

461

OPPDRAKSMELDING

En studie av
planters fotosynteseaktivitet,
målt som klorofyll fluorescens,
i områder med ulik belastning av
flyktige organiske forbindelser
i Rjukan, Sørøst-Norge

Per Arild Aarrestad
Odd Eilertsen
Norbert Schmidbauer



NINA • NIKU

NINA Norsk institutt for naturforskning

En studie av
planters fotosynteseaktivitet,
målt som klorofyll fluorescens,
i områder med ulik belastning av
flyktige organiske forbindelser
i Rjukan, Sørøst-Norge

Per Arild Aarrestad
Odd Eilertsen
Norbert Schmidbauer

NINA•NIKUs publikasjoner

NINA•NIKU utgir følgende faste publikasjoner:

NINA Fagrapport NIKU Fagrapport

Her publiseres resultater av NINAs og NIKUs eget forskningsarbeid, problemoversikter, kartlegging av kunnskapsnivået innen et emne, og litteraturstudier. Rapporter utgis også som et alternativ eller et supplement til internasjonal publisering, der tidsaspekt, materialets art, målgruppe m.m. gjør dette nødvendig.

Opplag: Normalt 300-500

NINA Oppdragsmelding NIKU Oppdragsmelding

Dette er det minimum av rapportering som NINA og NIKU gir til oppdragsgiver etter fullført forsknings- eller utredningsprosjekt. I tillegg til de emner som dekkes av fagrapportene, vil oppdragsmeldingene også omfatte befariingsrapporter, seminar- og konferanseforedrag, årsrapporter fra overvåkningsprogrammer, o.a.

Opplaget er begrenset. (Normalt 50-100)

NINA•NIKU Project Report

Serien presenterer resultater fra begge instituttene prosjekter når resultatene må gjøres tilgjengelig på engelsk. Serien omfatter original egenforskning, litteraturstudier, analyser av spesielle problemer eller tema, etc.

Opplaget varierer avhengig av behov og målgrupper.

Temahefter

Disse behandler spesielle tema og utarbeides etter behov bl.a. for å informere om viktige problemstillinger i samfunnet. Målgruppen er "almenheten" eller særskilte grupper, f.eks. landbruket, fylkesmennenes miljøvern-avdelinger, turist- og friluftlivskretser o.l. De gis derfor en mer populærfaglig form og med mer bruk av illustrasjoner enn ovennevnte publikasjoner.

Opplag: Varierer

Fakta-ark

Hensikten med disse er å gjøre de viktigste resultatene av NINA og NIKUs faglige virksomhet, og som er publisert andre steder, tilgjengelig for et større publikum (presse, ideelle organisasjoner, naturforvaltningen på ulike nivåer, politikere og interesserte enkeltpersoner).

Opplag: 1200-1800

I tillegg publiserer NINA og NIKU-ansatte sine forskningsresultater i internasjonale vitenskapelige journaler, gjennom populærfaglige tidsskrifter og aviser.

Aarrestad, P.A., Eilertsen, O. & Schmidbauer, N. 1997. En studie av planters fotosynteseaktivitet, målt som klorofyll fluorescens, i områder med ulik belastning av flyktige organiske forbindelser i Rjukan, Sørøst-Norge. - NINA Oppdragsmelding 461: 1-27.

Trondheim, januar 1997

ISSN 0802-4103

ISBN 82-426-0779-6

Forvaltningsområde:

Forurensning

Pollution

Rettighetshaver ©:

Stiftelsen for naturforskning og kulturminneforskning

NINA•NIKU

Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse

Redaksjon:

Bjørn Åge Tømmerås

NINA•NIKU, Trondheim

Design og layout:

Synnøve Varvik

Sats: NINA•NIKU

Kopiering: Norservice

Opplag: 150

Kontaktadresse:

NINA

Tungasletta 2

7005 Trondheim

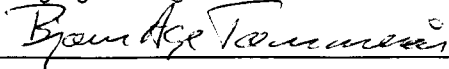
Tel: 73 58 05 00

Fax: 73 91 54 33

Tilgjengelighet: Åpen

Prosjekt nr.: 16162 Rjukan kjemi

Ansvarlig signatur:



Oppdragsgiver:

Rjukan Kjemi A/S

Referat

Aarrestad, P.A., Eilertsen, O. & Schmidbauer, N. 1997. En studie av planters fotosynteseaktivitet, målt som klorofyll fluorescens, i områder med ulik belastning av flyktige organiske forbindelser i Rjukan, Sørøst-Norge. - NINA Oppdragsmelding 461: 1-27.

Vegetasjon og planters fotosynteseaktivitet er undersøkt i fem felter langs en belastningsgradient av flyktige organiske hydrokarboner, hovedsakelig benzenforbindelser. Formålet var å kartlegge eventuelle virkninger av løsemiddelutslipp (Shellsol-komponenter) fra Rjukan Kjemi A/S på vegetasjon rundt bedriften.

Den undersøkte vegetasjonen var hovedsakelig en artsfattig bærlyng-/småbregnedominert granskog. Artssammensetningen i feltene ble beskrevet ved ruteanalyser og DCA ordinasjon (detrended correspondence analysis). Løsemiddelkonsentrasjoner i luft ble målt i hvert felt med et passivt adsorpsjonsmiddel (Tenax-TA) over tre uker. Klorofyll fluorescens ble målt på et utvalg av arter langs belastningsgradienten for å vurdere effekten av utslippene på plantenes fotosynteseaktivitet.

Variasjonen i artssammensetningen og den generelle tilstanden i vegetasjonen skyldes hovedsakelig ulike edafiske og topografiske forhold, hogst, tidligere angrep av barkbiller på gran og andre forurensningskilder. Konsentrasjonen av lettflyktige organiske hydrokarboner avtok med avstanden fra bedriften. Høyeste målte konsentrasjoner av Shellsol-komponenter i feltene var $6,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ og laveste $0,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Gran (*Picea abies*), rogn (*Sorbus aucuparia*), blåbær (*Vaccinium myrtillus*) og maiblom (*Maianthemum bifolium*) viste høye, normale klorofyll fluorescens verdier langs hele belastningsgradienten. Fugletelg (*Gymnocarpium dryopteris*) viste en svak stressbelastning som kan skyldes utslipp fra bedriften. Hos gran og rogn ble det registrert svakt lavere klorofyll fluorescens verdier i områder med relativt høye konsentrasjoner av Shellsol-komponenter. Variasjonene i klorofyll fluorescens verdiene for disse artene er imidlertid så små at man ikke kan konkludere med at utslippene har noen særlig innvirkning på deres vitalitet. Det ble observert skader og en sterk reduksjon i fotosynteseaktivitet hos etasjemose (*Hylocomium splendens*) i områder med relativ høy Shellsol-belastning, og utslippene fra bedriften kan være en medvirkende årsak til disse skadene.

Emneord: Flyktige organiske hydrokarboner, planteskader, klorofyll fluorescens, fotosyntese.

Per Arild Aarrestad, Norsk institutt for naturforskning, Tungasletta 2, 7005 Trondheim.

Odd Eilertsen, Norsk institutt for naturforskning, Dronningensgt. 13 0105 Oslo.

Norbert Schmidbauer, Norsk institutt for luftforskning, Postboks 100, 2007 Kjeller.

Abstract

Aarrestad, P.A., Eilertsen, O. & Schmidbauer, N. 1997. A study of the photosynthetic activity of plants, measured as chlorophyll fluorescence, on sites with various loads of volatile organic compounds at Rjukan, southeast Norway. - NINA Oppdragsmelding 461: 1-27.

The vegetation and the photosynthetic activity of plants have been investigated on five sites along a load gradient for volatile organic hydrocarbons, principally benzene compounds. The aim was to map any impacts from the discharge of solvents (Shellsol components) from Rjukan Kjemi A/S on the vegetation surrounding the factory.

The vegetation investigated was mainly species-poor, Norway spruce woodland dominated by dwarf shrubs and small ferns. The species composition on the sites was described by frequency analysis and DCA ordination (detrended correspondence analysis). The concentration of solvents in the air was measured on each site by using a passive adsorbent (Tenax-TA) for three weeks. Chlorophyll fluorescence was measured on selected species along the load gradient to assess the effect of the discharges on the photosynthetic activity of the plants.

The variation in the species composition and the general state of the vegetation mainly result from differing edaphic and topographical conditions, felling, former attacks by bark beetles, and other sources of contamination. The concentration of volatile organic hydrocarbons decreased with the distance from the factory. The highest concentration of Shellsol components on the sites was $6.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ and the lowest was $0.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$. *Picea abies*, *Sorbus aucuparia*, *Vaccinium myrtillus* and *Maianthemum bifolium* showed normal, high chlorophyll fluorescence values along the entire load gradient. *Gymnocarpium dryopteris* showed a weak stress load which may be caused by discharge from the factory. Slightly lower chlorophyll fluorescence values were recorded in *Picea abies* and *Sorbus aucuparia* in areas with relatively high concentrations of Shellsol components. The variations in the chlorophyll fluorescence values for these species were, however, so small that it cannot be concluded that the discharges have any particular effect on their vitality. Damage and a strong reduction in photosynthetic activity were observed in the moss *Hylocomium splendens* in areas with relatively high Shellsol load, and the discharges from the factory may be a factor contributing to these impairments.

Key words: volatile organic hydrocarbons, damage to plants, chlorophyll fluorescence, photosynthesis

Per Arild Aarrestad, Norwegian Institute for Nature Research, Tungasletta 2, N-7005 Trondheim, Norway.

Odd Eilertsen, Norwegian Institute for Nature Research, Dronningensgt. 13, N-0105 Oslo, Norway.

Norbert Schmidbauer, Norwegian Institute for Air Research, PB 100, N-2007 Kjeller, Norway.

Forord

Norsk Institutt for Naturforskning (NINA) ble i 1995 forespurt av Rjukan Kjemi A/S om å kartlegge eventuelle virkninger av løsemiddelutslipp (hovedsakelig benzenforbindelser) på vegetasjon omkring bedriften. Undersøkelsen er et ledd i Statens Forurensningstilsyn's (SFT) krav til bedriften om utslippskonsesjoner. Samme år utførte NINA en befarings i nærområdene til bedriften for å vurdere nærmere lokaliteter og valg av metoder. Vi anbefalte først et mer permanent overvåkingsopplegg med metoder hentet fra Direktoratet for naturforvaltnings program for terrestrisk naturovervåking (TOV), men i fellesskap med bedriften og SFT ble undersøkelsen mer lagt opp til en analyse av plantenes vitalitet og eventuelle synlige skader i en forurensningsgradient fra bedriften, relatert til målte luftkvalitetsverdier av lettflyktige hydrokarboner. Vi har i dette prosjektet lagt vekt på å presentere metodene for undersøkelsen, da det er utført lite forskning i Norge på effekter av organiske løsemidler på vegetasjon.

Per Arild Aarrestad og Odd Eilertsen utførte feltarbeidet i juni 1996 og Norbert Schmidbauer ved Norsk Institutt for Luftforskning (NILU) har vært ansvarlig for luftkvalitetsanalysene.

Vi takker bedriften for et godt samarbeid i hele prosessen.

Trondheim og Oslo, januar 1997.

Per Arild Aarrestad, Odd Eilertsen, Norbert Schmidbauer

Innhold

Referat	3
Abstract	3
Forord	4
1 Innledning	5
2 Undersøkellesområdet	6
2.1 Geografisk plassering	6
2.2 Geologi og geomorfologi	6
2.3 Klima	6
2.4 Vegetasjon	6
2.5 Inngrep og kulturpåvirkning	8
3 Utslipp av løsemidler fra Rjukan Kjemi A/S	8
3.1 Produksjon og utslipp av løsemidler	8
3.2 Kjemiske komponenter i Shellsol AB	8
4 Materiale og metoder	9
4.1 Vegetasjonsøkologisk feltdesign. Valg av vegetasjonstyper og analyseflater	9
4.2 Vegetasjonsanalyser	10
4.3 Prøvetaking av luftkvalitet -Shellsol komponenter og andre lettflyktige stoffer	10
4.4 Plantenes vitalitet - klorofyll fluorescens - prinsipper og anvendelser	10
4.5 Bruk av PEA (Plant Efficiency Analyser) til feltanalyser av klorofyll fluorescens	11
4.6 Analyse av løsemiddelkomponenter	11
4.7 Gradientanalyser av vegetasjonsdata	11
5 Resultater og diskusjon	12
5.1 Vegetasjon i feltene	12
5.2 Luftkvalitet	14
5.3 Generell plantevitalitet i feltene og klorofyll fluorescens til utvalgte arter	14
5.4 Korrelasjoner mellom klorofyll fluorescens verdier hos etasjemose og luftkvalitet	15
6 Konklusjon	18
7 Sammendrag	18
8 Summary	20
9 Litteratur	21
Vedlegg 1 Oversikt over artsforkortelser, vitenskapelige og norske artsnavn	23
Vedlegg 2 Vegetasjonsdata	25
Vedlegg 3 Luftkvalitetsdata	26
Vedlegg 4 Klorofyll fluorescensdata	27

1 Innledning

Bedriften Rjukan Kjemi AS produserer hydrogenperoksyd og slipper i denne forbindelse ut organiske løsemidler til luft som kan påvirke vegetasjonen rundt bedriften. Denne rapporten presenterer metoder og resultater fra en undersøkelse for å kartlegge eventuelle virkninger av løsemidlene på den nærliggende vegetasjon.

