegetasjon

Beregnet overskridelse av tålegrenser for overgjødning av vegetasjon er gitt i **Figur 4**.



**Figur 4.** Beregnet overskridelse av tålegrenser for overgjødning av vegetasjon for 2012-2016.

I **Figur 4** ser vi at beregnet andel av Norges areal hvor tålegrensen for overgjødning av vegetasjon er overskredet i perioden 2012-2016 er ca. 20 %, gitt den nye metoden for avsetningsberegninger. Fra figuren ser vi også at tålegrenser for overgjødning av vegetasjon er overskredet i kystnær områder fra Østlandet, til Midt-Norge. Overskridelsene er høyest sydligst og avtagende til Midt-Norge og mot Østlandet. **Tabell 2** viser hvordan dette arealet fordeler seg på de ulike økosystemtypene.

**Tabell 2.** Økosystemtyper med samlet areal og hvor stor del av det som har overskridelse av tålegrense for nitrogen.

Kode	NORUT-type	Kode	EUNIS-type	Brukt til beregning av CL	Areal (km <sup>2</sup> )	Antall stasjoner	Andel overskredet (%)
1	Barskog - tett tresjikt	G3	Coniferous woodland	Ja	39914	4	39
2	Barskog og blandingsskog - åpent tresjikt	G4.2	Mixed taiga woodland with Betula	Ja	20014	0	43

Kode	NORUT-type	Kode	EUNIS-type	Brukt til beregning av CL	Areal (km <sup>2</sup> )	Antall stasjoner	Andel overskredet (%)
3	Lavrik furuskog	G3.B	Pine taiga woodland	Ja	6827	1 (TOV furuskog i Solhomfjell)	34
4	Lågurtskog og edellauvskog	G1	Broadleaved deciduous woodland	Ja	13727	6 (TOV b)	8
5	Høgstaude- og storbregnelauvskog	G1	Broadleaved deciduous woodland	Ja	11582	6 (TOV b)	5
6	Blåbær- og småbregnebjørkeskog	G1.918	Eurasian boreal Betula woods	Ja	19955	6 (TOV b)	31
7	Kreklingbjørkeskog	G1.918	Eurasian boreal Betula woods	Ja	7532	6 (TOV b)	20
8	Lavrik bjørkeskog	G1.918	Eurasian boreal Betula woods	Ja	5378	6 (TOV b)	16
9	Tuemyr og lågvokst fastmattemyr	D1	Raised- and blanket bogs	Ja	9264	0	13
10	Høgvokst mattemyr (Høgstarmyr)	D2	Valley mires, poor fens and transition mires	Ja	4355	0	1
11	Blautmyr og åpen sumpvegetasjon	D2	Valley mires, poor fens and transition mires	Ja	4792	0	5
12	Eksponerte rabber, blokkmark, berg i dagen (lavland og fjell)	F2	Arctic, alpine and sub-alpine scrub habitats	Ja	16894	0	11
13	Gras- og frytlerabb	E4.3	Alpine and subalpine acid grasslands	Ja	6535	0	20
14	Lyngrik rabb	F2	Arctic, alpine and sub-alpine scrub habitats	Ja	21595	0	13
15	Lavhei	E4.2	Moss and lichen dominated mountain summits	Ja	1957	0	0
16	Lyngrik leside	F2	Arctic, alpine and sub-alpine scrub habitats	Ja	10659	0	26
17	Lynghei og frisk rishei (lavland og fjell)	F4	Temperate shrub habitats: wet and dry heaths	Ja	38768	0	5
18	Urterik eng (lavland og fjell)	E1.9	Open non-Mediterranean dry acid and neutral grassland	Ja	5467	0	8
19	Gras- og musøresnøleie	E4.11	Boreo-alpine acidocline snow-patch grassland and herb habitats	Ja	7905	0	11
20	Ekstremsnøleier	E4.11	Boreo-alpine acidocline snow-patch grassland and herb habitats	Ja	28246	0	13
21	Bre, snødekt mark	H4	Snow or ice-dominated habitats	Ja	7885	0	9
22	Vann	C	Inland surface water habitats	Ja	18895	0	53
23	Dyrka mark	I1	Arable land and market gardens	Nei	Ukjent	0	Ukjent
24	By og tettsted	J	Urban areas	Nei	Ukjent	0	Ukjent
25	Uklassifisert/skygge	Y	Y	Nei	Ukjent	0	Ukjent
0	ingen	ingen	ingen	Ja	Ukjent	0	Ukjent

Natutyper som dekker mye areal og som også har en stor del av arealet sitt overskredet er i hovedsak:

- vegetasjonstypene barskog med tett tresjikt
- barskog og blandingsskog med åpent tresjikt
- lavrik furuskog
- blåbær- og småbregnebjørkeskog
- lyngrik leside

- gras- og frytlerabb

Når det gjelder de tre første vegetasjonstypene, er de alle dominerende boreale skogtyper. Skog dekker litt over 12 millioner hektar og utgjør nesten 38 % av Norges landareal. Bartredominert skog dekker 58 % av skogarealet, mens 41 % er lauvtredominert. Boreal barskog eller taiga er ett av de store biomenene på landjorda. Slik skog finnes i et belte i det nordlige Eurasia og i et belte i Nord-Amerika. Norge har et ansvar for å bevare boreal barskog og det er i så måte viktig at de er dekket i overvåkingen av tålegrenser.

De to nestvegetasjonstypene er knyttet til lavalpin og mellomalpin sone. Lyngrik leside kan grovt oversettes til NiN som fastmark som ikke er sterkt påvirket av frostprosesser og kjennetegnes ved å ha etablert flerårig vegetasjon. Naturtypen finnes over skoggrensa i lavalpin sone, hovedsaklig mellom rabb og snøleie i den karakteristiske topografirelaterte vegetasjonssoneringen i fjellet. Lyngrik leside er også den vegetasjonstypen som er utsatt for skoggrenseheving. Derfor er vegetasjonstypen vurdert viktig i flere sammenhenger.

Vegetasjonstypene «Gras og frytlerabb» i NORUTs vegetasjonskart for Norge (Johansen, 2009) dekker delvis NiN typen fjellgrashei og grastundra, men kartet inneholder trolig en del feilbestemmelser av areal, siden mye av arealet av denne vegetasjonstypen ligger i nedre deler av lavalpin sone. Som for lyngrik leside er denne vegetasjonstypen også utsatt for klimapåvirkning. Vegetasjonstypen er i så måte vurdert viktig i flere sammenhenger også i tålegrensesammenheng. Begge vegetasjonstypene i lavalpin og mellomalpin som er viktige vegetasjonstyper i europeisk sammenheng hvor Norge har sitt ansvar for bevaring av disse.

Urterik eng kan grovt oversettes til semi-naturlig eng i NiN sammenheng. I dag er det særlig tilførsel av nitrogen fra luftforureining som utgjør et problem, men i starten av den siste 50-årsperioden var også tilførsel av svovel en viktig trussel mot vegetasjon og økosystem (Austnes et al., 2018). Kalkfattig eng, og til en viss grad intermediær eng, vil være særlig utsett for påvirkning gjennom luftforureining (Aarrestad og Stabbetorp, 2010). I således måte er det viktig at vegetasjonstypen inngår overvåkingen.

### 2.1.6.3 Skogsjord

Med avsetningstillene for svovel og nitrogen for perioden 2012–2016 er det ingen overskridelse av tålegrensene for skogsjord.

## 2.2 Bakkenært ozon

I dette kapitlet er følgende forkortelser benyttet:

- LK - EUs luftkvalitetsdirektiv (EU 2008)
- TV - Target value
- LTV - Long term value, eller long term objective
- AOT40 - Accumulated amount of ozone over the threshold value of 40 ppb
- $POD_Y$  - Phyto-toxic ozone dose, i.e. the accumulated stomatal ozone flux over a threshold Y

### 2.2.1 Dagens nivåer av ozon

EU (luftkvalitetsdirektivet, LK), WHO og Folkehelseinstituttet (FHI) har utarbeidet terskelverdier for ozon knyttet til helse, slik som gjengitt i **Tabell 3**, mens terskelverdier knyttet til vegetasjon er utarbeidet av EU og UN-ECE, som vist i **Tabell 4**. Av disse grenseverdiene er det bare LK som er juridisk bindende ved at direktivet er innarbeidet i den norske forurensningsforskriften.

Alle grenseverdiene for vegetasjon er i dag basert på AOT40. LK opererer kun med en 3-mnd AOT40 og inkludere både en TV og en LTV, mens langtransportkonvensjonen (UN-ECE) også inkluderer en 6-mnd AOT40-verdi for skog. EU-direktivet og UN-ECE har ulike definisjoner av AOT, dvs. av hvilke timer som skal tas med i beregningene (**Tabell 4**). Mens EU-direktivet opererer med perioden 08-20 lokal tid er det timene med globalstråling på over 50 W/m<sup>2</sup> som skal regnes med ifølge UN-ECE. Det er også litt ulike definisjoner av vekstsesongen når det gjelder 3-måneders AOT-verdi.

**Tabell 3.** Grenseverdier for ozon knyttet til helse i dagens regelverk (Aas et al., 2019).

Verdi ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Gjennomsnittlig tid (timer)	Referanse	Kommentar
180	1	EU (2008)	EU's information threshold
240	1	EU (2008)	EU's alert threshold
120	8 <sup>1)</sup>	EU (2008)	EU's target value. 8-hour mean value not to be exceeded on more than 25 days per year averaged over 3 years. To be fulfilled by 1.1.2010
120	8 <sup>1)</sup>	EU (2008)	EU's long-term objective.
100	8 <sup>1)</sup>	WHO (2006)	WHO's air quality guideline (global update 2005)
100	1	FHI (2013)	National air quality guideline (update 2013)
80	8 <sup>1)</sup>	FHI (2013)	National air quality guideline (update 2013)

<sup>1</sup>The highest 8-hour running mean value for each day calculated such that the 8-hour periods are assigned to the day on which the period ends.

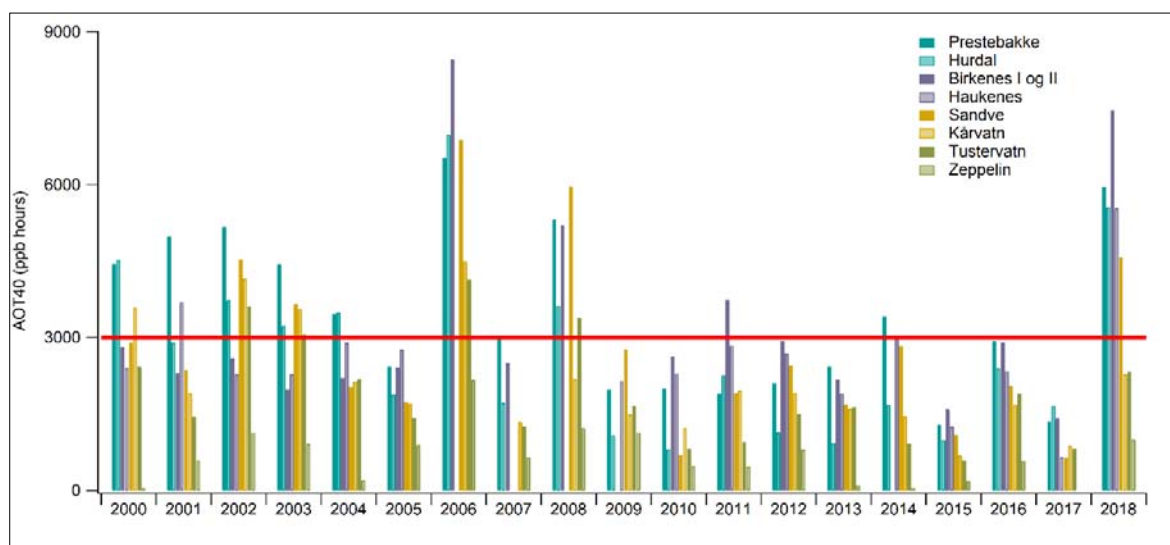
**Tabell 4.** Grenseverdier for ozon knyttet til vegetasjon i dagens regelverk (Aas et al., 2019).

AOT40 (ppb-timer)	Periode	Referanse	Kommentar
3000	3-months growing season	Mills et al., 2017	UN-ECE's critical level for agricultural crops and seminatural vegetation <sup>1</sup>
5000	1 April - 1 Oct	Karlsson et al., 2003; 2005	Growing season for forests <sup>1</sup>
9000	1 May – 1 Aug	EU (2008)	EU's target value for vegetation <sup>2</sup>
3000	1 May - 1 Aug	EU (2008)	EU's long-term objective for vegetation <sup>2)</sup>

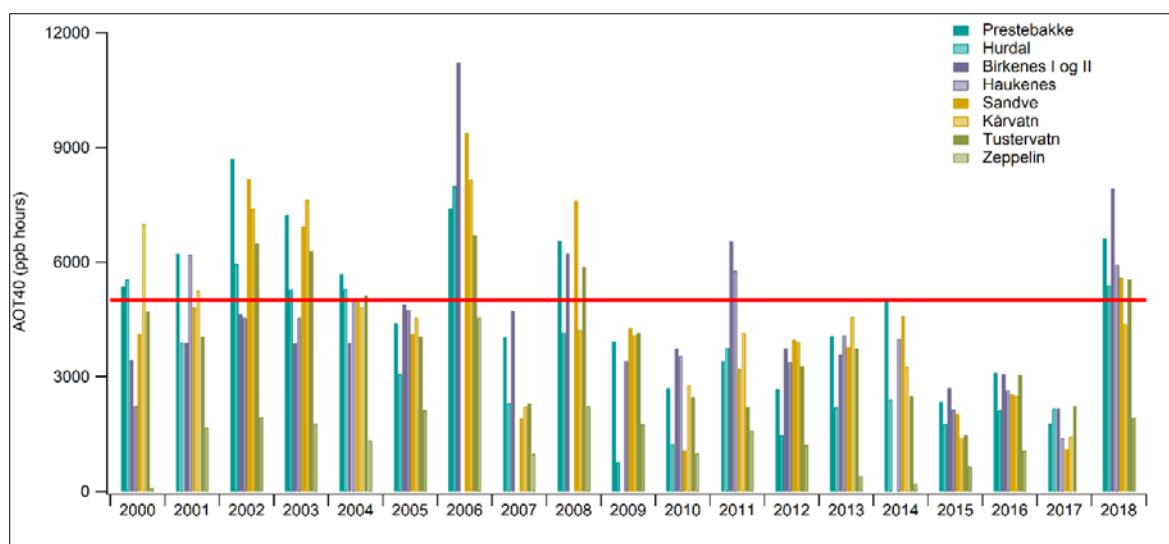
<sup>1</sup>UN-ECE's AOT values should be based on the hours with global incoming radiation > 50 W/m<sup>2</sup>.

<sup>2</sup>EU's AOT values should be based on the period 08-20 CET.

**Figur 5 og Figur 6** viser tre-måneders og seks-måneders AOT40-verdi for norske bakgrunnsstasjoner i perioden 2000-2018. AOT40-nivåene i Norge varierer fra år til år siden terskelverdien 40 ppb i perioder av året er nær det hemisfæriske bakgrunnsnivået. Små endringer i bakgrunnsnivået kan dermed gi store utslag i AOT40. LKs TV er oppfylt med god margin på de norske stasjonene, og grenseverdien på 9000 ppb-timer har ikke vært overskredet på mange år. LTV blir derimot brutt med jevne mellomrom, men ikke hvert år, slik som vist **Figur 5**.



**Figur 5.** Tre-måneders AOT40 (1. mai – 31. juli) for perioden 2000 - 2018 (basert på UN-ECE's definisjon av dagslystimer). LTVs på 3000 ppb-timer er indikert med den heltrukne, røde linjen. Legg merke til at Birkenes-stasjonen har blitt flyttet, og data før 2012 er fra den gamle lokaliseringen. Figur fra Aas et al., (2019).

