

NILU : OR 12/96
REFERANSE : O-94074
DATO : MARS 1996
ISBN : 82-425-0746-5

Kartlegging av bakkenær ozon etter tålegrenser basert på akkumulert dose over 40 ppb

Kjetil Tørseth, Leiv Mortensen og
Anne-Gunn Hjellbrekke



Miljøverndepartementet
Fagrapport 79

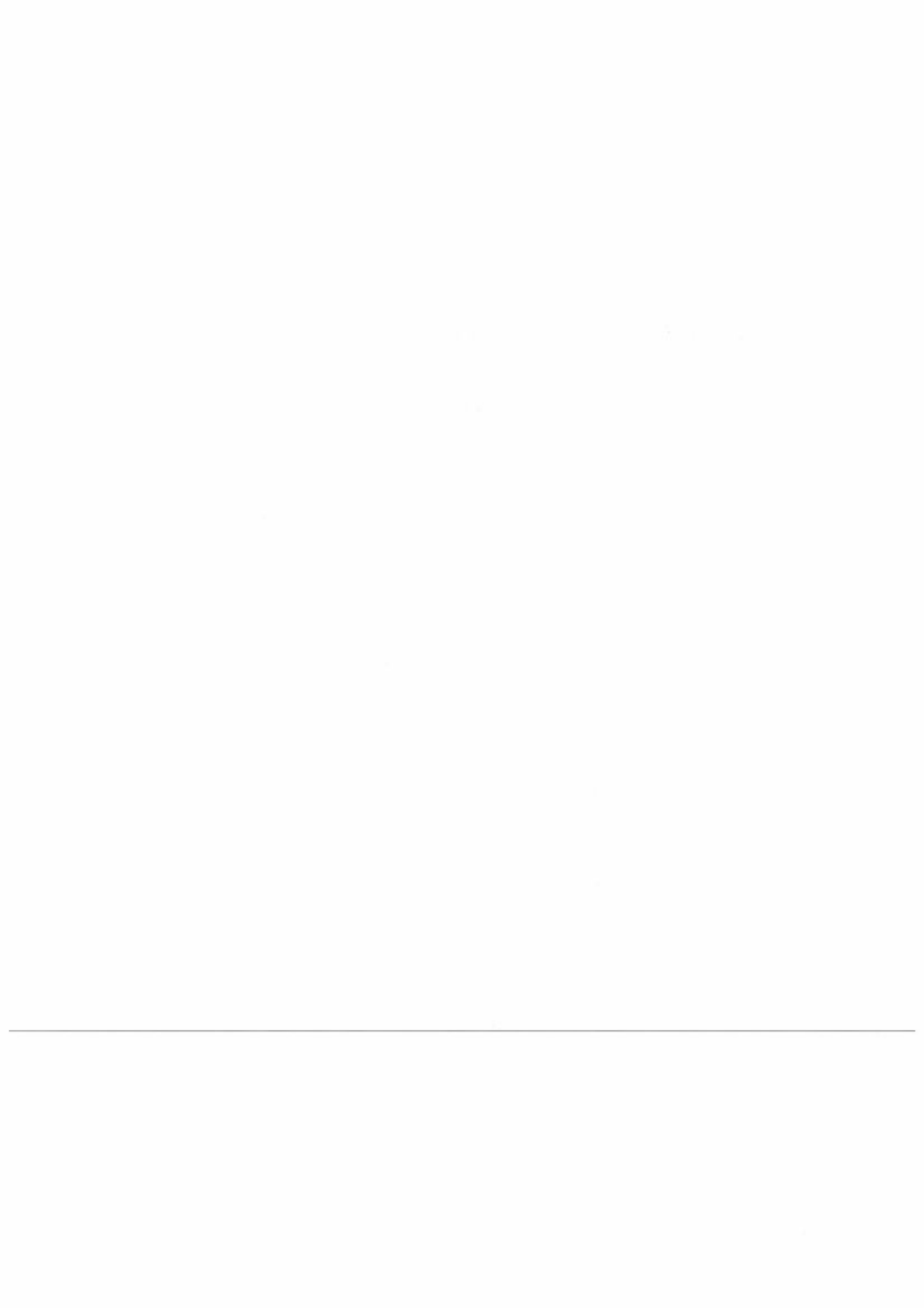
NILU : OR 12/96
REFERANSE : O-94074
DATO : MARS 1996
ISBN : 82-425-0746-5

Kartlegging av bakkenær ozon etter tålegrenser basert på akkumulert dose over 40 ppb

Kjetil Tørseth*, Leiv Mortensen og Anne-Gunn Hjellbrekke***

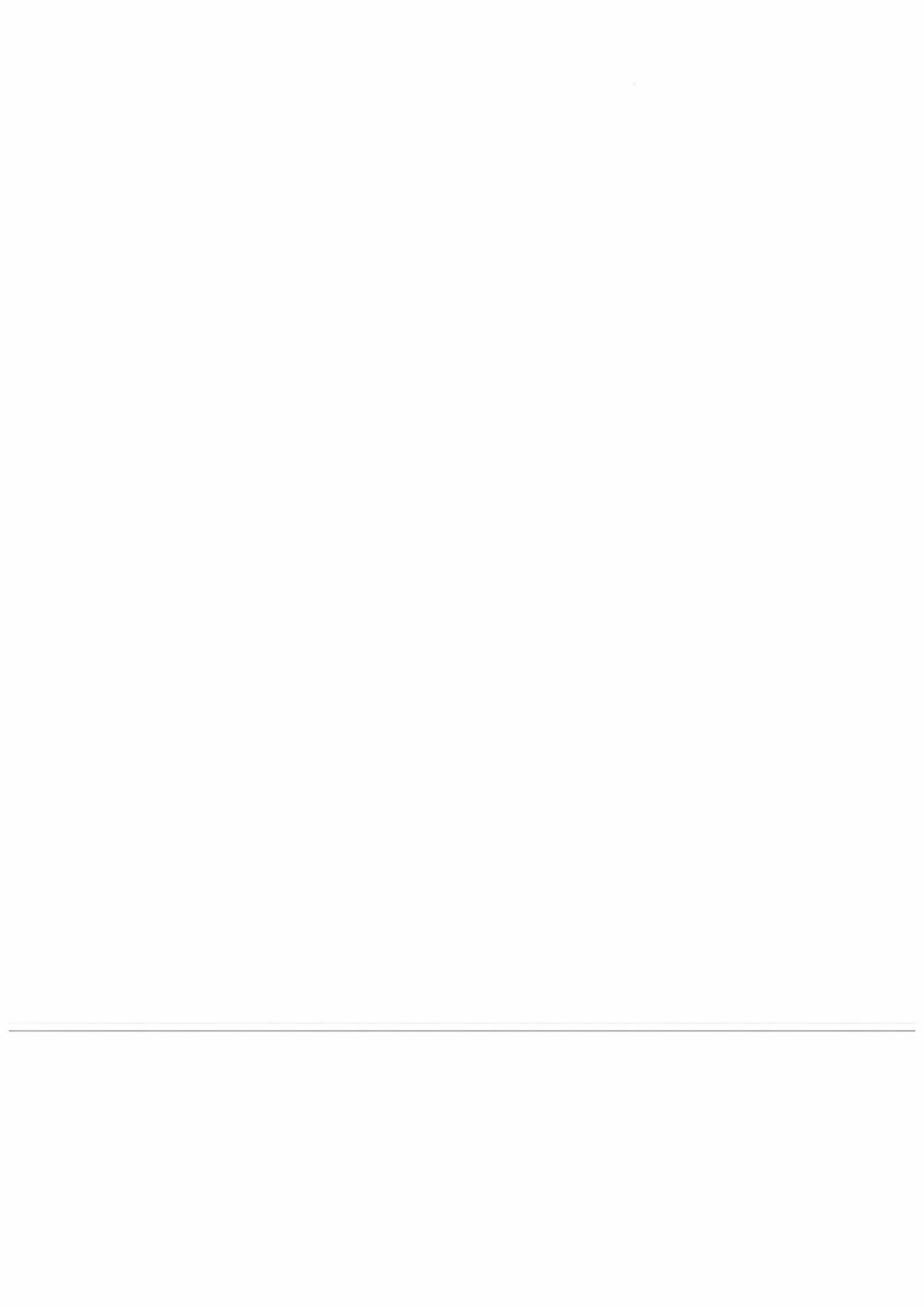
* Norsk institutt for luftforskning, Postboks 100, N-2007 Kjeller

** Planteforsk, Særheim forskningscenter, N-4062 Klepp stasjon/Institutt for
plantefag, Norges landbrukshøgskole, 1432 Ås.



Innhold

	Side
Sammendrag	5
Abstract	7
1. Innledning	9
2. Tålegrenser for ozon og effekter på vegetasjon	10
3. Bruk av målinger for beregning av eksponeringsdoser av ozon	13
4. Metodikk	15
5. Resultater	17
6. Diskusjon	31
7. Referanser	33
Vedlegg A Naturens Tålegrenser – Oversikt over utgitte rapporter	37

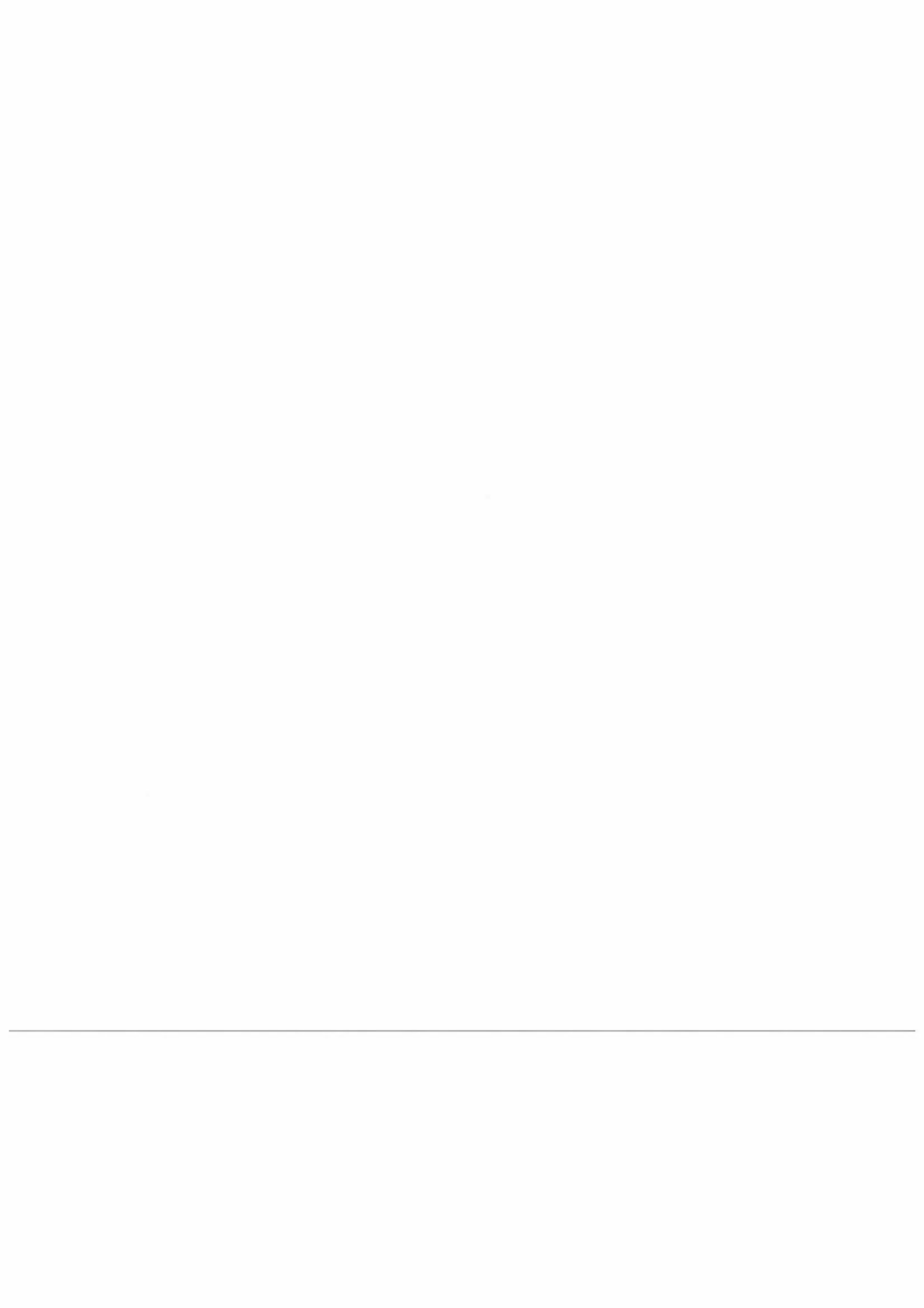


Sammendrag

På grunnlag av måledata fra de norske overvåkingsstasjonene er det beregnet akkumulerte eksponeringsdoser av bakkenær ozon. Kartleggingen er basert på de anbefalinger som ble gitt av et UN-ECE-arbeidsmøte i Bern, 1993 (UN-ECE, 1994). Det er også vurdert hvordan tålegrensekriteriene kan tilpasses nordiske forhold, og det er kartlagt eksponeringsdoser for ulike vegetasjonstyper i Norden.

Resultatene viser at de høyeste eksponeringsdosene forekommer i Sør-Norge, og at det er stor variasjon i dosen fra år til år. Valg av vekstsesong (og særlig starten av denne) har stor betydning for beregnet dose, da ozonkonsentrasjonene er høyest om våren og forsommeren. På grunn av senere start på vekstsesongen i Skandinavia i forhold til resten av Europa er de anbefalte tålegrensekriteriene dårlig egnet til å beskrive overskridelser i Norge. Tilpasning av tålegrensene til nordiske forhold ved å benytte mer relevante vekstperioder reduserer eksponeringsdosene betraktelig. Til tross for dette kan eksponeringsdosene overskride de anbefalte tålegrenseverdier for vegetasjon i Sør-Norge.

Beregning av akkumulerte eksponeringsdoser av ozon basert på AOT40-prinsippet stiller store krav til målestasjonenes representativitet, målenettets tetthet og datadekning. Regionale eksponeringsdoser for ulike typer markslag kan ikke bestemmes eksakt på grunnlag av de målinger av ozon som i dag utføres. Målingene vil likevel gi indikasjoner på regional fordeling, typiske eksponeringsdoser og vise områder der ulike tålegrensekriterier overskrides.

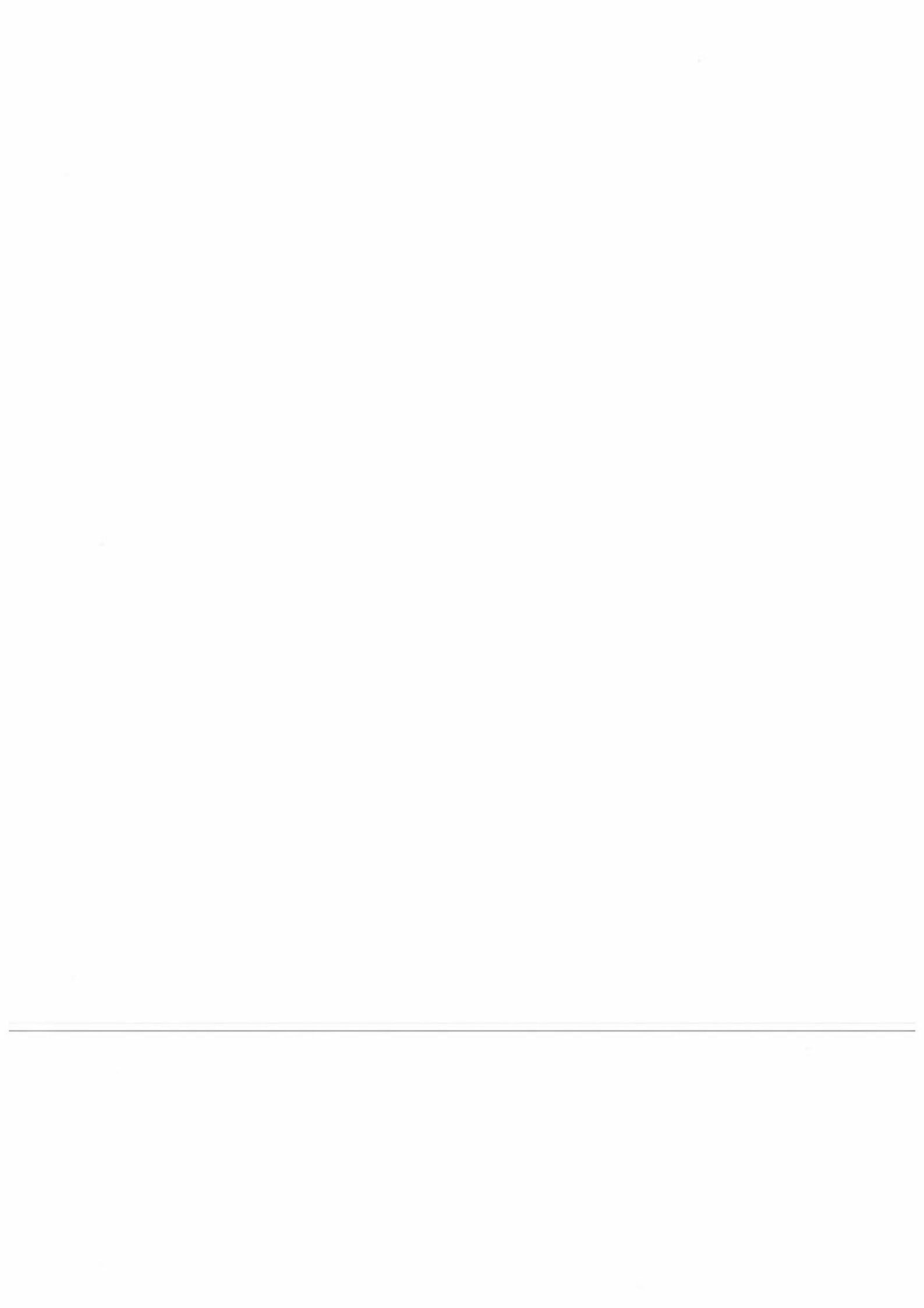


Abstract

Based on the Norwegian ozone monitoring data, critical levels expressed as accumulated exposure over the threshold concentration of 40 ppb (referred to as AOT40) have been calculated. Calculations were made in accordance with the recommendations made by a UN-ECE workshop in Bern, 1993 (UN-ECE, 1994). The relevance of these criteria for Nordic conditions has also been discussed, and critical levels for ozone have been mapped according to various criteria.