Løsemidler

Løsemidlene er i hovedsak lettflyktige organiske stoffer (volatile organic compounds-VOC), men også polyaromatiske hydrokarboner (PAH). Slike stoffer slippes ut i atmosfæren fra en rekke kilder bl.a. industrielle prosesser, forbrenning av fossilt brensel (fyringsolje, diesel og bensin), vedbrenning, skogbrann, kontrollert brenning av jordbruksarealer og fra plantene selv under fotosynteseprosesser (National Research Council Canada 1983; Karlson, Wallin & Gustavson 1992; Monson et al. 1995). Flere undersøkelser er utført på effekter av PAH på alger i akvatiske systemer der fotosyntesen er blitt påvirket (Boney & Corner 1962, Graf & Nowak 1966, Kauss et al. 1973, Giddings 1979, Kusk 1981). Men etter det vi vet finnes det svært liten kunnskap om effekter av VOC og PAH på terrestriske planter.

Fotokjemiske prosesser ved nedbrytning av VOC kan føre til dannelse av bakkenært ozon (O_3) om tilgangen på nitrogenoksider (NO_x) er tilstrekkelig. Imidlertid har slike prosesser en tidsskala på noen timer slik at betydningen av lokale punktutslipp vil reduseres pga. fortynningsprosesser. Ozon er en sterk oksidant (plantegift) som påvirker vegetasjonen alt ved svært lave konsentrasjoner. Gassen tas opp gjennom plantenes spalteåpninger og kan føre til skader på enzymer, koenzymer og andre proteiner, samt pigmenter og nukleinsyrer, noe som endrer cellefunksjonen og reduserer fotosyntesen. Redusert fotosyntese er påvist ved så lave konsentrasjoner som 40-120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Akutte skader opptrer som nekrose og klorose, med redusert vekst som resultat. I naturlige plantesamfunn kan artssammensetningen påvirkes som følge av artenes ulike toleranse ovenfor ozon. Omfattende skogskader i USA og Mellom-Europa er satt i sammenheng med ozon (SFT 1992). Skader er også rapportert ved kontrollerte forsøk i Norge (Mortensen & Skre 1990, Mortensen 1994 og Nygaard 1994), hvor bl.a. blåbær viste seg å være følsom ovenfor ozon.

Hvis utslippene av løsemidler har noen effekt på terrestriske planter, så vil dette trolig gjenspeile seg i plantenes fotosynteseaktivitet. Vi har derfor lagt vekt på å undersøke utvalgte planters fotosynteseaktivitet i tilknytning til ulike forurensningsbelastninger.

Fotosynteseaktivitet

I stadig flere sammenhenger fokuseres det på hvorvidt endringer i ytre miljøforhold påvirker planters vitalitet og produktivitet. Dels fordi plantenes rolle som primærprodusenter utgjør viktige elementer i ulike økosystemer, men også fordi endringer i planters forekomst, vekst og vitalitet

kan gi en indikasjon på naturens tålegrenser, - en såkalt «early warning». Spesielt rettes spørsmålet i forhold til mulige effekter av langtransporterte og lokale tilførsler av forurensende stoffer. En rekke strategier kan legges til grunn for å finne svaret på dette spørsmålet. Strategiene må imidlertid velges på bakgrunn av de konkrete problemstillinger som er identifisert og de tidsrammer og ressurser som en er villig til å avsette til dette formålet.

Da grønne planter har ulike former for vann og næringsopptak vil valg av strategier også sees i forhold til utvalgt av plantearter eller grupper som studeres. Kryptogamer som moser og lav er for en stor del ektohydriske, dvs. at de tar opp vann og næringsstoffer direkte gjennom bladoverflaten. Disse artene vil derfor ofte gi en mer adekvat respons på direkte luftforurensninger enn de plantene som tar opp vann og næringsstoffer gjennom sitt rotsystem i jord eller i vann, der ulike prosesser (som f.eks. buffering) endrer miljøet. Jord er i denne sammenhengen å betrakte som et metastabilt medium mens vann må sies å være ytterligere mer dynamisk. Dersom en ønsker å studere effektene av fysiske og kjemiske endringer på planter i forhold til de prosesser som skjer i jord og vann, må en basere undersøkelsene på grundige og repeterbare studier i permanent oppmerkede prøveflater. Disse undersøkelsene vil ved hjelp av statistiske og numeriske metoder kunne avdekke hvorvidt dynamikk og fluktuasjoner er naturlige eller om endringene er rettede.

Dersom hensikten derimot er å belyse (screeene) mulige effekter av lokale utslipp på vegetasjonen, mener vi det kan være kostnadseffektivt å ta utgangspunkt i et sett av indikatorarter i en gradient som reflekterer en ulik grad av avsetninger og dermed belastning fra punktutslippet, for deretter å finne en egnet biomarkør som en kan følge for alle indikatorartene. Vi har vurdert gran (*Picea abies*), rogn (*Sorbus aucuparia*), blåbær (*Vaccinium uliginosum*), hengeving (*Gymnocarpium dryopteris*), maiblom (*Maianthemum bifolium*) og etasjemose (*Hylocomium splendens*) som gode indikatorarter og klorofyll fluorescens som en egnet biomarkør.

Klorofyll fluorescens

Grønne planter inneholder to typer klorofyll, a og b. Disse substansene fremstår som grønne i hvitt lys, da de absorberer lyset i de blå og de røde regionene av spekteret og transmitterer og reflekterer det grønne. Når en plante eksponeres i lys, vil energien i de blå og de røde komponentene av lyset bli absorbert av klorofyllmolekylene. Denne energien blir så benyttet i en rekke prosesser; i hovedsak til å drive kjemiske fotosyntesereaksjoner, men det er også en betydelig mengde energi som forsvinner som varme, strålingsfri de-eksitasjon og synlig lys (re-emmisjon av langbølget lys), kjent som fluorescens.

Klorofyll fluorescens - en indikator for planters stress-toleranse

Det legges ned betydelig innsats innen fagfeltene miljøovervåking, forurensningsbiologi og inngrepsbiologi for å finne frem til gode biomarkører som gir utslag på en eller et

sett av stressorer i et miljø. Enkelte ganger gir biomarkør-ene et selektivt utslag som følge av endringer i en bestemt fysisk, kjemisk eller biotisk parameter, mens de i de fleste tilfeller derimot kan gi utslag på et helt sett av endringsparametere. Når det gjelder bruken av endret klorofyll fluorescens-rate hos grønne planter som fysiologisk biomarkør på miljøendringer, faller denne helt opplagt i den siste kategorien.

Redusert klorofyll fluorescens gir et generelt signal på at plantene utsettes for en eller flere stressorer. Klorofyll fluorescens er derfor en hyppig brukt biomarkør med et betydelig anvendelsespotensiale innen fysiologisk økologi og økotoksikologi. Denne biomarkøren gir utslag på hele settet av parametere som er med på å begrense plantenes fotosynteseaktivitet. Eksempler på dette kan være oksidativt stress som følge av ozon-eksponisjon (Shreiber et al. 1978) og SO₂ (Shimazaki et al. 1984) og UV-stråling (Smillie 1982, 1983). Metoden gir også utslag ved redusert tilgang og mangel på vann (Wiltens et al. 1978, Godvindjee et al. 1981) og ulike næringsstoffer som fosfor (Conroy et al. 1986), samt stress som følge av f.eks. økt grad av salinitet (Smillie & Nott 1982, Downton & Millhouse 1985). Klorofyll fluorescens utgjør et trinn i en rekke prosesser i plantenes fotosyntese og det kan vurderes hvorvidt en reduksjon nødvendigvis er fullstendig korrelert med en redusert fotosynteseaktivitet. Vi mener likevel at klorofyll fluorescens kan benyttes som en god indikasjon på kvaliteten til fotosynteseaktiviteten hos de analyserte plantene.

2 Undersøkellesområdet

2.1 Geografisk plassering

Undersøkellesområdet ligger i Rjukan i Tinn kommune i Telemark. Det er nærmere lokalisert til den nordvendte dalsida rundt bedriften Rjukan Kjemi A/S. Bedriften ligger i bunnen av Vestfjorddalen, ca. 260 m o. h. i Svadde industriområde rett øst for Rjukan sentrum. Se figur 1 og 2.

2.2 Geologi og geomorfologi

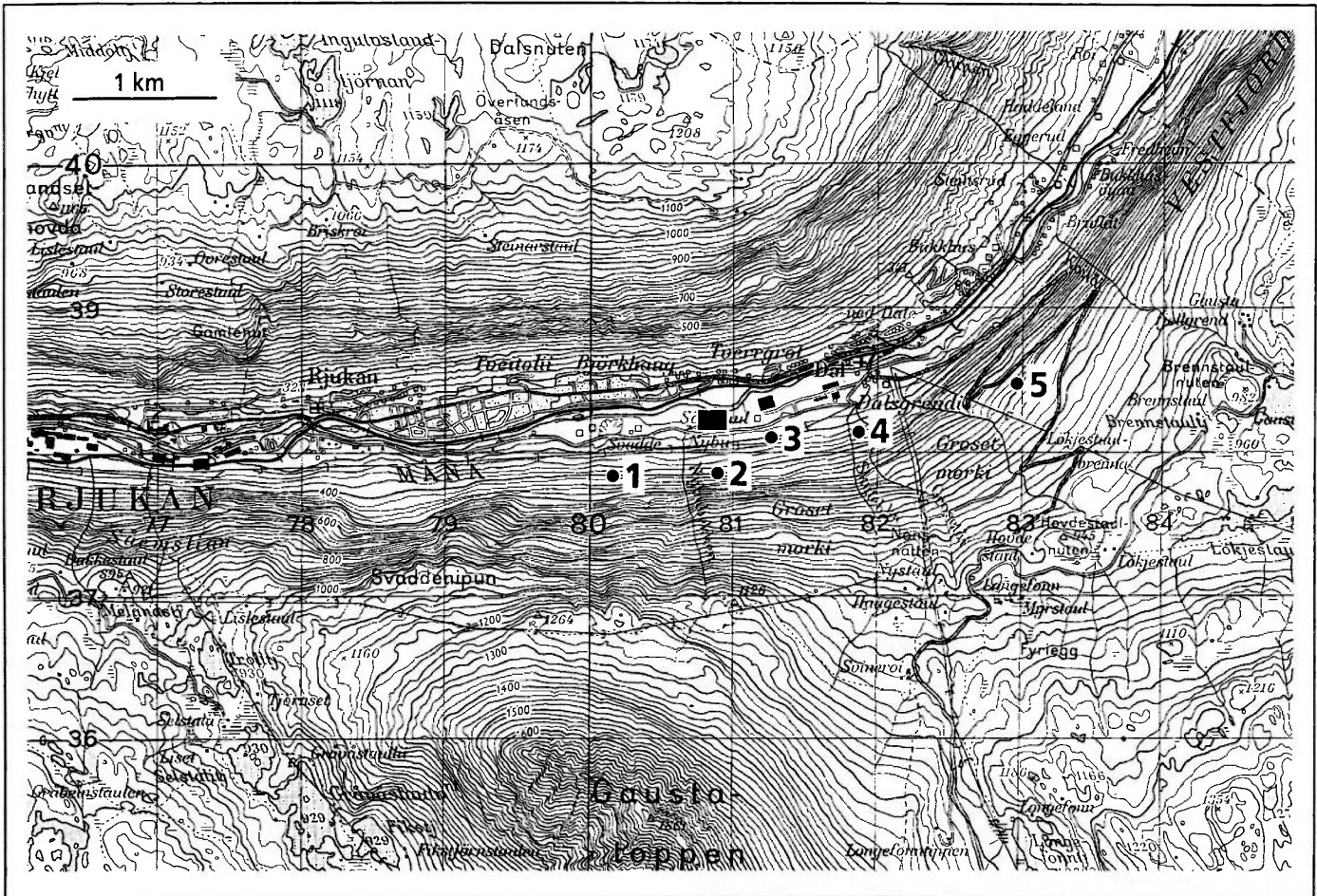
Berggrunnen i det analyserte området er grunnfjell (prekambrisk alder). De analyserte lokalitetene ligger på omdannede vulkanske bergarter (metarhyolitt), og fjellmassivet opp mot Gaustadtoppen består bl.a. av dypbergarter som amfibolitt, metagabbro og gabbro (Sigmond et al. 1984). Bergartene er harde og gir generelt lite næring til plantene. Dalsida bak bedriften er bratt og består av talus med varierende blokk/steinstørrelse under steile og blankskurte fjellvegger. Store lokaltopografiske forskjeller i helning og relieff gir varierende jordsmonnstykkelse fra skrint, rasmarkpreget jordsmonn i øvre deler av lia til dypere jordsmonn i forsengkninger. I nedre deler av lia og i dalbunnen har elva Måna avsatt fluvialt materiale. Flere bekker kommer ned fra Gaustadtoppen og jordsmonnet er således preget av mye sigevann, men det er likevel godt drenert på grunn av høyt innhold av grus og stein.