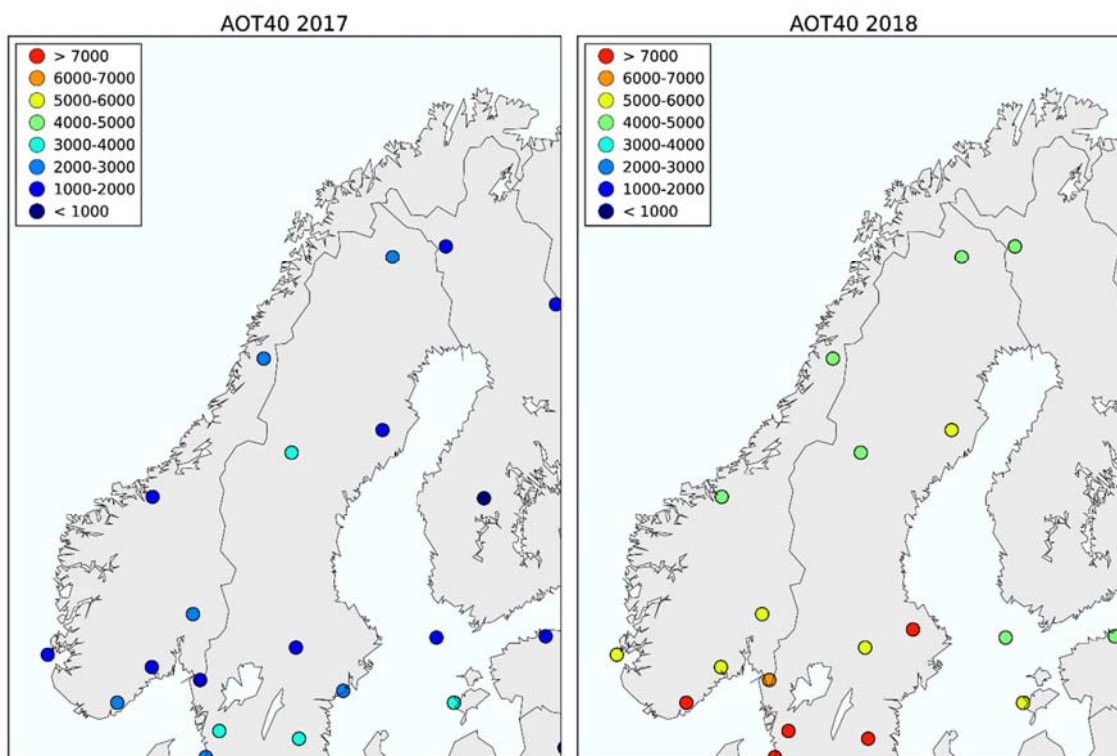


**Figur 6.** Seks-måneders AOT40 (1. april – 30. september) for perioden 2000 - 2018 (basert på UN-ECE's definisjon av dagslystimer). Grenseverdien for skog (5000 ppb-timer) er indikert med den heltrukne, røde linjen. Legg merke til at Birkenes-stasjonen har blitt flyttet, og data før 2012 er fra den gamle lokaliseringen. Figur fra Aas et al., (2019).

**Figur 5** og **Figur 6** indikerer en nedadgående trend i AOT40-verdiene på de norske bakgrunnsstasjonene fra 2000 til i dag, men årene 2006 og 2018 skiller seg ut med høye verdier.

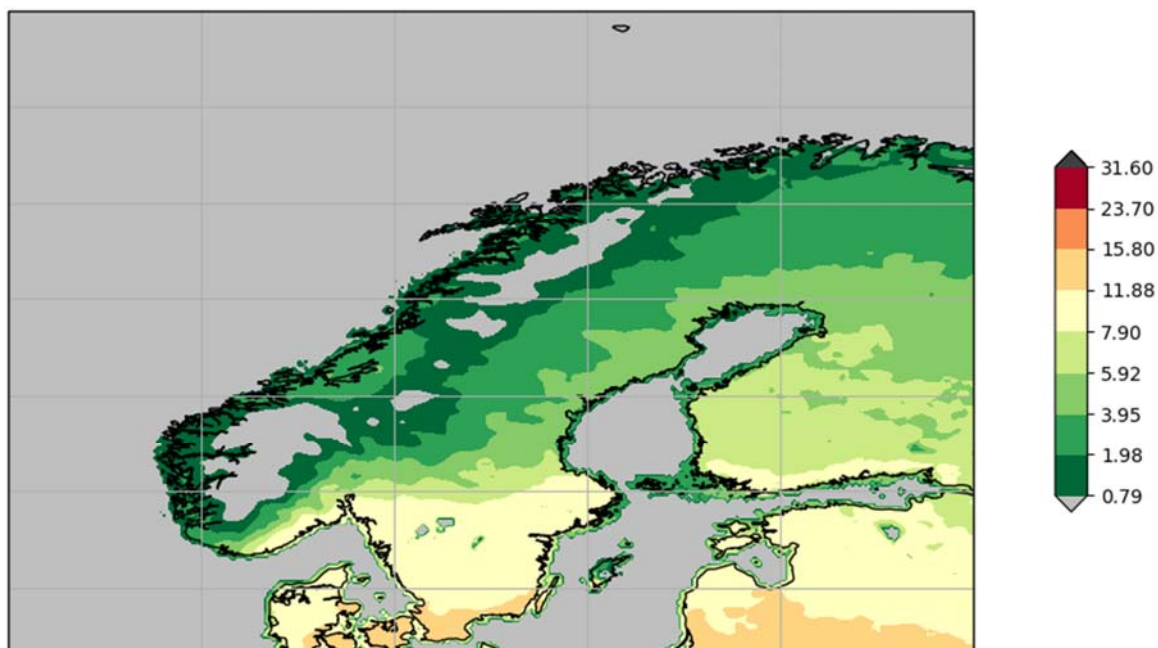
Værforholdene har stor betydning for ozonnivået i sommerhalvåret, og AOT-verdiene varierer av den grunn mye fra år til. I 2018 opplevde Sør-Norge ekstreme værforhold med langvarig tørke og uvanlig høye temperaturer gjennom flere måneder på sommeren. De uvanlig høye AOT40-verdiene i 2018 gjenspeiler dette og kan forklares med en kombinasjon av flere faktorer: Tørkestress fører til at plantene lukker spalteåpningene og dermed tar opp mindre ozon, og i tillegg vil økt solinnstråling og høy temperatur gi mer effektiv ozondannelse i atmosfæren. Vindtransport fra sør og stabile atmosfæriske forhold med liten vertikal utveksling vil også bidra til høyere ozonivåer ved bakken. Hetebølger som den i 2018 har også vist seg å kunne forårsake skogbranner som i sin tur også kan lede til forhøyet ozon. Ozonivåene i 2018 bekrefter at bakkenært ozon er tett koblet til klimaet. Framtidige klimaendringer med økt hyppighet av varmebølger om sommeren kan dermed isolert sett føre til økte ozonivåer og økt belastning på naturen. Denne klimapåvirkningen vil til en viss grad kunne oppveie de positive effektene av reduserte utslipp av ozonforløpere som NO<sub>x</sub> og VOC. Dette viser hvor viktig det er å se på effekten av de samlede tiltakene mot klimaendringer og luftforurensninger under ett.

**Figur 7** viser seks-måneders AOT40-verdi for 2017 og 2018. Mens ozonivåene i 2017 var rekordlave både i Norge og store deler av Europa, var de som nevnt svært høye i 2018, som figuren også viser. AOT40-verdiene disse to årene ligger dermed på hver sin ende av skalaen for hva vi kan forvente i Norge. Beregningene av POD for de samme to årene kan ventes å vise lavere forskjeller mellom 2017 og 2018 siden opptaket av ozon i plantene også vil påvirkes av jordfuktigheten som også var svært forskjellig i disse to årene.

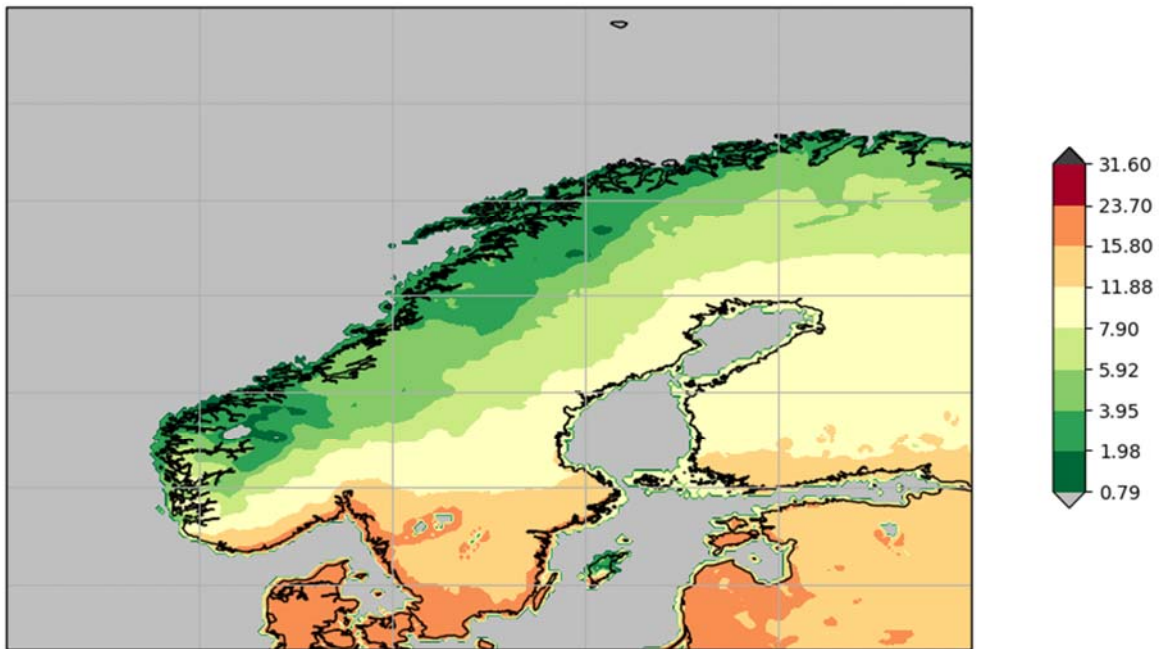


**Figur 7.** Seks-måneders AOT40 (ppb-timer) for 2017 (venstre) og 2018 (høyre). Tallene er basert på UN-ECE definisjon av dagslystimer ( $> 50 \text{ W/m}^2$ ). UN-ECEs grenseverdi for skog er 5000 ppb-timer.

**Figur 8** og **Figur 9** viser modellberegnet POD for landbruksvekster for 2017 og 2018. Grenseverdien (critical load) er her 7,9, markert med lys gul farge. POD-verdiene viser en del variasjon mellom de to årene (slik som AOT40 over) med overskridelser av grenseverdiene i deler av landet.



**Figur 8.**  $\text{POD}_3(\text{IAM})$  for landbruksvekster for 2017. Critical load er 7,90, markert med gul farge. Beregninger fra EMEP MSC-W (2019).



**Figur 9.**  $POD_3(IAM)$  for landbruksvekster for 2018. Critical load er 7,90, markert med gul farge. Beregninger fra EMEP MSC-W (2019).

### 2.2.2 Vegetasjonens sårbarhet for ozoneksponering i Norge

Ozon kommer inn i plantene når spalteåpningene i bladene er åpne. Dette fremmes under forhold hvor plantene har nok vanntilgang og lys. Det betyr at vegetasjonstyper som ofte mangler vann vil få reduserte ozondoser. Da vegetasjon i nordlige områder får flere timer per dag med gode lysforhold enn vegetasjon lenger sør, i vekstsesongen, kan den få mer opptak av ozon og større doser av ozon i bladene. På den andre siden, vil nordligere områder oftest ha seinere løvsprett enn lenger sør, og løvfellende planter i nord vil derfor ikke i like stor grad som i sør skades av de høye ozonkonsentrasjonene man ofte ser om våren. Eviggrønne planter, som krekling, røsslyng, einer, furu og gran, vil derimot også kunne skades av våreksponeringen både i nord og sør.

Når man skal vurdere planters sårbarhet må både dosen av ozon som kan forventes å komme inn i plantene og hvorvidt dette skaper problemer for planten være med i vurderingen (Ainsworth et al., 2012). Plantene har en viss evne til å uskadeliggjøre de reaktive oksygenforbindelsene som dannes når ozon kommer inn i bladene. Dette første trinnet i forsvaret består av antioksidanter i celleveggene. Dersom antioksidantvirkningen ikke er sterk nok, vil celledelmembraner kunne skades av oksidering, og dette kan føre til lekkasjer og ødelagte celledelmembraner, eller det kan føre til fysiologiske responser inne i cellene (Vainonen og Kangasjärvi 2015). Flere kløverarter viser karakteristiske døde flekker på bladene som følge av ozon, og fra forsøk er det vist at følsomheten for ozon kan øke dersom plantene får svakt lys om natten, som i nordlige områder om sommeren (Vollsnes et al., 2009). Man ser ofte at ozonskadde planter får redusert fotosynteseaktivitet, misfargede eller døde flekker på bladene eller at bladene visner tidligere enn normalt. Hos noen plantearter skades lukkekcellene, som regulerer spalteåpningene, slik at de får en mindre presis regulering av transpirasjonen. Følsomheten for ozon varierer mellom artene, og derfor kan ozonforurensning ha virkning på biodiversiteten i et område. Økosystemer som domineres eller struktureres av ozonfølsomme arter kan tenkes å være mer sårbare enn andre for ozon.

I arbeidet til ICP Vegetation, en arbeidsgruppe under UNECEs LRTAP-konvensjon, har det blitt vist at både skog og naturlig og seminaturlig vegetasjon skades av ozonforurensningene vi har i Europa i dag (Mills et al., 2011b; ICP Vegetation 2016a). Videre er den kvantitative sammenhengen mellom fluksbasert doseberegning ( $POD_y$ , Phytotoxic Ozone Dose above a threshold flux  $y$  during daylight hours) og respons hos noen plantearter ( $POD_ySPEC$ ) og noen vegetasjonstyper ( $POD_yIAM$ ) funnet og kombinert til en kritisk verdi for signifikant negativ effekt av ozondosen (ICP Vegetation 2017).

Av relevans for overvåkning av vegetasjon i Norge er dose-respons-sammenhengen og den kritiske verdien for bjørk/bøk, gran og engarter, og for hele vegetasjonstyper; skog (trærne) og eng (temperate perennial grassland). Generelt er det funnet at løvfellende trær og urter ofte er mer følsomme for ozon enn bartrær og gress (Bergmann et al., 2017). I tråd med dette er det kritiske nivået av  $POD_1$ bjørk/bøk for reduksjon i biomasseproduksjon lavere enn for  $POD_1$ gran; 4 % reduksjon forventet i biomasseproduksjon av bjørk/bøk ved en akkumulert ozonfluks inn i bladene på 5,2 mmol ozon  $m^{-2}$ , mens for gran er det 2 % forventet reduksjon i biomasseproduksjon ved 9,2 mmol ozon  $m^{-2}$  (ICP Vegetation 2017). Når det gjelder sårbare økosystemer, er det gjort mange forsøk for å karakterisere følsomheten til enkeltarter, men ikke så ofte forsøk på å karakterisere følsomheten til et økosystem. Ved å sammenholde kunnskapen om enkeltarters følsomhet og deres utbredelse i ulike økosystemer kan man prøve å forutsi hvilke økosystemer som er mer eller mindre sårbare for ozon (**Tabell 5**).

**Tabell 5.** ICP Vegetation (2016b) har laget en oppsummering basert på EUNIS habitater, og rapporterer om de habitattypene hvor minst 20 % av artene er testet for ozonfølsomhet i eksperimenter.

EUNIS-habitat	Forkortet navn på engelsk	Snitt, ant. arter i habitatet	Snitt, % av artene som er testet for $O_3$ -sensitivitet	Ant. $O_3$ -sensitivite arter*	% av testede arter påvirket av $O_3$	Ant. NVC-samfunn inkludert
B1	Coastal dunes, sandy shores	49,0	25,5	5,0	42,8	8
B3	Rock cliffs and shores	47,3	25,7	5,0	40,1	6
D2	Valley and transition mires	25,0	20,0	3,0	60,0	1
D5	Sedge and reed beds	40,0	22,5	3,0	33,3	1
E1	Dry grasslands	86,9	26,5	10,1	41,9	9
E2	Mesic grasslands	71,7	35,9	10,3	41,4	6
E3	Seasonally wet grasslands	63,0	25,1	6,6	43,4	7
E4	(Sub)alpine grasslands	70,0	21,4	7,0	46,7	1
E5	Woodland fringes	58,9	22,8	6,8	51,1	9
F3	Montane scrub	61,5	23,9	6,0	38,7	2
F4	Temperate shrub heathland	65,0	22,1	4,0	27,2	2
I1	Arable and market gardens	57,3	23,8	7,5	56,4	6
I2	Cultivated gardens, parks	31,0	29,0	5,0	55,6	1

\*Arter som viste redusert økt overjordisk biomasse.

Det bør noteres at dataene ovenfor har en begrenset geografisk dekning i Europa, med hoveddelen av dataene hentet fra eksperimenter utført i Sverige, Danmark, Storbritannia, Nederland, Tyskland og Sveits. Bruken av den britiske NVC-klassifisering (UK National Vegetation Classification) bidrar videre til denne geografiske skjevheten.