The results show that ozone exposure in terms of AOT40 varies significantly from year to year. The ozone exposure is of highest magnitude in the southern parts of the country. The definition of growing season, and in particular the start of the growing season, determines the magnitude of the accumulated exposure, since the highest ozone concentrations are normally measured during spring and early-summer. In the Nordic countries, the growing seasons start later compared to the rest of Europe. Therefore, the recommended UN-ECE critical level criteria will overestimate the exposure. When these criteria are adjusted for Nordic conditions, the calculated exposures are considerably reduced. However, in southern parts of Norway, the accumulated exposure of ozone may still exceed the critical levels both for protection of agricultural crops and forest trees.

Mapping exceedance of critical levels for ozone based on the accumulated exposure concept requires a relatively dense network of representative monitoring sites. On basis of the existing network, regional exposures can not be described in detail. However, the measurements will indicate regional patterns, typical exposure levels and regions where critical levels of ozone may be exceeded.



Kartlegging av bakkenær ozon etter tålegrenser basert på akkumulert dose over 40 ppb

1. Innledning

I løpet av de siste 15 år er det vist at landbruksvekster og skog utsettes for ozonbelastninger som kan gi negative effekter. For å redusere effektene av ozon er det gjennom UN-ECE startet arbeid for å redusere utslipp av nitrogenoksider (NO_x) og flyktige organiske forbindelser (VOC), siden det er disse primære utslipp som etter reaksjoner i atmosfæren bestemmer ozonkonsentrasjonen. Forhandlingene er basert på prinsippet om naturens tålegrenser (critical levels/loads). Naturens tålegrenser er definert som et kvantitativt mål på den største eksponering av en eller flere forurensningskomponenter som ikke gir negative effekter på spesifiserte sensitive elementer i miljøet i hht. dagens kunnskap (UN-ECE, 1988). Det har vært arrangert to arbeidsmøter, i Egham i 1992 og i Bern i 1993, med sikte på å definere tålegrenser for bakkenær ozon. Dette har resultert i følgende anbefalinger (UN-ECE, 1994):

- Tålegrenser for ozon skal baseres på konseptet om akkumulerte eksponeringsdoser, beregnet som summen av differansen mellom timemiddelkonsentrasjonen og 40 ppb ($80 \mu\text{g}/\text{m}^3$) for hver time der ozonkonsentrasjonen overskrider 40 ppb. Beregningsmåten som refereres som AOT40 (accumulated exposure over a threshold of 40 ppb) ble først foreslått ved Egham-møtet og har siden vist å gi gode statistiske sammenhenger for en rekke dose-respons-forsøk.
- For landbruksvekster skal AOT40-verdier beregnes for en vekstsesong på tre måneder og kun for timer med dagslys. Dose-responsforsøk har vist en lineær sammenheng mellom AOT40 og redusert avling. Tålegrensen basert på 10 prosent avlingsreduksjon for hvete ble satt til 5300 ppb t (eller 5,3 ppm t), men tålegrenser kan defineres for ulike avlingsreduksjoner. Dose-respons funksjon for landbruksvekster (basert på hvete) er vist i tabell 1.

Tabell 1: Sammenheng mellom relativ avlingsreduksjon og AOT40.

Relativ avlingsreduksjon (%)	AOT40 (ppb t)
5	2600
10	5300
15	7900
20	10500

- En korttidstålegrense for utvikling av synlige skader på landbruksvekster ble midlertidig definert som $\text{AOT40} = 700 \text{ ppb t}$ i løpet av tre etterfølgende dager, hvor kun timer med dagslys tas med i beregningen.

- For skog skal AOT40-verdier beregnes for den seksmåneders-periode der skogen er mest sensitiv (definert som 1. april til 1. oktober), og alle døgnets timer tas med. Tålegrensen ble satt lik 10 000 ppb t basert på 10 prosent vekstreduksjon i "åpen-topp kammer" eksperiment for seks arter. På grunn av varierende resultater mellom ulike forsøk må denne tålegrensen oppfattes som foreløpig inntil mer data blir tilgjengelig.

For naturlige og seminaturlige plantesamfunn ble det på grunn av manglende dose-responsdata ikke definert noen egen tålegrense. Inntil videre ble det anbefalt at tålegrensen for landbruksvekster skulle benyttes.

I denne rapporten kartlegges bakkenær ozon etter de anbefalte tålegrensekriteriene for de lokalitetene der NILU har foretatt målinger. Resultater er beregnet for perioden 1989-1993 og er fremstilt på kart. I forbindelse med at NILU deltar i et nordisk samarbeidsprosjekt om tilsvarende kartlegging for de skandinaviske land er det tatt hensyn til de betraktninger som er gjort i dette prosjektet (Lövsblad et al., 1995). Det er også drøftet hvilken innvirkning beregningsmåte og representativitet av målestasjonene har for beskrivelse av eksponeringsdoser, og hvordan de anbefalte tålegrensekriterier kan tilpasses nordiske forhold.

2. Tålegrenser for ozon og effekter på vegetasjon

Ozon er en sterk oksidant i atmosfæren. Opptaket av ozon skjer gjennom plantenes spalteåpninger, og kan medføre skade på plantevev og forstyrre anatomiske, biokjemiske og fysiologiske funksjoner hos planter og trær. Eksponeringsforsøk på ulike vekster har bl.a. vist redusert fotosyntese og vekst, fremskyndet aldring, redusert toleranse for frost, tørke og soppangrep og ulike endringer i fysiologiske/biokjemiske egenskaper.

Tidligere tålegrenser for beskyttelse av plantevekst har vært hhv. timemiddel over 75 ppb, 8-timers middelerverdi over 30 ppb og 7-timers middelerverdi (09-16) i vekstsesongen på 25 ppb (UN-ECE, 1988). Disse luftkvalitetskriteriene blir i Norge overskredet årlig, men det er tilsynelatende ingen klar sammenheng mellom eksponering og effekter. AOT40-prinsippet gir en bedret mulighet for å studere den regionale eksponeringen for å kunne relatere eksponeringen til mulige effekter.

Det er store forskjeller i ozonfølsomhet mellom ulike plantearter. Blant de ca. 50 artene som er undersøkt i Norge (Mortensen, 1992; Mortensen & Nilsen, 1992; Mortensen, 1993, 1994a, 1994b), kan bjørk, timotei og kløver karakteriseres som svært ozonfølsomme. Svært mange av fjellplantene som er blitt undersøkt, synes å være svært tolerante overfor ozon. Dose-respons-kurver for ozoneffekter på plantevekst og avling fins tilgjengelig kun for ganske få arter per dags dato. Hvete er blitt mest grundig undersøkt (Fuhrer, 1994) og følgende ligning beskriver forholdet mellom AOT40-dose ($x = \text{AOT40}$ angitt i ppm t) og relativ avling (y):

$$y = 100 - 1,8x \quad (1)$$

For dyrka eng hvor timotei og kløver inngår som viktige grasarter angis, basert på norske forsøk, følgende funksjon (Mortensen, 1995):

$$y = 100 - 1,5x \quad (2)$$

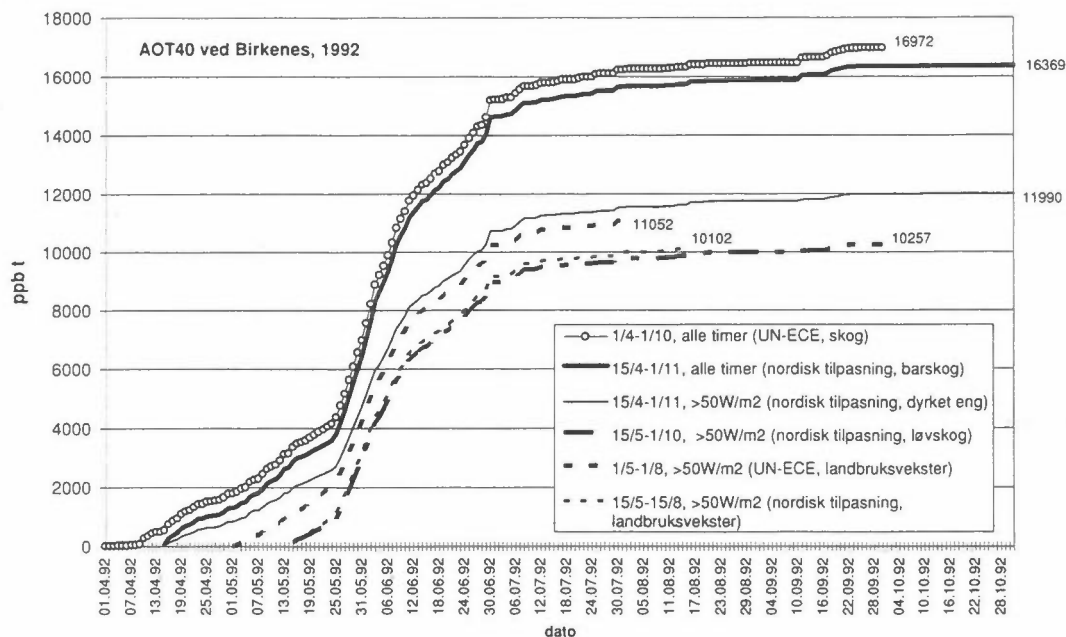
Bjørk synes å være det mest følsomme treslaget som er blitt undersøkt, og er atskillig mer følsom for ozon enn bartrær (Mortensen, 1994b). På basis av en rekke undersøkelser foreslås følgende funksjon for biomasseproduksjon hos vanlig bjørk (*Betula pubescens*):

$$y = 100 - 1,4x \quad (3)$$

Dette betyr at 5,3 ppm t for hvete, 6,7 ppm t for eng og 7,1 ppm t for bjørk gir en avlings- eller tilvekstreduksjon på 10%. En har valgt 10% avlingsreduksjon som den minste statistisk sikre reduksjonen. Dette betyr at avlingsreduksjon <10% settes lik null og at AOT40-verdien som gir 10% avlingsreduksjon faktisk blir betraktet som tålegrense, slik det anbefales av UN-ECE. Det er også lite sannsynlig at AOT40 verdier på 0-2 ppm t påvirker avlingen. Dette betyr at dose-respons ligningen ikke kan regnes lineær ved så lave verdier.

Den skadelige effekten av en gitt ozondose synes å være påvirket av ulike klimafaktorer som temperatur, lys og luftfuktighet samt av fuktighetsforholdene i jordsmonnet. Dette i tillegg til variasjon i ozonfølsomheten mellom sorter/provenienser innen en art gjør det vanskelig å etablere pålitelige skadefunksjoner. Til tross for den store usikkerheten vil likevel de foreslåtte skadefunksjonene gi visse indikasjoner på hvor skadegrensene ligger, mellom 5 og 10 ppm t for de mest følsomme planteslagene/vegetasjonstypene.

Tidspunktet for starten av vekstsesongen for det aktuelle planteslaget er av avgjørende betydning for om ozondosen blir høy nok til å gi skade i Norge (dvs. minst 10% avlingsreduksjon). Siden april-juni generelt er de månedene som har de høyeste AOT40-verdiene (normalt over 50% av den totale dosen gjennom vekstsesongen), vil tidlig vekststart føre til at plantene blir utsatt for høyere doser. På grunn av dette er grasproduksjonen i lavlandet i Sør-Norge mest utsatt (vekststart 15.–25. april). Bjørkeskogen blir mindre utsatt (knoppsprett 1.–15. mai), og kornvekstene (spiring 10.–20. mai) blir enda mindre eksponert av ozon. Potet som kan være til dels svært ozonfølsom (store forskjeller mellom ulike sorter), kommer ikke i vekst før ca. 1. juni og blir derfor eksponert for en relativt lav AOT40-dose gjennom vekstsesongen. Generelt vil også vegetasjonen i fjellet i Sør-Norge være beskyttet mot de høye ozondosene på grunn av sen vekststart (juni). I figur 1 er vist akkumulerte eksponeringsdoser beregnet for ulike vekstsesonger ved Birkenes i 1992 som var et år med spesielt høy ozondose.



Figur 1: Eksponeringsdoser av ozon ved Birkenes i 1992 beregnet for ulike vekstsesonger.

Anbefalingen fra UN-ECE (1994) var at ozonkonsentrasjoner skulle kartlegges etter de foreløpige anbefalingene. Samtidig ble det anbefalt at det skulle frem-skaffes mer informasjon om sammenhengene mellom dose og respons for ulike vegetasjonstyper. Forslagene til tålegrenser må også endres slik at de best mulig kan tilpasses de ulike klimatiske forhold i Europa. Særlig viktig er dette for utkantområder av Europa (f.eks. Skandinavia og Middelhavsområdet). For å kunne klarlegge eksponeringsdoser i Norge og resten av Skandinavia foreslås det følgende tilpasninger til tålegrenseprinsippet basert på AOT40:

- For landbruksvekster er det valgt å se på tidspunkt fra spiring til modning av hvete som vekstsesong. Normalverdier for to uker etter såing til to uker før høsting i de ulike regionene er benyttet som en nordisk tilpasning av vekstsesong. Kun dagslystimer er tatt med i beregningene av AOT40.
- For dyrket eng har vi som en nordisk tilnærming definert vekstsesongen som de døgn da normal middeltemperatur er høyere enn 5°C. Kun dagslystimer er tatt med i beregningene av AOT40.
- For barskog er det benyttet samme vekstsesong som for dyrket eng, men her er alle døgnets timer tatt med i beregningene.
- For løvskog er vekstsesongen definert på grunnlag av normalverdier for når bjørk knopp-skyter og når løvet felles i de ulike regioner. Som for landbruksvekster og dyrket eng antas det at ozonopptaket er begrenset til dagslystimer siden spalteåpningene på løvtrær lukkes når lysintensiteten er lav.

I tabell 2 og tabell 3 (kap. 5) er vist de vekstsesonger som er benyttet ved beregning av eksponeringsdose for de enkelte regioner.

3. Bruk av målinger for beregning av eksponeringsdoser av ozon

Måling av bakkenær ozon utføres ved om lag 15 stasjoner i Norge og finansieres av Statens forurensningstilsyn gjennom et eget overvåkingsprogram under Statlig program for forurensningsovervåking (SFT, 1994).

Konsentrasjonsnivået av ozon i troposfæren påvirkes av fotokjemisk produksjon, transport fra stratosfæren, nedbrytning og avsetning ved bakken. Dette medfører at konsentrasjonene i stor grad varierer med breddegrad, tid på året og tid på døgnet. Maksimale timemiddelverdier ved norske målestasjoner overskrider sjelden 100 ppb, og normalt vil mindre enn 5% av timemiddelverdiene overskride 60 ppb (Pedersen og Lefohn, 1993). De høyeste timemiddelverdier måles ved stasjoner i Sør-Norge og maksimale timemiddelkonsentrasjoner avtar mot nord. I perioden 1981 til 1990 var maksimale timemiddelkonsentrasjoner ved stasjonene Birkenes, Haukenes og Valle hhv. 99, 115 og 86 ppb. Døgnvariasjonen i ozonkonsentrasjoner varierer også mellom de ulike stasjoner og regioner. For stasjoner i nord er variasjonen over døgnet liten (under 5 til 10 ppb) mens den øker mot sør (typisk 30–40 ppb i Sør-Norge). Døgnvariasjonen er størst for stasjoner som ligger i skog og minst for høyereliggende stasjoner og stasjoner nær sjøen. En mer detaljert beskrivelse av timemiddelkonsentrasjoner av bakkenær ozon i Norge er gitt av Pedersen og Lefohn (1993).

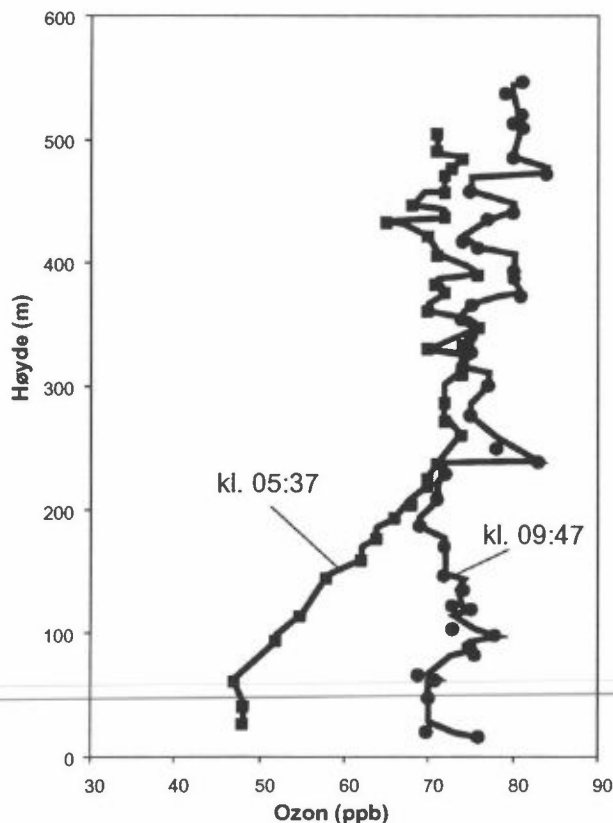
Konsentrasjoner over 60 ppb observeres i Norge normalt kun i forbindelse med regional dannelse og spredning av fotokjemisk dannet ozon og forløpere fra kilder i Europa (Schjoldager, 1984). De høyeste konsentrasjonene måles i vær-situasjoner med høytrykk over Østersjøen som dekker Nordøst-Europa og Sør-Skandinavia, med svake vinder, sterk innstråling og høy temperatur.