2.3 Klima

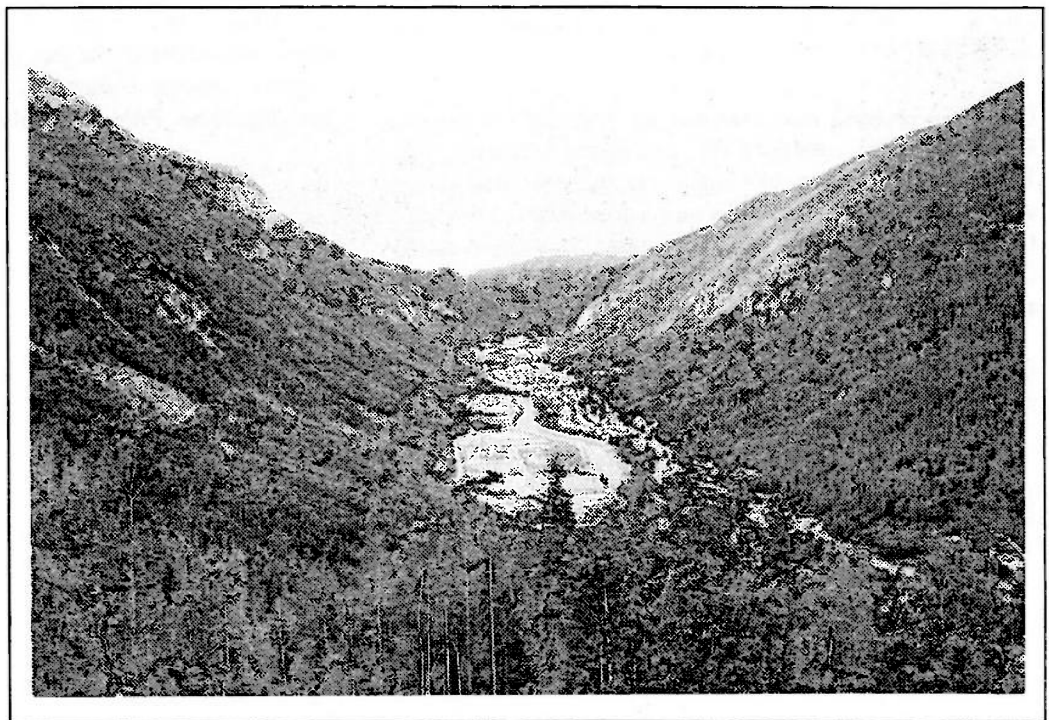
Klimaet er relativt kontinentalt med kalde vintre og varme somre. Middelsestemperaturen for januar er -7,5 °C, og varmeste måned er juli med middelsestemperatur på 15,0 °C (Aune 1993). Normalen for årsnedbør er 834 mm. Vinteren er nedbørsfattig og nedbørmengdene øker utover sommeren. De største nedbørmengdene kommer om høsten (Førland 1993). Det er store forskjeller i lokalklima på de to dalsidene. Den sørvendte dalsida er preget av sterk solinnstråling, mens den nordvendte dalsida, som analyseflatene ligger i, er betraktelig kjøligere. Dette fører til store forskjeller i vegetasjonssammensetningen i de to dalsidene.

2.4 Vegetasjon

Den nordvendte lia tilhører mellomboreal region (midtre barskogssone), Dahl et al. (1986), og den naturlige vegetasjonen er hovedsakelig en artsfattig bærlyng- og småbregnedominert granskog (*Picea abies*) med innslag av bjørk (*Betula pubescens*). Vanlige arter er rogn (*Sorbus aucuparia*), smyle (*Deschampsia flexuosa*), fugletelg (*Gymnocarpium dryopteris*), maiblom (*Maianthemum bifolium*), stormarimjelle (*Melampyrum pratense*), blåbær (*Vaccinium myrtillus*) og etasjemose (*Hylocomium splendens*).



Figur 1. Kart over undersøkelsesområdet med lokalisering av analysefeltene 1-5 og bedriften Rjukan Kjemf A/S. - Map of the area investigated, showing the analysed sites 1-5 and the factory, Rjukan Kjemf A/S.



Figur 2. Rjukan dalen sett fra felt 5 med den analyserte dalsiden til venstre i bildet. - The Rjukan valley viewed from site 5. The mountainside that was investigated is on the left.

På tørre områder finnes også lågurtsamfunn, og i fuktigere sig høgstaude og storbregner. Den sørvendte lia har mer varmekjær vegetasjon og et tørrere jordsmonn med flere innslag av løvtrær, bl.a. hassel (*Corylus avellana*) og osp (*Populus tremula*). Gran er likevel det vanligste treslaget. Lågurter som skogfiol (*Viola riviniana*), markjordbær (*Fragaria vesca*), tveskjeggveronika (*Veronica chamaedrys*), legeveronika (*V. officinalis*) og graminidene hengeaks (*Melica nutans*), lundrapp (*Poa nemoralis*) og fingerstarr (*Carex digitata*) er svært vanlige. I denne lia finnes også tysbast (*Daphne mezereum*), noe som indikerer et rikere jordsmonn. Mosedekket er imidlertid her heller sparsomt.

2.5 Inngrep og kulturpåvirkning

Dalbunnen ved Svadde industriområde er sterkt påvirket av utbygging, og elva Måna har kunstig oppbygde elvebredder. Det er således ingen naturlig vegetasjon rundt selve bedriften som egner seg til undersøkelsen. Liene på begge sider av dalen er også sterkt påvirket av menneskelig aktivitet. Dette har gjort vegetasjonsundersøkelsen svært vanskelig, da det kan være problemer å skille effekter av annen påvirkning fra eventuelle effekter av utslipp fra Rjukan Kjemi A/S.

Den nordvendte lia er sterkt preget av skoghogst med påfølgende gjengroing av løvtrær. Hele lia bærer således preg av vegetasjon i ulike suksessjonsstadier. Imidlertid står det igjen en del mindre granskogsbestander. Flere traktorveier og linjetraséer for elektrisk strøm er anlagt i dalsiden. Bartrær på begge sider av dalen viser skader etter tidligere barkbilleangrep. I den sørvendte lia er det mindre uttak av trevirke, men til gjengjeld er den sterkt preget av rotvelter og andre stormskader. I tillegg er den påvirket av tråkk og slitasje fra mennesker, da flere boligfelt ligger i nedkant av lia.

Dalsidene er også trolig påvirket av luftforurensninger fra Rjukan by, som i lang tid har hatt større industrianlegg. Tidligere lå det et forbrenningsanlegg for avfall noe lenger øst i Vestfjorddalen. Dette kan ha påvirket trærne i analysefelt 5 som ligger lengst vekk fra bedriften. Her finnes det en del døde og skadde trær, mens skogsvegetasjonen ellers ser frisk ut.

Det ble ikke observert kulturbeiter i liene, men vegetasjonen beites trolig av vilt.

3 Utslipp av løsemidler fra Rjukan Kjemi A/S

3.1 Produksjon og utslipp av løsemidler

Bedriften produserer hydrogenperoksyd ved hjelp av en autooksidasjonsprosess. Organiske løsemidler slippes ut som avgasser etter oksidasjonsprosessen gjennom skorstein og som diffuse utslipp fra luftning av kolonner, tanker, separatorer og lignende. Løsemiddel-sammensetningen er kalt Shellsol AB. Avgassene fra oksidasjonsprosessen blir rensert i kullfilter, og maksimalt utslipp fra skorstein vil i følge konsesjonssøknaden være 0,25 kg pr. time, tilsvarende 6 kg pr. døgn. De diffuse utslippene er imidlertid betraktelig høyere og utgjør ca. 3,2 kg pr time eller 76,8 kg pr. døgn.

Spedningsberegninger utført av Tønnesen (1994) viser at de diffuse utslippene medfører klart større belastning i omgivelsene enn skorsteinsutslippene. Konsentrasjoner over luktverdier kan forekomme i avstand inntil 300 m fra utslippet ved transport på tvers av dalen og oppover dalen i vestlig retning. Ved transport nedover dalen i østlig retning kan konsentrasjoner over luktverdien forekomme i avstand 600 m fra utslippet. Spredningen er således størst i denne retningen.

3.2 Kjemiske komponenter i Shellsol AB

Shellsol AB er middels til lett nedbrytbart og består hovedsakelig av ulike aromatiske hydrokarboner i området C₉-11, se tabell 1. Det er for det meste lettflyktige stoffer, VOC (volatile organic compounds), men også polyaromatiske hydrokarboner, PAH, som naftalen.

Tabell 1. Kjemisk sammensetning av Shellsol AB. Vektprosent av forskjellige komponenter (fra Tønnesen 1994). - Different components expressed in weight percentages (from Tønnesen 1994).

Betegnelse	Vekt (%)
Propylbenzen	0,2
Metylethylbenzen	3,7
Trimetylbenzen	18,6
Kumen	0,2
Butylbenzen	1,1
Dietylbenzen	2,5
Metylpropylbenzen	8,3
Etyldimetylbenzen	24,6
Inden	1,5
Tetrametylbenzen	21,4
Metyllinden	4,3
Naftalen	5,3
Ukjente	8,3

4 Materiale og metoder

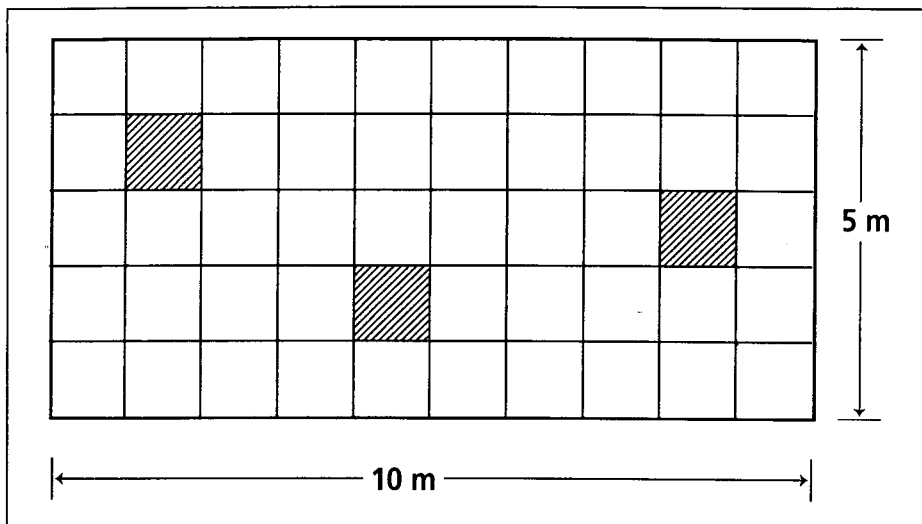
4.1 Vegetasjonsøkologisk felt-design. Valg av vegetasjonstyper og analyseflater

I utgangspunktet ønsket vi å analysere tilnærmet lik vegetasjon i et transekt fra utslippskilden mot antatt uberørt natur i østlig retning, hvor spredningen av løsemidlene er størst. Vegetasjonen på begge sider av dalen ble først undersøkt med tanke på utvalg av vegetasjonstyper. De to liene hadde en svært ulik artssammensetning (se tidligere). Nordvendt dalside ble valgt som analyseområde siden den var minst antropogent påvirket og hadde en relativt enhetlig artssammensetning.

Fem lokaliteter (felter) i ulike avstander fra bedriften ble analysert for mulige effekter av løsemiddelutslipp på vegetasjon (**figur 1**). Feltene var 5 x 10 m store og ble subjektivt lagt ut i granskogsbestander med krav til at følgende arter skulle være til stede: rogn (*Sorbus aucuparia*), blåbær (*Vaccinium myrtillus*), maiblom (*Maianthemum bifolium*), fugletelg (*Gymnocarpium dryopteris*) og etasjemose (*Hylocomium splendens*). Disse artene ble valgt ut til vitalitetsanalyse siden de representerer ulike plantegrupper med til dels ulik eksponeringstid mot forurensning og bladformer som lett kan påvirkes av luftforurensning. Gran assimilerer hele året. Imidlertid har barnålene liten overflate i forhold til treets totale biomasse. Rogn er løvfellende om vinteren, men har til gjengjeld større assimilerende bladoverflate og kan dermed lettere adsorbere forurensende stoffer. Av lyngvekster er blåbær valgt fordi den har relativt tynne blader og således lettere kan utsettes for skader pga. luftforurensninger. Fugletelg er valgt av samme grunn, mens maiblom ble valgt ut fra plantens relativt store bladoverflate. Moser er generelt sensitive for luftforurensninger, og etasjemose er mye brukt til analyser av langtransportert forurensning.

Felt 1 ble lagt noe vest for bedriften mot Rjukan sentrum for å se om forurensninger fra byen har noen betydning for målingene. Felt 2 ble lagt rett bak bedriften og de andre feltene (3-5) i østlig retning mot Dalsgrendi. Etter spredningsmodellen til Tønnesen (1994) skulle felt 2 og 3 ha de største belastningene, mens felt 4 og felt 5 de minste belastningene. Vegetasjonen i felt 5 er lite påvirket av hogst og andre inngrep og fungerer også som et referanseområde for relativt upåvirket vegetasjon. Det ble lagt vekt på at feltene ikke skulle ligge rett ved trafikkert vei, da biltrafikken også produserer lettflyktige hydrokarboner.

Hvert analysefelt ble delt inn i 50 1 x 1 m store ruter, se **figur 3**. I hvert felt ble tre ruter som inneholdt både blåbær, maiblom, fugletelg og etasjemose tilfeldig trukket ut til videre analyser. Vegetasjonen i hver rute ble beskrevet, og rutene fungerte som utgangspunkt for vitalitets (klorofyll fluorescens) målinger for de tidligere nevnte artene. I hver rute ble det også utført målinger av luftkvalitet (bl.a. Shellsol-forbindelser). Analyserutene er gitt nummer til feltet



Figur 3. Et analysefelt med tre analyseruter for vegetasjonsbeskrivelse, luftkvalitetsmålinger og klorofyll fluorescens målinger av utvalgte planter. - One of the analysed sites that contains three sample plots used to describe the vegetation, measure the air quality and determine the chlorophyll fluorescence of certain plants.

og deretter nummerert fra 1 til 15 med analysenummer 1 til 3 i felt 1, 4 til 6 i felt 2 osv. Analyserute 2.4 hører således til felt 2 og er nummer 4 i rekken av totalt 15 ruter.