**Tabell 5** viser at 27-60 % av de testede artene i disse habitattypene har endret vekst som følge av ozoneksponering, slik at artssammensetningen i habitatene kan ventes å endres av økt ozonpåvirkning. «Grasslands» er ofte trukket fram som vegetasjonstyper hvor man forventer at ozon kan ha stor betydning.

Bassin et al., (2007) oppsummerte forskningen på «grassland» og påpeker at mye av forskningen som var gjort på arter fra flerårige enger den gangen var gjort på unge planter. Dette er problematisk når man ønsker å forutsi hva som kan skje i mer modne økosystemer, hvor interaksjoner mellom individene og ressurstilgangen vil være helt annerledes. De konkluderer med at sårbareheten til flerårige enger antagelig er mindre enn man skulle tro ut fra forsøk på unge planter med god tilgang på vann og næring. Dette har de siden også funnet støtte for eksperimentelt i Alpene (Bassin et al., 2013; Volk et al., 2014). Allikevel, har Payne et al., (2011) ved multivariate statistiske metoder funnet sterk påvirkning av ozon på artssammensetning i britiske flerårige enger, selv om det ikke påvirket artsrikdom eller diversitetsindekser.



## 3 Overvåking av effekter

### 3.1 Effekter i vann - dagens overvåkingsnettverk

Av stoffene som direktivet omfatter, er det svovel- og nitrogenforbindelsene som kan måles og har kjente effekter i vann. Overvåkingsstasjoner som egner seg for overvåking av atmosfæriske tilførsler og effekter av disse i ferskvann, er fordelt over flere av Miljødirektoratets overvåkingsprogrammer (**Tabell 6**).

**Tabell 6.** Oversikt over eksisterende overvåkingsnettverk for effekter av atmosfæriske tilførsler av svovel- og nitrogenforbindelser, parametere som måles og ytterligere informasjon om målenettverket. Innenfor hvert målenettverk er det en viss variasjon i hvilke parametere som overvåkes. Informasjon om vannregionspesifikke og prioriterte stoffer i henhold til vannforskriften er også gitt.

Overvåkingsnettverk	Vannkjemi	Biologi	Frekvens, vannprøvetaking
Surelver: Gjerstadelva og Årdalselva (ØKOFERSK)	Støtteparametere Næringsalter Forsuringsparametere	Inngår ikke	16 ganger i året
Feltforskningsstasjoner (ØKOFERSK)	Støtteparametere. Næringsalter. Forsuringsparametere.	Kun Langtjern	Hver uke (Kårvatn annen hver uke)
Tidstrendsjøer (ØKOFERSK)	Støtteparametere. Næringsalter. Forsuringsparametere.	Inngår ikke	Én gang i året (høstsirkulasjon)
BIOLOK (ØKOFERSK)	Støtteparametere. Næringsalter. Forsuringsparametere	Bunndyr (utløpsbekken), småkreps og fisk (utvalg)	3-4 ganger i året
Referanseelver	Støtteparametere. Næringsalter. Forsuringsparametere. Vannregionspesifikke og prioriterte stoffer i vann og biota. Metaller og organiske stoffer.	Påvekstalger (AIP, HBI, PIT), bunndyr (ASPT, RAMI) og fisk (gen. økologisk tilstand).	Månedlig, annethvert år.

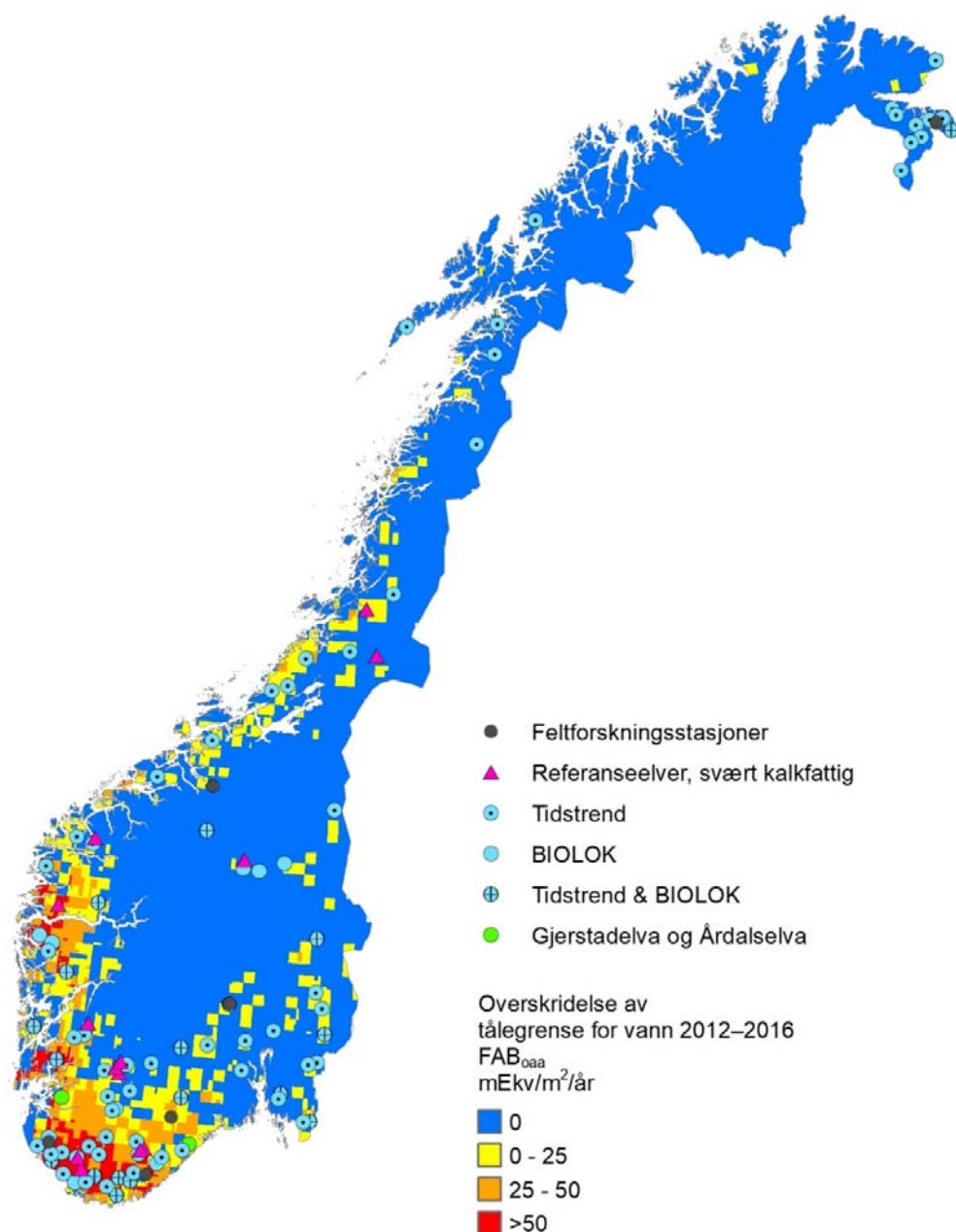
Med unntak av Referanseelvene, har overvåkingsnettverkene listet i **Tabell 6** blitt overvåket for forsuringseffekter i 20 år eller mer. Innsjøene er spesielt utvalgt for å dokumentere trender over lang tid i hele landet. Dette inkluderer regioner som har hatt både høy og lav deposisjon av svovel og nitrogen. BIOLOK-sjøene prøvetas hyppigere og undersøkes også for biologiske parametere i tillegg til de kjemiske. Feltforskningsstasjonene er plassert i små nedbørfelt som responderer raskt på endringer i deposisjon eller andre endringer som påvirker avrenningen. Tre feltforskningsstasjoner (Birkenes, Langtjern og Kårvatn) er også stasjoner i ICP Integrated Monitoring nettverket. Det er få elver igjen i surnedbør-programmet. Det nylig oppstartede programmet for basisovervåking av referanseelver har imidlertid flere elver av typen «svært kalkfattige» som vil være egnet til overvåking av effekter av luftforurensning. Overvåkingen av referanseelvene gjennomføres med bredt analyseprogram (både kjemi og biologi). I tillegg kan også enkelte referansestasjoner i tiltaksovervåkingen av kalkede laksevasdrag være egnet, men disse er ikke identifisert her. Videre gir den såkalte 'tusensjø' overvåkingen, hvor et statistisk representativt utvalg innsjøer overvåkes blant annet for forsuringsparametre, mulighet for nasjonal oppskalering av forsuringstilstand i innsjøer. Slike undersøkelser ble gjennomført i 1995 og 2019 og vil også kunne gi nyttig informasjon om blant annet forsuringstilstand i framtiden. Tusensjøundersøkelsen er ikke tatt med i **Tabell 6** siden det ikke er et fast program.

### 3.1.1 Vurdering av dagens overvåkingsnettverk ift. krav i NEC-direktivet

I NECD skal påvirkninger av luftforurensninger i økosystemet overvåkes, samt forbedringer når utslipp avtar og påvirkningene reduseres. Målenettverket i NECD skal være representativt for landets elver og innsjøer. Det oppfordres til at overvåkingsmetoder og parametere som er nedfelt i LRTAP-konvensjonen blir benyttet. Viktige parametere er gitt i Vedlegg V i NEC-direktivet. Videre henstilles det til at aktive overvåkingsnettverk i andre overvåkingsprogrammer bør benyttes. I Norge bør overvåkingsnettverket inkludere innsjøer og elver i arktiske, alpine, atlantiske og boreale biografiske regioner.

Målenettverket skal skille luftforurensninger fra andre påvirkninger. Områder som er sensitive for belastningen bør velges, og overvåkingsstasjonene skal være typiske for det aktuelle økosystemet. Tilnærmet upåvirkede stasjoner med (relativt) rikt artsmangfold bør inngå. Det nasjonale målenettverket skal gjøre det mulig å analysere geografiske gradienter og årsak-virkning. Resultatene skal kunne benyttes til modellering av tålegrenser og eventuelle overskridelser av disse. Områder med relativt høy deposisjon av stoffene skal inngå. Dagens overvåkingsnettverk (**Figur 10**) oppfyller disse kravene dersom man ser på tvers av de aktive programmene (**Tabell 6**). De er landsdekkende, men med høyest stasjonstetthet i områdene med overskridelser. Det inkluderer både innsjøer og elver, og det drar veksler på annen type overvåking (vanndirektivet). Innsjøene og elvene er følsomme for påvirkningen (kalkfattige, uforstyrrede nedbørfelt) og dekker de relevante gradientene. Overvåkingsprogrammene spenner bredt (både kjemi og biologi) og er i det vesentlige i overensstemmelse med det som anbefales under LRTAP-konvensjonen<sup>7</sup>. Prøvetakingsfrekvensen er tilpasset stasjonstype (innsjø, elv og feltforskningsstasjon). Feltforskningsstasjonene skal reagere raskt på endringer i deposisjon av svovel- og nitrogenforbindelser, mens innsjøene er valgt for å dokumentere trender over tid. Biologiske indikatorer inngår i programmet i nesten alle de foreslåtte elvene og noen av innsjøene, som anbefalt i veilederen. Videre står det at nettverket skal gi data til kartlegging og modellering av kritiske tålegrenser og overskridelser av disse. Her er tusensjøersundersøkelsen nyttig siden den er basert på statistisk utvalgte innsjøer. Det er trolig ikke hensiktsmessig å melde inn tusensjøer siden det ikke er et fast program. Det understrekes likevel at gjentak av de 1000 sjøene med jevne mellomrom vil gi sikrere beregninger av blant annet hvor stor del av Norges areal hvor tålegrenser i vann er overskredet.

<sup>7</sup> ICP Waters Programme Centre, 2010. ICP Waters Programme Manual 2010. ICP Waters report No. 105/2010.



**Figur 10.** Overskridelser av tålegrenser for svovel og nitrogen i vann beregnet med FAB-modellen. Kartet viser også aktuelle overvåkingsstasjoner i vann fra nettverkene listet i **Tabell 6**.

### 3.2 Effekter i vegetasjon og terrestrisk natur – dagens overvåkingsnettverk

Under følger en oversikt over dagens overvåkingsnettverk for eutrofi i skog og terrestrisk natur.

#### 3.2.1 Dagens overvåkingsnettverk - ICP Forests Level II/Overvåkingsprogram for skogskader (OPS) Intensiv skogovervåking (NIBIO):

På de intensive skogovervåkingsflatene (ICP Forests Level II) i Norge gjennomføres kjemiske analyser av bl.a. luft, nedbør, jordvann og barnåler som i kombinasjon med biologiske parametere bidrar til en bedre forståelse av de enkelte stressfaktorens betydning for skoghelsen. De norske flatene er en del av

ICP Forests' Level II nettverk med totalt ca. 500 flater i mange land i Europa. ICP Forests startet i 1985 under UNECE CLRTAP for å overvåke effekten av langtransporterte luftforurensninger på skog. Opprinnelig ble det overvåket 19 flater (ca. 1 pr. fylke) i gran- og furuskog i Norge (**Figur 11**). I 2018 var det kun 3 flater igjen (Birkenes (BI), Hurdal (HU), Osen (OS)) som overvåkes. Alle disse 3 flatene ligger i samme biogeografiske region: boreal, og alle ligger i barskog (2 gran, 1 barblanding).

Flatene dekker en geografisk gradient fra ca. 58° til 61°N, en deposisjonsgradient i kronedrypp fra 1,2 kg N og 0,4 kg S/ha/år i Osen til 10 kg N og 2,3 kg S/ha/år i Birkenes, samt en nedbørsgradient fra ca. 500 mm i Osen til 1500 mm i Birkenes pr. år (tall fra 2018).

Det er følgende koblinger til andre overvåkingsprogrammer:

- Birkenes: Integrated Monitoring (ICP IM) flate. NIVA: Feltforskningsområde. NILU: Luftkjemiske målinger inkl. ozon, meteorologi
- Hurdal. NILU: Luftkjemiske målinger inkl. ozon, meteorologi. NIBIO: ICOS C-flux målinger (f.o.m. 2020).

Aktuelle parametere som måles i dag på Level II (jf. tabell 3 s. 9 i NECD-Guidance<sup>8</sup>):

- Jordvann, kjemisk sammensetning og pH. Innsamling kontinuerlig og analyser hver 4. uke i den telefrie perioden.
- Nålekjemi. Analyse av næringselementer i barnåler gjennomføres annethvert år.
- Nedbør (kronedrypp i skog og fritt fall på åpen flate). Kjemisk sammensetning (med fokus på nitrogen og svovel) og pH. Innsamling kontinuerlig og analyser hver 4. uke.
- Jordkjemi, C/N-forhold. 3 gjentak av prøvetaking og analyser i følgende perioder: 1986–89 og 1991–94 (alle 19 flater) og 2011–2013, (11 flater) (**Figur 11**)<sup>9</sup>.
- Tilvekst (diameter og høyde). Måles hvert 5. år (diameter annenhver uke i Hurdal).

Andre parametere som måles eller tidligere har blitt målt (jf. s. 10 i NECD-Guidance<sup>8</sup>):

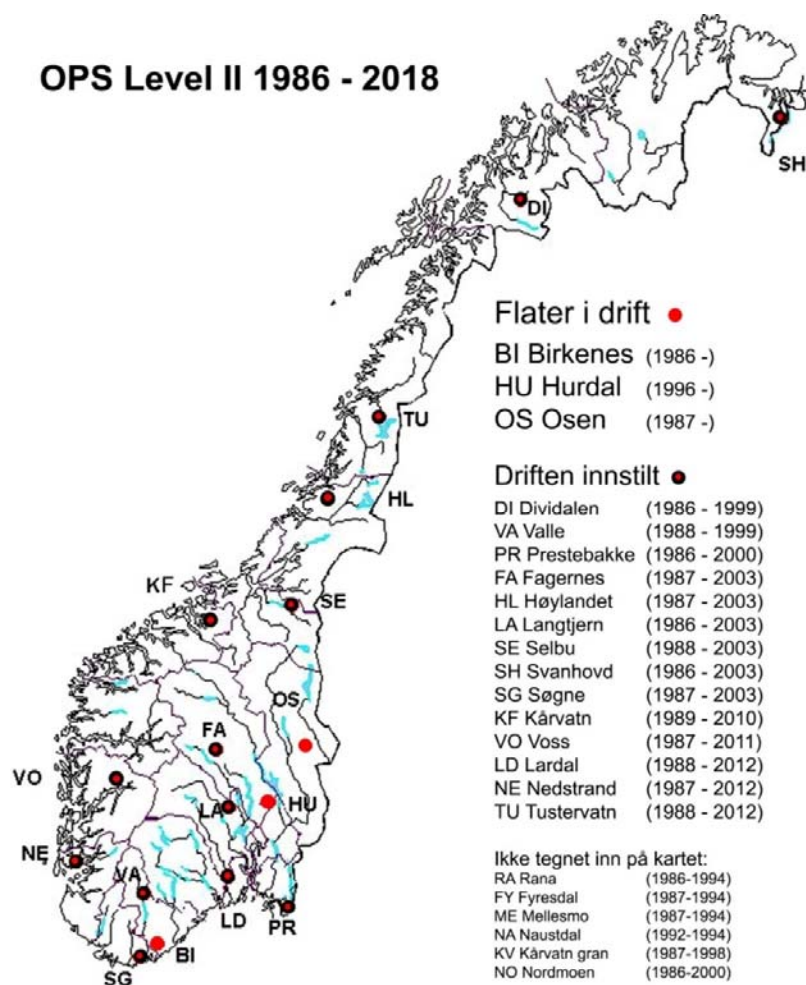
- Markvegetasjon: Artssammensetning, mengde og dekning analyseres hvert 5. år.
- Kronetilstand: Kronetetthet og skader registreres årlig.
- Leaf area index (LAI): 1 gang (2008), 10 målepunkter pr. flate på 8 flater.
- Strøfallskjemi: 1987–2002.