Representativiteten av de enkelte stasjonene vil variere noe og er ikke kvantitativt kjent, særlig ikke for beregning av AOT40. Stasjoner som påvirkes av lokale utslipp av NO vil ikke være representative for større regioner. Målestedene Nordmoen, og i mindre grad Søgne og Svanvik, påvirkes av lokale NO-utslipp, noe som medfører lavere observerte ozonkonsentrasjoner.

Ozonkonsentrasjonene påvirkes av at ozon tas opp av planter, og dessuten reagerer med en lang rekke overflater og med terpenier. Dette medfører at konsentrasjonen i det bakkenære sjiktet ofte er betydelig lavere enn i 50–100 meters høyde over bakken. På grunn av dette er kantsoner og høydedrag mer utsatt for overskridelser enn større sammenhengende skogområder og lavtliggende områder. Tilførsler av ozon til vegetasjonen er av den grunn bestemt av hvordan den enkelte lokalitet er "tilknyttet" reservoaret i den frie troposfæren. Den vertikale stabiliteten er bestemt av orografiske og mikrometeorologiske faktorer og varierer over døgnet. NILU har ved Nordmoen i Akershus målt vertikalfordelinger av ozon i et skogfelt ved hjelp av fjernstyrt fly (figur 2). Målingene er foretatt hovedsakelig i løpet av episoder med høye ozonkonsentrasjoner. Resultatene har vist at ozonkonsentrasjonene i det bakkenære sjiktet reduseres raskt som følge av avsetning når det oppstår en bakkeinversjon. Når så inversjonen brytes opp om morgenen tilføres det bakkenære sjiktet ozon fra den frie troposfæren. Døgnvariasjonen av ozonkonsentrasjoner over grenselaget varierer lite i slike episoder.

På samme måte vil den regionale (horisontale) fordelingen vise gradienter over relativt stor skala.

Det er gjort flere forsøk på å korrigere for hvordan enkelte lokaliteter påvirkes av ozonkonsentrasjoner relativt til nivået i den frie troposfæren. Dette kan gjøres ved å studere eksponering som funksjon av høyde over havet eller høyde over dalbunn (Fowler et al., 1994; Loibl et al., 1994). Resultatene viser at slike sammenhenger er relativt konsistente på regional skala innen enkelte områder. Det kreves imidlertid et tett målenettverk for å kunne klarlegge slike sammenhenger. F.eks anbefaler Loibl et al. (1994) en minimum tetthet i målenettet på 50 km basert på erfaringer fra Østerrike, noe som ville kreve ca. 200 målestasjoner i Norge. Det er på grunnlag av de skandinaviske målingene vanskelig å finne noen klar sammenheng med høyde over havet (Lövlblad et al., 1996), noe som skyldes både at stasjonsnettverket ikke er tilstrekkelig tett, og at skandinaviske stasjoner er vesentlig mer heterogene mhp. orografi, vegetasjon, klima og andre forhold. Det er av den grunn ikke innført korreksjoner for høydeforskjeller ved beregning av eksponering. Dette kan medføre at eksponeringsdosen undervurderes i høyreliggende områder, men dette antas å være av mindre betydning i forhold til øvrige usikkerheter forbundet med denne type kartlegging. Dersom sammenhengen mellom AOT40 og høyde over havet blir bestemt for de ulike regioner, vil kartlegginger av denne type i neste omgang kunne forbedres.



Figur 2: Vertikal fordeling av ozon ved Nordmoen, 14. juli 1994.

Målinger av ozon over en hveteåker i Sør-Sverige har vist at opptaket av ozon fører til en kraftig vertikal gradient nærmest bakken (Pleijel og Grennfelt, 1995). Eksponeringsdosen beregnet ut fra målehøyde på 2-3 meter vil således kunne gi en overestimert på 20% i forhold til referansehøyden som benyttes i dose-responsforsøk (1,1 meter). Det er ved kartleggingen ikke tatt hensyn til dette, men dette må tas i betraktning ved vurderinger av avlingstap hos landbruksvekster.

4. Metodikk

Det er benyttet måleresultater for perioden 1989-1993 fra totalt 34 målestasjoner i Skandinavia (Lövblad et al., 1996). De fleste av disse stasjonene er EMEP-stasjoner (European Monitoring and Evaluation Programme), men også andre målinger er benyttet. På grunn av at en del stasjoner hadde lav datadekning eller ikke var representative, ble antallet stasjoner redusert til 24. Eksponeringsdoser for ulik varighet av vekstsesongen og tålegrensekriterier er beregnet fra måleresultater fra 16 stasjoner i Norge, åtte stasjoner i Sverige, syv stasjoner i Finland og tre stasjoner i Danmark. Beliggenhet av målestasjonene er vist i figur 3. Stasjonenes koordinater, høyde over havet og benyttede vekstsesonger er vist i tabell 2 og tabell 3. Ved å inkludere de øvrige skandinaviske stasjonene bedres datagrunnlaget for regional kartlegging vesentlig, særlig i grenseområdene og i de nordlige delene av landet. For stasjoner som ligger utenfor de områder der landbruksvekster dyrkes er det valgt en vekstsesong som er kortere enn for stasjonene lenger mot sør, for å kunne beskrive gradienten i AOT40 mot nord.

Akkumulerte eksponeringsdoser er beregnet som summen av differansen mellom timemiddelkonsentrasjonen og 40 ppb for hver time der ozonkonsentrasjonen overskrider 40 ppb. Eksponeringsdosene beregnet for de ulike veksttyper og vekstperioder er vist i tabell 2 og tabell 3. For landbruksvekster, løvskog og dyrket eng er bare timer med global innstråling over 50 W/m² tatt med i beregningene. Global innstråling er beregnet som funksjon av solhøyde og det er ikke tatt hensyn til skydekke.

Siden AOT40-konseptet angir en sum av måleverdier over 40 ppb, vil manglende data gi store usikkerheter i det beregnede resultat. Særlig kritisk er det dersom det ikke er foretatt målinger i løpet av episoder med høye konsentrasjoner. For å redusere usikkerheten i beregningene kan flere hensyn tas. Datadekningen bør være så god som mulig for alle deler av vekstsesongen. Stasjoner med dårlig datadekning bør derfor utelates i beregningene. Imidlertid vil en ved å sette kriteriet til datadekning for høyt redusere antallet stasjoner, noe som gir problemer ved kartleggingen. I 1992, som var året med høyeste eksponering i perioden 1989-93, og som det av den grunn er lagt mest vekt på ved kartleggingen, var datadekningen over 90% ved de fleste målestasjonene. Stasjoner med datadekning mellom 80% og 90% er evt. inkludert etter vurdering og sammenligning med nærliggende stasjoner. Stasjoner med mindre enn 80% datadekning er ikke benyttet. Hvordan manglende data skal behandles finnes tidligere ikke beskrevet og vi har av den grunn brukt mye tid på å komme frem til en prosedyre som kan anvendes. Behandling av manglende data kan gjøres mer sofistikert (Lefohn et al., 1991), men det er i denne omgang valgt en forenklet fremgangsmåte.



Figur 3: *Beliggenhet av skandinaviske målestasjoner benyttet for å kartlegge eksponeringsdoser for ozon.*

For å korrigere for manglende data er det antatt at de manglende dataene viser samme fordeling som de observerte og det er korrigert ved å dividere beregnet eksponeringsdose (AOT40) med relativ datadekning.

Beregnete eksponeringsdoser ved målestasjonene er interpolert til et rutenett ved kriging-interpolasjon, som er en statistisk metode for å estimere ukjente verdier fra nærliggende observasjoner. Metoden er opprinnelig utviklet for geostatistiske formål (Matheron, 1963; Journel and Huijbregts, 1981), men er de senere år også benyttet for å beskrive regional fordeling av f.eks. grenseoverskridende luftforurensning (Schaug et al., 1993). Kriging-interpolasjon er basert på at variansen mellom de observerte verdiene beregnes som funksjon av avstand og retning og vektningen av krigingen bestemmes ut fra en variogramanalyse. Eksponeringsdoser av bakkenær ozon basert på AOT40-prinsippet er vanskelig å interpolere pga. stor varians i de beregnede verdier. I tillegg er antallet stasjoner for lavt slik at beregning av verdier i rutenett vil være grove tilnærminger og relativt usikre størrelser. Det er benyttet et 50x50 km² rutenett basert på oppdeling av det ordinære rutenettet benyttet i EMEP (150x150 km²).

5. Resultater

Tabell 2 viser vekstsesonger, datadekning og beregnede eksponeringsdoser for ulike tålegrensedefinisjoner for landbruksvekster og dyrket eng for alle skandinaviske målestasjoner. Året 1992 er valgt p.g.a. at det var året med de høyeste eksponeringsdoser i beregningsperioden.

Tabell 3 viser vekstsesonger, datadekning og beregnede eksponeringsdoser for ulike tålegrensedefinisjoner for skog for alle skandinaviske målestasjoner. Året 1992 er valgt p.g.a. at det var året med de høyeste eksponeringsdoser i beregningsperioden.

Figur 4 viser akkumulerte ozondoser over 40 ppb for de norske bakgrunnsstasjonene for perioden fra 1. april til 1. oktober, 1989-1993. Beregningsmåten er i samsvar med anbefalt tålegrense for skog (UN-ECE, 1994).

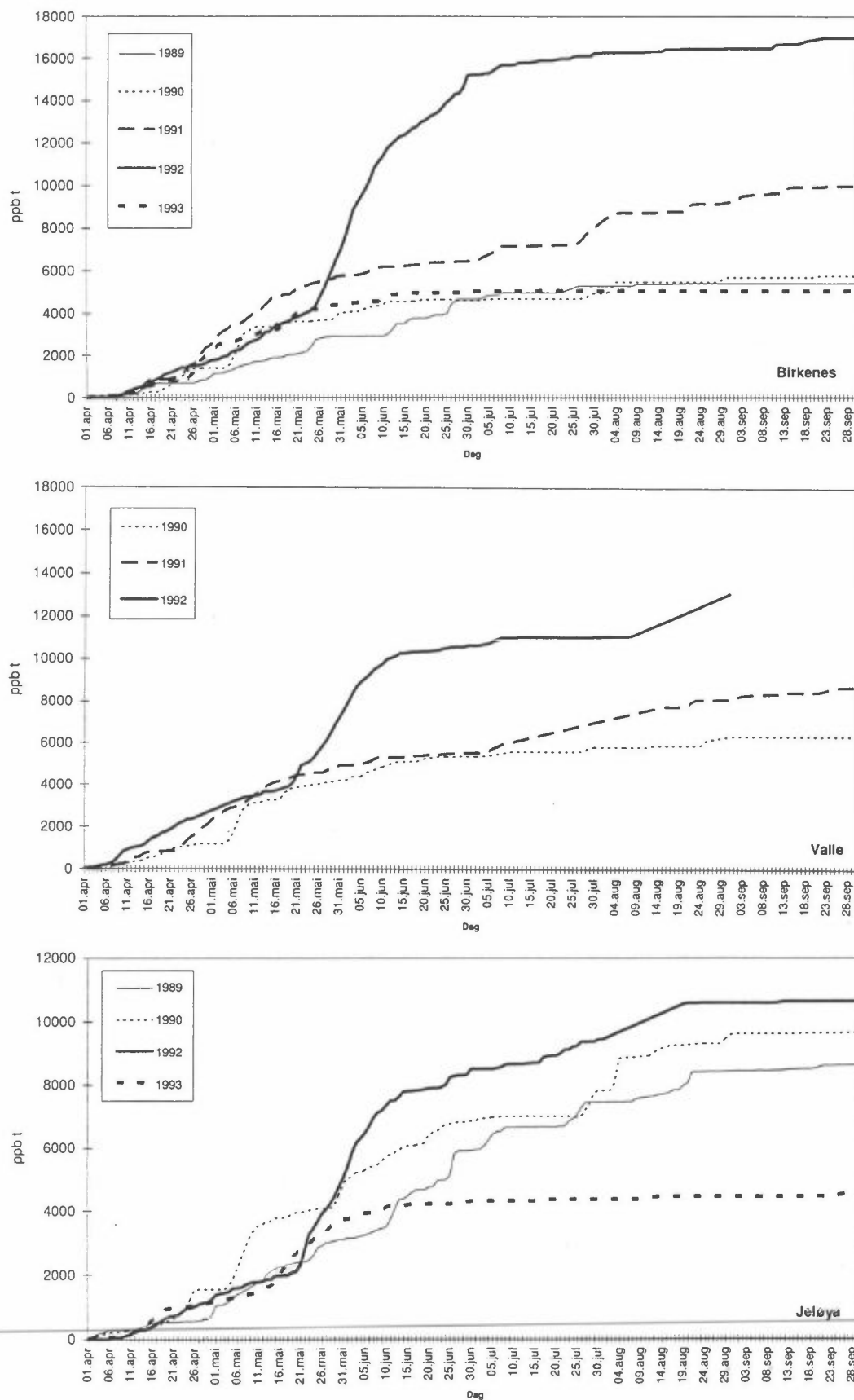
Figurene 5-11 viser regionale mønstre i fordeling av AOT40 beregnet etter ulike tålegrensekriterier.

Tabell 2: Vekstsesonger, datadekning og beregnede eksponeringsdoser for ulike idlegrensedefinisjoner for landbruksvekster og dyrket eng ved alle skandinaviske målestasjoner.