4.2 Vegetasjonsanalyser

De tilfeldig utvalgte rutene ble analysert for artssammensetning og artsmengde. Hensikten med vegetasjonsanalysene var å gi en beskrivelse av vegetasjonen i feltene og se på forskjeller i artssammensetningen mellom de ulike feltene. En analyseramme på 1 x 1 m, inndelt i 16 småruter (0,25 x 0,25 m), ble lagt over ruta og artenes forekomst i de 16 smårutene ble så registrert. Disse registreringene danner grunnlaget for utrekning av artenes smårutefrekvens og benyttes som kvantitativ mengdeangivelse av artene i analyseruta.

4.3 Prøvetaking av luftkvalitet - Shellsol komponenter og andre lettflyktige stoffer

Luftkvaliteten ble målt 60-70 cm over bakken i hver analyserute i tre uker ved hjelp av Tenax-rør. Tenax-TA er et velegnet adsorpsjonsmiddel til passiv prøvetaking av aromater. For at regn ikke skulle komme i kontakt med rørene, ble de hengt opp under metalltrakter, se figur 4. I felt 2 og felt 5, de antatt mest og minst påvirkede feltene, ble det satt opp blindprøver som ikke ble eksponert for luft. I tillegg ble ett Tenax-rør satt opp like ved bedriften for å sjekke luftkvaliteten ved utslippspunktet. Rørene ble tatt ned i samme rekkefølge som de ble satt opp, slik at eksponeringstiden ble lik for alle rør. De ble så levert til NILU (Norsk institutt for luftforskning) for videre analyse av løsemiddelkomponenter (se kap. 4.6).

4.4 Plantenes vitalitet - klorofyll fluorescens - prinsipper og anvendelser

Grønne planter inneholder to typer klorofyll, a og b. Disse substansene fremstår som grønne i hvitt lys, da de absorberer lyset i de blå og de røde regionene av spekteret og transmitterer og reflekterer det grønne. Når en plante eksponeres i lys vil energien i de blå og de røde komponentene av lyset bli absorbert av klorofyllmolekylene. Denne energien blir så benyttet i en rekke prosesser; i hovedsak til å drive kjemiske fotosyntesereaksjoner, men det er også en betydelig mengde energi som forsvinner som varme (strålingsfri de-eksitasjon) og synlig lys (re-emmisjon av langbølget lys), kjent som fluorescens.

Klorofyll fluorescens vil være på et stabilt nivå dersom lysintensiteten et blad utsettes for er konstant. Om et blad imidlertid tildekkes eller settes i mørke for en periode, for deretter å tilføres lys, vil fluorescensen (F) raskt stige fra et 0-nivå (F_0) via et intermedieært nivå (I) til en topp (P), for så sakte å avta via intermedieære maksima til et stabilt nivå T. Kinetikken som beskrives ved en slik respons er uttrykt som Kautsky-effekten (Kautsky & Hirsch 1931). Dersom et tildekket blad tilføres lys med mettet intensitet, vil fluorescensen ved toppverdien P uttrykke plantens maksimale oppnåelige fluorescens (F_m). Her vil fluorescens-signalet være direkte proporsjonalt med intensiteten på lystilgangen.

Differensen mellom maksimal-signalet, F_m , og utgangsnivået F_0 , uttrykker en variabel fluorescens-komponent, F_v . Forholdet F_v / F_m uttrykker utbyttet av plantens fotosynteseaktivitet (Björkmann & Demming 1987) og er her benyttet som et mål for plantenes vitalitet. Generelt vil F_v / F_m verdier mellom 0,7 og 0,9 indikere gode vekstforhold, mens verdier under 0,7 indikerer stresspåvirkning. Biofysikken av fluorescens-induksjon og dets rolle i primære fotosynteseprosesser har vært studert i mange år. Det som engang ble betraktet som et «ambisiøst» signal (Lavorell & Etienne 1977), som frembrakte skremmende kompleks informasjon,

Figur 4. Målinger av luftkvalitet (aromatiske hydrokarboner) i felt 5. Tenax-adsorbsjons rør opphengt under metalltrakter. - Measurements of air quality (aromatic hydrocarbons) at site 5. Tenax adsorption tubes mounted beneath metal funnels.



er nå akseptert som en reell indikator på fotosyntese-reaksjoner i kloroplaster hos grønne planter (Schreiber & Bilzer 1986).

4.5 Bruk av PEA (Plant Efficiency Analyser) til feltanalyser av klorofyll fluorescens

I dette arbeidet ble det benyttet et Hansatech PEA-instrument som gir forholdet F_v / F_m direkte. Feltanalysene er ikke-destruktive og er derfor særdeles godt egnet til repeterbare målinger eller screening. Målingene er dessuten raske å utføre og følgelig gir de et godt utgangspunkt for statistiske tester. De ble utført ved at blad-/nåleoverflaten ble tildekket i 20 minutter for deretter å tilføres lys med mettet intensitet og så målt for F_v / F_m verdien. Målingene for hver art ble standardisert. På gran ble målingene utført på fjorårets skudd 0,5 til 2 m over bakken, hos blåbær på blader fra det høyeste skuddet, hos maiblom midt på bladflaten mellom nerven og bladkanten, hos fugletelg på første sidefinne regnet ovenfra og hos etasjemose på fjorårsskuddets bladplate.

4.6 Analyse av løsemiddelkomponenter

Analysen ble utført ved hjelp av automatisert termo-desorpsjon (ATD 400) etterfulgt av gasskromatografi med masseselektiv detektor (GC-MSD). Kvantifisering baseres på en sertifisert toluen-standard, slik at alle rapporterte konsentrasjoner må betraktes som 'toluen-ekvivalenter'. Som opp-taksfaktor ved passiv prøvetaking ble det brukt 1,7 ng

toluen $\text{ppm}^{-1} \text{min}^{-1}$ - denne gjelder for Perkin Elmer adsorbsjonsrør ved bruk av Tenax-TA og Perkin Elmer diffusjonsnetter.

4.7 Gradientanalyser av vegetasjonsdata

Vegetasjonsanalysene baserer seg på DCA ordinasjon, "Detrended Correspondence Analysis" (Hill 1979, Hill & Gauch 1980). Ordinasjonene er utført ved hjelp av program-pakken CANOCO versjon 3.12 (ter Braak 1988, 1990) med standard prosedyrevalg, og ordinasjonsdiagrammer er laget ved hjelp av dataprogrammet CANODRAW (Smilauer 1992).

Formålet med ordinasjon er å ordne analyseruter langs matematiske akser basert på artssammensetningen i analyserutene. Dette visualiseres i diagrammer der analyserutene er representert som punkter langs aksene i et todimensjonalt rom, et såkalt ruteordinasjonsdiagram. Punkter som ligger nær hverandre svarer til analyseruter som har relativ lik artssammensetning, mens punkter som ligger langt fra hverandre representerer analyseruter som er svært forskjellige i artssammensetning. Artenes relasjoner til analyserutene vises i et artsordinasjonsdiagram der arter som er plassert til venstre i diagrammet karakteriserer de analyserutene som er plassert til venstre i ruteordinasjonsdiagrammet. Tilsvarende vil de arter som er plassert øverst/nederst til høyre i artsordinasjonen karakterisere de rutene som er plassert øverst/nederst til høyre i ruteordinasjonen.

For å få en mest mulig adekvat plassering av ruter og arter i ordinasjonsrommet, ble en opsjon for ikke-lineær reskalering av aksene benyttet. Aksene blir da skalert i såkalte standardavvik-enheter (SD-enheter). Disse SD-enhetene fremkommer ved beregning av gjennomsnittlig standardavvik for alle artene i materialet, gitt tilnærmet normalfordelt artsrespons. En art vil stort sett komme inn, nå sitt optimum og forsvinne i løpet av 4 SD-enheter. Ordinasjonsaksenes lengde kan således tolkes som et mål på gradvis endring av artssammensetning langs gradienter. Det er ikke utført noen nedveining av sjeldne arter.

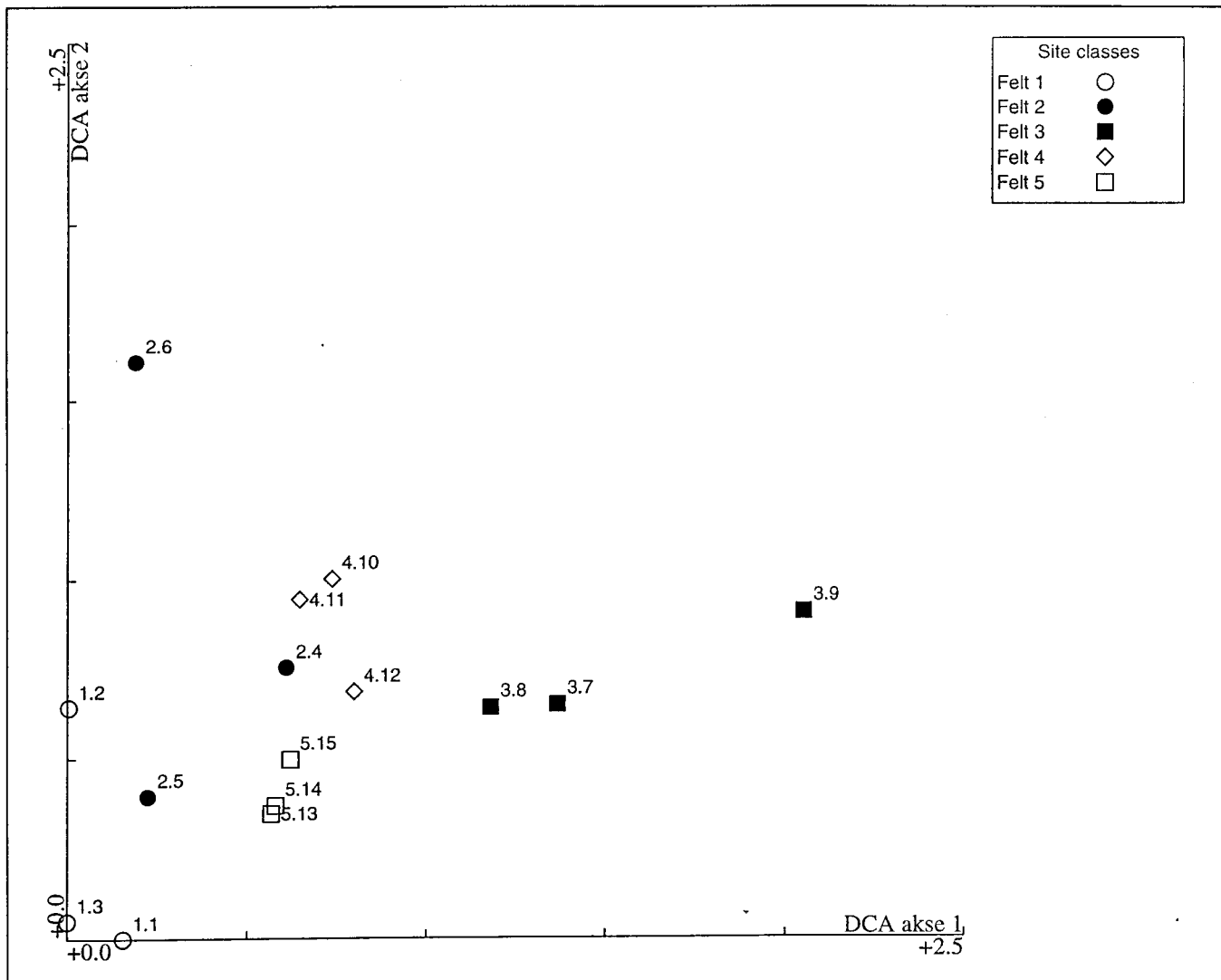
To ordinasjonsdiagrammer ble laget, ett ruteordinasjonsdiagram som viser likheter/ulikheter mellom analyserutene, og ett artsordinasjonsdiagram som viser artssammensetningen relatert til analyserutene.

5 Resultater og diskusjon

5.1 Vegetasjon i feltene

Vegetasjonsdataene fra de 15 analyserutene er vist i vedlegg 1 og 2 sammen med en oversikt over artsforkortelser, vitenskapelige og norske navn. Felt 1, 2, 3 og 4 er granbestander med varierende blåbær/småbregne vegetasjon, mens felt 5 viser en naturlig utforming av blåbærgranskog.