Alle målinger/analyser utføres iht. ICP Forests Manual (UNECE 2016) og er beskrevet i Timmermann et al., (2019).

<sup>8</sup> <https://ec.europa.eu/transparency/regexpert/index.cfm?do=groupDetail.groupDetailDoc&id=35724&no=3>

<sup>9</sup> SG, BI, LD, HU, OS, NE, VO, KF, TU, DI, SH

## OPS Level II 1986 - 2018



Figur 11. Lokalisering av de intensive overvåkingsflatene 1986-2018.

### 3.2.2 Dagens overvåkingsnettverk - ICP Forests Level I/Landsrepresentativ skogovervåking/Landsskogtakseringen (NIBIO):

Landsskogtakseringen har ca. 12 500 permanente observasjonsflater i et 3x3 km nettverk i skog som oppsøkes etter et rotasjonsprinsipp med 5-års omdrev, slik at 1/5-del av flatene (ca. 2 500) inngår i registreringene årlig (Figur 12).

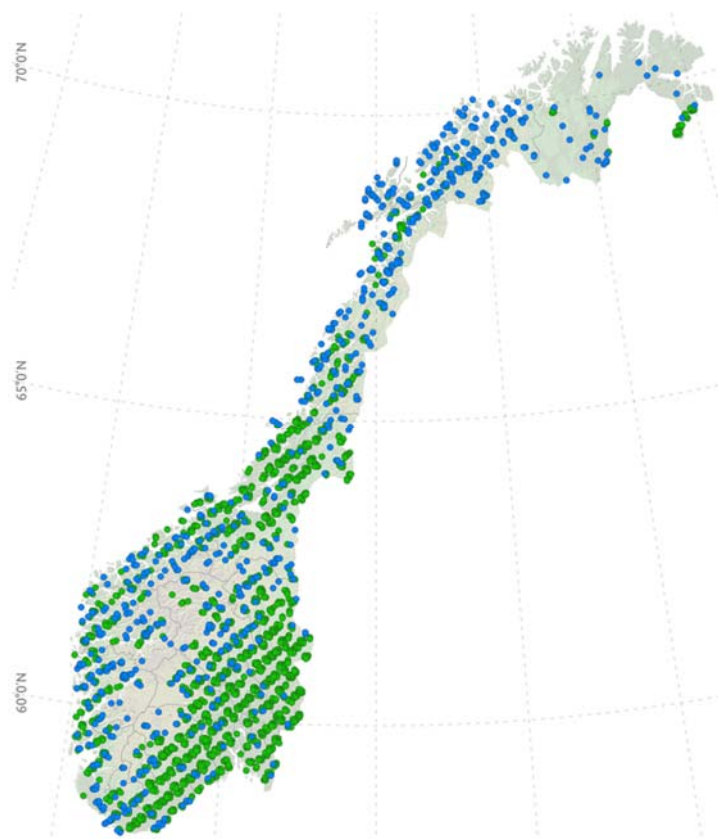
På disse 2 500 flatene utføres årlig den landsrepresentative skogovervåkingen der helseparametere kronetetthet og misfarging (gran og furu, ca. 10 000 trær årlig) samt biotiske og abiotiske skader (alle trearter, ca. 20 000 trær årlig) registreres (kronetilstand) iht. ICP Forests Manual (UNECE 2016), se også Timmermann et al., (2019). Registreringene utføres av Landsskogtakseringen i forbindelse med den ordinære taksten. Resultatene fra et utvalg av disse flatene (1 flate pr. 256 km<sup>2</sup> tilsvarende et 16x16 km nett, ca. 600 flater) inngår årlig i ICP Forests Level I nettverk med ca. 6000 flater i Europa.

Aktuelle parametere som måles i dag (årlig, jf. s. 10 i NECD Guidance<sup>8</sup>, se også Naturvårdsverket 2016):

- Kronetilstand
- Artssammensetning i tresjiktet
- Trealder (gran og furu) og bestandsalder (hogstklasse)
- Vegetasjonstyper

Andre parametere fra tidligere målinger (jf. s. 10 i NECD Guidance<sup>8</sup> og Naturvårdsverket 2016):

- Lavflora-inventering på trestammer (bjørk), målt hvert 5. år i perioden 1992-2012 på bjørk på ca. 100 flater i 18x18 km nett, i samarbeid med NINA (skal gjentas).
- Jordprofiler, C-innhold i skogsjord, kjemiske analyser, målt 1 gang i perioden 1988-1992 på 1040 Level I-flater (Strand et al., 2016).
- Jordprøvetaking. Gjennomført 2014-2015, ca. 60 flater i Telemark, Buskerud og Vestfold. Sekvensering av mykorrhiza/sopp i jord var prioritert, C/N-forhold ble bestemt på alle prøver, samt et utvalg til kjemiske analyser. Arbeidet ble utført i samarbeid med UiO.



**Figur 12.** Beliggenheten av prøveflatene i den landsrepresentative overvåkingen i Norge i 2018. Grønne symboler: Flater med gran og/eller furu der både kronebedømmelse og skaderegistreringer ble utført. Blå symboler: Flater med andre treslag der kun skaderegistreringer ble utført (Timmermann et al., 2019).

### 3.2.3 Dagens overvåkingsnettverk for terrestrisk naturovervåking (NINA)

Program for terrestrisk naturovervåking (TOV) ble opprettet av Direktoratet for naturforvaltning (nå del av Miljødirektoratet) i 1990. Formålet med programmet var opprinnelig å overvåke tilførsel og virkninger av langtransporterte luftforurensninger på ulike naturtyper og organismer (Løbersli 1989), men er i senere tid videreutviklet til også å avdekke endringer som skyldes klimapåvirkninger. Overvåkingen ble lagt til 7 områder geografisk spredt fra sørvest til nord i landet og i hovedsak med plassering i fattig til middels rik fjellbjørkeskog i vernete områder (**Figur 13**), samt Solhomfjell (**Tabell 7**). I disse områdene ble det lagt opp til integrerte studier av nedbør, jord, markvegetasjon, lav, moser og alger på trær, fugler og pattedyr, samt forekomster av miljøgifter i planter og dyr. Overvåkingen av bjørkeskog foregår i dag i 6 områder (Solhomfjell utelatt) med et redusert overvåkingsprogram der overvåking av nedbør er avsluttet og jordsmonnsanalyser er sterkt redusert

(Bakkestuen et al., 2010; Framstad (red.) 2017). Områdene blir analysert hvert femte år (fem års omdrev) og fire områder er per 2018 analysert fem ganger, to områder seks ganger.

Fra 1988 til 1992 etablerte Norsk institutt for jord- og skogkartlegging (fra 2006 Norsk institutt for skog og landskap og fra 2015 NIBIO, Norsk institutt for bioøkonomi) vegetasjonsovervåking i 10 områder i relativt fattig granskog (Økland 1996), se **Figur 13**. Siden 2001 er resultatene fra denne vegetasjonsovervåkingen og fra vegetasjonsovervåking i bjørkeskog (barskog i Solhomfjell) i økende grad sett i sammenheng. Fra 2005 har DN/Miljødirektoratet bidratt med midler til videreføring av vegetasjonsovervåkingen i granskog som del av TOV.



**Figur 13.** Kart over TOV-overvåkingsområdene i gran- og bjørkeskog. De opprinnelige TOV-områdene, der både markvegetasjon, epifytter og fauna overvåkes, omfatter bjørkeskogsområdene og granskogsområdet Solhomfjell. Øvrige granskogsområder dekker kun overvåking av markvegetasjonen. Øyenskavlen og Lundneset er ikke lenger aktive.

**Tabell 7.** Karakteristika for de enkelte TOV-overvåkingsområdene i bjørkeskog, samt Solhomfjell (Bakkestuen et al., 2010).

Informasjon	Lund	Solhomfjell	Møsvatn	Gutulia	Åmotsdalen	Børgfjell	Dividalen
Fylke	Rogaland	Aust-Agder	Telemark	Hedmark	Trøndelag	Trøndelag	Troms
Breddegrad	58°33'N	58°57'N	59°51'N	62°01'N	62°28'N	65°04'N	68°43'N
Lengdegrad	6°26'E	8°50'E	8°18'E	12°10'E	9°25'E	13°49'E	19°47'E
UTM-referanse	LK 50,92	ML 86-92, 33-36	MM 60,35	UJ 48-53, 80-87	NQ 21-23, 25-27	VN 44-45, 15	DB 50-51, 22
Vernestatus	NR, privat	NR	LVO, privat	NP	NP, LVO	NP	NP

Informasjon	Lund	Solhomfjell	Møsvatn	Gutulia	Åmotsdalen	Børgefjell	Dividalen
Høyde over havet (m)	350-420	350-475	1000-1050	760-865	900-925	520-580	385-615
Klimasoner	MB, O2	SB, O2	NB, O1	NB, OC	NB, O1	NB, O1	NB, C1
Berggrunn	bandgneis	granitt, granittisk gneis	metarhyolitt, metamorf tuff	omdannet sandstein med feltspat	grov meta-arkose, konglomerat	granitt, skifer	glimmerskifer, kvartskarbonskifer
<p><i>Vernestatus:</i> NR naturreservat, LVO landskapsvernområde, NP nasjonalpark.  <i>Klimasoner (etter Moen 1998):</i> vegetasjonssone: MB mellomboreal, NB nordboreal, SB sørboreal; vegetasjonsseksjon: O1 svakt oseanisk, O2 klart oseanisk, OC overgangsseksjon, C1 svakt kontinentalt.  <i>Geografisk plassering.</i> UTM (WGS84): Dividalen i sone 34W, Børgefjell i sone 33W, Gutulia, i sone 33V, øvrige områder i sone 32V.</p>							

I **Tabell 8** vises karakteristika for åtte granskogområder fra **Figur 13**. Disse åtte granskogsområdene ligger alle i gammel naturskog som er vernet enten som naturreservater eller som (deler av) nasjonalparker (Gutulia i Engerdal og Granneset i Rana) eller som naturreservater (se, Økland 1996).

**Tabell 8.** Granskog i TOV-området med tilhørende informasjon om geografisk posisjon, klima og årstall første gang områdene ble analysert.

Reference area	Latitude (°N)	Longitude (°E)	Altitude (m)	Area (km <sup>2</sup> )	Annual precipitation	Temperature (°C)			First analysed
						Year	Coldest month	Warmest month	
Paulen	58°18-19'	7°55-56'	150-275	3	1600	5,6	-2,8	14,5	1990
Solhomfjell	58°58'	8°50'	350-475	2	1400	3,6	-5,3	14,4	1988
Grytdalen	59°15'	8°37'	475-550	0.5	1100	3,7	-6,2	13,8	1988
Rausjømarka	59°49'	11°02'	220-300	0.2	850	3,8	-6,6	14,4	1988
Bringen	60°32-34'	9°23-24'	600-750	6	650	0,8	-9,8	12,6	1991
Otterstadstølen	60°49'	5°45'	220-350	2	3500	4,5	-3,3	12,8	1989
Gutulia	62°00-01'	12°09-13'	700-850	4	700	-0,3	-10,4	8,8	1989
Urvatnet	63°06-07'	9°48-49'	300-400	3	900	3,0	-6,0	12,1	1992
Granneset	66°30-31'	14°52-53'	225-325	0.5	1300	1,3	-9,1	12,1	1990

Datainnsamling for hvert TOV-område i bjørkeskog relatert til nitrogenpåvirkning består av følgende elementer:

- 50 ruteanalyser (1 m x 1 m) av artssammensetning av markvegetasjon med mengdemål for alle lav, moser og karplanter.
- 10 LAI (leaf area index) målinger.
- 50 jordprøver av øverste 5 cm av humuslag (Oh eller Ah) fra 1993 til 2012 er analysert for glødetap (LOI), pH (vannekstraksjon), pH (CaCl<sub>2</sub>-ekstraksjon), ICP-kation-analyse av ammoniumnitrat og ekstraherbare kationer, utbyttbar aciditet, basemetning, utbyttingskapasitet, total elementanalyse ved syreoppløsning og Kjeldahl-N etter metoder i Ogner et al. (1999).
- Fra 2013 er det kun samlet inn 10 jordprøver fra øverste 5 cm av humuslag (Oh eller Ah) til analyse av glødetap (LOI), pH (vannekstraksjon), total Kjeldahl N, ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) og nitrat (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), i henhold til metoder i Ogner et al., (1999).
- Mengdeanalyser av lav og alger på 30 trær.

Datainnsamling for hvert TOV-område i granskog relatert til nitrogenpåvirkning består av:

- 50 ruteanalyser (1 m x 1 m) av markvegetasjon med mengdemål for alle lav, moser og karplanter.
- Ved overvåkingsstart og 2-3 ganger seinere ble jordkjemiske og jordfysiske variabler, samt tresjikt og topografiske variabler målt ved eller i hver vegetasjonsflate/makroflate.



Den pågående vegetasjonsovervåkingen i TOV i seks bjørkeskogsområder og i ni granskogsområder kan benyttes som målenett for effekter av eutrofiering, men også av forsuring. Mengdemålene for artene i analyserutene kan benyttes til utregning av vegetasjonsindekser som Ellenbergs N-indeks og Ellenbergs reaksjonsindeks-pH (Ellenberg et al. 1974, 1991), og som er videreutviklet for mer nordlige økosystemer av Ewald (2003) og Hill et al. (1999, 2007), se også kapittel 3.2.4.

### 3.2.4 Vurdering av dagens overvåkingsnettverk ift. krav i NEC-direktivet

#### 3.2.4.1 Intensiv skogovervåking (ICP Forests Level II)

Dagens målenettverk på Level II må betraktes som et absolutt minimum som ikke oppfyller anbefalingene i NECD, verken med hensyn til dekning av biogeografiske regioner eller anbefalt antall ICP IM flater. Bare en av de eksisterende skogovervåkingsflatene inngår i ICP IM (Birkenes). Med bare 3 aktive flater er systemet også sårbart for inngrep som hogst og vindfall. Det har også oppstått et «hull» i gradientene disse flatene ligger over, i og med at flata i Lardal ble avvirket.

Vi dekker imidlertid de fleste parameterne som er listet opp i tabell 3 i NECD-Guidance på våre 3 intensive flater, forutsatt at vi finner finansiering til gjentak av jordprøvetaking (neste gjentak bør finne sted i tidsrommet 2021-2026, og kan ikke dekkes over det vanlige budsjettet). Vi dekker også noen av parameterne som videre er nevnt i teksten i NECD-Guidance, men mangler innsamling og kjemiske analyser av strøfall, regelmessige LAI målinger og registreringer av lav på trestammer. Vi mangler bedømmelse av ozon-skader/symptomer på barnåler og markvegetasjon.