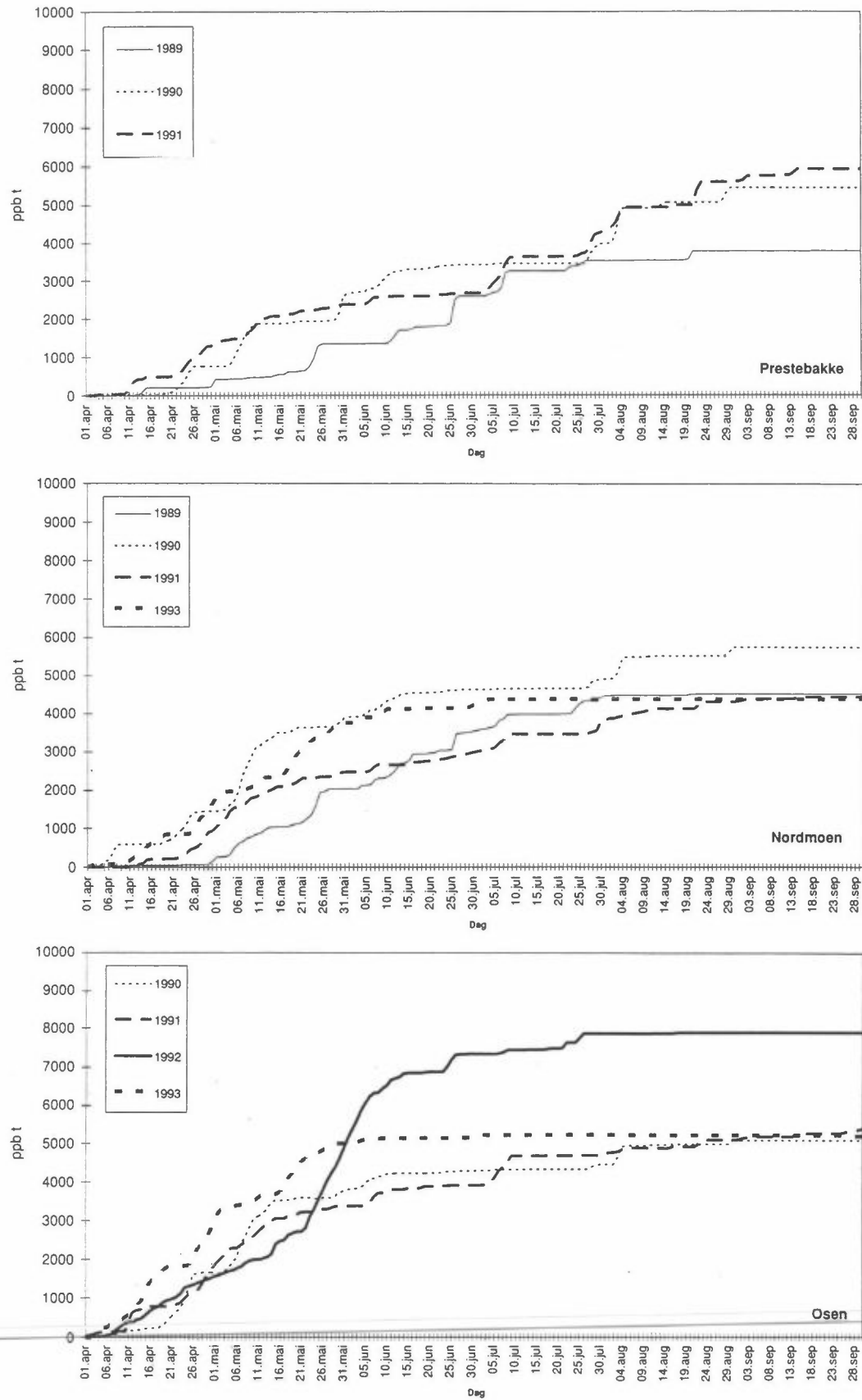
1992	Bredde °N	Lengde °E	m o.h.	UN-ECE, landbruksvekster		Høyeste dose over 3 dager AOT40 (ppbt)	3-dagers-perioder >700 ppbt antall	Nordisk tilpasning, landbruksvekster		Nordisk tilpasning, dyrket eng			
				data-dekning (%)	AOT40 (ppbt)			Vekstsesong	data-dekning (%)	AOT40 (ppbt)	Vekstsesong	data-dekning (%)	AOT40 (ppbt)
Birkenes	58,23	8,15	190	92	11052	1238	15	15/5-15/8	91	10102	15/4-1/11	93	11990
Haukenes	59,12	9,31	20	—	—	—	—	15/5-15/8	—	—	15/4-1/11	—	—
Høylandet	64,39	12,19	60	—	—	—	—	1/6-1/9	—	—	1/5-1/10	—	—
Jeløya	59,26	10,36	3	96	5991	789	4	15/5-15/8	82	6567	15/4-1/11	87	7215
Jergul	69,27	24,36	255	99	2643	808	2	1/6-1/9	73	—	1/6-15/9	74	—
Klyve	59,09	9,35	60	95	6620	927	6	15/5-15/8	94	5872	15/4-1/11	97	7606
Kårvatn	62,47	8,53	210	98	8863	1117	13	1/6-1/9	99	1968	1/5-15/10	99	8830
Langesund	59,01	9,45	5	96	5352	767	2	15/5-15/8	96	5080	15/4-1/11	95	6041
Nordmoen	60,16	11,06	200	—	—	—	—	15/5-15/8	—	—	15/4-1/11	69	—
Osen	61,15	11,47	440	96	5278	688	0	15/5-15/8	100	4721	15/4-15/10	95	5867
Prestebakke	59,00	11,32	160	—	—	—	—	15/5-15/8	—	—	15/4-1/11	—	—
Svanvik	69,27	30,02	30	—	—	—	—	1/6-1/9	—	—	1/6-1/9	—	—
Søgne	58,05	7,51	15	—	—	—	—	15/5-15/8	—	—	15/4-1/11	—	—
Tustenvatn	65,50	13,55	439	100	1225	300	0	1/6-1/9	100	387	15/5-15/9	100	1101
Valle	59,03	7,34	250	91	6423	814	7	15/5-15/8	91	6127	1/5-15/10	—	—
Voss	60,36	6,32	500	100	5630	1011	9	15/5-15/8	100	5490	1/5-15/10	100	5663
Ammarnäs	65,58	16,12	480	—	—	—	—	1/6-1/9	—	—	15/5-1/10	—	—
Aspvreten	58,48	17,23	20	90	8043	877	8	15/5-15/8	94	7763	15/4-1/11	93	9210
Estrange	67,53	21,04	475	96	4084	1142	5	1/6-1/9	96	1248	1/6-15/9	97	1245
Norra Kvill	57,49	15,34	261	100	12450	1166	18	15/5-15/8	100	12229	15/4-1/11	99	14074
Pallas	67,58	24,07	566	91	3858	1010	3	1/6-1/9	90	693	15/5-15/9	92	3118
Rörvik	57,25	11,56	10	99	12223	1165	19	15/5-15/8	99	11864	15/4-15/11	99	14136
Vavihill	56,01	13,09	175	98	9120	1166	8	15/4-1/8	98	9347	15/4-15/11	98	10406
Velen	58,41	14,39	123	—	—	—	—	1/5-15/8	—	—	15/4-15/11	—	—
Vindeln	64,15	19,46	225	99	4520	733	4	1/6-1/9	99	4161	15/5-1/10	98	4942
Oulanka	66,19	29,25	310	96	5313	909	4	1/6-15/8	95	1688	15/5-1/10	96	6446
Raja-Jooseppi	68,29	28,18	262	—	—	—	—	1/6-1/9	—	—	15/5-15/9	—	—
Tvärminne	59,51	23,15	5	100	6356	1064	3	15/5-15/8	100	6629	1/5-1/11	97	7554
Utö	59,47	21,23	7	97	7579	854	3	15/5-15/8	96	7789	1/5-1/11	95	9124
Virolahti	60,31	27,41	8	98	4998	664	0	15/5-15/8	98	4864	1/5-15/10	98	5555
Ähtari	62,33	24,13	162	91	7766	769	3	15/5-15/8	79	7114	1/5-1/10	86	8344
Frederiksborg	55,58	12,20	10	100	8754	972	6	15/4-1/8	100	8999	15/4-15/11	97	10069
Lille Valby	55,41	12,07	10	98	9874	1077	6	15/4-1/8	97	10507	15/4-15/11	97	11578
Ulborg	56,17	8,26	10	—	—	—	—	15/4-1/8	—	—	15/4-15/11	84	10216

Tabell 3: Vekstsesonger, datadekning og beregnede eksponeringsdoser for ulike tålegrensedefinisjoner for skog ved alle skandinaviske målestasjoner.

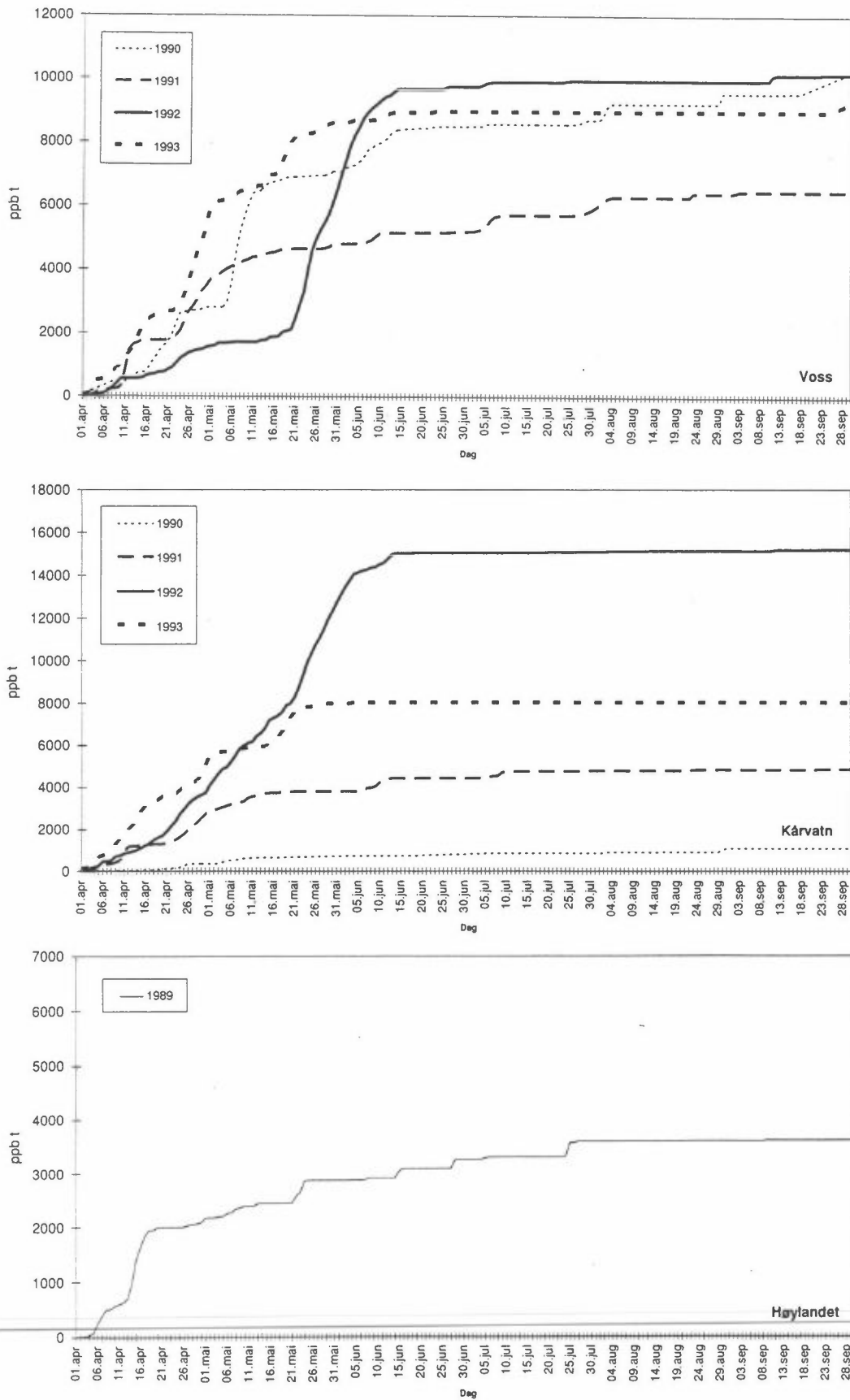
	Breidde °N	Lengde °E	m.o.h.	UN-ECE, skog (maksimum 1989-1993)			UN-ECE, skog (1992)		UN-ECE, skog (median, 1989-1993)		Nordisk tilpasning, barskog (1992)			Nordisk tilpasning, løvskog (1992)		
				År med høyeste dose i perioden	Data- dekning (%)	AOT40 (ppbt)	Data- dekning (%)	AOT40 (ppbt)	Vekst- sesong	Data- dekning (%)	AOT40 (ppbt)	Vekst- sesong	Data- dekning (%)	AOT40 (ppbt)	Vekst- sesong	Data- dekning (%)
Birkenes	58,23	8,15	190	1992	94	16972	94	16972	5	5743	15/4-1/11	94	16369	15/5-1/10	91	10257
Haukenes	59,12	9,31	20	1991	88	7591	-	-	2	-	15/4-1/11	-	-	15/5-1/10	-	-
Høylandet	64,39	12,19	60	1989	100	3620	-	-	1	-	1/5-1/10	-	-	1/6-1/9	-	-
Jeløya	59,26	10,36	3	1992	88	10644	88	10644	5	9149	15/4-1/11	89	10277	15/5-1/10	83	6493
Jergul	69,27	24,36	255	1992	82	5748	82	5748	5	4045	1/6-15/9	70	-	1/6-1/9	73	-
Klyve	59,09	9,35	60	1992	97	11123	97	11123	3	7389	15/4-1/11	98	10876	15/5-1/10	96	5871
Kårvatn	62,47	8,53	210	1992	99	15185	99	15185	4	6427	1/5-15/10	99	11419	15/5-1/10	99	6711
Langesund	59,01	9,45	5	1991	96	10919	96	8121	3	8121	15/4-1/11	92	8420	15/5-1/10	97	5158
Nordmoen	60,16	11,06	200	1990	100	5742	-	-	4	4471	15/4-1/11	-	-	15/5-1/10	81	2200
Osen	61,15	11,47	440	1992	95	7921	95	7921	4	5317	15/4-15/10	95	7424	15/5-1/10	100	4719
Prestebakke	59,00	11,32	160	1991	100	5917	-	-	3	5432	15/4-1/11	-	-	15/5-1/10	-	-
Svanvik	69,27	30,02	30	1989	87	6209	-	-	4	2794	1/6-1/9	-	-	1/6-1/9	-	-
Søgne	58,05	7,51	15	1993	100	5560	-	-	1	-	15/4-1/11	-	-	15/5-1/10	-	-
Tustervatn	65,50	13,55	439	1990	82	5529	100	2144	4	3723	15/5-15/9	100	1577	1/6-1/9	100	387
Valle	59,03	7,34	250	1991	76	8687	-	-	2	-	1/5-15/10	-	-	15/5-1/10	66	-
Voss	60,36	6,32	500	1992	100	10165	100	10165	4	9710	1/5-15/10	100	8605	15/5-1/10	100	5523
Ammamås	65,58	16,12	480	1989	86	2134	-	-	1	-	15/5-1/10	-	-	1/6-1/9	-	-
Aspvreten	58,48	17,23	20	1989	90	15343	92	13816	5	11522	15/4-1/11	94	13278	15/5-1/10	96	8039
Estrange	67,53	21,04	475	1992	96	7738	96	7738	3	5154	1/6-15/9	96	1825	1/6-1/9	96	1249
Norra Kvill	57,49	15,34	261	1992	97	24586	97	24586	5	14071	15/4-1/11	99	23677	1/5-1/10	100	13329
Pallas	67,58	24,07	566	1993	82	10264	90	8922	2	-	15/5-15/9	93	5003	1/6-1/9	90	693
Rörvik	57,25	11,56	10	1992	98	20271	98	20271	4	9689	15/4-15/11	99	19772	1/5-1/10	99	13472
Vavilhil	56,01	13,09	175	1989	77	18296	99	15911	5	15911	15/4-15/11	99	15603	1/5-1/10	99	10167
Velen	58,41	14,39	123	1992	93	5717	-	-	1	-	15/4-15/11	-	-	15/5-1/10	-	-
Vindeln	64,15	19,46	225	1989	97	6896	97	6896	5	5160	15/5-1/10	99	5113	1/6-1/9	98	1740
Oulanka	66,19	29,25	310	1992	96	11345	96	11345	4	7917	15/5-1/10	95	6377	1/6-1/9	95	1688
Raja-Jooseppi	68,29	28,18	262	1993	100	3171	-	-	1	-	15/5-15/9	-	-	1/6-1/9	-	-
Tvärminne	59,51	23,15	5	1992	97	12702	97	12702	2	-	1/5-1/11	97	11700	15/5-1/10	96	7171
Utö	59,47	21,23	7	1992	95	18357	95	18357	5	9638	1/5-1/11	95	16454	15/5-15/10	98	7162
Virolahti	60,31	27,41	8	1992	98	8722	98	8722	5	5232	1/5-15/10	98	7738	15/5-1/10	98	5134
Ähtari	62,33	24,13	162	1992	88	13827	88	13827	4	5798	1/5-1/10	86	10257	1/6-1/10	82	3717
Frederiksborg	55,58	12,20	10	1992	98	13655	98	13655	4	6440	15/4-15/11	95	13552	1/5-1/10	99	9637
Lille Valby	55,41	12,07	10	1992	90	15565	90	15565	2	-	15/4-15/11	90	14869	1/5-1/10	97	11225
Ulborg	56,17	8,26	10	1992	85	15876	85	15876	3	11806	15/4-15/11	87	14693	1/5-1/10	81	10127