DCA rute-ordinasjonen (**figur 5**) viser at analyserutene innen hvert felt stort sett er samlet i det todimensjonale rommet, noe som tilsier at artssammensetningen i analyserutene innen hver felt er noenlunde lik. Det er heller ingen stor avstand mellom analyserutene i feltene 1, 2 og 3 (bort-

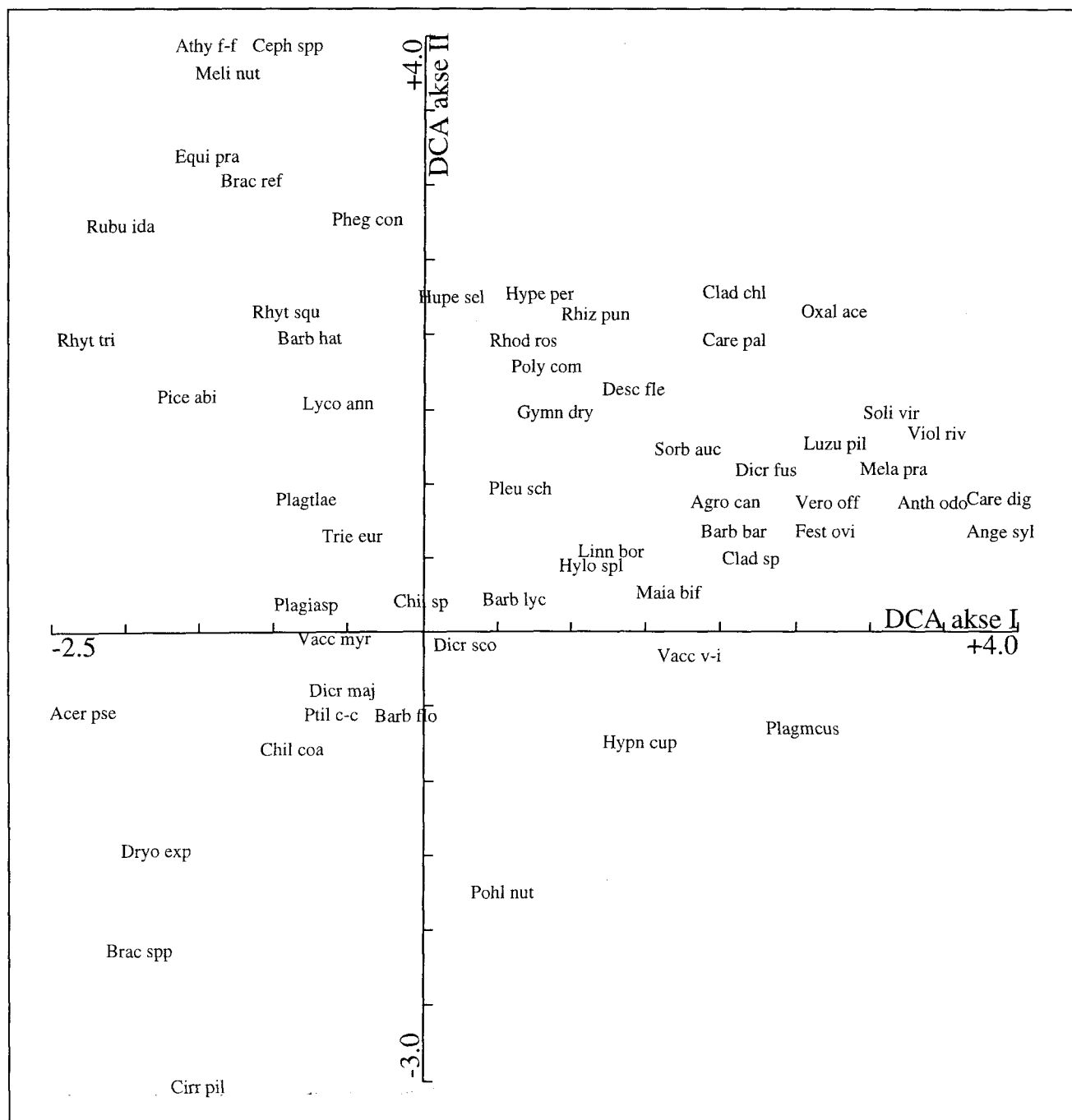


Figur 5. DCA ruteordinasjonsdiagram av de 15 analyserutene basert på frekvens data, aksene 1 og 2. - DCA sample plot ordination diagram of the 15 sample plots, based on species frequency abundance data, axes 1 and 2.

sett fra analyserute 2.6). Felt 3 skiller seg imidlertid ut ved en noe annen artssammensetning. Artsordinasjonsdiagrammet (figur 6) viser at disse analyserutene inneholder mer lågarter og varmekrevende arter som legeveronika (*Veronica officinalis*), stormarimjelle (*Melampyrum pratense*), gullris (*Solidago virgaurea*) og fingerstarr (*Carex digitata*). Hovedgradienten i materialet langs DCA akse 1 går fra noe artsfattig og fuktighetskrevende blåbærvegetasjon med levermoser og småbregner til en mer termofil og trolig mer næringskrevende vegetasjon med legeveronika

(*Veronica officinalis*), stormarimjelle (*Melampyrum pratense*), gullris (*Solidago virgaurea*), gulaks (*Anthoxanthum odoratum*) og fingerstarr (*Carex digitata*).

Gradienten i vegetasjonen følger ikke avstanden fra utslippskilden. Dette betyr at forskjeller i vegetasjonssammensetningen ikke kan relateres til utslipp av løsemidler. Ulikheter i vegetasjonen skyldes trolig ulike økologiske forhold som mikroklima, jordsmonnsforhold og menneskelig påvirkning.



Figur 6. DCA artsordinasjon av frekvensdata fra de 15 analyserutene, aksene 1 og 2. - DCA species ordination diagram of frequency abundance data, axes 1 and 2.

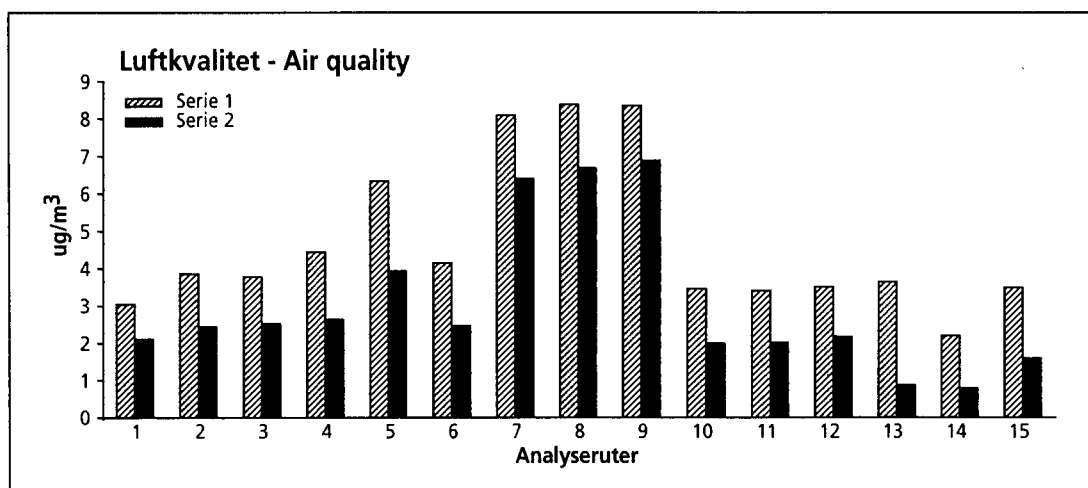
5.2 Luftkvalitet

Analyseresultatene fra målingene av lettflyktige hydrokarboner er vist i **vedlegg 3**, med verdier for enkeltkomponenter, sum av alle identifiserbare stoffer og sum av Shellsol AB komponenter. Det er en relativ god korrelasjon mellom summen av alle identifiserbare stoffer og summen av Shellsol komponentene (**figur 7**). Stort sett følger de også samme variasjonen mellom feltene. Differansen mellom totalt indentifiserbare stoffer og Shellsol-andelen (**vedlegg 3**), dvs. lettflyktige komponenter som ikke er relatert til Shellsol, ligger for alle målingene mellom 1-2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ toluen-ekvivalenter, også inne ved bedriften hvor Shellsol-andelen er særdeles høy (54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Differansen er trolig bakgrunnsverdier skapt av naturens egen produksjon av lettflyktige hydrokarboner og annen luft forurensning i området.

Figur 7 viser at Shellsol komponentene i luft er desidert høyest i felt 3 (analyseruter 7-9) som ligger nærmest fabrikk. Felt 2 har også relativt høye konsentrasjoner mens felt 4 og 5 som ligger lengst borte fra fabrikk, har de laveste konsentrasjonene. Felt 1 viser svakt lavere konsentrasjoner enn felt 2. Disse luftkvalitetsmålingene er omtrent som forventet ut fra avstanden fra bedriften og Tønnesen's (1994) spredningsmodell. Målingene representerer kun en 20 dagers periode og ikke den totale belastningen av forurensende stoffer gjennom året. Likevel skulle dataene gi en viss indikasjon på belastningen av stoffene på vegetasjonen i den analyserte gradienten.

5.3 Generell plantevitalitet i feltene og klorofyll fluorescens til utvalgte arter

Det ble ikke observert spesielle skader på vegetasjonen i felt 1, men de fleste individene av fugleteig var noe blek i farge (lys gulgrønn). I felt 2 var det ingen synlige skader på løvtrær, og vitaliteten til både busker, gras og urter virket generelt god. Imidlertid var granbestanden i og rundt feltet noe skadd, trolig pga. rotvelter og hogst. Noen få blåbærblader var brune, og enkelte blader på maiblom hadde gule flekker. Mosedekket var til dels sterkt skadd. Mye av etasjemosen var brunfarget og manglet synlig klorofyll. En del mose var også død. I felt 3 var mosene noe friskere i farge, men også her fantes brun etasjemose. Vegetasjonen ellers virket relativt sunn, men misfarging av enkelte blader ble observert på fugleteig, maiblom, skogstjerne og på rogn. Blåbær og tytebær stod friske og grønne. Misfarging og flekker kan skyldes klorose indusert av løsemidler eller av bakkenær ozon, men også av plantesykdommer og soppangrep. De målte konsentrasjonene av aromater fra Shellsol-utslippene er såpass lave at det er lite sannsynlig at lokal O_3 -dannelse er av betydning. Imidlertid kan det ikke utelukkes at andre enn de målte komponenter (f.eks. oksydanter som H_2O_2) kan ha en direkte effekt på vegetasjonen.



Figur 7. Luftkvalitetsmålinger fra 15 analyseruter i felt 1 til 5. Analyserute 1-3 i felt 1, rute 4-6 i felt 2, rute 7-9 i felt 3, rute 10-12 i felt 4 og rute 13-15 i felt 5. Serie 1 = sum av alle identifiserbare stoffer. Serie 2 = sum av Shellsol AB komponenter. - Air quality measurements from 15 plots on sites 1 to 5. Plots 1-3 from site 1, plots 4-6 from site 2, plots 7-9 from site 3, plots 10-12 from site 4 and plots 13-15 from site 5.

I felt 4 ble det ikke observert noen skader på vegetasjonen. Etasjemosen var her mer grønn enn i feltene 1 til 3. I området rundt felt 5 var det til dels store skader på grantrær, og flere trær viste gulning av bladnåler, både på årsskudd og fjorårsskudd. Området har tidligere vært angrepet av barkbiller og er muligens forurensset av et nedlagt forbrenningsanlegg lenger øst i dalbunnen. Imidlertid virket både lyng, urter og moser særdeles friske uten synlige skader av noen art.

Figur 8-12 viser klorofyll fluorescens målingene for indikatorartene gran, rogn, blåbær, fugletelg, maiblom og etasjemose (3 ulike individer av hver art tilknyttet hver enkelt ruteanalyse). Alle artene bortsett etasjemose (**figur 13**) og til dels fugletelg (**figur 11**) har F_v / F_m verdier godt over 0,7 og viser således svært god fotosynteseaktivitet og lite eller ingen stresspåvirkning.

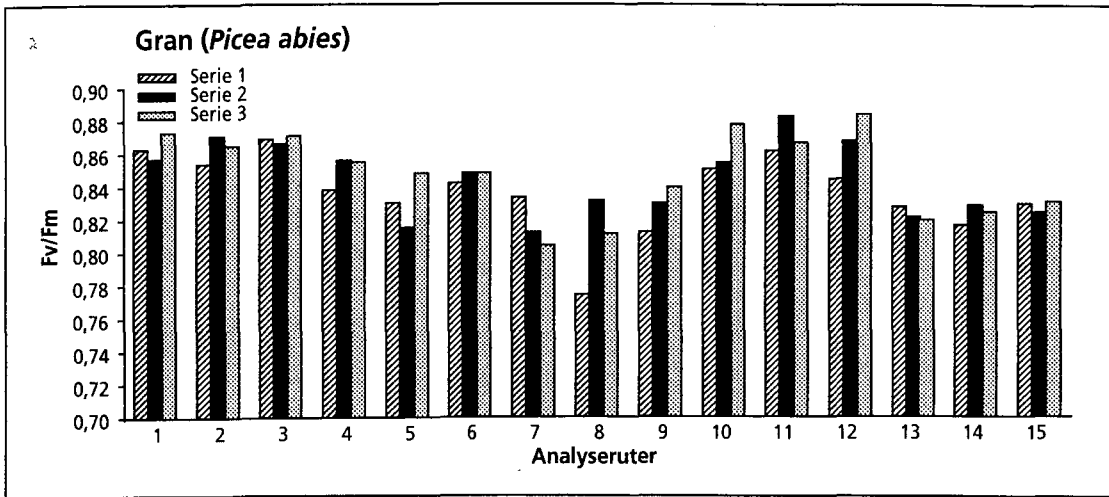
Blåbær (**figur 10**) og maiblom (**figur 12**) har stabil fotosyntese i hele forurensningsgradienten. Gran og rogn har imidlertid noe lavere verdier i de mest belastede områdene felt 2 og 3, men også relativt lave verdier i det minst Shellsol belastede feltet 5. I felt 2 og 3 kan de lavere verdiene skyldes påvirkning av Shellsol komponenter, da feltene her har relativt gunstige jordsmonnsforhold og viser få tegn på synlige angrep av barkbiller, mens de lavere verdiene i felt 5 kan skyldes stress på grunn av tidligere forurensning fra det nedlagte forbrenningsanlegget med påfølgende angrep av barkbiller. Fugletelg viser den samme trenden som gran og rogn med lavere verdier i felt 2, 3 og 5, men med F_v / F_m verdier under 0,7 i felt 3, noe som kan indikere at plantene er utsatt for en eller flere stressorer. De noe lavere verdiene i felt 5 skyldes trolig et noe ugunstig jordsmonn for denne arten. Vegetasjonen i feltet indikerer et næringsfattig jordsmonn, og fugletelg trives bedre ved noe høyere næringsstilgang. Variasjonene i fotosynteseaktivitetene for gran, rogn og maiblom er imidlertid så små at det er nokså usikkert hva som kan være årsakene til variasjonen.