#### 3.2.4.2 Landsrepresentativ skogovervåking (ICP Forests Level I):

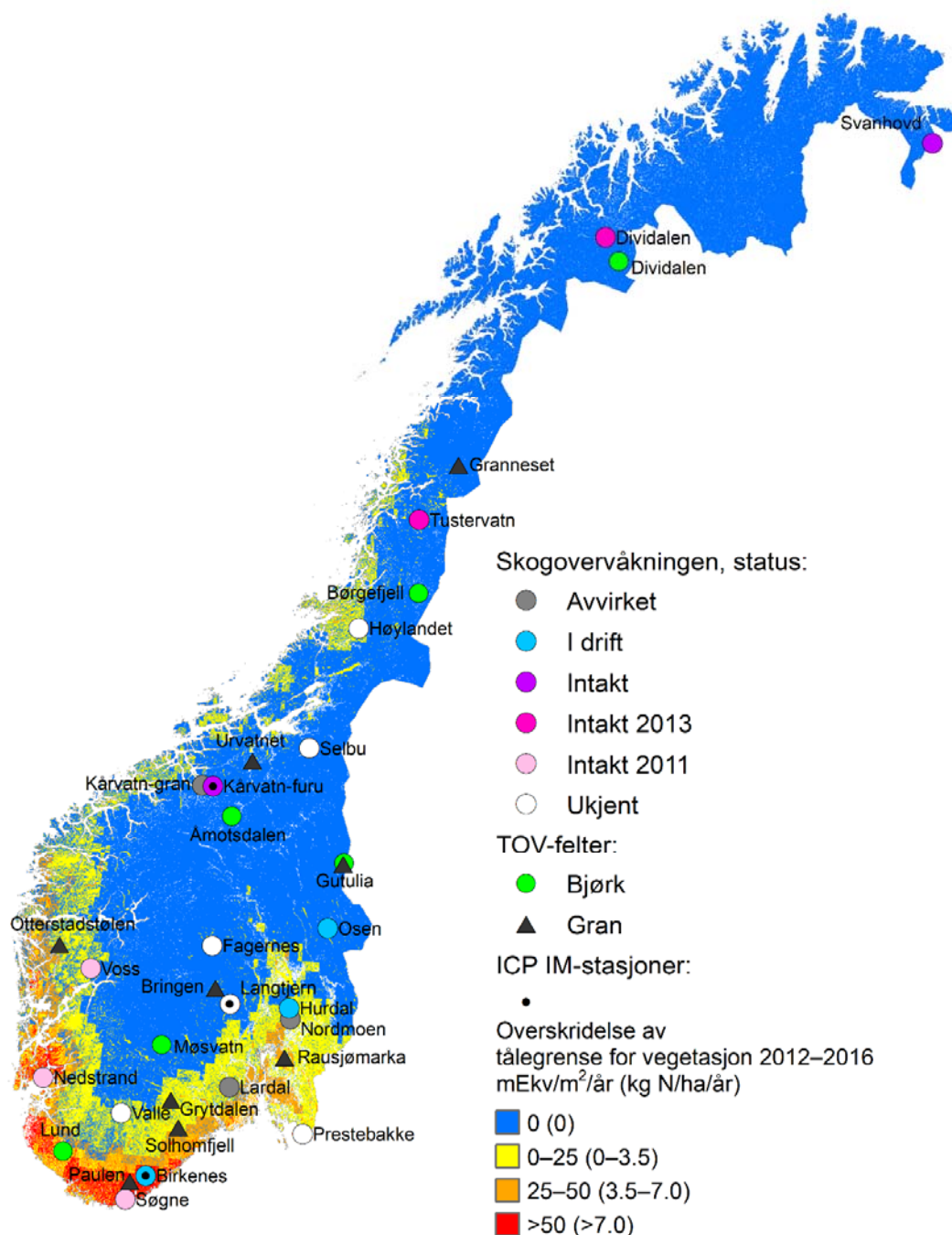
Gjennom dette landsdekkende nettverket kan vi rapportere på parameteren kronetilstand (inkl. skogskader) på gran og furu (og skader på alle arter) for de fleste regioner i hele landet.

Det mangler systematiske jordprøvetakinger (parametere forsuring, C/N-forhold, C-lager), samt systematisk nåleprøvetaking (næringsinnhold og næringsforhold) hvert 10.-15. år i dette nettverket. Disse prøvetakingene og analysene kan bare gjennomføres med ekstraordinær finansiering.

#### 3.2.4.3 Terrestrisk naturovervåking (TOV)

Overvåking av markvegetasjon er en av de anbefalte parameterne i NECD. Den pågående overvåkingen av markvegetasjon og epifyttvegetasjon i TOVs seks bjørkeskogsområder og markvegetasjonen i NIBIOs ni granskogsområder kan benyttes som overvåkingsnettverk for effekter av eutrofiering og forsuring ved analyser av endringer i artssammensetning over tid. Endringer i markvegetasjon relatert til påvirkning av eutrofiering og forsuring kan bl.a. belyses ved bruk av vegetasjonsindekser som Ellenbergs N-indeks og Ellenbergs reaksjonsindeks-pH. TOV-bjørkeskogsområdene har også overvåking av epifyttvegetasjon på trær som også er anbefalt av NECD for analyser av påvirkninger av N-tilførsel. Av NEC-direktivets anbefalinger for jordsmonnsparametere dekker TOV -bjørkeskog analyser av elementkonsentrasjoner av kationer som Ca, Mg, K, Na, Al (mfl.), samt total N, men ikke C/N-forholdet, da total C ikke måles.

En oversikt over overskridelser av vegetasjons tålegrenser for nitrogen, samt overvåkingsstasjoner i OPS, TOV og ICP IM er gitt i **Figur 14**.



**Figur 14.** Overskridelser av vegetasjons tålegrenser for nitrogen. Kartet viser også overvåkingsstasjoner i OPS, TOV og ICP IM.

### 3.3 Effekter i vegetasjon - dagens overvåkingsnettverk (bakkenært ozon)

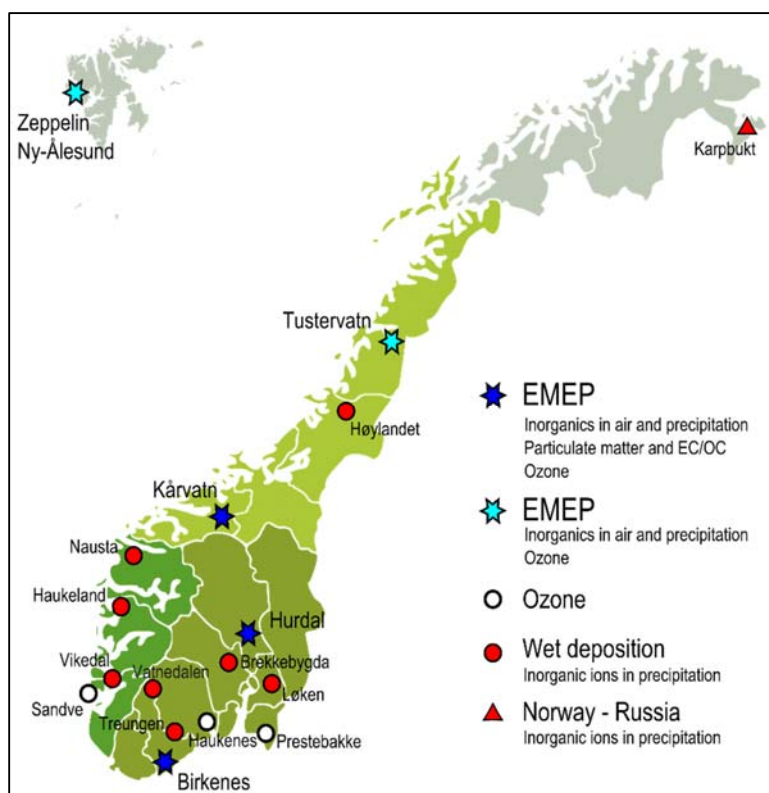
Dagens nettverk av overvåkingsstasjoner for bakkenært ozon (**Figur 15**) er et resultat av historisk utvikling av nettverket samt EUs luftkvalitetsdirektiv (EU, 2008), heretter forkortet LK. I henhold til LK er

landet inndelt i et visst antall soner, og for hver sone er det minimumskrav til antall ozonstasjoner basert på folketall, areal og i hvilken grad ozonnivåene oppfyller direktivets krav.



**Figur 15.** Dagens nettverk av overvåkingsstasjoner for bakkenært ozon. For stasjonene som har samlokaliserte målinger av meteorologi er de meteorologiske parameterne også vist.

De fire norske sonene for luftkvalitetsovervåking er vist med ulike farger i **Figur 16** sammen med stasjonsnettets i diverse måleprogrammer, hentet fra siste overvåkingsrapport (Aas et al., 2019). **Tabell 9** viser dagens soner på fastlandet (Svalbard unntatt) og tilhørende ozonstasjoner, også hentet fra overvåkingsrapporten. Legg merke til i kartet er Spitsbergen, Troms og Finnmark definert som samme sone. I sonen for Østlandet og for Midt-Norge er antall ozonstasjoner i henhold til LK, henholdsvis fire (Prestebakke, Hurdal, Haukenes og Birkenes) og to (Kårvatn og Tustervatn). I sonen for Vestlandet er det kun en stasjon (Sandve), mens LK setter krav til to ozonstasjoner basert på folketall og areal (Aas et al., 2018). I den nordligste sonen (inkludert Svalbard) er det kun en stasjon, Ny-Ålesund. Også i denne sonen mangler det minst en stasjon i henhold til LKs krav. Vurdert ut ifra forurensningsklimatologi og generelle værforhold er det tvilsomt om Svalbard og Troms/Finnmark strengt tatt kan defineres som samme sone. Uansett om dette defineres som en eller to soner, mangler det en stasjon i henhold til LKs krav i Troms/Finnmark.



Figur 16. Soneinndeling for luftkvalitetsovervåking i Norge angitt med ulike farger (fra Aas et al., 2019).

Tabell 9. Luftkvalitetssoner og dagens antall ozonstasjoner på fastlands-Norge med luftkvalitetsdirektivets krav i parentes.

Sone	Type	Areal (km <sup>2</sup> )	Befolkning (1000)	Antall ozonstasjoner	Dagens stasjoner
Østlandet	Rural	110 000	1800	4 (4)	Prestebakke, Hurdal, Haukenes, Birkenes
Rogaland, Hordaland, Sogn- og Fjordane	Rural	43 000	790	1 (2)	Sandve
Møre og Romsdal, S- og N-Trøndelag, Nordland	Rural	94 000	760	2 (2)	Kårvatn, Tustervatn
Troms, Finnmark	Rural	74 000	230	0 (1)	-

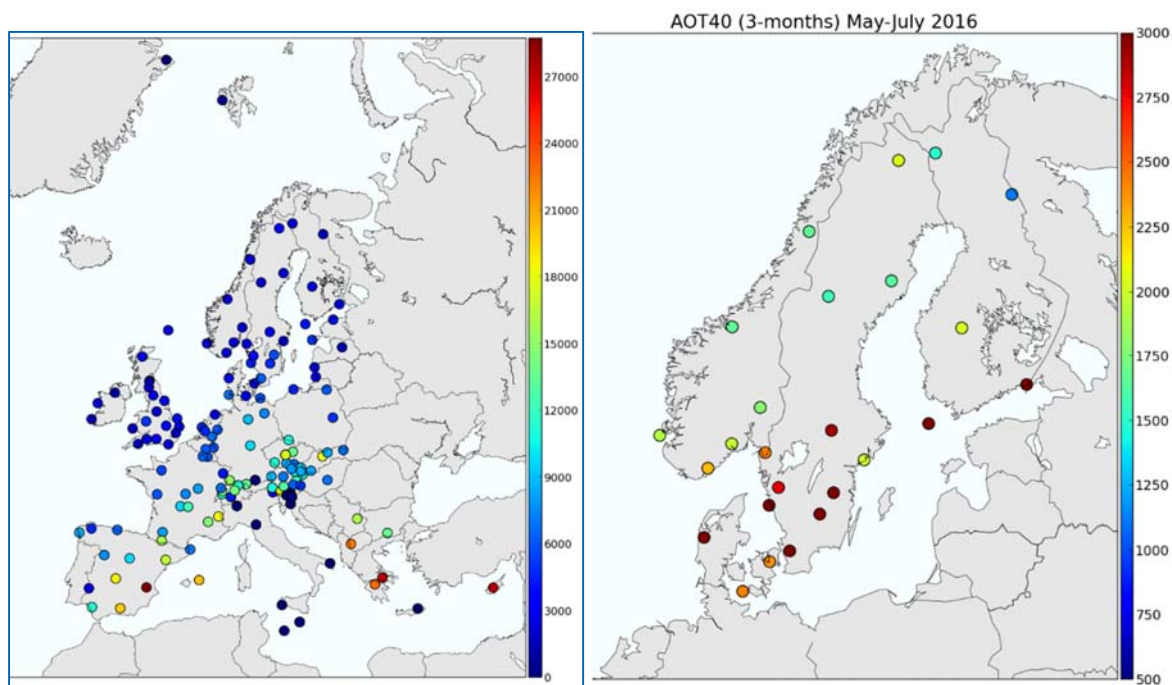
Effekter av ozon på vegetasjon overvåkes i dag ikke i Norge. Det har imidlertid blitt observert ozonskader på planter satt ut i to ozonhager i regi av et prosjekt på Universitetet i Oslo, sommeren 2018. Det ble satt ut planter med kjent skadebilde grunnet ozon i en ozonhage på Blindern (Oslo) og en i Svanhovd (Finnmark). Begge steder ble det dyrket tre sorter av tobakk, med økende følsomhet for ozon. Den mest følsomme sorten (BelW3) viste mest ozonskader, og de to med synkende følsomhet viste synkende utbredelse av ozonskader på bladene. Det er derfor sikkert at plantene var utsatt for skadelige nivåer av ozon begge steder. I tillegg ble det dyrket hvitkløver og rødkløver begge steder. Det var bare i Svanhovd man fant ozonskader på disse kløverartene i år. Den lokale luftforurensningen i Oslo kan ha gitt en titreringseffekt, som fører til reduserte ozonkonsentrasjoner, slik at ozoneksponeringen faktisk ble lavere der enn i Finnmark. På Blindern ble det i tillegg dyrket subkløver (*Trifolium subterraneum*), som er enda mer følsom for ozon, og den viste karakteristiske ozonskader som følge av ozoneksponeringen i Oslo. Videre så man at en følsom og en resistent sort av hagebønne også viste det forventede skadebildet, som tyder på ozoneksponering i ozonhagen på Blindern.

De nivåene vi har av bakkenært ozon i Norden, er beregnet å være skadelige for vegetasjon og landbruk, selv om det ikke er påvist i Norge tidligere. I Sverige ble det vist i et forsøk at poteter som vokste i normal uteluft fikk 20 % lavere potetavling enn poteter som ble dyrket i luft rensert for ozon (Piikki et al., 2004). Flere år med eksperimenter i såkalte åpen-topp-kamre (OTC) i Sverige ga også grunnlag for

beregninger av de økonomiske tapene innen svensk hvete- og potetproduksjon og i skogbruket, anslått til å være henholdsvis 24,5, 7,3 og 56 millioner euro årlig på den tiden (Karlsson et al., 2005). I 2018 ble det også publisert en beregning av tap i hveteproduksjon globalt sett, og der er tapet som skyldes ozon i perioden 2010-2012 beregnet til å være omtrent 2-5 % i Norge (Mills et al., 2018).

### 3.3.1 Vurdering av dagens overvåkingsnettverk ift. krav i direktivet

Både EUs og UN-ECEs grenseverdier knyttet til vegetasjon har vært knyttet til AOT40, mens de faglige vurderingene gjennom en del år (f.eks. Mills et al., 2011a; 2018) har anbefalt å bruke fluksbaserte størrelser (POD) for å estimere effektene. Mens AOT40 bare er basert på målte ozonkonsentrasjonen i lufta, tar POD også hensyn til jordfuktighet, solstråling, temperatur, vegetasjonstyper og diffusjon inn i plantenes spalteåpninger og vil dermed gi et mye riktigere bilde av plantenes faktiske ozoneksponering. Ulempen med å gå over fra AOT40 til fluksbaserte parametere er at POD-verdiene, i motsetning til AOT40, ikke kan måles direkte. Innenfor ICP Vegetation har det blitt utviklet metodikk for å beregne POD basert på ozonkonsentrasjoner, meteorologiske målinger og data over jordtyper osv. gjennom  $DO_3SE$ -modellen (Emberson et al., 2001; Pleijel et al., 2007; Bueker et al., 2015). NEC-Guidance inneholder anbefalinger til hvilke typer data som trengs for å beregne POD på ozonstasjonene. Siden POD ikke kan måles direkte, og POD ikke har vært beregnet på de norske ozonstasjonene, er det ikke så enkelt å vurdere dagens nettverk av målestasjoner i forhold til kravene i NEC-direktivet. Modellberegninger indikerer store forskjeller i den geografiske fordelingen av AOT og POD i Europa. AOT40 er knyttet direkte til ozonnivåene og viser generelt en gradient nord-syd med de høyeste verdiene i Sør-Europa (**Figur 17**). POD-nivåene (**Figur 8** og **Figur 9**) viser derimot relativt sett mye høyere nivåer i Nord-Europa sammenlignet med AOT-nivåene. Hovedårsaken til det er luft- og jordfuktighet, som er bestemmende for plantenes respirasjon og dermed opptak av ozon, en parameter som normalt øker fra syd mot nord.