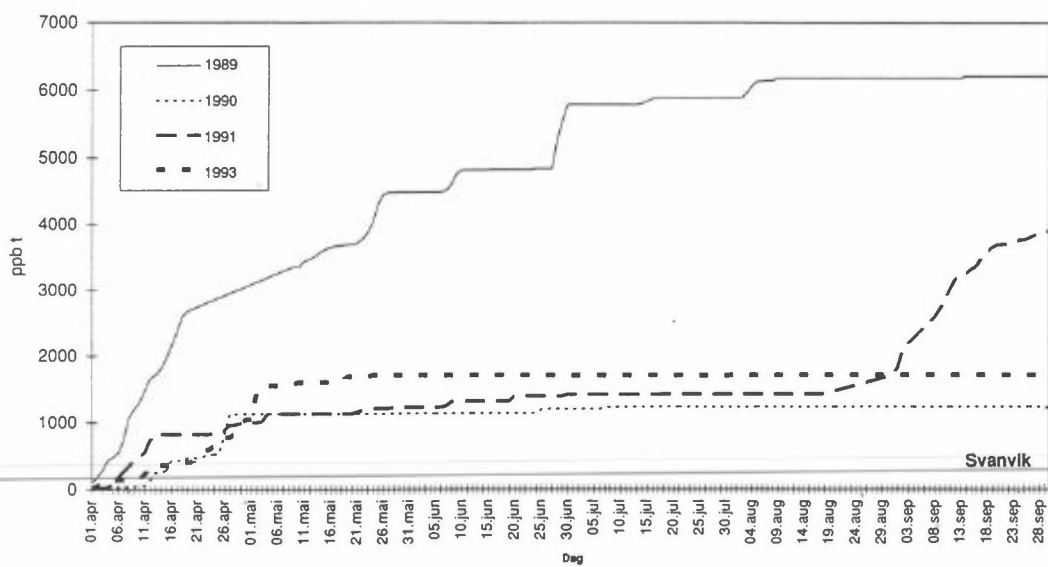
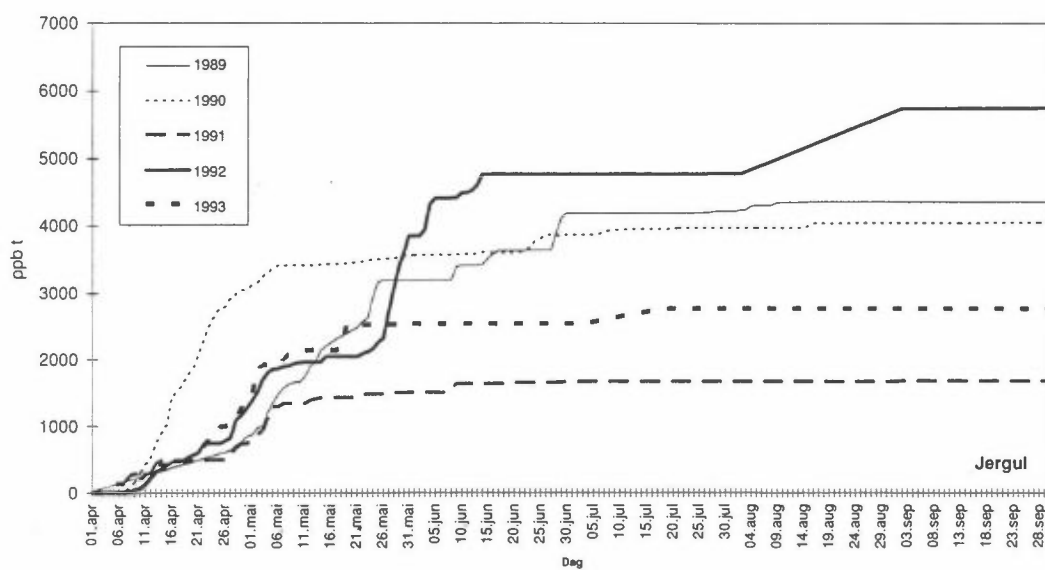
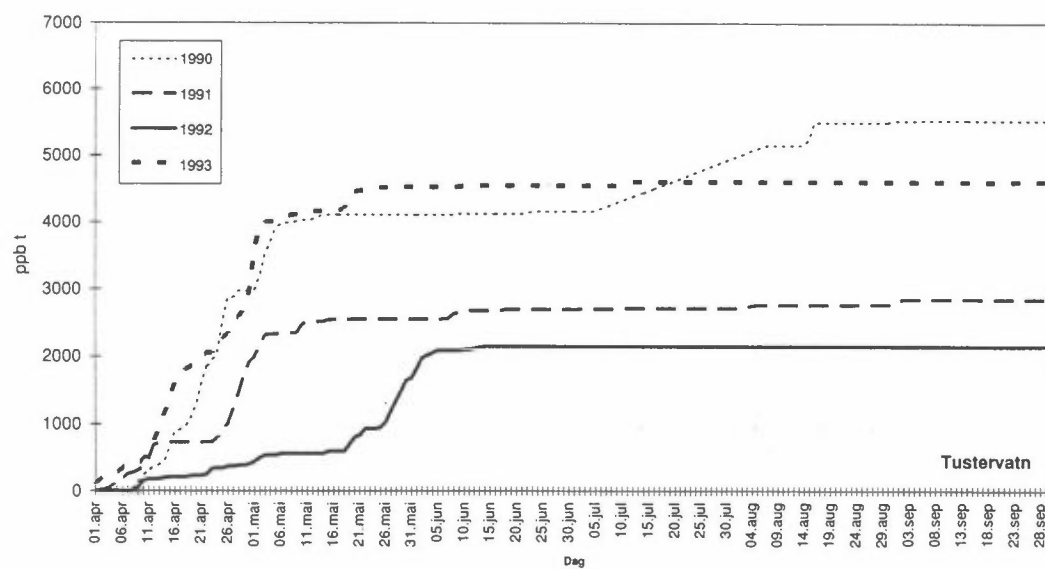
Figur 4: Akkumulerte ozondoser over 40 ppb (ppb t) for de norske bakgrunnsstasjonene i årene 1989-1993. AOT40 er beregnet fra 1. april-1. oktober og alle timer i døgnet er benyttet.



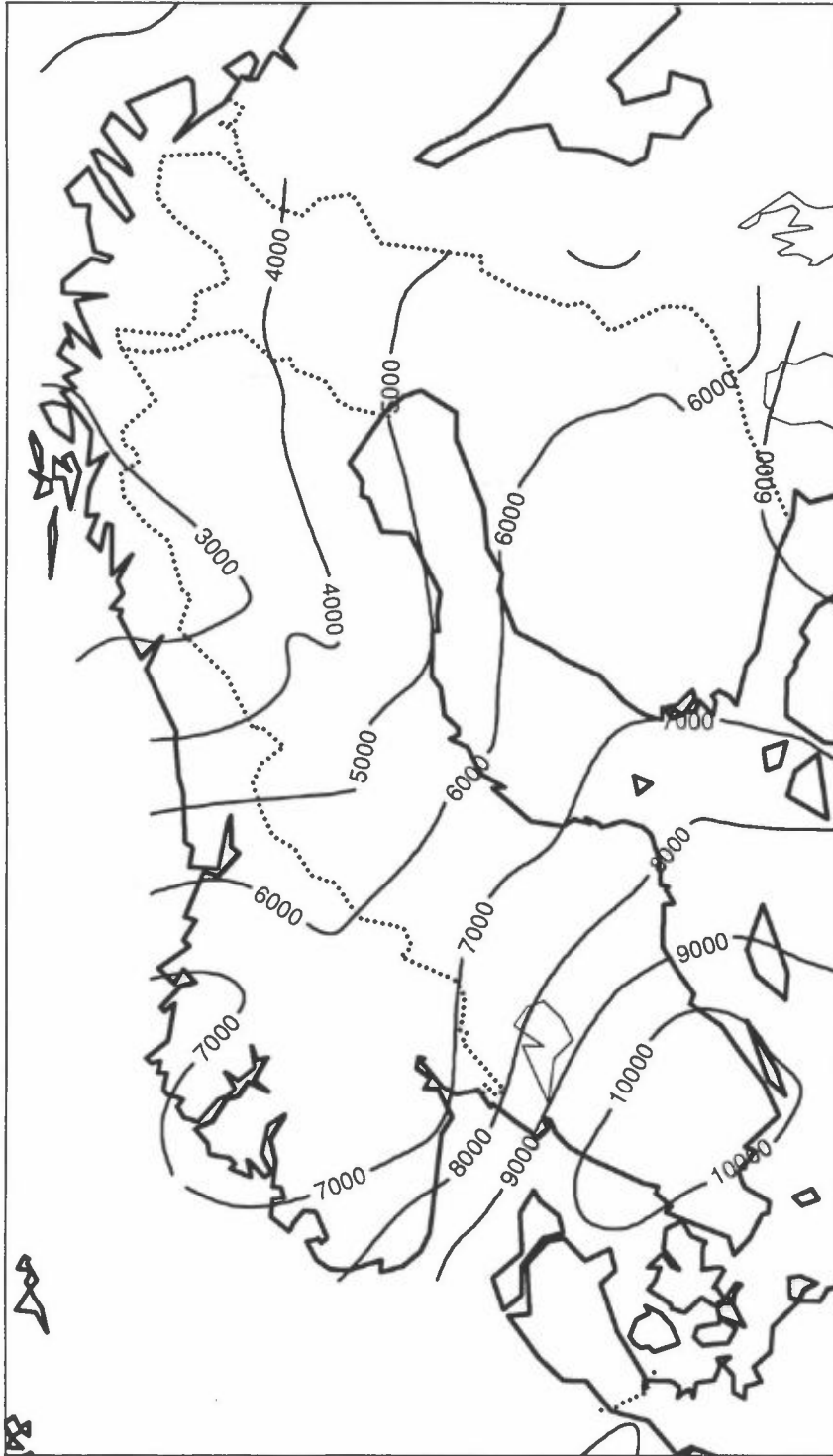
Figur 4 forts.



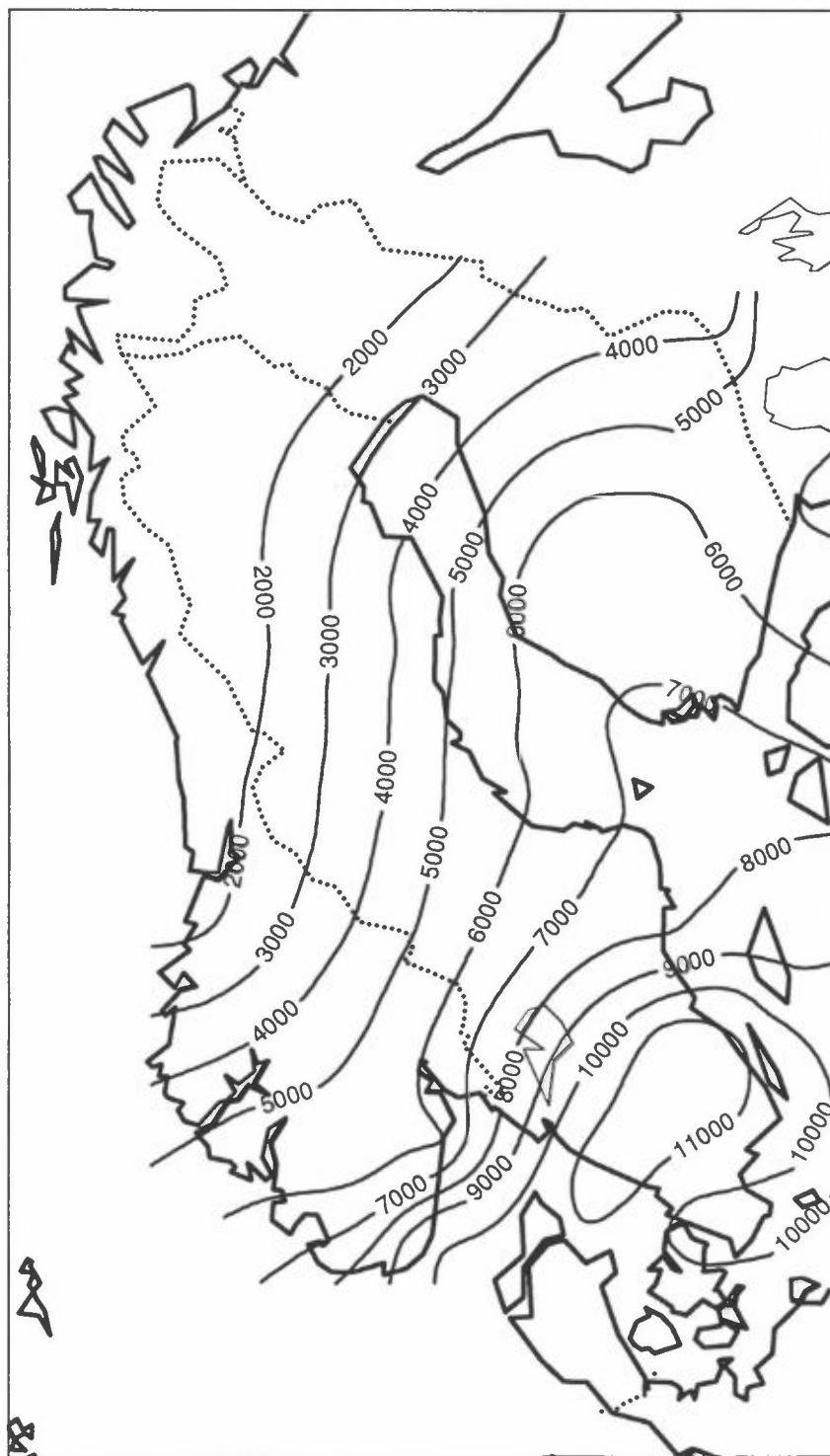
Figur 4 forts.



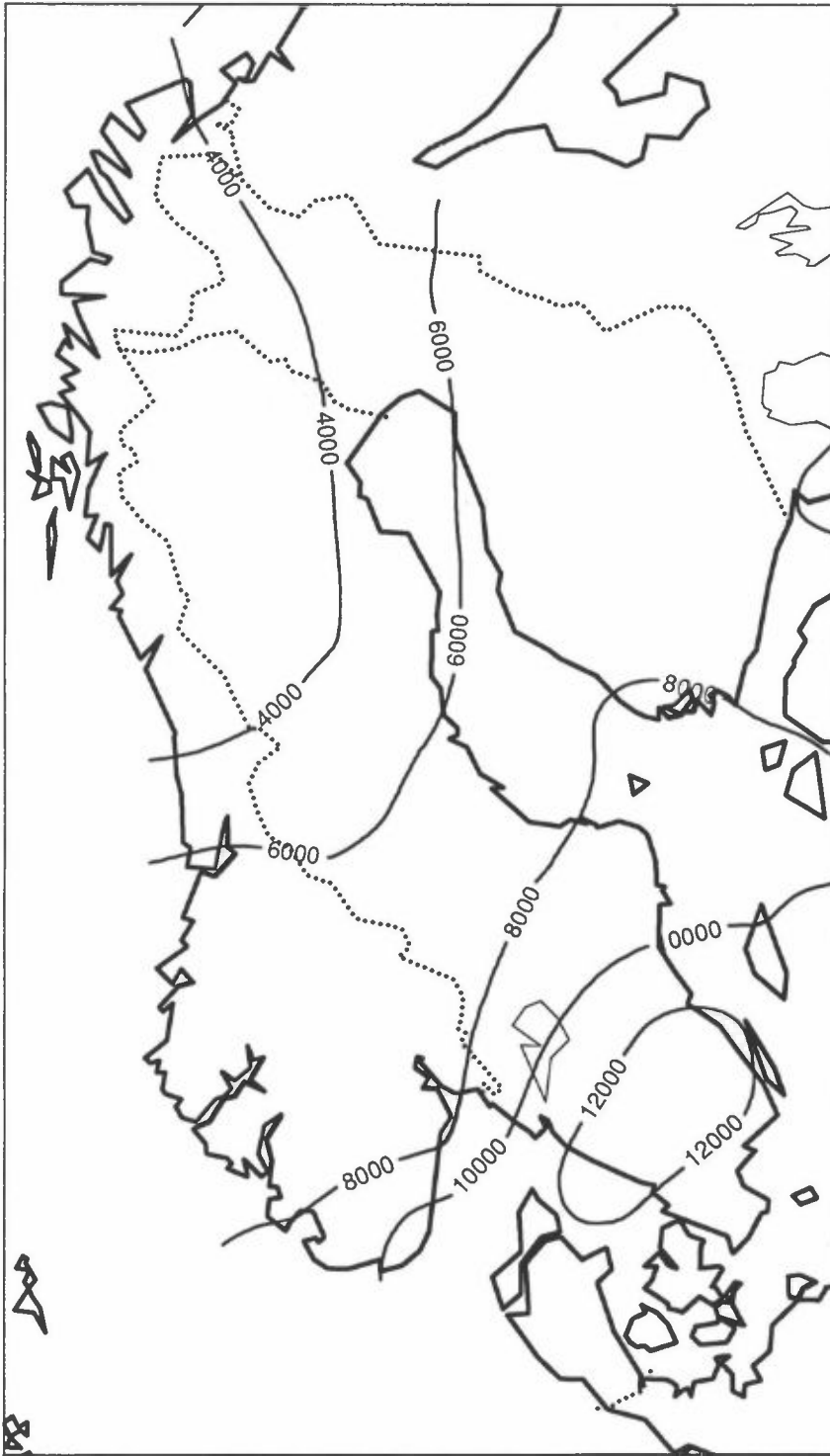
Figur 4 forts.



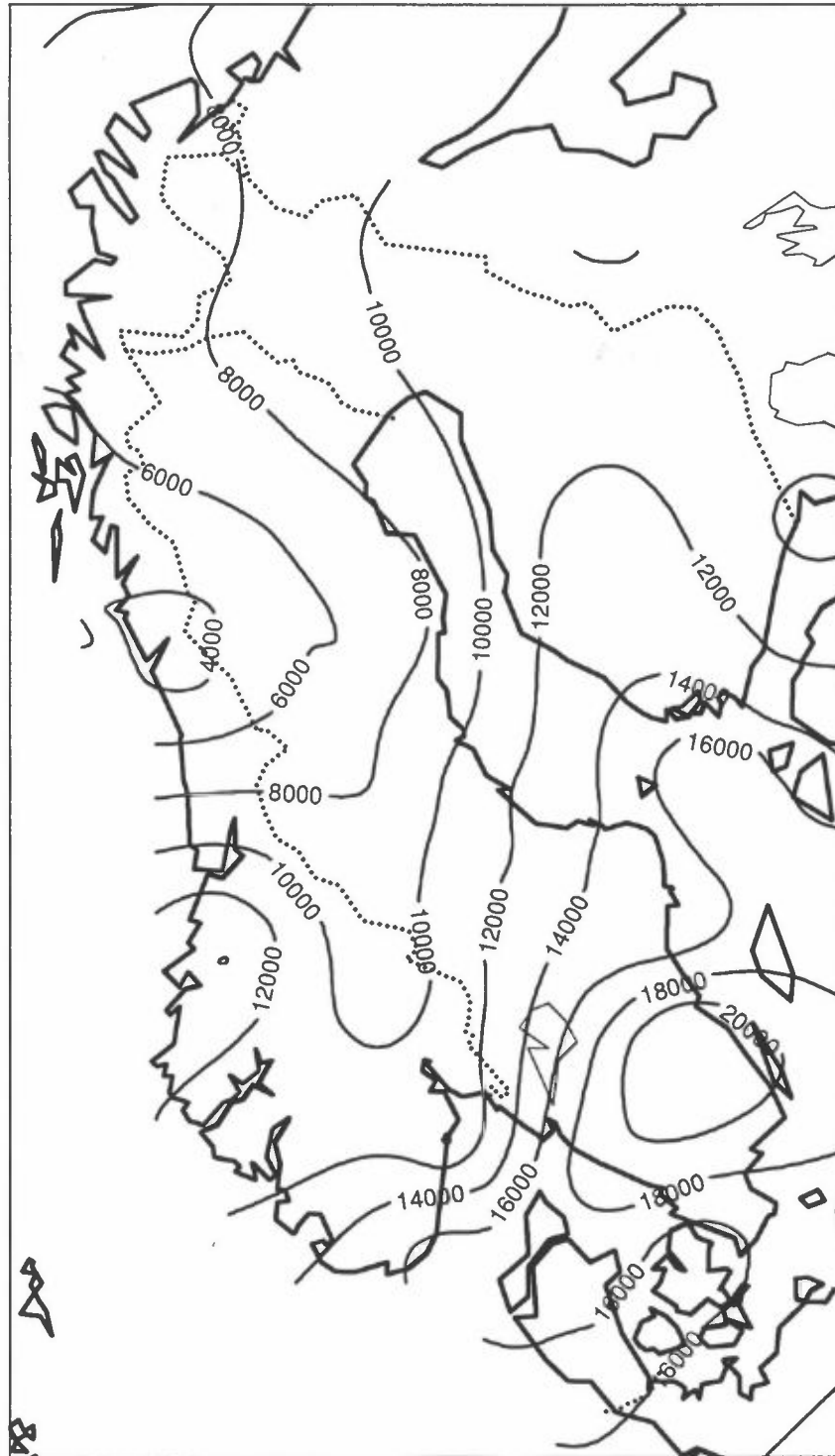
Figur 5: AOT40 (ppb t), beregnet etter anbefaling fra UN-ECE (1994) for hvete, 1992. Veksts sesong fra 1. mai til 1. august. Kun timer med dagslys er benyttet.