For etasjemose (**figur 13**) er det imidlertid store forskjeller i fotosynteseaktivitet mellom feltene. I felt 2 er klorofyll fluorescens verdiene så lave at de indikerer et meget høyt stressnivå. Ett av individene hadde ingen fotosyntese og var trolig dødt. Flere individer i felt 3 viste også svært lave verdier. De høyeste verdiene ble målt i felt 4 og 5 og etasjemose trives således best i de minst belastede feltene. En mulig årsak til de store skadene på etasjemose i felt 2, i tillegg til belastningen fra Shellsol utslippet, kan være uttørknings-effekt ved at granbestanden står igjen etter hogst og er således lett eksponert mot vind (se nedenfor).

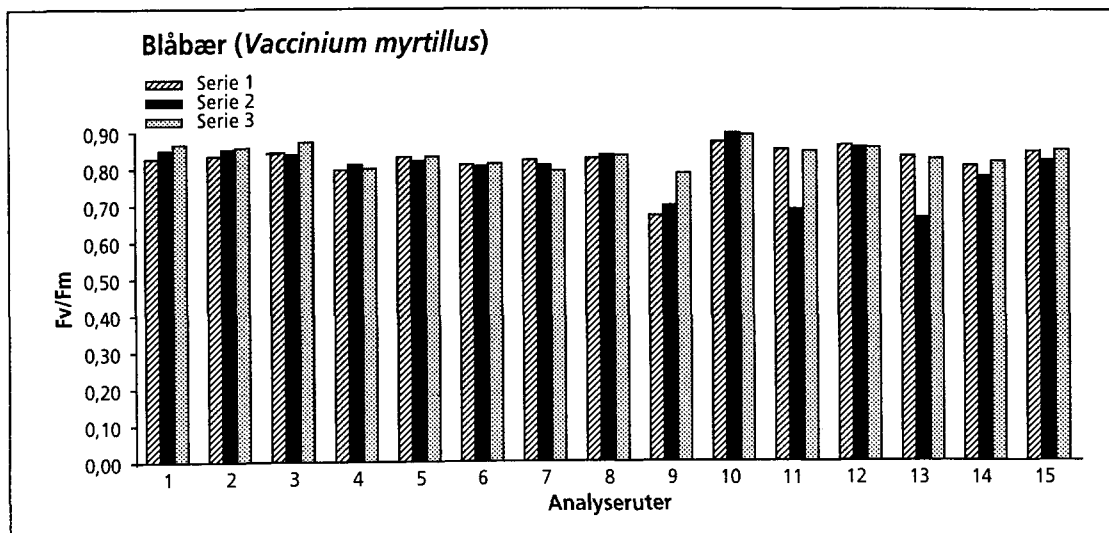
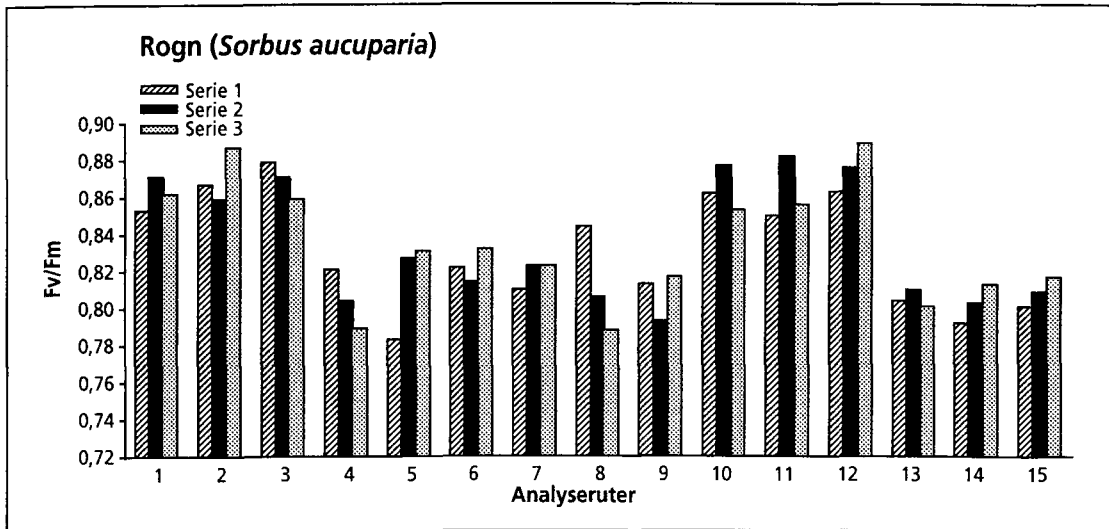
5.4 Korrelasjoner mellom klorofyll fluorescens verdier hos etasjemose og luftkvalitet

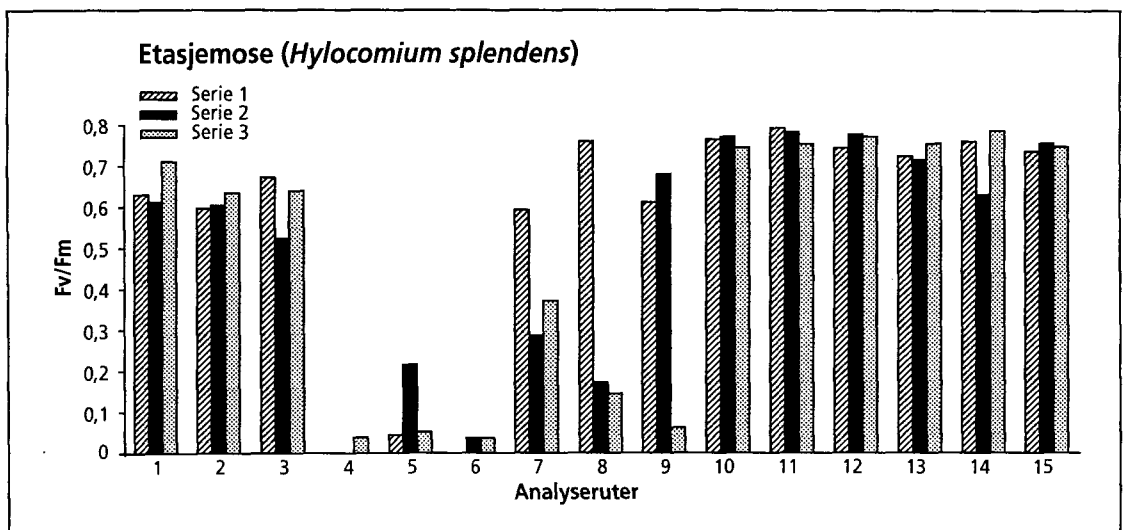
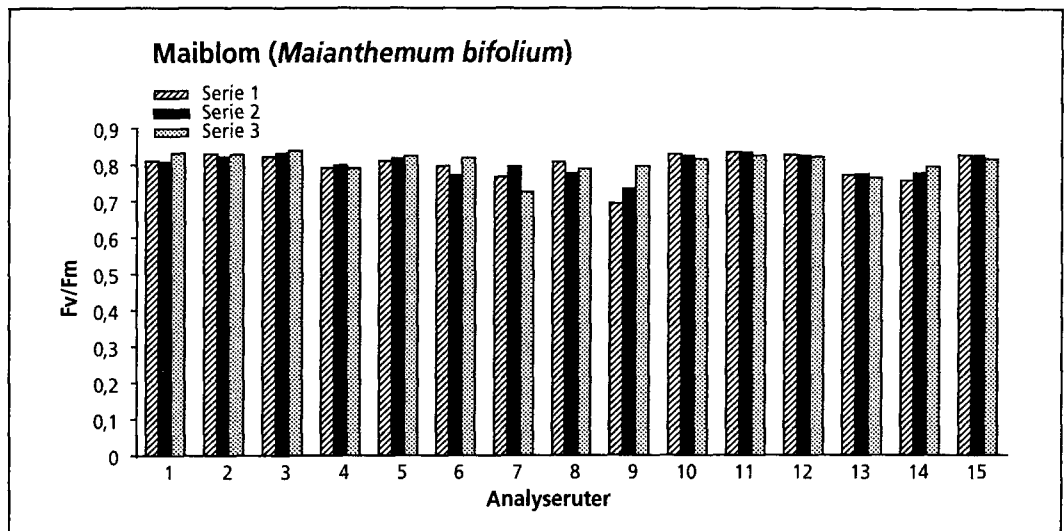
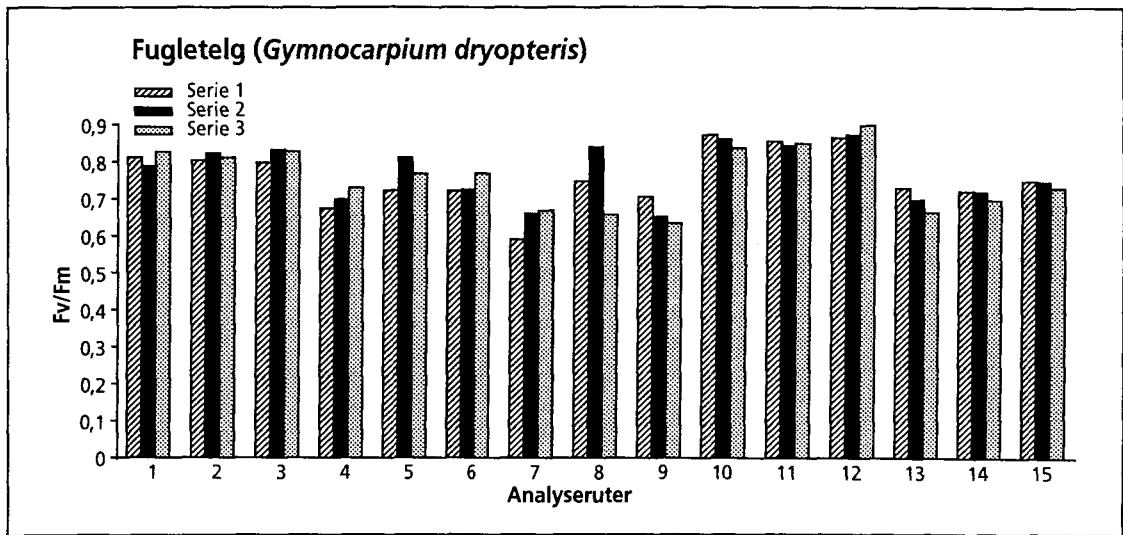
Etasjemose er den eneste planten som viser god korrelasjon mellom klorofyll fluorescens og luftkvalitet, med generelt høye F_v / F_m verdier ved lave luftkonsentrasjoner av Shellsol komponentene og lave verdier ved dårligere luftkvalitet. Dette er således en indikasjon på at løsemidlene påvirker fotosynteseaktiviteten til etasjemosen. Men det er noen individer i det mest belastede felt 3 som også har høye klorofyll fluorescens verdier (**Figur 14**). F_v / F_m verdiene varierer her mellom 0,061 og 0,758 fra svært stressede planter til mer normal fotosynteseaktivitet. Dette er en indikasjon på at de målte reduksjonene i fotosynteseaktiviteten hos etasjemose i felt 2 ikke nødvendigvis bare skyldes løsemidler. Redusert klorofyll fluorescens gir utslag på en mengde faktorer som er med på å begrense plantenes fotosynteseaktivitet som frost, tørke, slitasje og ulik næringsstilgang (se innledning), og selv om vi har valgt metoder som skulle minimere effektene av disse, kan vi ikke utelukke at andre faktorer enn løsemidlene kan være medvirkende årsak til de påviste skadene i mosevegetasjonen.