**Figur 17.** Tre-måneders AOT40 (mai-juli) for 2016 basert på alle EMEP-måledata (venstre) og nordiske stasjoner (høyre). Enhet: ppb-timer.

NEC-Guidance som følger direktivteksten legger opp til målinger både i områder med høye nivåer og i bakgrunnsområder og anbefaler å bruke kart som viser eksisterende belastninger for å designe målenettverket for det nye NEC-direktivet. For ozon er ikke dette så enkelt siden POD-verdiene fra modellberegningene foreløpig ikke kan valideres med måledata. Selv om AOT-nivåene i Norge og Europa viser en storskala fordeling uten strukturer på liten skala, er det ikke usannsynlig at tilsvarende felter for

POD kan vise større grad av finere strukturer på grunn av geografiske forskjeller i jordfuktighet, temperatur og jordtype.

Dagens målenettverk for ozon er såpass spredt at det er vanskelig å interpolere effektberegningene til å gjelde hele landet. Det er særlig mangelen på stasjoner i nord og mangelen på høyereliggende stasjoner i sør som gjør dette vanskelig. Observasjoner av ozoneffekter på vegetasjon i form av vekstreduksjon eller synlige skader har ikke blitt gjort systematisk i Norge.

### 3.4 Integreert overvåking av ferskvann og terrestriske økosystemer

Det er anbefalt at hvert land skal ha minimum to såkalt integrerte overvåkingsstasjoner i sitt målenettverk. Dette er stasjoner hvor det gjennomføres utstrakt overvåking av fysiske, kjemiske og biologiske egenskaper i et nedbørfelt over tid. Norge har tre stasjoner som inngår i «ICP Integrated monitoring», dvs. LRTAP-konvensjonen sitt nettverk av overvåkingsstasjoner. Dette omfatter stasjonene Birkenes, Langtjern og Kårvatn. Av disse er det imidlertid bare Birkenes hvor overvåkingsprogrammet dekker det meste av parameterne som er anbefalt. På Langtjern er det investert i overvåking med et klimaperspektiv (in-situ sensorer, høyfrekvente målinger, sanntidsoverføring til en nettløsning) hvor klima- og vannkvalitetsparametre inngår (forsuringsrelevant (pH, ledningsevne, organisk materiale), klimarelevant (temperatur, oksygen og CO<sub>2</sub> i vann) (De Wit et al. 2018).

## 4 Forslag til utvidet overvåking

### 4.1 Effekter i vann (forsuring)

NIVA anser at NEC-direktivets krav til overvåking av effekter i vann oppfylles av det som allerede gjøres i overvåkingsprogrammene ØKOFERSK og Referanseelver. Ikke alle stasjonene i disse programmene er egnet for formålet, men til sammen gir de god nok dekning. Gjentak av tusensjøundersøkelsen med jevne mellomrom vil gi sikrere beregninger av for eksempel areal der tålegrenser i vann er overskredet. Dette er informasjon som er relevant for NEC-direktivet. Nettverkene som medlemsstatene har meldt inn utgjøres av innsjøer og elver som prøvetas relativt hyppig. Av hensyn til harmonisering anbefaler vi derfor ikke å melde inn de 1000 innsjøene i første runde.

Angående integrert terrestrisk og akvatisk overvåking, er det relevant å vise til en planlagt utlysning fra forskningsrådet av midler til forskningsinfrastruktur (<https://www.forskningsradet.no/siteassets/programmer/veikart/norskveikartforforskningsinfrastruktur2018-del1omradestrategier.pdf>). Her henvises det til ESFRIs (the European Strategy Forum on Research Infrastructures). Mange av ICP IM-stasjonene inngår i LTER Europe (Long-term Ecosystem Research Europe; <https://www.lter-europe.net/lter-europe>), og ICP IM selv er en aktiv støttespiller i LTER Europe. LTER Europe har videreutviklet seg til 'eLTER-RI' (eLTER Research Infrastructure) og er nå formelt akseptert til den første fasen av 'ESFRI Research Infrastructure', og er altså en del av det europeiske veikartet (2018 ESFRI Roadmap). Dette betyr at Norge også kan bli en deltager i eLTER RI. I eLTER RI legges spesielt vekt på «highly instrumented sites». For videreutvikling av integrert overvåking under NEC-direktivet vil det være nyttig å skjele til mulighetene for deltagelse i eLTER RI.

### 4.2 Effekter i vegetasjon og terrestrisk natur (eutrofi og forsuring)

#### 4.2.1 Intensiv skogovervåking (ICP Forests Level II)

For å oppfylle kravene til skogovervåking i NEC-direktivet er det viktig å videreføre dagens intensive skogovervåking. For å dekke flere biogeografiske regioner og/eller for å få på plass et minimum av to ICP IM flater som anbefalt i veiledningen er det i tillegg nødvendig med en utvidelse av overvåkingsnettverket i skog. Det skisseres her tre alternativer for utvidelse:

1. Alt. 1: Dekke flere biogeografiske regioner (atlantisk, alpint) ved å gjenoppta driften på tidligere Level II-flater. Atlantisk region: Søgne\*, Nedstrand, Voss, Kårvatn\*. Alpin region: Kårvatn\*, Tustervatn, Svanhovd (\*: usikkert hvilken region disse tilhører). Mest aktuelt er det å gjenoppta driften på Svanhovd siden flata er intakt og NIBIO har en stasjon like ved.
2. Alt. 2: Gjenoppta skogovervåkingen på en av de norske ICP IM flater der vi i dag ikke har målinger i skog. Mest aktuell er Kårvatn, der både NILU og NIVA utfører målinger.
3. Alt. 3: Opprette 1–2 flater som inngår i en forurensingsgradient fra Sør-Norge til Nordøstlandet. Aktuelle flater: Søgne, ny flate i Asker/Kongsberg-området (som erstatning for Lardal som ble avvirket i 2012).

Det er videre nødvendig med gjentak av jordprøvetakingen hvert 10.–15. år på Level II flatene for å kunne rapportere de etterspurte indikatorene i skogsjord. Neste gjentak bør finne sted i tidsrommet 2021-2026, både på aktive og intakte nedlagte flater (jf. tidligere prøvetaking i 2011/2013 i beskrivelsen av dagens overvåkingsnettverk). Dette tiltaket forutsetter ekstraordinær finansiering.

#### 4.2.2 Landsrepresentativ skogovervåking (ICP Forests Level I)

Det anbefales å videreføre dagens overvåking på dette nettverket, som er landsdekkende og kostnadseffektivt, og som kan rapportere på parameteren kronetilstand (inkl. skogskader).

For å imøtekomme anbefalingene i NEC-direktivet kan det bli nødvendig med en systematisk jordprøvetaking (forsuring, C/N-forhold, C-lager), samt en systematisk nåleprøvetaking (analyse av næringsinnhold) på et utvalg av flater hvert 10.-15. år iht. ICP Forests Manual (UNECE 2016). Disse tiltakene forutsetter ekstraordinær finansiering.

#### 4.2.3 Terrestrisk naturovervåking

TOV-bjørkeskogsområdene ligger, etter den Europeiske definisjonen av biogeografiske regioner, i Alpin region, bortsett fra Lund, som ligger i Atlantisk region. De fleste av TOVs granskogsområder ligger i boreal region. Til sammen dekker overvåkingsområdene for TOV-bjørkeskog og TOV-granskog de mest utbredte regionene i Norge. Sammen med markvegetasjonsanalysene fra ICP Forests Level II flatene skulle disse ulike overvåkingsprosjektene dekke markvegetasjon i fattig til svakt rike norske skogøkosystemer. Vi har imidlertid ingen overvåking av markvegetasjon i mer rike og varmekjære løvskoger som edelløvskoger. Det bør derfor vurderes å opprette overvåkingsområder i slike naturtyper. Jordsmonnsanalysene ble redusert i 2013, og de utelatte analysene må utføres videre, samt at innhold av total karbon må analyseres, slik at man kan få beregnet C/N-forholdet.

#### 4.2.4 Anbefalinger for andre terrestriske økosystemer (økologisk tilstand og nitrogenpåvirkning)

Ifølge NEC-direktivet skal overvåkingen også dekke bla. naturtyper som semi-naturlig eng, våtmark (herunder myr), samt hei- og buskvegetasjon i lavlandet og i fjellet, og lokalitetene skal helst representere ulike biogeografiske regioner.

Siden 2018 er det utprøvd et nytt forlag til nasjonalt overvåkingsprogram i Norge hvor disse naturtypene er inkludert; arealrepresentativ overvåking (ANO). ANOs mål er å fremskaffe arealrepresentativ statistikk for tilstand og utvikling for naturtypene i fastlands-Norge og gi statistikk på indikatorer for vurdering av økologisk tilstand (Nybø & Evju (red) 2017; Evju og Nybø, 2018; Tingstad et al., 2019).

Overvåkingen utføres ved målinger av flere indikatorer for god økologisk tilstand i faste punkter i et tilfeldig uttrekk av SSBs rutenett (500 m x 500 m) av hele Norges areal og vil dekke opp de aller fleste vanlige naturtyper i hele landet. Et pilotprosjekt for en slik overvåking er utprøvd i Trøndelag i 2018 og i resten av landet i 2019.

En av indikatorene som er valgt gir tilstand for eutrofiering av naturtypen og er knyttet til overskridelse av N-tålegrense for naturtyper (Nybø et al., 2018). Her benyttes artssammensetningen i faste ruteanalyser og artenes score for Ellenbergs N-faktortall (Hill et al., 1999 ab; Wirth 1991, Diekmann 2003, Ewald 2003; Hill et al., 2007) for å vurdere tilstanden for naturtypen basert på forekomster av arter med ulike krav til nitrogen. En overvåking over tid vil således gi informasjon om endringer i naturtypen som skyldes nitrogenbelastning. Da overvåkingen er planlagt å dekke hele landet og de fleste naturtyper, anbefaler vi at eutrofieringsindikatoren fra en fremtidig arealrepresentativ overvåking av tilstand for norske naturtyper kan benyttes i overvåkingsnettverket for NEC-direktivet.

### 4.3 Effekter i vegetasjon (ozon)

Et program for overvåking av effekter av ozoneksponering i Norge blir et spørsmål om ambisjoner og ressurser. Nedenfor følger et forslag til hvordan dette kan gjøres med ulike ambisjonsnivåer. Forslaget er beskrevet i detalj nedenfor, men kan kort oppsummeres i tre punkter:

1. Utvidelse av dagens stasjonsnett for bakkenært ozon.
2. Beregning av ozonopptak og eventuelle overskridelser av kritiske nivåer.
3. Feltundersøkelser for å bestemme kritiske nivåer i Norge.

#### 4.3.1 Utvidelse av dagens overvåkingsnettverk for ozon

Dagens stasjonsnett for ozon har allerede noen mangler i forhold EUs luftkvalitetsdirektiv (LK) (EU, 2008) I forhold til direktivets krav basert på folketall og areal mangler det i dag en stasjon i sonen for Vestlandet og en i sonen for Nord-Norge. Det er i dag ingen ozonstasjoner nord for Tustervatn i Nordland og ingen sentralt plassert stasjon i innlandet i Sør-Norge. Både av hensyn til LK og NEC-direktivet bør dette bøtes på ved å opprette 2-3 nye stasjoner.

I Sør-Norge ville Finse være en aktuell kandidat for å lokalisere en ny stasjon, både med tanke på plassering og med tanke på all annen forskningsaktivitet som har blitt bygget opp på Finse de seinere årene. Finse ville inngå i vestlandssonen og dermed fylle den mangelen som er i dag i henhold til LK. Dermed vil en plassering på Finse nyte godt av infrastruktur og et stort regime av andre relevante målinger som gjøres der i dag gjennom Finse Alpine Research Center<sup>10</sup> inkludert Finse Eco-Hydrological Observatory<sup>11</sup>. Den alpine vegetasjonen på Finse varierer blant annet med høyde, snødybde og fuktighet, og har mye til felles med myr-, rishei- og rabbevegetasjon som også finnes over skoggrensa i store områder ellers i Norge. Geografisk ville Finse fylle et hull i dagens stasjonsnettverk, men også i et «vertikalt» perspektiv, dvs. når det gjelder høyden over havet, kunne en stasjon på Finse gi ny informasjon. Det er i dag ingen høyerelevende ozonstasjoner i landet.

I Nord-Norge er det flere mulige lokaliseringer for en eller to nye stasjoner. I Finnmark har det tidligere vært regulære ozonmålinger i tre perioder:

- Svanhovd: 01.08.1986 - 31.08.1996
- Jergul: 01.04.1988 - 07.01.1997
- Karasjok: 01.02.1997 - 28.02.2010

Målingene ved Karasjok som startet i 1997, erstattet de to tidligere Finnmark-stasjonene, men ble altså avsluttet i 2010. I 2018 har det imidlertid vært en målekampanje for ozon ved Svanhovd-stasjonen i forbindelse med et forskningsprosjekt om effekter av ozon og klimaendringer på tundra og noen nordlige landbruksarter<sup>12</sup>.

<sup>10</sup> <https://www.finse.uio.no/>

<sup>11</sup> <https://www.mn.uio.no/geo/english/research/groups/latice/infrastructure/index.html>

<sup>12</sup> <https://www.mn.uio.no/ibv/english/research/sections/evogene/projects/ozonorclim/>



Klimaendringene er ventet å bli særlig tydelige i arktiske og subarktiske områder, blant annet med forlengelse av vekstsesongen. Dette kan føre til at vegetasjonen i større grad utsettes for vårtoppen i ozonkonsentrasjon i framtiden. Svanhovd ligger i den vestligste delen av den enorme taigaen, slik at informasjon derfra kan være relevant for store områder på den nordlige hemisfære. Dessuten er det en viktig side ved effektene av ozon på planter, at spalteåpningene, som slipper ozon inn i bladene når de er åpne, styres av blant annet lys. I områder med midnattssol vil det være mulig for plantene å ha åpne spalteåpninger hele døgnet, noe som kan føre til høyere ozondose inn i bladene enn forventet. Derfor kan det være ekstra viktig å følge med på hva som skjer i forbindelse med ozon i våre nordligste områder.

I budsjettet nedenfor (kap. 5) har vi foreslått Svanhovd (pri. 1) og Finse (pri. 2) som nye overvåkingsstasjoner. Ozonmålinger ved Svanhovd vil dra nytte av eksisterende infrastruktur og personell og vil dessuten gi en kontinuitet til feltstudiene som har pågått ved stasjonen de siste årene.

Begge disse lokalitetene er innlandsstasjoner, og det er et åpent spørsmål om det også er et behov for en kyststasjon. På grunn av avsetning og opptak vil det bli gradienter i bakkeozon fra kysten og innover i landet. Lokaliseringen av en kyststasjon i Troms/Finnmark må eventuelt avklares nærmere, men Andøya kan være en aktuell kandidat for en slik plassering på grunn av eksisterende infrastruktur og annen måleaktivitet der som bl.a. NILU drifter. En modellbasert studie som så på framtidig utvikling av skipstrafikk i nordområdene fant spesielt store økninger i POD langs kysten av Nord-Norge (Tuovinen et al., 2013) på grunn av økte NO<sub>x</sub>-utslipp fra skipstrafikken. En målekampanje fra fly har også vist at skipstrafikken kan gi betydelige økninger av ozoneksposeringen i Nord-Norge (Marelle et al., 2016).

#### **4.3.2 Beregning av ozonopptak og eventuelle overskridelser av kritiske nivåer**

Nedenfor er det skissert to prosedyrer – en som vil gi ozoneksposering som punktdata for ozonstasjonene og en som vil gi kart som viser ozoneksposering for hele Norge.

#### **4.3.3 Vegetasjonseksposering (POD) på ozonstasjonene**

Timesdata av ozonkonsentrasjoner fra de norske ozonstasjonene kan kombineres med meteorologiske data som kan hentes og ekstraheres fra ECMWF-data via lisens. I tillegg må jordtypedata for stasjonene skaffes, noe vi antar er åpent tilgjengelig fra nasjonale databaser uten å ha undersøkt i detalj i hvilken grad de tilsvarer det som kreves for å foreta POD-beregningene.

Disse dataene sammen med antagelser om vekstsesong (fra manualen til Working Group on Effects) sammenstilles og legges inn i stand-alone DO<sub>3</sub>SE-modellen for hver enkelt målestasjon. Dette vil gi estimert ozoneksposering for de vegetasjonstypene som det måtte finnes fenologiske data for på målestasjonene.