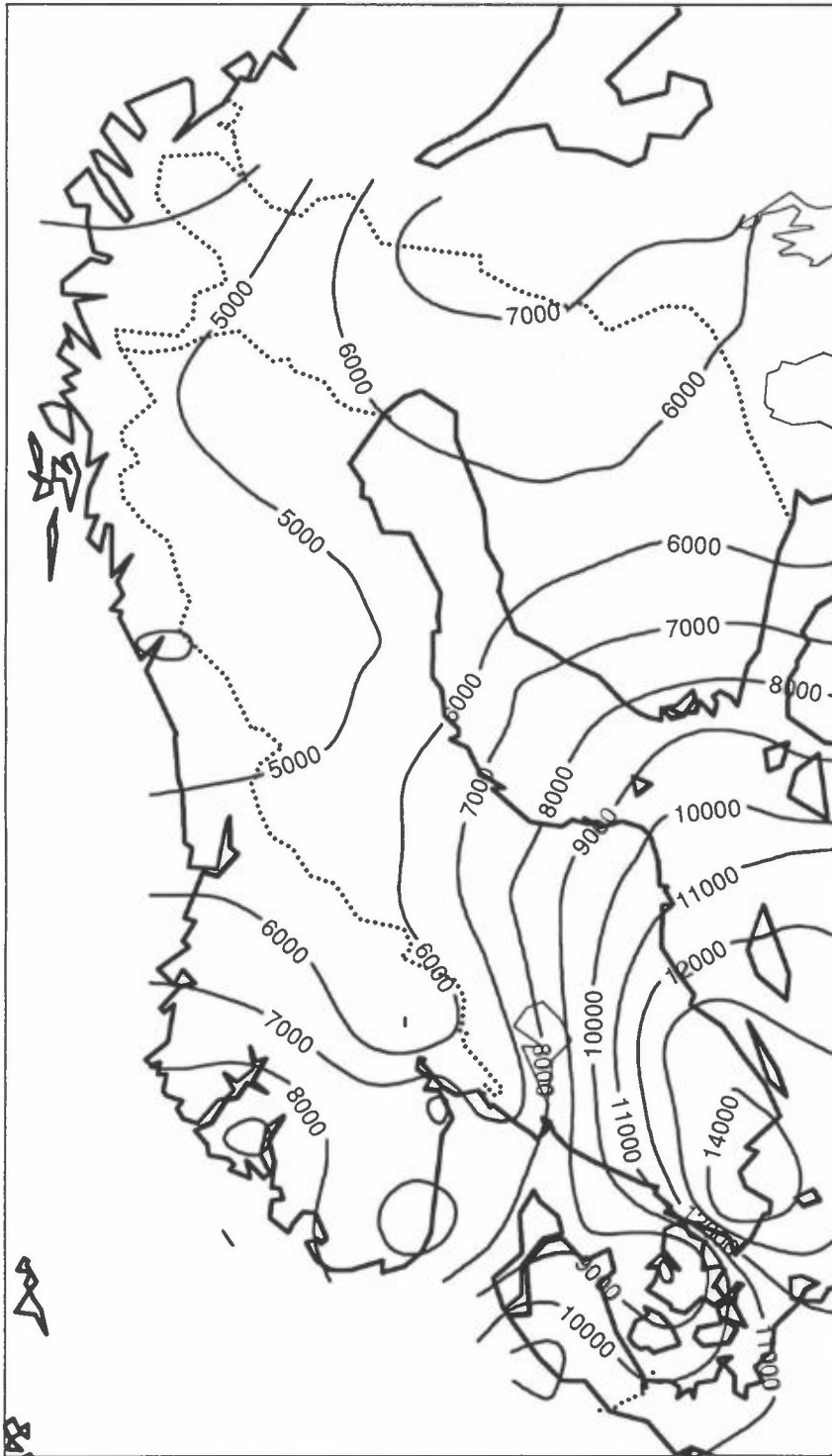
Figur 6: AOT40 (ppb t), beregnet etter definisjonen for nordisk tilpasning for hvete, 1992. Vekstsesong basert på normalverdier for spirings- og modningstidspunkt av hvete i Norden. Kun timer med dagslys er benyttet.



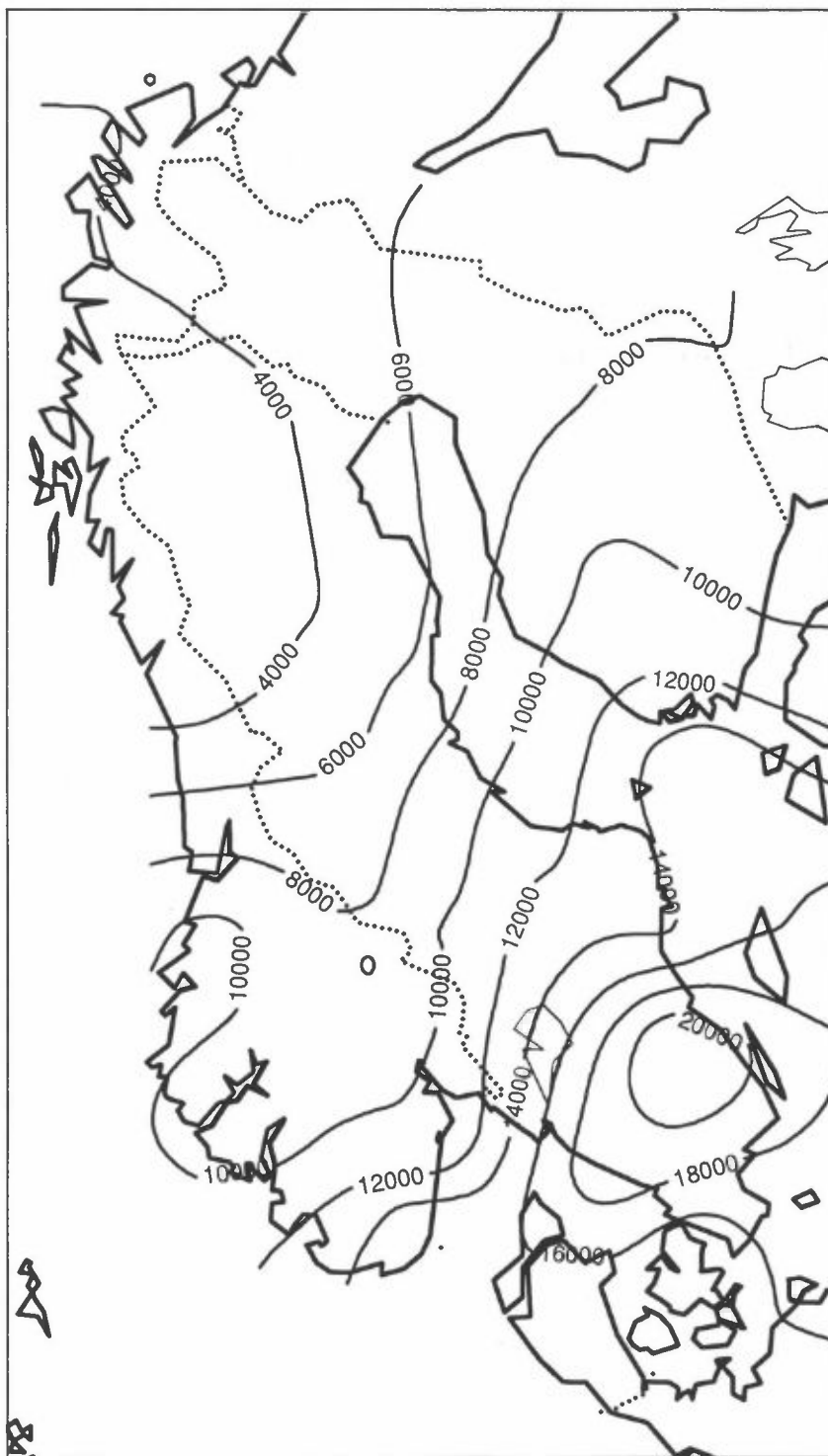
Figur 7: AOT40 (ppb t), beregnet etter definisjonen for nordisk tilpasning for dyrket eng, 1992. Vekstsesong basert på normalverdier for når døgnmiddeltemperatur overstiger 5°C. Kun timer med dagslys er benyttet.



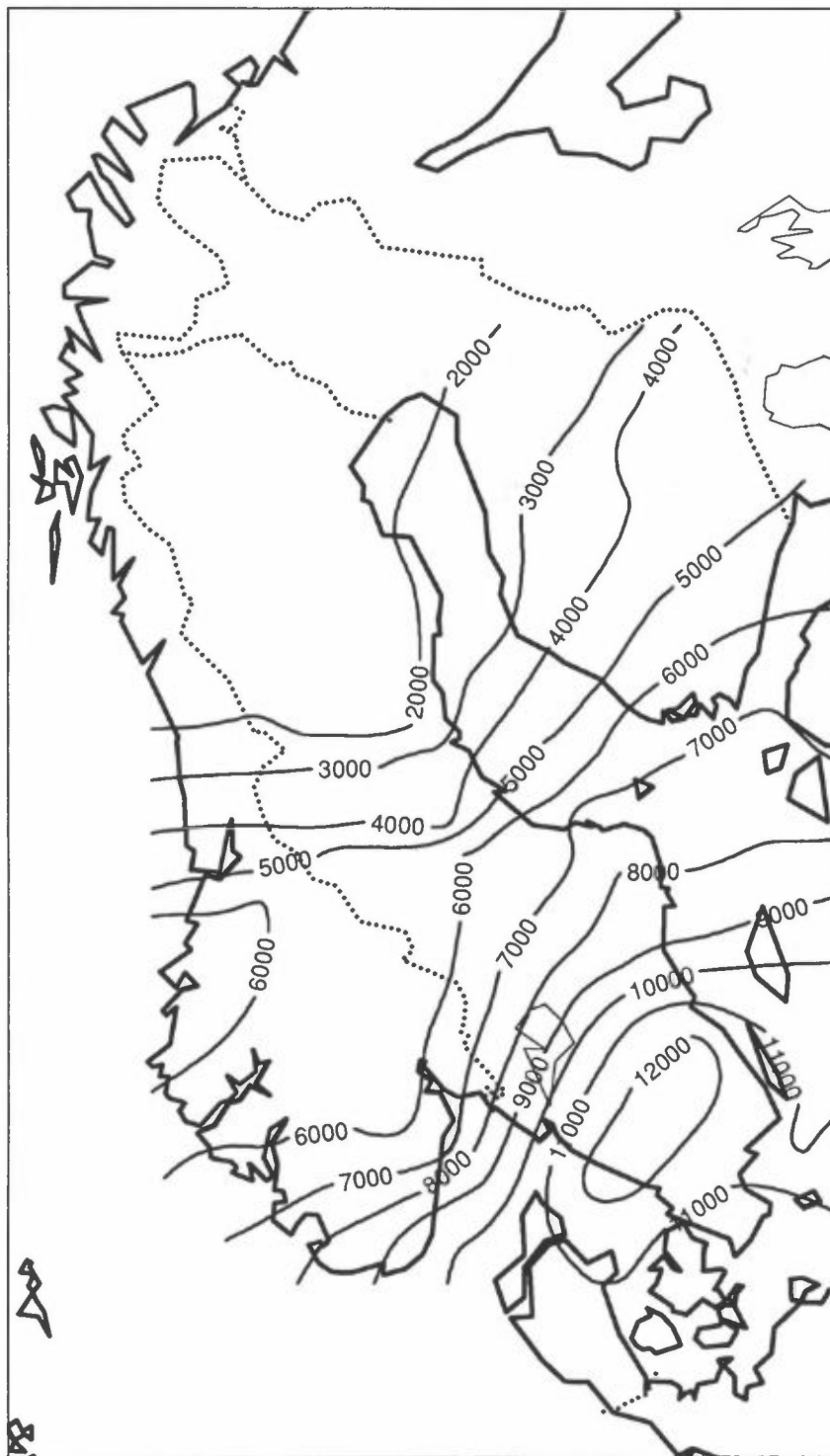
Figur 8: AOT40 (ppb t), beregnet etter anbefaling fra UN-ECE (1994) for skog, 1992. Vekstsesong fra 1. april til 1. oktober. Alle timer er benyttet.



Figur 9: AOT40 (ppb t), beregnet etter anbefaling fra UN-ECE (1994) for skog, median for hver enkelt stasjon i perioden 1989-1993. Vekstsesong fra 1. april til 1. oktober, Alle timer er benyttet.



Figur 10: AOT40 (ppb t), beregnet etter definisjonen for nordisk tilpasning for barskog, 1992. Vekstsesong basert på normalverdier for når døgnmiddeltemperatur overstiger 5°C. Alle timer er benyttet.



Figur 11: AOT40 (ppb t), beregnet etter definisjonen for nordisk tilpasning for løvskog, 1992. Vekstsesong basert på normalverdier for tidspunkt av knoppsprett og løvfelling for bjørk. Kun timer med dagslys er benyttet

6. Diskusjon

Resultatene viser at det i perioden 1989 til 1993 var store variasjoner i ozonnivået (figur 4). De høyeste eksponeringsdosene beregnet etter tålegrensekriteriet for skog ble, med få unntak, observert i 1992. Dette skyldes at de meteorologiske forhold ga effektiv transport av ozon og kjemiske forløpere fra kontinentet til Skandinavia i løpet av våren og forsommeren. Det er av den grunn lagt mest vekt på vurdering av ozoneksponeringen i 1992, som antas å være relativt høy sammenlignet med hva som typisk kan forventes i Norge. Det er stor variasjon i hvilket år som hadde den laveste eksponeringsdosen i perioden. På Sørlandet og på Østlandet var eksponeringen lavest i 1993. Lengre nord varierte det betydelig hvilket år som hadde lavest AOT40. Ved Kårvatn i Møre og Romsdal ble den laveste eksponeringsdosen målt i 1990, hvor nivået var kun ca. 15% av nivået i 1992. Til sammenligning var AOT40 ved Tustervatn i Nordland høyest i 1990 og lavest i 1992 (hhv. 5500 og 2000 ppb t). De fleste år ligger eksponeringsdosen i området 5-10 ppm t i Sør-Norge og 2-5 ppm t i Nord-Norge, i perioden april-september. I løpet av vekstperioden (mai-september) vil eksponeringsdosen ligge i området hvor avling for dyrket eng og korn kan bli redusert. Det samme gjelder for biomassetilveksten hos bjørk i lavlandet i Sør-Norge.

Som figur 4 viser vil den største delen av eksponeringsdosen fåes i løpet av mai og juni. Stasjoner som ligger langt mot nord har relativt lavere ozonkonsentrasjoner om sommeren enn tidlig på våren, sammenlignet med stasjoner lengre sør. Dette skyldes trolig at avsetningen av ozon ved bakken øker når fotosyntesen blir mer effektiv og ruheten ved bakken øker, slik at tilførselen ikke er så effektiv som tidligere på året.

Eksponeringsdoser beregnet for områder der de angitte vekster ikke vokser, indikerer kun størrelsen av eksponeringsdosen og gir ingen indikasjon på effekter. Dette gjelder særlig kartlegging av eksponering etter kriteriet for skade på landbruksvekster (hvete) som ikke dyrkes nord for Trøndelag. Det er allikevel valgt å vise eksponering beregnet etter denne definisjonen for hele Norge, siden kriteriet for hvete antas også å kunne være representativt for følsomheten av andre naturlige- og seminaturalige vekster. Tilsvarende er det ved kartleggingen av eksponeringsdoser i Sør-Norge ikke tatt hensyn til den vesentlige kortere vekstsesongen som vekster i fjellet vil ha. Dette medfører at de beregnede doser i disse områdene ikke vil være representative for den eksponeringen vegetasjonen der utsettes for.

Beregnete eksponeringsdoser for landbruksvekster (figur 5) viser at de høyeste doser ble observert i Sør-Skandinavia. Ved Birkenes i Aust-Agder, var AOT40 i 1992 over 11000 ppb t, noe som i hht. UN-ECE skulle indikere en reduksjon i avling på omlag 20%. Tålegrensen på 5300 ppb t overskrides sør for Nord-Trøndelag. Som vist i figur 6 reduseres AOT40 betydelig når tålegrensekriteriet tilpasses nordiske forhold, til overskridelser bare sør for 60 breddegrad og avlingsreduksjoner i størrelsesorden 10-15%. Dersom det også korrigeres for referansehøyde, reduseres eksponeringsdosene ytterligere, slik at tålegrensen overskrides i fylkene fra Rogaland til Østfold, med avlingsreduksjoner på 10%.