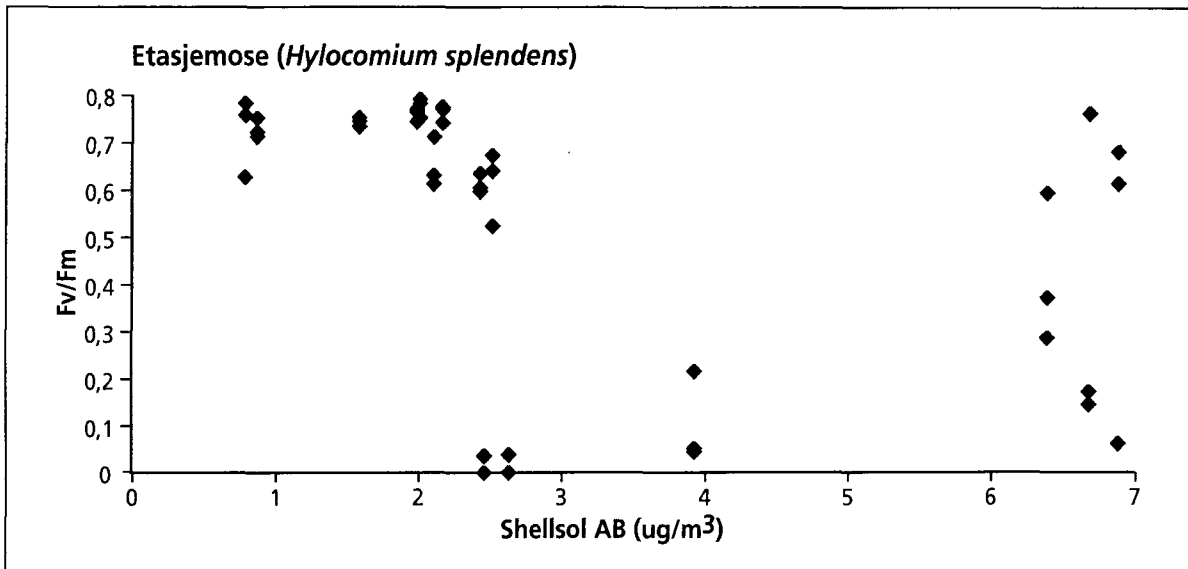
Relasjonene mellom klorofyll fluorescens og Shellsol komponentene er imidlertid vist på basis av målte luftkvalitets verdier i en 20 dagers periode. Det er vel mulig at felt 2 som ligger rett bak bedriften og noe høyere i terrenget enn felt 3, likevel har den største belastningen av Shellsol komponenter gjennom året, og at utslippene således kan være den viktigste årsaken til moseskadene.



Figur 8 -13. Klorofyll fluorescens målinger fra gran, rogn, blåbær, fugleteig, maiblom og etasjemose. Tre gjentak (serier) fra hver analyserute. Analyserutene er nummerert som vist i figur 7. - Chlorophyll fluorescence in Norway spruce, rowan, bilberry, oak fern, May lily and Hylocomium splendens. Three replications from each sample plot. Plots numbered as in Figure 7.







Figur 14. Forholdet mellom målte konsentrasjoner av Shellsol komponenter i luft og klorofyll fluorescens hos etasjemose. - Relation between measured concentrations of Shellsol components and chlorophyll fluorescence in *Hylocomium splendens*.

6 Konklusjon

Variasjonen og tilstanden i vegetasjonen i dalsiden bak bedriften østover mot Dalsgrendi skyldes i hovedsak edafiske og topografiske forhold, hogst, tidligere angrep på gran av barkbiller og andre forurensningskilder. Gran, rogn, blåbær og maiblom viser høye klorofyll fluorescens verdier og indikerer således en god fotosynteseaktivitet i hele forurensningsgradienten. Områder med relativt høye konsentrasjoner av løsemidler har svakt lavere klorofyll fluorescensverdier for gran og rogn. Fugletelg viser en svak stressbelastning som kan skyldes utslipp fra bedriften, men for alle de nevnte artene er variasjonene i klorofyll fluorescens så liten at man ikke kan konkludere med at utslippene har noen særlig innvirkning på deres vitalitet. Imidlertid er det observert skader på etasjemose og sterk reduksjon i plantens fotosynteseaktivitet i områder med høy Shellsol belastning. Utslippene av løsemidler kan være en medvirkende årsak til de påviste moseskadene. De målte konsentrasjonene av aromater fra Shellsol-utslippene er såpass lave at det er lite sannsynlig at lokal O₃-dannelse er av betydning. Imidlertid kan det ikke utelukkes at andre enn de målte komponenter (f.eks. oksydanter) kan ha en direkte effekt på vegetasjonen.

7 Sammendrag

Bedriften Rjukan Kjemi A/S produserer hydrogenperoksyd og slipper i denne forbindelse ut organiske løsemidler til luft. Formålet med denne undersøkelsen er å kartlegge eventuelle virkninger av utslippene på vegetasjon rundt bedriften.

Løsemidlene (Shellsol-komponenter) består hovedsakelig av lettflyktige organiske stoffer (volatile organic compounds-VOC), men også av polyaromatiske hydrokarboner (PAH). Det er liten kunnskap om effekter av VOC og PAH på terrestriske planter, men effektene vil trolig gjenspeile seg i plantenes vitalitet. Fotokjemiske prosesser ved nedbrytning av VOC kan også føre til dannelse av bakkenært ozon (O₃) hvis tilgangen på nitrogenoksider (NO_x) er tilstrekkelig. Ozon er en sterk oksidant (plantegift) som påvirker vegetasjonen alt ved svært lave konsentrasjoner. Vi har derfor lagt vekt på å undersøke utvalgte planters fotosynteseaktivitet i tilknytning til ulike belastninger av de flyktige organiske forbindelsene, og har benyttet klorofyll fluorescens som en indikator på plantenes fotosynteseaktivitet.

Klorofyll fluorescens er langbølget lys som forsvinner under fotosyntesen ved emmisjon. Differansen mellom maksimalt oppnådd fluorescens (F_m) ved tilført lys med mettet intensitet og et 0-nivå (F₀) som måles etter tildekking i mørke, uttrykker en variabel fluorescens-komponent F_v. Forholdet F_v / F_m uttrykker utbyttet av plantens fotosynteseaktivitet og er her benyttet som et mål for plantenes vitalitet. Generelt vil F_v / F_m verdier mellom 0,7 og 0,9 indikere gode vekstforhold, mens verdier under 0,7 indikerer stresspåvirkning. Følgende arter er analysert: gran (*Picea abies*), rogn (*Sorbus aucuparia*), blåbær (*Vaccinium uliginosum*), hengeving

(*Gymnocarpium dryopteris*), maiblom (*Maianthemum bifolium*) og etasjemose (*Hylocomium splendens*).

Vegetasjonen er undersøkt i fem felter (5 x 10 m) langs en målt belastningsgradient i bestander av artsfattig blåbær-/småbregne granskog i den nordvendte lia bak bedriften. Feltene ble etablert i ulike avstander fra bedriften med krav til at de nevnte artene skulle være til stede og at topografiske, edafiske og menneskelige påvirkningsfaktorer skulle være omtrent lik. Felt 1 ble lagt ut noe vest for bedriften mot Rjukan sentrum, felt 2 rett bak bedriften og de andre feltene (3-5) i østlig retning mot Dalsgrendi. Vegetasjonen i dalsidene rundt bedriften er imidlertid så sterkt påvirket av bl.a. hogst, skogsveier og tidligere angrep av barkbiller at det var umulig å finne lokaliteter der alle andre påvirkningsfaktorer enn løsemiddelbelastningen var identiske. Dette har vanskeliggjort tolkningen av dataene.

Hvert analysefelt ble delt inn i 50 1 x 1 m store analyseruter. I hvert felt ble tre ruter som inneholdt både blåbær, maiblom, fugletelg og etasjemose tilfeldig trukket ut til videre analyser. Vegetasjonen i hver rute ble beskrevet ved artenes frekvens i 16 småruter. Analyserutene ble videre benyttet som utgangspunkt for vitalitets (klorofyll fluorescens) målinger for de tidligere nevnte artene. I hver rute ble det også utført målinger av luftkvalitet (bl.a. Shellsol-forbindelser) ved utplassering av et passivt adsorpsjonsmiddel (Tenax-TA) 60-70 cm over bakken. Luftkvaliteten ble målt over tre uker.

En indirekte ordinasjonsanalyse av vegetasjonsdataene viste at artssammensetningen i analyserutene innen hvert felt var noenlunde lik, men at forekomster av næringskrevende og termofile arter var noe høyere i felt 3. Ulikhetene i artssammensetningen er imidlertid ikke korrelert med avstanden fra bedriften og belastningen av Shellsol-komponenter. Vegetasjonssammensetningen er således ikke påvirket av utslippene fra bedriften.

Konsentrasjonen av lettflyktige organiske hydrokarboner avtok med avstanden fra bedriften. Felt 2 og 3 rett bak bedriften hadde størst belastning. Høyeste målte konsentrasjon av Shellsol-komponenter var 6,9 µg/m³ (toluen-ekvivalenter) i felt 3 ca. 300 m fra bedriften i østlig retning, og laveste konsentrasjon 0,8 µg/m³ i felt 5 ca. 2 km fra bedriften. Til sammenlikning ble konsentrasjonen inne på bedriften målt til 54 µg/m³ i den samme perioden.

I feltene 2 og 3 ble det observert skader på etasjemose, særlig i felt 2. Mosene var til dels sterkt brune og manglet synlig klorofyll. Vegetasjonen ellers virket relativt sunn, men det ble observert misfarging av enkelte blader på fugletelg, maiblom, skogstjerne og på rogn i det mest belastede felt 3. Analysen er imidlertid lite detaljert og misfargingen kan like godt skyldes plantesykdommer og sopp som påvirkning av løsemidler.

Gran, rogn, blåbær og maiblom viste høye, normale klorofyll fluorescens verdier langs hele belastningsgradienten. Blåbær og maiblom viste en stabil fotosyntese, mens verdi-

ene for gran og rogn varierte noe. Fugletelg viste klorofyll fluorescens verdier noe under et normalt nivå ($F_v / F_m < 0,7$) i det mest belastede området bak bedriften, noe som kan indikere en svak stressbelastning grunnet utslipp fra bedriften. Hos gran og rogn ble det også registrert svakt lavere klorofyll fluorescens verdier i områder med relativt høye konsentrasjoner av Shellsol-komponenter. Variasjonene i klorofyll fluorescens verdiene for alle disse artene er imidlertid så små at man ikke kan konkludere med at utslippene har noen særlig innvirkning på deres vitalitet. Gran, rogn og fugletelg hadde også noe lavere verdier i det minst belastede felt 5. Dette kan forklares ved en kombinasjon av feltets noe lavere bonitet, tidligere barkbilleangrep og luftforurensninger fra et nedlagt forbrenningsanlegg lenger øst i dalen.

Etasjemose viser store forskjeller i fotosynteseaktivitet mellom feltene. I felt 2 er klorofyll fluorescens verdiene svært lave, og felt 3 har også verdier langt under et normalt stressnivå. Mosen er den eneste planten som viser god korrelasjon mellom klorofyll fluorescens og målte luftkvalitetsverdier, med generelt høye F_v / F_m verdier ved lave konsentrasjoner av Shellsol-komponentene og lave verdier ved dårligere luftkvalitet. Dette er således en indikasjon på at løsemidlene påvirker fotosynteseaktiviteten til etasjemosen. Redusert klorofyll fluorescens gir imidlertid utslag på en mengde faktorer som er med på å begrense plantenes fotosynteseaktivitet som frost, tørke, slitasje og ulik næringstilgang, og selv om det er valgt metoder som skulle minimere effektene av disse, kan det ikke utelukkes at andre faktorer enn løsemidlene kan være en medvirkende årsak til de påviste skadene i mosevegetasjonen. I felt 2 kan mosene også være påvirket av uttørking da feltet står igjen etter hogst og er således mer eksponert for vind.

Variasjonen og tilstanden i vegetasjonen i området rundt bedriften skyldes hovedsakelig ulike edafiske og topografiske forhold, hogst, tidligere angrep av barkbiller og muligens andre forurensningskilder, men det finnes svake indikasjoner på at enkelte planter viser en respons på utslippene ved redusert fotosyntese. For etasjemose kan utslippene være en medvirkende årsak til de påviste moseskadene. De målte konsentrasjonene av aromater fra Shellsol-utslippene er såpass lave at det er lite sannsynlig at lokal O₃-dannelse er av betydning. Imidlertid kan det ikke utelukkes at andre enn de målte komponentene (f.eks. oksydanter) kan ha en direkte effekt på vegetasjonen.

8 Summary

Rjukan Kjemi AS manufactures hydrogen peroxide, which results in discharge of organic solvents into the atmosphere. The aim of this investigation was to map the possible effects of these discharges on the vegetation surrounding the factory.

The solvents (Shellsol components) chiefly consist of volatile organic compounds (VOC), but also some polyaromatic hydrocarbons (PAH). Little is known about the impacts of VOC and PAH on terrestrial plants, but the effects are likely to be reflected in the vitality of the plants. Photochemical processes when the VOC break down may also lead to the formation of ozone (O_3) close to the ground, if there is an adequate supply of nitrogen oxides (NO_x). Ozone is a strong oxidant (herbicide) which affects vegetation even when concentrations are extremely low. We have therefore concentrated our efforts on investigating the photosynthetic activity of selected plants in connection with different loads of the volatile organic compounds, and have used chlorophyll fluorescence as an indicator of photosynthetic activity.

Chlorophyll fluorescence is long-wave light which disappears through emission during photosynthesis. The difference between the maximum fluorescence (F_m) achieved when light with saturated intensity is applied and a zero level (F_0) measured when the plant is in total darkness, expresses a variable component of fluorescence F_v . The ratio $F_v : F_m$ expresses the yield of the photosynthetic activity of the plant and is used as a measure of the vitality of the plant. In general, $F_v : F_m$ values between 0.7 and 0.9 indicate good growing conditions, whereas values below 0.7 indicate stress effects. The following species were analysed: Norway spruce (*Picea abies*), rowan (*Sorbus aucuparia*), bilberry (*Vaccinium uliginosum*), oak fern (*Gymnocarpium dryopteris*), May lily (*Maianthemum bifolium*) and the moss *Hylocomium splendens*.