#### **4.3.4 Beregning av POD for hele landet basert på CAMS-EMEP-3DVar**

Målingene fra alle tilgjengelige ozonstasjoner i Norge og omkringliggende land kan kombineres med kjemitransport-modellberegninger med EMEP modellen ved å gjøre såkalt 'kjemisk data-assimilasjon' av målingene (EMEP-3DVar).

I slike EMEP-3DVar modellberegninger vil de modellerte feltene av ozon tilpasses observasjonene av ozon. Denne tilpasningen/assimilasjonen vil føre til en justering av de modellerte feltene av ozon i en gitt avstand fra stasjonene ved at man på forhånd har beregnet korrelasjonen til det omkringliggende feltet i tre dimensjoner. Metodikken gir også muligheter for å bruke stasjons-spesifikk informasjon (f.eks. stasjonens representativitet for området omkring) til å sikre at eventuelle forskjeller mellom modellen og observasjonene blir inkludert på riktig måte i dataassimilasjonen.

Denne metoden vil levere modellerte felter av ozon for hele Norge som stemmer godt overens med observasjonene på selve målestasjonene og som harmonerer med disse måleverdiene utenom målepunktene.

Disse justerte ozon-feltene vil gå direkte inn i EMEP-modellens beregninger av POD for forskjellige økosystemer (i hver gridrute) på fin tidsskala. Økosystem-spesifikke POD-verdier for hver gridrute kan eventuelt også kombineres med finskala kart for arealbruk. Resultatet vil bli et finskala kart over POD for hele Norge. Dette er tilsvarende løsning som brukes i Sverige der de anvender en 2D-assimilasjon i MATCH-modellen til SMHI (Leung et al., 2019.)

#### 4.3.5 Feltstudier

Ideelt sett skulle man kunne overvåke flere typer vegetasjon, men det er ikke så lett å gjennomføre med ozoneffekter på grunn av dagens kunnskapsnivå. Det er nevnt fem terrestriske vegetasjonstyper i beskrivelsene av hvordan NEC-direktivet skal følges opp. Der brukes MAES systemets økosystemtyper. Det beskrives at områdene som følges opp bør velges ut fra tre viktige prinsipper:

- Virkningen av ozon bør kunne skilles fra andre påvirkningskilder.
- Området bør være følsomt for ozon, slik at hvis det er viktig ozonpåvirkning der bør det lett kunne oppdages.
- Området bør være typisk for det økosystemet og habitatet som overvåkes.

Det er også beskrevet at man bør velge områder med stort og lite påtrykk av forurensninger, men at man kan vektlegge områder med mye ozon.

Det er funnet god sammenheng mellom utbredelsen av synlige skader og ozoneksponering. Dette er imidlertid en arbeidskrevende aktivitet, som krever mye opplæring. Synlige skader som skyldes ozon er ulike for ulike arter (brune felter, røde felter eller nekroser) og kan forveksles med andre skader. Derfor er det antagelig bedre å velge de POD-baserte metodene som er skissert over.

I tillegg til å validere modellene fra punktene over ved å sammenligne ozonkonsentrasjoner og ulike parametere som går inn i POD-beregningene med verdier fra overvåkingsnettverket, bør man validere selve de modellerte POD-verdiene. POD-beregningene for en plantetype fra et sted kombineres med kjente dose-responsforhold, slik at man kan beskrive forventet tilvekst hos plantene under de gitte betingelsene. Dermed kan man validere modellresultatene ved å studere tilveksten til planter som dyrkes nær ozonmålestasjonene. Dette vil innebære nye kostnader, ettersom overvåking av ozoneffekter på vegetasjon ikke er gjort i Norge tidligere. Det er mulig man kan se på denne typen forsøk på samme måte som de mer intensivt overvåkede ICP Forests Level II flatene, som bare studeres hvert 5. år for effekter av eutrofiering og forsurening (markvegetasjon og tilvekst analyseres hvert 5. år, andre målinger utføres kontinuerlig eller årlig).

Det er to mulige måter å utføre slike dyrkningsforsøk på. Den ene metoden er å sette opp to typer åpen-topp-kamre, hvor den ene typen luftes med ufiltrert luft, og den andre med filtrert luft, uten ozon. Ved å sammenligne veksten i de to typene luft kan man kvantifisere en eventuell effekt av den normale utelufta, sammenlignet med det man ville hatt uten ozonforurensning. For å få statistisk sikre resultater vil det være nødvendig med minst fire av hver type kammer. I et slikt forsøk kan man dyrke ulike plantearter, valgt ut ifra vegetasjonen i nærheten som man ønsker å representere. Om man ønsker å studere POD-beregningene for barskog, dyrker man gran eller furu, om man ønsker å studere POD-beregningene for hvete, dyrker man hvete. Andre aktuelle arter er bjørk/bøk (løvskog), timotei (beite eller eng), kløver (beite eller eng), potet (landbruk). Flere ulike arter kan dyrkes samtidig i kamrene, så lenge det er plass. Et slikt forsøk kan først utføres et sted hvor man forventer høye ozonverdier, og deretter ved en målestasjon med lavere ozonverdier, hvis systemet bygges slik at det er mobilt. Om dette utføres i to påfølgende år, og man deretter har tre års pause, kan aktiviteten det ene året koordineres med arbeidet på Level II-flater på lokaliteter der det er aktuelt.

Den andre varianten av dyrkningsforsøk innebærer å dyrke to kjente kultivarer av hagebønner ved ozonmålestasjonene. De to kultivarene skiller seg fra hverandre i følsomhet for ozon, slik at de vokser omtrent likt når det er lite ozon, mens når de utsettes for ozon vil den ene kultivaren utvikle synlige ozonspesifikke skader raskere, og den får redusert bønneavling i forhold til den andre. ICP Vegetation har utviklet et dyrknings- og høstingsystem for disse to kultivarene, som blir brukt i ozonhager over hele Europa, for å beskrive effektene av ozon på planter i ulike områder (ICP Vegetation Protocols 2018). Man kan studere og sammenligne utviklingen av synlige ozonspesifikke skader eller vekten av bønner ved avslutningen av veksten på de to kultivarene. Slike forsøk krever ikke mye utstyr, og kan utføres på mange av målestasjonene for ozon samtidig, med jevne mellomrom, for eksempel hvert femte år. Resultatene kan brukes til å påvise effekter av ozon, og dermed vurdering av om eventuelle overskridelser av kritiske nivåer av POD-verdier beregnet for landbruksplanter (crops) for hvert sted er fornuftig representert. Resultatene vil representere situasjonen for landbruksarter og altså ikke for andre vegetasjonstyper.

Noen av vegetasjonstypene som burde overvåkes ifølge veiledningen til NEC-direktivet er skog, dyrka mark, beite- og engvegetasjon, lyng- og rishei og tundravegetasjon. Nedenfor er nevnt noen betraktninger rundt POD-beregninger for arter fra disse vegetasjonstypene.

#### *Dyrka mark, beite- og engvegetasjon*

Det er også gjort mye arbeid for å beregne PODy-verdier for hvitkløver og timotei (Mills et al., 2011b, Danielsson et al., 2013). Dette er arter som finnes i norsk vegetasjon over hele landet, mer eller mindre naturlig. Dermed kan man anta at de tåler klimaet godt nok til å kunne brukes i tester over hele landet. Med åpen-topp-kamre med vanlig luft og filtrert luft kan man så disse to artene ved ozonmålestasjoner i Norge og måle tilvekst i slutten av vekstsesongen. Dette kan så brukes for å validere PODy-beregningene for hver sesong. Dyrkningsforsøk med de to nevnte kultivarene av hagebønner vil også kunne gi informasjon om effekter av ozon på landbruksarter på dyrka mark.

#### *Skog*

Det er vist ozoneffekter på stammetykkelse hos gran i Sverige og Sveits (Karlsson et al., 2006, Braun et al., 2014). Det måles allerede stammertilvekst på gran i Level II-flater ved to av ozonmålestasjonene: Hurdal og Birkenes. I fremtiden kan det være gunstig å gjenåpne registreringene på furuskogflaten på Svanhovd i Pasvikdalen, dersom det startes overvåkning av ozonkonsentrasjoner der. Med data om stammertilvekst og ozoneksponering kan man i fremtiden lage korrelasjoner og undersøke om ozoneksponeringen har effekt på tilveksten.

Etter en ozonepisode i 2006 fant man mye bladskader på rogn i Troms, Finnmark og Nord-Sverige (Manninen et al., 2009), så rogn kunne være en kandidat blant løvtrærne. På den andre siden finnes det ikke dose-responsberegninger for denne arten. Derimot er det gjort mer arbeid omkring PODy-beregninger på gran/furu og hengebjørk/bøk. Ungplanter av disse artene er aktuelle å undersøke i åpen-toppkamre.

#### *Lyng- og rishei og tundravegetasjon*

I et prosjekt ved UiO jobbes det med å studere ozoneffekter på ulike arter fra arktisk tundra. Det innebærer foreløpig krekling, vierarter og noen urter. Krekling er en av artene som preger hei og tundra. Vierne er knyttet til elver, bekker og myrer. Når det arbeidet er ferdig (slutten av 2020) skal man kunne bruke denne kunnskapen i arbeidet for å beregne PODy-verdier og kritiske nivåer for disse artene, slik at det kan bedre mulighetene for å overvåke flere vegetasjonstyper. I prosjektet fokuseres det på klimamodellering av subarktisk/arktisk tundra, men fordi det legges vekt på vanlige og dominerende arter er disse også vanlige mange andre steder over skoggrensen.

## 5 Kostnadsoverslag

### 5.1 Kostnader for terrestrisk overvåkingsnettverk for eutrofi og forsuring

Vi foreslår å prioritere eksisterende synergier mellom OPS intensiv skogovervåking, TOV terrestrisk overvåking og ANO arealrepresentativ overvåking. Med dette menes et nettverk av overvåkingsflater som:

- dekker flest mulig biogeografiske regioner
- dekker hele forurensingsgradienten
- dekker flest mulig naturtyper ved å supplere med relevante ANO flater og inkluderer minst to Integrated Monitoring (ICP IM) flater med fullt program
- kan rapporteres på kjemiske indikatorer i jord
- kan rapporteres på artssammensetninger i ruteanalyser

Videre er kostnadsoverslaget delt inn i «Høyt» og «Lavt» ambisjonsnivå. Jordprøvetaking i Level-1 flatene inngår ikke i budsjettene som er vist under.

#### 5.1.1 Forslag «Høyt» ambisjonsnivå

- Gjenopptakelse av driften på en nedlagt OPS intensiv skogovervåkingsstasjon (engangsutgift, f. eks. Kårvatn (ICP IM), Svanhovd): 125 000 NOK.
- Årlig drift av en OPS intensiv skogovervåkingsstasjon med «fullt» program (kronetilstand årlig, tilvekst hvert 5. år, næringsstatus i barnåler hvert 2. år, nedbør åpen flate + under kronetak kontinuerlig, jordvann kontinuerlig i vekstsesongen, vegetasjonsanalyser hvert 5. år): 300 000 NOK.
- Jordprøvetaking og jordkjemiske analyser bør fortas ca. hvert 10–15. år iht. NECD og ICP Forests manualen og beløper seg til anslagsvis 100 000 NOK pr. flate pr. gang.
- Analysert jordprøver inkl. Total N og C i TOV bjørkeskogsområdene, granskogsområdene og i furuskog: Bjørkeskog 68 500 NOK, granskog 199 500 NOK, gran- og furuskog Solhomfjell 101 500 NOK. Samlet totalt 369 500 NOK for hvert femte år. Budsjettbeløpet gjelder alle feltene i hver naturtype.
- Supplerende ANO analyser for vegetasjonssammensetting i naturtypene semi-naturlig eng, våtmark (herunder myr), samt hei- og buskvegetasjon. 10 flater per naturtype. For tre naturtyper er kostnadene 370 500 NOK for hvert femte år.
- Analysert jordprøver, pH, glødetap og Total N og C i tre ANO områder i naturtypene semi-naturlig eng, våtmark (herunder myr), samt hei- og buskvegetasjon, 214 500 NOK for hvert femte år.

#### 5.1.2 Forslag «Lavt» ambisjonsnivå

- Gjenopptakelse av driften på en nedlagt intensiv skogovervåkingsstasjon (engangsutgift, f. eks. Kårvatn (ICP IM), Svanhovd): 125 000 NOK.

- Årlig drift av en intensiv skogovervåkingsstasjon med redusert program (NECD kjemiske parametere: næringsstatus i barnåler hvert 2. år, nedbør åpen flate + under kronetak kontinuerlig, jordvann kontinuerlig i vekstsesongen): 225 000 NOK.
- Analysert jordprøver inkl. Total N og C i TOV bjørkeskogsområdene, granskogsområdene og i furuskog: Bjørkeskog 68 500 NOK, granskog 199 500 NOK, granskog og furuskog Solhomfjell 101 500 NOK. Totalt 369 500 NOK for hvert femte år.
- Supplerende ANO analyser for vegetasjonssammensetting i naturtypene semi-naturlig eng, våtmark (herunder myr), samt hei- og buskvegetasjon. 185 250 NOK for hvert femte år.

## 5.2 Kostnader for overvåkingsnettverk for ozon

Nedenfor er gitt et anslag for kostnadene ved de ulike delene for ozonovervåkningen. Dette er å anse som estimer, og ikke som bindende og endelige summer. Alle beløp i kNOK.

### 5.2.1 Utvidelse av dagens stasjonsnett for ozon

Etablering og drift av ny ozonstasjon på Svanhovd vil nyte godt av eksisterende infrastruktur og personell og er derfor satt opp med lavere kostnader enn ny ozonstasjon i Sør-Norge. Det er mulig at vi kan dra nytte av eksisterende infrastruktur også på Finse, men det er foreløpig uklart og er derfor ikke tatt hensyn til i budsjettpostene nedenfor.

Svanhovd - prioritet 1

- Etablering: 71
- Årlig drift: 274

Finse eller annen stasjon i Sør-Norge – prioritet 2

- Etablering: 143
- Årlig drift: 323

### 5.2.2 Beregning av ozonopptak og eventuelle overskridelser av kritiske nivåer

#### A. Vegetasjonseksposering (POD) på ozonstasjonene

Legge inn budsjett for ECWF-dataekstraksjon, uthenting av parametere (T, vind, osv), skaffe jorddata, lage inputfiler, kjøre DO<sub>3</sub>SE, lage og presentere resultatfiler.

- Etablering av metodikk 360
- Årlig drift 180

#### B. Beregning av POD-felter for hele landet basert på CAMS-EMEP-3DV

- Etablering av metodikk: 615
- Årlig drift: 230

### 5.2.3 Feltstudier

#### A. Effekt på vegetasjon i åpen-topp-kamre - prioritet 1

- Første år: bygge og teste åpen-topp-kamre: 400
- Gjennomføring av eksperiment: 300

**B. Effekt på en type landbruksvekst; hagebønne - prioritet 2**

- Gjennomføring av eksperiment 200

## 6 Konklusjoner

Vi anser at miljødirektoratets aktive overvåking av elver og innsjøer gir et dataomfang som er tilstrekkelig til å oppfylle kravene i NEC-direktivet. Ved eventuell implementering av direktivet vil det derfor ikke være påkrevd å utvide eller starte ny overvåking i vann.

For overgjødsling av skog, skogsjord og terrestrisk natur er det behov for oppgraderinger av overvåkingsnettverket.

I forhold til ozonskader i vegetasjon er det behov for oppgraderinger av dagens overvåkingsnettverk. For oppgraderinger av dagens overvåkingsnettverk vil det påløpe kostnader for opprettelse av nye overvåkingsstasjoner og kostnader til oppgraderinger av dagens overvåkingsnettverk.

## 7 Referanser

Aas, W., Fiebig, M., Solberg, S., Yttri, K.E., 2019. Monitoring of long-range transported air pollutants in Norway, annual report 2018 . NILU-rapport 8/2019. Oslo.

Achermann, B. og Bobbink, R. (eds.), 2003. Empirical critical loads for nitrogen. Swiss Agency for Environment, Forest and Landscape SAEFL, Berne, Environmental Documentation No. 164 Air, s. 43-170.

Austnes, K., Lund, E., Sample, E., Aarrestad P.E., Bakkestuen, V. og Aas, W. 2018. Overskridelser av tålegrenser for forsuring og nitrogen for Norge. Overskridelser av tålegrenser for forsuring og nitrogen for Norge. Oppdatering med perioden 2012-2016. M-966, 26 s.

Bakkestuen, V., Aarrestad, P.A., Stabbetorp, O.E., Erikstad, L. & Eilertsen, O. 2010. Vegetation composition, gradients and environment relationships of birch forest in six reference areas in Norway. – Sommerfeltia 33: 237 pp.