For dyrket eng (figur 7) indikerer resultatene at eksponeringsdosen overskrides sør for Nord-Trøndelag, med avlingsreduksjoner i størrelsesordenen 10–15%. Ved å benytte 6700 ppb t som tålegrense vil området der tålegrensen overskrides reduseres vesentlig.

Tålegrensen for synlige skader på landbruksvekster definert som 700 pph t over tre dager ble overskredet flest ganger ved Birkenes (15 ganger) og Kårvatn (13 ganger). Betydningen av disse overskridelsene er vanskelig å vurdere, men de kan indikere at synlige ozonskader kan ha forekommet på følsomme vekster. Disse antas kun å være av visuell betydning.

For skog overskrides tålegrensen på 10000 ppb t i hele Sør-Norge. Høyeste eksponering ble målt ved Birkenes med nesten 17 000 ppb t. Også ved Kårvatn var AOT40 relativt høy (15 000 ppb t). Ved å velge vekstsesong tilpasset nordisk barskog reduseres overskredet areal betydelig (figur 9), og først og fremst i de nordlige og høyereliggende områder (ved de finske stasjonene Erange og Oulanka reduseres AOT40 med hhv. 75% og 50%). Ved å benytte en tålegrense på 12 500 ppb t som foreslått av Küppers et al.(1994) vil tålegrensen kun være overskredet på Sørlandet.

For løvskog (figur 11) reduseres AOT40 vesentlig på grunn av at knoppskyting skjer relativt lenge etter 1. april (UN-ECEs vekstsesongstart for skog). Tålegrensen på 10 000 ppb t ble såvidt overskredet ved en stasjon (Birkenes). Dersom den foreslåtte tålegrensen på 7 100 ppb t benyttes (basert på bjørk) (Mortensen, 1994b) vil tålegrensen overskrides i området fra Rogaland til Østfold.

Bruken av de beregnede eksponeringsdoser for å anslå effekter vil ha mange usikkerheter. Eksponeringsdoser er beregnet på grunnlag av et relativt lite antall stasjoner og den regionale representativiteten av disse er ikke kvantitativt kjent for denne type beregninger. De fleste stasjoner er plassert i skog og vil således være eksponert for lavere ozonkonsentrasjoner enn fritt eksponerte områder, åskammer, tretopper osv. Ideelt sett burde ozonkonsentrasjonene vært målt over skogtaket, og vært kombinert med avsetningshastigheter for ulike typer markslag.

På grunn av at en meget stor del av ozoneksponeringen skjer tidlig i sommerhalvåret og episodisiteten av høye ozonkonsentrasjoner i Norge, vil tidspunktet for vekstsesongens start ha stor betydning for den akkumulerte eksponeringsdosen. Det er i dette arbeidet benyttet normalverdier for vekstsesong ved tilpasning til nordiske forhold, og ikke de reelle vekstsesonger for de enkelte år. Trolig vil det være en sammenheng mellom tidlig vår og tidligere start av vekstsesongen og forekomst av ozonepisoder, slik at AOT40 kan underestimeres noe. Denne usikkerheten antas imidlertid å være av mindre betydning. Tidspunkt for avslutningen av vekstsesongen innvirker i liten grad på eksponeringsdosen siden ozonkonsentrasjonen etter 1. august sjelden overstiger 40 ppb.

De foreliggende kriterier for beregning av tålegrenser for landbruksvekster og skog gir ikke grunnlag for å kunne vurdere effekter av andre faktorer som kan influere på ozonfølsomheten. Det finnes indikasjoner på at samvirkende effekter kan medføre økt følsomhet for eksponering av ozon. På den annen side vil f.eks. tørkestress kunne medføre at plantenes spalteåpninger lukkes, slik at ozonopptaket

reduseres. Kunnskap om disse prosessene er begrenset, men vil kunne inkluderes i tålegrenseprinsippet når slik informasjon fremskaffes. En utvidelse av tålegrensekriteriet til også å omfatte slike forhold omtales som nivå 2, mens kartleggingen iht. UN-ECE (1994) betegnes som nivå 1. Det utføres i dag kartlegging på nivå 1 for alle land i Europa, samtidig som ytterligere dose-responsforsøk utføres for å klarlegge effekter. På grunnlag av disse forskningsresultatene vil forbedrede kriterier utarbeides.

Resultatene viser at de høyeste eksponeringsdosene registreres i Sør-Norge, og at det er stor variasjon i dosen fra år til år. Valg av vekstsesong (og særlig starten av denne) har stor betydning for beregnet dose, da ozonkonsentrasjonene er høyest på våren og forsommeren. På grunn av senere start på vekstsesongen i Skandinavia i forhold til resten av Europa er de anbefalte tålegrensekriterier dårlig egnet for å beskrive overskridelser i Norge. Tilpasning av tålegrensene til nordiske forhold ved å benytte mer relevante vekstsesonger reduserer eksponeringsdosene betraktelig. Til tross for dette kan eksponeringsdosene overskride de anbefalte tålegrenseverdier for vegetasjon i Sør-Norge.

Beregning av akkumulerte eksponeringsdoser av ozon basert på AOT40-prinsippet stiller store krav til målestasjonenes representativitet, målenettets tetthet og datadekning. Regionale eksponeringsdoser for ulike typer markslag kan ikke bestemmes eksakt på grunnlag av de målinger av ozon som i dag utføres. Målingene vil likevel gi indikasjoner på regional fordeling, typiske eksponeringsdoser og vise områder der ulike tålegrensekriterier overskrides.

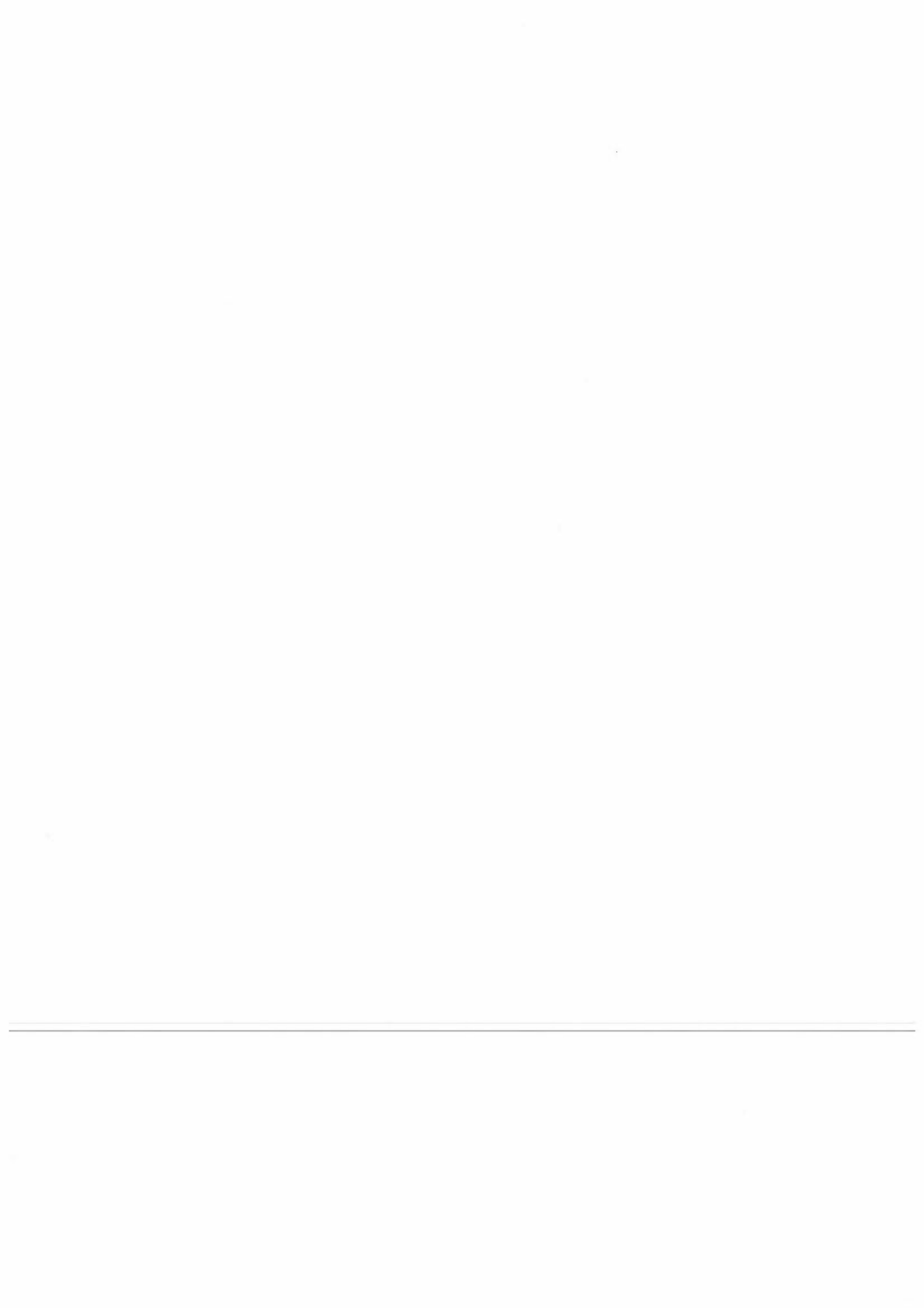
7. Referanser

- Fowler, D., Smith, R.I., Weston, K.J (1994) Quantifying the spatial distribution of surface ozone exposure at the 1km x 1km scale. In: *Critical Levels for Ozone, a UN-ECE workshop report*. Ed. by J. Fuhrer & B. Achermann. Liebfeld-Bern, Federal Station for Agricultural Chemistry and Environmental Hygiene (Schriftenreihe der FAC, 16). pp. 98-110.
- Fuhrer, J. (1994) The critical level for ozone to protect agricultural crops – An assessment of data from European open-top chamber experiment. In: *Critical Levels for Ozone, a UN-ECE workshop report*. Ed. by J. Fuhrer & B. Achermann. Liebfeld-Bern, Federal Station for Agricultural Chemistry and Environmental Hygiene (Schriftenreihe der FAC, 16). pp. 42-57.
- Journel, A.G. and Huibregts, C.J. (1981) *Mining Geostatistics*. London, Academic Press.
-
- Küppers, K. Boomers, J., Hestermann, C., Hanstein, S. and Guderian, R. (1994) Reaction of forest trees to different exposure profiles of ozone-dominated air pollution mixtures. In: *Critical Levels for Ozone, a UN-ECE workshop report*. Ed. by J. Fuhrer & B. Achermann. Liebfeld-Bern, Federal Station for Agricultural Chemistry and Environmental Hygiene (Schriftenreihe der FAC, 16). pp. 98-110.

- Lefohn, A.S. and Shadwick, D.S. (1991) Ozone, Sulphur dioxide, and Nitrogen dioxide trends at rural sites located in the United States. *Atmos. Environ.*, 25A, 491-501.
- Loibl, W., Winiwarter, W., Kopsca, A. and Zeuger, J. (1994) Estimating the spatial distribution of ozone concentrations in complex terrain. *Atmos. Environ.* 28, 2557-2566.
- Lövblad, G., Grennfelt, P.I., Kärenlampi, L., Laurila, T., Mortensen, L., Ojanperä, K., Pleijel, H., Semb, A., Simpson, D., Skärby, L., Tuovinen, J.P., and Tørseth, K. (1996) Ozone exposure mapping in the Nordic countries. Report from a Nordic cooperation project financed by the Nordic Council of Ministers (in prep).
- Matheron, G. (1963) Principles of geostatistics. *Econ. Geol.*, 58, 1246-1266.
- Mortensen, L.M. (1992) Effects of ozone on growth of seven grass and one clover species. *Acta Agr. Scand., Sect. B, Soil and Plant Sci.*, 42, 235-239.
- Mortensen, L.M. (1993) Effects of ozone on growth of several subalpine plant species. *Norw. J. Agr. Sci.*, 7, 129-138.
- Mortensen, L.M. (1994a) Further studies on the effects of ozone concentration on growth of subalpine plant species. *Norw. J. Agr. Sci.*, 8, 91-97.
- Mortensen, L.M. (1994b) The influence of carbon dioxide or ozone concentration on growth and assimilate partitioning in seedlings of nine conifers. *Acta Agr. Scand., Sect. B, Soil and Plant Sci.*, 44, 157-163.
- Mortensen, L.M. (1995) Luftforurensninger, effekter og verdier. Effekter på avlinger, skog og annen vegetasjon (dose-respons). Oslo, Statens forurensningstilsyn (SFT Rapport 95:21).
- Mortensen, L.M. and Nilsen, J. (1992) Effects of ozone and temperature on growth of several wild plant species. *Norw. J. Agr. Sci.*, 6, 195-204.
- Pedersen, U. and Lefohn, A.S. (1993) Characterizing surface ozone concentrations in Norway. *Atmos. Environ.*, 28, 89-101.
- Pleijel, H. and Grennfelt, P. (1995) Estimation of yield loss from ozone - the problem of the height gradient above a field crop. EMEP Workshop on the Control of Photochemical Oxidants over Europe, 24-27 October 1995, St. Gallen, Switzerland.
-
- Schaug, J., Iversen, T., and Pedersen, U. (1993). Comparison of measurements and model results for airborne sulphur and nitrogen components with kriging. *Atmos. Environ.*, 6, 831-844.

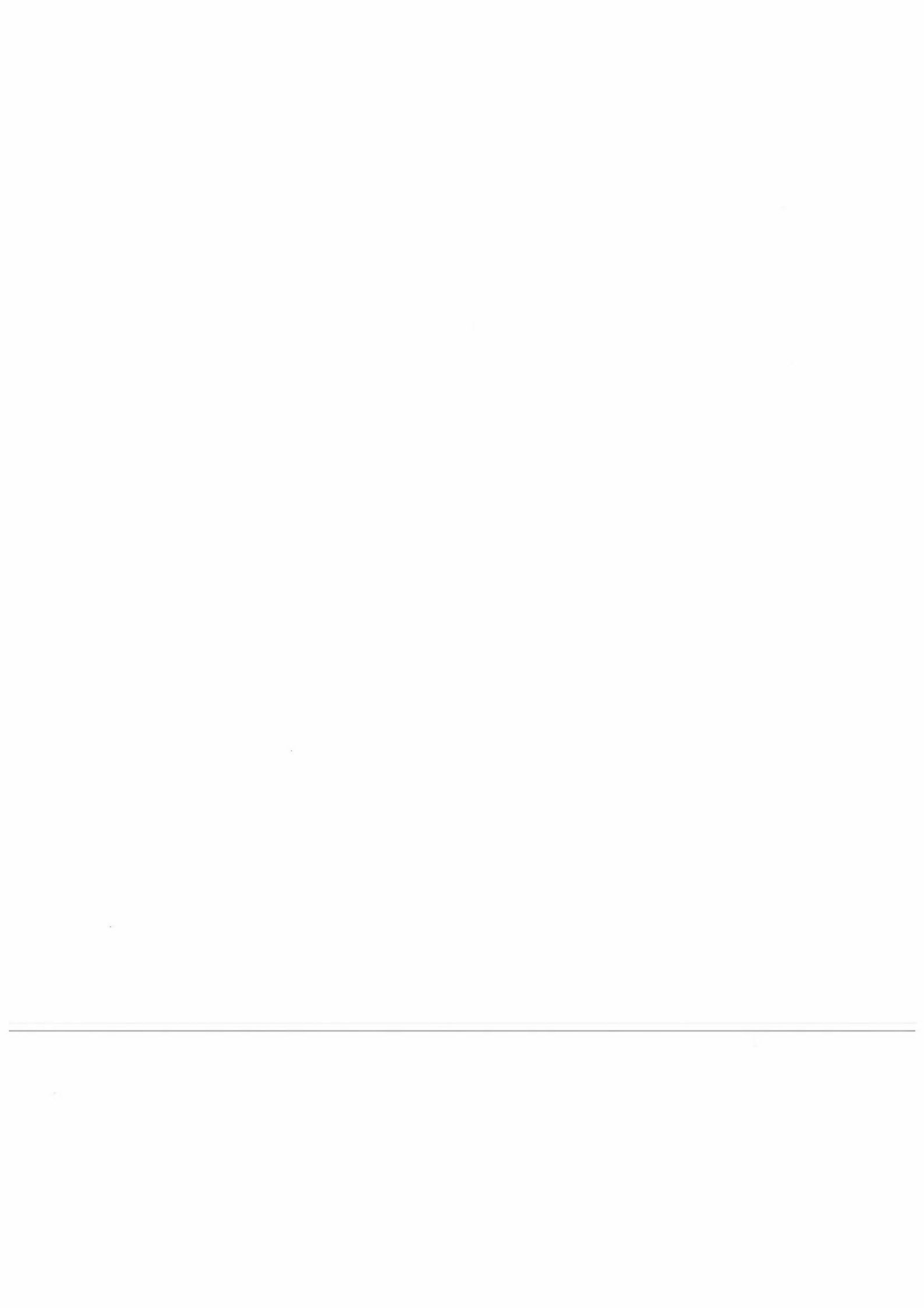
SFT (1994). Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Årsrapport 1993. Oslo (Statlig program for forurensningsovervåking. Rapport 583/94).

UN-ECE (1994) Critical levels for ozone, a UN-ECE workshop report. Bern, Switzerland, 1-4 November, 1993. Ed. by J. Fuhrer & B. Achermann. Liebefeld-Bern, Federal Station for Agricultural Chemistry and Environmental Hygiene (Schriftenreihe der FAC, 16).



Vedlegg A

Naturens Tålegrenser – Oversikt over utgitte rapporter



Naturens Tålegrenser - Oversikt over utgitte rapporter

- 1 Nygaard, P. H., 1989. Forurensningers effekt på naturlig vegetasjon en litteraturstudie. Norsk institutt for skogforskning (NISK), Ås.
- Uten nr. Jaworowski, Z., 1989. Pollution of the Norwegian Arctic: A review. Norsk polarinstitutt (NP), rapportserie nr. 55. Oslo.
- 2 Henriksen, A., Lien, L. & Traaen, T.S. 1990. Tålegrenser for overflatevann. Kjemiske kriterier for tilførsler av sterke syrer. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-89210.
- 3 Lien, L., Henriksen, A., Raddum, G. & Fjellheim, A. 1989. Tålegrenser for overflatevann. Fisk og evertbrater. Foreløpige vurderinger og videre planer. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-89185.
- 4 Bølviken, B. & medarbeidere, 1990. Jordforsuringsstatus og forsurningsfølsomhet i naturlig jord i Norge. Norges geologiske undersøkelse (NGU), NGU-rapport 90.156. 2 bind (Bind I: Tekst, Bind II: Vedlegg og bilag).
- 5 Pedersen, H. C. & Nybø, S. 1990. Effekter av langtransporterte forurensninger på terrestriske dyr i Norge. En statusrapport med vekt på SO₂, NO_x og tungmetaller. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Utredning 005.
- 6 Frisvoll, A. A., 1990. Moseskader i skog i Sør-Norge. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Oppdragsmelding 018.
- 7 Muniz, I. P. & Aagaard, K. 1990. Effekter av langtransportert forurensning på ferskvannsdyr i Norge - virkninger av en del sporelementer og aluminium. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Utredning 013.
- 8 Hesthagen, T., Berger, H. M. & Kvenild, L. 1992. Fiskestatus i relasjon til forsuring av innsjøer. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Forskningsrapport 032.
- 9 Pedersen, U., Walker, S.E. & Kibsgaard, A. 1990. Kart over atmosfærisk avsetning av svovel- og nitrogenforbindelser i Norge. Norsk institutt for luftforskning (NILU), OR 28/90.
- 10 Pedersen, U. 1990. Ozonkonsentrasjoner i Norge. Norsk institutt for luftforskning (NILU), OR 28/90.
- 11 Wright, R. F., Stuanes, A. Reuss, J.O. & Flaten, M.B. 1990. Critical loads for soils in Norway. Preliminary assessment based on data from 9 calibrated catchments. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-89153.
- 11b Reuss, J. O., 1990. Critical loads for soils in Norway. Analysis of soils data from eight Norwegian catchments. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-89153.
- 12 Amundsen, C. E., 1990. Bufferprosent som parameter for kartlegging av forsurningsfølsomhet i naturlig jord. Universitetet i Trondheim, AVH (stensil).
- 13 Flatberg, K.I, Foss, B., Løken, A. & Saastad, S.M. 1990. Moseskader i barskog. Direktoratet for naturforvaltning (DN), notat.
- 14 Frisvoll, A.A., & Flatberg, K.I., 1990. Moseskader i Sør-Varanger. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Oppdragsmelding 55.
- 15 Flatberg, K.I., Bakken, S., Frisvoll, A.A., & Odasz, A.M. 1990. Moser og luftforurensninger. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Oppdragsmelding 69.

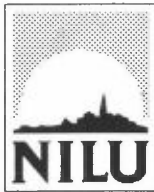
- 16 Mortensen, L.M. 1991. Ozonforurensning og effekter på vegetasjonen i Norge. Norsk landbruksforsk. 5:235-264.
- 17 Wright, R.F., Stuanes, A.O. & Frogner, T. 1991. Critical Loads for Soils in Norway Nordmoen. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-89153.

- 18 Pedersen, H.C., Nygård, T., Myklebust, I. og Sæther, M. 1991. Metallbelastninger i liryte. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Oppdragsmelding 71.
 - 19 Lien, L., Raddum, G.G. & Fjellheim, A. 1991. Tålegrenser for overflatevann evertebrater og fisk. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), Rapport 0-89185,2.
 - 20 Amundsen, C.E. 1992. Sammenligning av parametre for å bestemme forsurningsfølsomhet i jord. NGU-rapport 91.265.
 - 21 Bølviken, B., R. Nilsen, J. Romundstad & O. Wolden. 1992. Surhet, forsurningsfølsomhet og lettløselige basekationer i naturlig jord fra Nord-Trøndelag og sammenligning med tilsvarende data fra Sør Norge. NGU-rapport 91.250.
 - 22 Sivertsen, T. & medarbeidere. 1992. Opptak av tungmetaller i dyr i Sør-Varanger. Direktoratet for naturforvaltning, DN-notat 1991-15.
 - 23 Lien, L., Raddum, G.G. & A. Fjellheim. 1992. Critical loads of acidity to freshwater. Fish and invertebrates. Norwegian Institute for Water Research (NIVA), Rapport O-89185,3.
 - 24 Fremstad, E. 1992. Virkninger av nitrogen på heivegetasjon. En litteraturstudie. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Oppdragsmelding 124.
 - 25 Fremstad, E. 1992. Heivegetasjon i Norge, utbredelseskart. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Oppdragsmelding 188.
 - 26 Flatberg, K.I. & Frisvoll, A. 1992. Undersøkelser av skader hos to sigdmoser i Agder. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Oppdragsmelding 134.
 - 27 Lindstrøm, E.A. 1992. Tålegrenser for overflatevann. Fastsittende alger. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-90137/E-90440, rapport-2.
 - 28 Brettum, P. 1992. Tålegrenser for overflatevann. Planteplankton. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-90137/E-90440, rapport-3.
 - 29 Brandrud, T.E., Mjelde, M. 1992. Tålegrenser for overflatevann. Makrovegetasjon. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-90137/E-90440, rapport-1.
 - 30 Mortensen, L.M. & Nilsen, J. 1992. Effects of ozone and temperature on growth of several wild plant species. Norwegian Journal of Agricultural Sciences 6: 195-204.
 - 31 Pedersen, H.C., Myklebust, I., Nygård, T. & Sæther, M. 1992. Akkumulering og effekter av kadmium i liryte. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Oppdragsmelding 152.
 - 32 Amundsen, C.E. 1992. Sammenligning av relativ forsurningsfølsomhet med tålegrenser beregnet med modeller, i jord. Norges geologiske undersøkelse. NGU-rapport 92.294.
 - 33 Frogner, T., Wright, R.F., Cosby, B.J., Esser, J.M., Håøya, A.-O. & Rudi, G. 1992. Map of critical loads for coniferous forest soils in Norway. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-91147.
 - 34 Henriksen, A., Lien, L., Traaen, T.S. & Taubøll, S. 1992. Tålegrenser for overflatevann - Kartlegging av tålegrenser og overskridelser av tålegrenser for tilførsler av sterke syrer. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-89210.
 - 35 Lien, L. Henriksen, A. & Traaen, T.S. 1993. Tålegrenser for sterke syrer på overflatevann -Svalbard. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-90102.
-
- 36 Henriksen, A., Hesthagen, T., Berger, H.M., Kvenild, L., Taubøll, S. 1993. Tålegrenser for overflatevann - Sammenheng mellom kjemisk kriterier og fiskestatus. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-92122.
 - 37 Odasz, A.M., Øiesvold, S., & Vange, V. 1993. Nitrate nutrition in *Racomitrium lanuginosum* (Hedw.)Brd., a bioindicator of nitrogen deposition in Norway. Direktoratet for naturforvaltning. Utredning for DN 1993-2.

- 38 Espelien, I.S. 1993. Genetiske effekter av tungmetaller på pattedyr. En kunnskapsoversikt. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Utredning 051.
- 39 Økland, J. & Økland, K.A. 1993. Database for bioindikatorer i ferskvann - et forprosjekt. Laboratorium for ferskvannøkologi og innlandsfiske (LFI), Zoologisk Museum, Oslo, Rapport 144, 1993.
- 40 Aamlid, D. & Skogheim, I. 1993. Nikkel, kopper og andre metaller i multer og blåbær fra Sør-Varanger, 1992. Rapport Gkogforsk 14/93. 14/93.
- 41 Kålås, J.A., Ringsby, T.H. & Lierhagen, S. 1993. Metals and radiocesium in wild animals from the Sør-Varanger area, north Norway. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Oppdragsmelding 212.
- 42 Fløisand, I. & Løbersli, E. (red.) 1993. Tilførsler og virkninger av lufttransporterte forurensninger (TVLF) og Naturens tålegrenser. Sammendrag av foredrag og postere fra møte i Stjørdal, 15.-17. februar 1993. Norsk institutt for luftforskning (NILU), OR 17/93.
- 43 Henriksen, A. & Hesthagen, T. 1993. Critical load exceedance and damage to fish populations. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-89210.
- 44 Lien, L., Henriksen, A. & Traaen, T.S. 1993. Critical loads of acidity to surface waters, Svalbard. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-90102.
- 45 Løbersli, E., Johannessen, T. & Olsen, K.V. (red.) 1993. Naturens tålegrenser. Referat fra seminar i 1991 og 1992. Direktoratet for naturforvaltning, DN-notat 1993-6.
- 46 Bakken, S. 1993. Nitrogenforurensning og variasjon i nitrogen, protein og klorofyllinnhold hos barskogsmosen blanksigd (*Dicranum majus*). Direktoratet for naturforvaltning (DN). Utredning for DN 1994-1.
- 47 Krøkje, Å. 1993. Genotoksisk belastning i jord. Effektstudier, med mål å komme fram til akseptable grenser for genotoksisk belastning fra langtransportert luftforurensning. Direktoratet for naturforvaltning (DN). Utredning for DN 1994-2.
- 48 Fremstad, E. 1993. Heigråmose (*Racomitrium lanuginosum*) som indikator på nitrogenbelastning. Norsk institutt for naturforskning (NINA) Oppdragsmelding 239.
- 49 Nygaard, P.H. & Ødegaard, T.H. 1993. Effekter av nitrogengjødsling på vegetasjon og jord i skog. Rapport Skogforsk 26/93.
- 50 Fløisand, I. og Johannessen, T. (red.) 1994. Langtransporterte luftforurensninger. Tilførsler, virkninger og tålegrenser. Sammendrag av foredrag og postere fra møte i Grimstad, 7.-9.3.94. Norsk institutt for luftforskning NILU OR: 17/94
- 51 Kleivane, L. Skåre, J.U. & Wiig, Ø. 1994. Klorerte organiske miljøgifter i isbjørn. Forekomst, nivå og mulige effekter. Norsk Polarinstitutt Meddelelse nr. 132.
- 52 Lydersen, E., Fjeld, E. & Andersen, T. 1994. Fiskestatus og vannkjemi i norske innsjøer. Norsk institutt for vannforskning (NIVA) O-93172
- 53 Schartau, A.K.L. (red.) 1994. Effekter av lavdose kadmium-belastning på littorale ferskvanns-populasjoner og -samfunn. Norsk institutt for naturforskning (NINA) Forskningsrapport 055.
- 54 Mortensen, L. (1994). Variation in ozone sensitivity of *Betula pubescens* Erh. from different sites in South Norway. Direktoratet for naturforvaltning (DN). Utredning for DN, Nr. 1994-6.
- 55 Mortensen, L. (1994). Ozone sensitivity of *Phleum alpinum* L. from different locations in South Norway. Direktoratet for naturforvaltning (DN). Utredning for DN, Nr. 1994-7.
- 56 Frogner, T., Wright, R.F., Cosby, J.B. and Esser, J.M. (1994). Maps of critical loads and exceedance for sulfur and nitrogen to forest soils in Norway. Norsk institutt for vannforskning (NIVA) O-91147.
- 57 Flatberg, K.I. & Frisvoll, A.A. 1994. Moseskader i Agder 1989-92 (1994). Norsk institutt for naturforskning (NINA), Oppdragsmelding 298.

- 58 Hesthagen, T. & Henriksen, A. (1994). En analyse av sammenhengen mellom overskridelser av tålegrenser for overflatevann og skader på fiskebestander. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Oppdragsmelding 288.
- 59 Skåre, J.U., Wiig, Ø. & Bernhoft, A. (1994). Klorerte organiske miljøgifter; nivåer og effekter på isbjørn. Norsk Polarinstitutt Rapport nr. 86 - 1994.
- 60 Tørseth, K. & Pedersen, U. 1994. Deposition of sulphur and nitrogen components in Norway. 1988-1992. Norsk institutt for luftforskning (NILU): OR 16/94.
- 61 Nygaard, P.H. 1994. Virkning av ozon på blåbær (*Vaccinium myrtillus*), etasjehusmose (*Hylocomium splendens*), furumose (*Pleurozium schreberi*) og krussigd (*Dicranum polysetum*). Rapport Skogforsk 9/94.
- 62 Henriksen, A. & Lien, L. 1994. Tålegrenser for overflatevann: Metode og usikkerheter. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-94122.
- 63 Hilmo, O. & Larssen, H.C. 1994. Morfologi hos epifyttisk lav i områder med ulik luftkvalitet. ALLFORSK Rapport 2.
- 64 Wright, R.F. 1994. Bruk av dynamiske modeller for vurdering av vann- og jordforsuring som følge av redusert tilførsel av sur nedbør. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-94112.
- 65 Hesthagen, T., A. Henriksen & Kvenild, L. 1994. Overskridelser av tålegrenser for overflatevann og skader på fiskebestander i norske innsjøer med spesiell vekt på Troms og Finnmark. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Oppdragsmelding 298.
- 66 Solli, I.M.S., Flatberg, K.I.F. & Söderström, L. 1994. Blanksigd og luftforurensningsstudier (in prep)
- 67 Stuanes, A. & Abrahamsen, G. 1995. Utredning om kunnskapsgrunnlaget for definisjon av tålegrenser i skog. Rapport Skogforsk (in prep).
- 68 Ogner, G. 1995. Tålegrenser for skog i Norge med hensyn til ozon. Aktuelt fra Skogforsk 3-95.
- 69 Thomsen, M., Nellemann, C. Frogner, T., Henriksen A., Tomter, S. & Mulder, J. 1995. Tilvekst og vitalitet for granskog sett i relasjon til til tålegrenser og forurensning. Norsk institutt for skogforskning (NISK) (in prep)
- 70 Tomter, S. M. & Esser, J. 1995. Kartlegging av tålegrenser for nitrogen basert på en empirisk metode. Norsk institutt for jord- og skogkartlegging (NIJOS). Rapport nr 10/95.
- 71 Pedersen, H.Chr. (ed.). 1995. Kadmium og bly i lirype: akkumulering og cellulære effekter. Stiftelsen for naturforskning og kulturminneforskning (NINA-NIKU) (in prep).
- 72 Bakken, S. & Flatberg, K.I.F. 1995. Effekter av økt nitrogendeposisjon på ombrotrof myrvegetasjon. En litteraturstudie. ALLFORSK Rapport 3.
- 73 Sogn, T.A., Stuanes, A.O. & Abrahamsen, G. 1995. Akkumulering av nitrogen - en kritisk parameter for beregning av tålegrenser for nitrogen i skog. Rapport Skogforsk (in prep).
- 74 Nygaard, P.H. & Eldhuset, T. 1995. Forholdet mellom basekationer og aluminium i jordløsning som kriterium for tålegrenser i skogsjord. Norsk institutt for skogforskning (NISK). Rapport Skogforsk (in prep).
- 75 Mortensen, L. 1993. Effects of ozone on growth of several subalpine plant species. Norw. J. Agric. Sci. 7: 129-138.
-
- 76 Mortensen, L. 1994. Further studies on the effects of ozone concentration on growth of subalpine plant species. Norw. J. Agric. Sciences 8:91-97.

Henvendelser vedrørende rapportene rettes til utførende institusjon



Norsk institutt for luftforskning (NILU)

Postboks 100, N-2007 Kjeller

RAPPORTTYPE OPPDRAKS RAPPORT	RAPPORT NR. OR 12/96	ISBN-82-425-0746-5	
DATO 7/3 1996	ANSV. SIGN. <i>Arne Semb</i>	ANT. SIDER 42	PRIS NOK 75,-
TITTEL Kartlegging av bakkenær ozon etter tålegrenser basert på akkumulert dose over 40 ppb		PROSJEKTLEDER Kjetil Tørseth	
		NILU PROSJEKT NR. O-94074	
FORFATTER(E) Kjetil Tørseth, Leiv Mortensen og Anne-Gunn Hjellbrekke		TILGJENGELIGHET * A	
		OPPDRAKSGIVERS REF.	
OPPDRAKSGIVER Statens forurensningstilsyn Pb. 8100 Dep. 0032 OSLO			
STIKKORD ozon	tålegrense		
REFERAT Akkumulerte eksponeringsdoser av bakkenær ozon er kartlagt etter anbefalte tålegrensekriterier. Det er også vurdert hvordan tålegrensekriteriet kan tilpasses nordisk forhold. Tilpasning av tålegrensene reduserer eksponeringsdosene betraktelig. Til tross for dette kan eksponeringsdosene overskride de anbefalte tålegrenseverdiene for vegetasjon i Sør-Norge.			
TITLE Mapping ground level ozone according to the critical level concept based on accumulated exposure over the threshold concentration of 40 ppb.			
ABSTRACT Accumulated ozone exposure has been mapped according to recommended criteria. When adjusting the criteria for nordic conditions, the ozone exposure considerably reduced. However, critical levels for ozone may still be exceeded in Southern Norway.			

* Kategorier: A Åpen - kan bestilles fra NILU
 B Begrenset distribusjon
 C Kan ikke utleveres