Bassin S, Volk M, Fuhrer J, 2007. Factors affecting the ozone sensitivity of temperate European grasslands: An overview. Environmental Pollution 146: 678-691.

Bassin S, Volk M, Fuhrer J, 2013. Species composition of subalpine grassland is sensitive to nitrogen deposition, but not to ozone, after seven years of treatment. Ecosystems 16: 1105-1117.

Bergmann E, Bender J, Weigel HJ, 2017. Impact of tropospheric ozone on terrestrial biodiversity: A literature analysis to identify ozone sensitive taxa. Journal of Applied Botany and Food Quality 90: 83-105.

Bobbink, R. og Hettelingh, J.P. (eds.), 2011. Review and revision of empirical critical loads and dose-response relationships. Coordination Centre for Effects, National Institute for Public Health and the Environment (RIVM), 244 s. [www.rivm.nl/cce](http://www.rivm.nl/cce)

Braun S, Schindler C, Rihm B, 2014. Growth losses in Swiss forests caused by ozone: Epidemiological data analysis of stem increment of *Fagus sylvatica* L. and *Picea abies* Karst. Environmental Pollution 192: 129-138.

Bruteig, I. og Aarrestad, P., 2004. Utvikling av nye nitrogentålegrensekart for naturtyper - eit forprosjekt. Norsk institutt for naturforskning, Minirapport no. 50, 18 s.

Bueker, P.; Feng, Z.; Uddling, J.; Briolat, A.; Alonso, R.; Braun, S.; Elvira, S.; Gerosa, G.; Karlsson, P. E.; Le Thiec, D.; Marzuoli, R.; Mills, G.; Oksanen, E.; Wieser, G.; Wilkinson, M. & Emberson, L. D. New flux based dose-response relationships for ozone for European forest tree species *Environmental Pollution*, 2015, 206, 163-174

CLRTAP, 2004. Manual on Methodologies and Criteria for Modelling and Mapping Critical Loads and Levels and Air Pollution Effects, Risks and Trends. Umweltbundesamt, Berlin, med oppdateringer på [http://www.icpmapping.org/Latest update Mapping Manual](http://www.icpmapping.org/Latest_update_Mapping_Manual)

Danielsson H, Karlsson PE, Pleijel H, 2013. An ozone response relationship for four *Phleum pratense* genotypes based on modelling of the phytotoxic ozone dose (POD). *Environmental and experimental botany* 90: 70-77.

EU (2008) Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe. *Off. J. Eur. Com.*, L 141, 11/06/2008, 1-44.

De Wit, H.A., R. M. Couture, L. Jackson-Blake, M. N. Futter, S. Valinia, K. Austnes, J. L. Guerrero, Y. Lin. (2018). Pipes or chimneys? For carbon cycling in small boreal lakes, precipitation matters most. *Limnology and Oceanography Letters* 3 (3), 275-284.

Diekmann, M. 2003. Species indicator values as an important tool in applied plant ecology - a review. *Basic and Applied Ecology* 4: 493-506, doi:10.1078/1439-1791-00185.

Ellenberg H. 1974. Zeigerwerte der Gefässpflanzen Mitteleuropas. *Scripta Geobotanica*. Göttingen. Vol. 9. 197 p.

Ellenberg, H., Weber, H. E., mfl. 1991. Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. *Scripta Geobotanica*, 18(1-248).

EMEP MSC-W, Transboundary particulate matter, photo-oxidants, acidifying and eutrophying components. EMEP Status Report 1/2019, The Norwegian Meteorological Institute, Oslo, Norway, 2019 (available from [www.emep.int](http://www.emep.int)).

Emberson, L.; Ashmore, M.; Simpson, D.; Tuovinen, J.-P. & Cambridge, H. Modelling and mapping ozone deposition in Europe *Water, Air and Soil Pollution*, 2001, 130, 577-582

Evju, M. & Nybø, S. (red.), Framstad, E., Lyngstad, A., Sickel, H., Sverdrup-Thygeson, A., Vandvik, V., Velle, L. G. & Aarrestad, P.A. 2018. Arealrepresentativ overvåking av terrestriske naturtyper. Indikatorer for økologisk tilstand. NINA Rapport 1478. Norsk institutt for naturforskning

Ewald, J. 2003. The sensitivity of Ellenberg indicator values to the completeness of vegetation relevés. *Basic and Applied Ecology* 4: 507-513.

Framstad, E. (red.) 2017. Terrestrisk naturovervåking i 2016: Markvegetasjon, epifytter, små-gnagere og fugl. Sammenfatning av resultater. – NINA Rapport 1376. 122 s.

Hill, M.O., Mountford, J.O. et al. 1999a. Ellenberg's indicator values for British plants. ECOFACT Volume 2 technical annex. Institute of Terrestrial Ecology. Huntingdon

Hill, M.O., Mountford, J.O., Roy, D.B. & Bunce, R.G.H. 1999b. Ellenberg's Indicator Values for British Plants. Grange-over-Sands: Technical Annex, Institute of Terrestrial Ecology. 46 pp.



Hill M.O., Preston C.D., Bosanquet S.D.S., & Roy D.B. 2007. BRYOATT: Attributes of British and Irish mosses, liverworts and hornworts.-NERC Centre for Ecology and Hydrology, Huntington, UK.  
Løbersli, E. 1989. Terrestrisk naturovervåking i Norge. – DN-rapport 1989,8: 1-98.

ICP Vegetation Protocol 2018:

[https://icpvegetation.ceh.ac.uk/sites/default/files/ICPVegetation\\_OzoneGardensandAppprotocol\\_2018\\_Final.pdf](https://icpvegetation.ceh.ac.uk/sites/default/files/ICPVegetation_OzoneGardensandAppprotocol_2018_Final.pdf)

ICP Vegetation Thematic reports, 2016a. Field evidence of ozone impacts on vegetation in ambient air (2007-2015).

ICP Vegetation Thematic reports, 2016b. Impacts of ozon pollution on biodiversity.

ICP Vegetation Thematic reports, 2017. Flux-based critical levels of ozone pollution for vegetation. Overview of new developments, 2017.

Johansen, B.E., 2009. Vegetasjonskart for Norge basert på Landsat TM/ETM+ data. Northern Research Institute, Norut-rapport 4/2009, 87 s.

Karlsson PE, Örlander G, Langvall O, Uddling J, Hjort U, Wiklander K, Areskoug B, Grennfelt P, 2006. Negative impact of ozone on the stem basal area increment of mature Norway spruce in south Sweden. *Forest ecology and management* 232: 146-151.

Karlsson PE, Pleijel H, Belhaj M, Danielsson H, Dahlin B, Andersson M, Hansson M, Munthe J, Grennfelt P, 2005. Economic assessment of the negative impacts of ozone on crop yields and forest production. A case study of the estate Östads Säteri in Southwestern Sweden. *AMBIO* 34: 32-40.

Leung, W., Alpfjord Wylde, H. og Andersson, C., 2019. Nationell miljöövervakning med MATCH Sverigesystemet – utvärdering och resultat för åren 2015-2017, SMHI-rapport Nr 2019/12.

Manninen S, Huttunen S, Tømmervik H, Hole LR, Solberg S, 2009. Northern plants and ozone.

Marelle L, Thomas JL, Raut J-C, m. fl., 2016. Air quality and radiative impacts of Arctic shipping emissions in the summertime in northern Norway: from the local to the regional scale. *Atmospheric chemistry and physics* 16: 2359-2379.

Mills G, Pleijel H, Braun S, Büker P, Bermejo V, Calvo E, Danielsson H, Emberson L, González Fernández I, Grünhage L, Harmens H, Hayes F, Karlsson PE, Simpson D, 2011a. New stomatal flux-based critical levels for ozone effects on vegetation. *Atmospheric environment* 45: 5064-5068.

Mills G, Hayes F, Simpson D, Emberson L, Norris D, Harmens H, Büker P, 2011b. Evidence of widespread effects of ozone on crops and (semi-)natural vegetation in Europe (1990-2006) in relation to AOT40- and flux-based risk maps. *Global change biology* 17: 592-613.

Mills G, Sharps K, Simpson D, Pleijel H, Frei M, Burkey K, Emberson L, Uddling J, Broberg M, Feng Z, Kobayashi K, Agrawal M, 2018. Closing the global ozone yield gap: Quantification and cobenefits for multistress tolerance. *Global change biology* 24: 5869-5893.

Naturvårdsverket (2016). Förslag till ny förordning om luftvårdsprogram och utsläpp till luft. Genomförande av Europaparlamentets och rådets direktiv (EU) 2016/2284 om minskning av nationella utsläpp av vissa luftföroreningar. Naturvårdsverket Skrivelse NV-03873-17. Förslag till ny förordning om luftvårdsprogram och utsläpp till luft

- Nybø, S. & Evju, M. 2017. Fagsystem for fastsetting av økologisk tilstand. Forslag fra et ekspertråd. Ekspertråd for økologisk tilstand, Trondheim. s 1-247.
- Nybø, S., Evju, M., Framstad, E., Lyngstad, A., Pedersen, C., Sickel, H., Sverdrup-Thygeson, A., Töpper, J., Vandvik, V., Velle, L.G. & Aarrestad, P.A. 2018. Operasjonalisering av fagsystem for økologisk tilstand for terrestriske økosystemer. Forslag til referanse- og grenseverdier for indikatorer som er klare eller nesten klare til bruk. NINA Rapport 1536. Norsk institutt for naturforskning.
- Ogner, G., Wickstrøm, T., Remedios, G., Gjelsvik, S., Hensel, G.R., Jacobsen, J.E., Olsen, M., Skretting, E. & Sørli, B. 1999. The chemical analysis program of the Norwegian Forest Research Institute 2000. Ås.
- Payne RJ, Stevens CJ, Dise NB, Gowing DJ, Pilkinton MG, Phoenix GK, Emmett BA, Ashmore MR, 2011. Impacts of atmospheric pollution on the plant communities of British acid grasslands. *Environmental Pollution* 159: 2602-2608.
- Piikki K, Sellén G, Pleijel H, 2004. The impact of tropospheric O<sub>3</sub> on leaf number duration and tuber yield of the potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars Binthe and Kardal. *Agriculture, ecosystems and environment* 104: 483-492.
- Pleijel, H.; Danielsson, H.; Emberson, L.; Ashmore, M. & Mills, G. Ozone risk assessment for agricultural crops in Europe: Further development of stomatal flux and flux-response relationships for European wheat and potato *Atmos. Environ.*, 2007, 41, 3022-3040
- Strand, L. T., Callesen, I., Dalsgaard, L., & de Wit, H. A. (2016). Carbon and nitrogen stocks in Norwegian forest soils - the importance of soil formation, climate, and vegetation type for organic matter accumulation. *Canadian Journal of Forest Research*, 46(12), 1459-1473. DOI: 10.1139/cjfr-2015-0467
- Strand, G.H. & Bentzen, F. 2017. Arealrepresentativ overvåking av norske verneområder. NIBIO Rapport 3(8). Norsk institutt for bioøkonomi.
- Timmermann, V., Andreassen, K., Brurberg, M.B., Børja, I., Clarke, N., Flø, D., Jepsen, J.U., Kvamme, T., Nordbakken, J.-F., Nygaard, P.H., Pettersson, M., Solberg, S., Solheim, H., Talgø, V., Vindstad, O.P.L., Wollebæk, G., Økland, B., Aas, W. (2019). Skogens helsetilstand i Norge. Resultater fra skogskadeovervåkingen i 2018. NIBIO Rapport 5(98): 81 pp.
- Tingstad, L., Evju, M., Sickel, H. og Töpper, J. 2019. Utvikling av nasjonal arealrepresentativ naturovervåking (ANO). Forslag til gjennomføring, protokoller og kostnadsvurderinger med utgangspunkt i erfaringer fra uttesting i Trøndelag. NINA Rapport 1642. Norsk institutt for naturforskning.
- Töpper, J., Velle, L.G. & Vandvik, V. 2018. Utvikling av metodikk for økologisk tilstandsvurdering basert på indikatorverdier etter Ellenberg og Grime. NINA Rapport 1529. Norsk institutt for naturforskning.
- UNECE (United Nations Economic Commission for Europe) ICP Forests Programme Co-ordinating Centre (ed.) 2016. Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. Thünen Institute of Forest Ecosystems, Eberswalde. ISBN: 978-3-86576-162-0. Revised 2016. <http://icp-forests.net/page/icp-forests-manual>.
- Vainonen JP, Kangasjärvi J, 2015. Plant signalling in acute ozone exposure. *Plant, cell and environment* 38: 240-252.
- Volk M, Wolff V, Bassin S, Ammann C, Fuhrer J, 2014. High tolerance of subalpine grassland to long-term ozone exposure is independent of N input and climatic drivers. *Environmental Pollution* 189: 161-168.

Vollsnes AV, Eriksen AB, Otterholt E, Kvaal K, Oxaal U, Futsaether CM, 2009. Visible foliar injury and infrared imaging show that daylength affects short-term recovery after ozone stress in *Trifolium subterraneum*. *Journal of experimental botany* 60: 3677-3686.

Wirth, V. 1991. Zeigerwerte von Flechten. *Scripta Geobotanica*, 8, 215-237.

Økland, T. 1996. Vegetation-environment relationships of boreal spruce forest in ten monitoring reference areas in Norway. *Sommerfeltia* 22: 1-349.

## Vedlegg A.

### Artikkel 9 og 10 i NECD

**DIRECTIVE (EU) 2016/2284 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 14 December 2016 on the reduction of national emissions of certain atmospheric pollutants, amending Directive 2003/35/EC and repealing Directive 2001/81/EC**

**Article 9**

**Monitoring air pollution impacts**

1. Member States shall ensure the monitoring of negative impacts of air pollution upon ecosystems based on a network of monitoring sites that is representative of their freshwater, natural and semi-natural habitats and forest ecosystem types, taking a cost-effective and risk-based approach.

To that end, Member States shall coordinate with other monitoring programmes established pursuant to Union legislation including Directive 2008/50/EC, Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council (1) and Council Directive 92/43/EEC (2) and, if appropriate, the LRTAP Convention and, where appropriate, make use of data collected under those programmes. In order to comply with the requirements of this Article, Member States may use the optional monitoring indicators listed in Annex V.

2. The methodologies laid down in the LRTAP Convention and its Manuals for the International Cooperative Programmes may be used when collecting and reporting the information listed in Annex V.

**Article 10**

**Reporting by Member States**

4. Member States shall report the following information referred to in Article 9 to the Commission and the European Environment Agency:
  - (a) by 1 July 2018 and every four years thereafter, the location of the monitoring sites and the associated indicators used for monitoring air pollution impacts; and
  - (b) by 1 July 2019 and every four years thereafter, the monitoring data referred to in Article 9.

### Vedlegg 5 i NECD

**ANNEX V****OPTIONAL INDICATORS FOR MONITORING AIR POLLUTION IMPACTS REFERRED TO IN ARTICLE 9**

- (a) for freshwater ecosystems: establishing the extent of biological damage, including sensitive receptors (microphytes, macrophytes and diatoms), and loss of fish stock or invertebrates:
- the key indicator acid neutralising capacity (ANC) and the supporting indicators acidity (pH), dissolved sulphate (SO<sub>4</sub>), nitrate (NO<sub>3</sub>) and dissolved organic carbon:
- frequency of sampling: from yearly (in lake autumn turnover) to monthly (streams).
- (b) for terrestrial ecosystems: assessing the soil acidity, soil nutrients loss, nitrogen status and balance as well as biodiversity loss:
- (i) the key indicator soil acidity: exchangeable fractions of base cations (base saturation) and exchangeable aluminium in soils:  
frequency of sampling: every 10 years;  
supporting indicators: pH, sulphate, nitrate, base cations, aluminium concentrations in soil solution:  
frequency of sampling: every year (where relevant);
- (ii) the key indicator soil nitrate leaching (NO<sub>3</sub>,leach):  
frequency of sampling: every year;
- (iii) the key indicator carbon-nitrogen ratio (C/N) and the supporting indicator of total nitrogen in soil (N<sub>tot</sub>):  
frequency of sampling: every 10 years;
- (iv) the key indicator nutrient balance in foliage (N/P,N/K, N/Mg):  
frequency of sampling: every four years.
- (c) for terrestrial ecosystems: assessing ozone damage to vegetation growth and biodiversity:
- (i) the key indicator vegetation growth and foliar damage and the supporting indicator carbon flux (Cflux):  
frequency of sampling: every year;
- (ii) the key indicator exceedance of flux-based critical levels:  
frequency of sampling: every year during the growing season.

## 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 samfunnsniv.



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)