The vegetation was studied on five sites (5 x 10 m) along a measured load gradient in stands of species-poor bilberry-small fern Norway spruce woodland on the north-facing mountainside behind the factory. The sites were placed at various distances from the factory with the requirements that the above-mentioned species were present and the topographical, edaphic and anthropological impact factors were approximately equal. Site 1 was placed somewhat west of the factory, towards the centre of Rjukan, site 2 directly behind the factory and the other sites (3-5) further east, towards Dalsgrendi. The vegetation on the hillsides near the factory is, however, so seriously affected by, for example, felling, forestry tracks and the former attacks of bark beetles that it was impossible to find localities where all the other impact factors than the solvent load were identical. This has made the interpretation of the data difficult.

Each site was divided into 50 1 x 1 m plots. Three plots containing bilberry, May lily, oak fern and *Hylocomium splendens* were selected at random at each site for more detailed analysis. The vegetation in each plot was described by using the frequency of the species in 16 smaller plots. The vitality (chlorophyll fluorescence) of the above-mentioned species was also measured in the main plots. The air quality (including Shellsol compounds) was also measured there by placing a passive adsorbent (Tenax-TA) 60-70 cm above ground level. These measurements lasted three weeks.

An indirect ordination analysis of the vegetation data shows that the species composition in the plots on each site was approximately similar, but that the occurrences of nutrient-demanding and thermophilous species were somewhat higher on site 3. However, the differences in species composition do not correlate with the distance from the factory, or the load of Shellsol components. The vegetation composition is thus not affected by discharges from the factory.

The concentration of volatile organic hydrocarbons decreased with the distance from the factory. Sites 2 and 3, right behind the factory, had the greatest load. The highest concentration of Shellsol components measured was 6.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (toluene equivalents) on site 3 about 300 m east of the factory, and the lowest concentration was 0.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ on site 5 about 2 km from the factory. For comparison, the concentration measured inside the factory during the same period was 54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Damaged *Hylocomium splendens* was observed on sites 2 and 3, especially site 2. Some of it was very brown and lacked visible chlorophyll. The vegetation otherwise seemed quite healthy, but some discoloration was observed on a few fronds of oak fern and leaves of May lily, chickweed wintergreen (*Trientalis europaea*) and rowan on site 3, the most heavily affected site. The analysis was not particularly detailed, however, and the discoloration could just as well be caused by plant diseases or fungi as the effect of solvents.

Norway spruce, rowan, bilberry and May lily showed normal, high chlorophyll fluorescence values along the entire load gradient. Bilberry and May lily showed stable photosynthesis, but the values for Norway spruce and rowan varied somewhat. Oak fern showed chlorophyll fluorescence values that were slightly under the normal level ($F_v : F_m < 0.7$) in the area behind the factory which had the greatest load, and this may indicate a weak stress load due to discharge from the factory. Slightly lower chlorophyll fluorescence values were also measured in Norway spruce and rowan in places with relatively high concentrations of Shellsol components. The variations in the chlorophyll fluorescence values for all these species are, however, so small that it is impossible to conclude that the discharges have any particular effect on their vitality. Norway spruce, rowan and oak fern also had somewhat lower values on the site with the least load, site 5. This may be explained by a combination of the somewhat poorer soil on this site, former

attacks by bark beetles and previous air pollution from an abandoned incinerator further east along the valley.

Hylocomium splendens showed substantial differences in photosynthetic activity from one site to another. The chlorophyll fluorescence values are extremely low on site 2, and site 3 also has values that are far below a normal level. This moss is the only plant which shows good correlation between chlorophyll fluorescence and the air quality values measured, giving generally high $F_v : F_m$ values when concentrations of Shellsol components are low and low values when the air quality is poorer. This is therefore an indication that the solvents affect the photosynthetic activity of *Hylocomium splendens*. Reduced chlorophyll fluorescence, however, manifests itself in connection with many factors that help to limit photosynthetic activity in plants, such as frost, drought, wear and tear, and variations in supply of nutrients, and even though methods have been chosen which should minimise their effects, the possibility that other factors than the solvents may have been a contributory cause of the damage found on the mosses cannot be excluded. On site 2, the moss may also have been affected by desiccation, because this site is in an area of woodland left standing after felling took place, and is therefore more exposed to the wind.

The variation and state of the vegetation in the area surrounding the factory can mainly be explained by various edaphic and topographical conditions, felling, former attacks by bark beetles and perhaps other sources of contamination, but there are slight indications that certain plants show a response to the discharges from the factory through reduced photosynthesis. In the case of *Hylocomium splendens*, the discharges may have contributed to its damage. The concentrations of aromatics measured from the Shellsol discharges are so low that it is unlikely that local O_3 formation is of significance. However, the possibility that other components (such as oxidants) may have a direct effect on the vegetation cannot be ruled out.

9 Litteratur

- Aune, B. 1993. Temperaturnormaler, normalperiode 1961-1990. - Det norske meteorologiske institutt, Oslo. Rapp. 02/93: 66 s.
- Björkman, O. & Demming, B. 1987. Photon yield of O_2 evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77K among vascular plants of diverse origin. - *Planta* 170: 489-504.
- Boney, A.D. & Corner, E.D.S. 1962. On the effects of some carcinogenic hydrocarbons on the growth of sporelings of marine and algae. - *J. Mar. Biol. Assoc. U.K.* 43: 579-585.
- Braak, C.J.F. ter 1988. CANOCO - a FORTRAN program for canonical community ordination by (partial) (detrended) (canonical) correspondence analysis, principal components analysis and redundancy analysis (version 2.1). - Technical report LWA-88-02. Agric. Math. Group, Wageningen, The Netherlands.
- Braak, C.J.F. ter 1990. Update notes: CANOCO version 3.10. - Agric. Math. Group, Wageningen.
- Conroy, J.P., Smillie, R.M., Koppers, M., Bevege, D.I. & Barlow, E.W. 1986. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis responses of *Pinus radiata* to phosphorus deficiency, water stress and high CO_2 . - *Plant Physiol.* 81: 423-429.
- Dahl, E., Elven, R., Moen, A. & Skogen, A. 1986. Vegetasjonsregionkart over Norge 1:1 500 000. - Nasjonalatlas for Norge. Statens Kartverk.
- Downton, W.J.S. & Millhouse, J. 1985. Chlorophyll fluorescence and water relations of salt stressed plants. - *Plant Sci. Lett.* 37: 205-212.
- Førland, E.J. 1993. Nedbørnormaler, normalperiode 1961-1990. - Det norske meteorologiske institutt, Oslo. Rapp. 39/93: 63 s.
- Godvindjee, Downton, W.J.S., Fork, D.C. & Armond, P.A. 1981. Chlorophyll a fluorescence transient as an indicator of waterpotential of leaves. - *Plant Sci. Lett.* 20: 191-194.
- Giddings, J.M. 1979. Acute toxicity to *Selenastrum capricornutum* of aromatic compounds from coal conversion. - *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 23: 360-364.
- Graf, W. & Nowak, W. 1966. Promotion of growth in lower and higher plants by carcinogenic polycyclic hydrocarbons. - *Arch. Hyg. (Berlin)* 152: 289-293.
- Hill, M.O. 1979. DECORANA - A FORTRAN program for detrended correspondence analysis and reciprocal averaging. - Cornell Univ., Ithaca, New York.
- Hill, M.O. & Gauch, H.G. 1980. Detrended correspondence analysis: an improved ordination technique. - *Vegetatio* 42: 47-58.
- Karlson, M.L. Wallin, P.A. & Gustavson, L. 1992. Emissioner fraa biobraensleeldade anlaeggingar mellan 0.5 och 10 MW. (Emission from heating plants, burning biomass, in the interval 0.5-10 MW). - Govt. Reports Announcements & Index. Issue 14.1993.

- Kauss, P., Hutchinson, T.C., Soto, C., Hellebust, J. & Griffiths, M. 1973. The toxicity of crude oil and its components to freshwater algae. - I Proc. 1973 Conference on prevention and control of oil spills. Washington, D.C. 703-714.
- Kautsky, H. & Hirsch, A. 1931. Neue versuche zur kohlenstoffassimilation. - *Naturwissenschaften* 19: 964.
- Kusk, K.O. 1981. Comparison of the effects of aromatic hydrocarbons on a laboratory alga and natural phytoplankton. - *Bot. Mar.* 25: 611-613.
- Lavorell, J. & Etienne, A.L. 1977. In vivo chlorophyll fluorescence. S. 203-268 i Barber, J., ed. Primary processes in photosynthesis. - Elsevier/North Holland Biomedical Press, Amsterdam.
- Monson, R.K., Lerdau, M.T., Sharkey, T.D., Schimel, D.S. & Fall, R. 1995. Biological aspects of constructing volatile organic compound emission inventories. - *Atmospheric Environment*, U.K. 29/21: 2989-3002.
- Mortensen, L.M. 1994. Further studies on effects of ozone concentration on growth of subalpine plant species. *Norw. Agric. J. Sci.* 8: 91-97.
- Mortensen, L.M. & Skre, O. 1990. Effects of low ozone concentrations on growth of *Betula pubescens* Ehrh., *Betula verucosa* Ehrh. and *Alnus incana* (L.) Moench. - *New Phytol.* 115: 165-170.
- National Research Council Canada 1983. Polycyclic aromatic hydrocarbons in the aquatic environment: Formation, sources, fate and effects on aquatic biota. Panel on polycyclic aromatic hydrocarbons subcommittee on water. - NRCC/CNRC, Ottawa, Canada. 209 s.
- Nygaard, P.H. 1994. Virkning av ozon på blåbær (*Vaccinium myrtillus*), etasjehusmose (*Hylocomium splendens*), furumose (*Pleurozium schreberi*) og krussigd (*Dicranum polysetum*). - Rapp. fra Skogforsk 9/94: 1-17.
- Schreiber, U. & Bilzer, W. 1986. Rapid assessment of stress effect on plant leaves by chlorophyll fluorescence measurements. - NATO workshop Sesimbra Portugal 1985.
- Schreiber, U., Groberman, L. & Vidaver, W. 1978. Portable solid-state fluorometer for measurement of chlorophyll fluorescence induction in plants. - *Rev. Sci. Instrum.* 46: 538-542.
- SFT 1992. Virkninger av luftforurensninger på helse og miljø - anbefalte luftkvalitetskriterier. - SFT rapport nr. 92:16. Oslo. 200 s.
- Shimazaki, I., Ito, K., Kondo, N. & Sugahara, K. 1984. Reversible inhibition of the photosynthetic water-splitting enzyme system by SO₂-fumigation assayed by chlorophyll fluorescence and EPR signal *in vivo*. - *Plant & Cell Physiol.* 25: 795-803.
- Smilauer, P. 1992. CanoDraw User's Guide, version 3.0. - Microcomputer Power, Ithaca, New York, USA. 118 s.
- Smillie, R. M. 1982/83. Chlorophyll fluorescence *in vivo* as a probe for rapid measurement of tolerance to ultraviolet radiation. - *Plant Science Lett.* 28: 283-289.
- Smillie, R.M. & Nott, R. 1982. Salt tolerance in crop plants monitored by chlorophyll fluorescence *in vivo*. - *Plant Physiol.* 70: 1049-1054
- Sigmond, E.M.O., Gustavson, M. & Roberts, D. 1984. Berggrunnskart over Norge. M. 1 : 1 million. - Norges geologiske undersøkelse.
- Tønnesen, D. 1994. Spredningsberegninger for utslipp av løsemidler for Rjukan Kjemi A/S. - NILU Oppdragsrapport 57/94: 1-10.
- Wiltens, J., Schreiber, U. & Vidaver, W. 1978. Chlorophyll fluorescence induction: an indicator of photosynthetic activity in marine algae undergoing desiccation. - *Can. J. Bot.* 56: 2787-2794.

Vedlegg 1

Oversikt over artsforkortelser, vitenskapelige navn og norske navn.- Survey of species abbreviations, scientific names and Norwegian names.

Acer pse	Acer pseudoplatanus	platanlønn
Agro can	Agrostis canina	hundekvein
Agro cap	Agrostis capillaris	engkvein
Ange syl	Angelica sylvestris	sløke
Anth odo	Anthoxanthum odoratum	gulaks
Athy f-f	Athyrium filix-femina	skogburkne
Barb bar	Barbilophozia barbata	skogskjeggmose
Barb flo	Barbilophozia floerkei	lyngskjeggmose
Barb hat	Barbilophozia hatcheri	grynskjeggmose
Barb lyc	Barbilophozia lycopodioides	gåsefotskjeggmose
Brac ref	Brachythecium reflexum	sprikelundmose
Brac spp	Brachythecium sp.	lundmose
Care dig	Carex digitata	fingerstarr
Care pal	Carex pallescens	bleikstarr
Ceph spp	Cephalozia sp.	glefsemose
Chil coa	Chiloscyphus coadunatus	totannblonde
Chil sp	Chiloscyphus sp.	blondemose
Cirr pil	Cirriphyllum piliferum	veikmose
Clad chl	Cladonia chlorophaea coll.	brunbeger
Clad sp	Cladonia sp.	begerlav
Desc fle	Deschampsia flexuosa	smyle
Dicr fus	Dicranum fuscescens	bergsigd
Dicr maj	Dicranum majus	blanksigd
Dicr sco	Dicranum scoparium	ribbesigd
Dryo exp	Dryopteris expansa	sauetelg
Equi pra	Equisetum pratense	engsnelle
Fest ovi	Festuca ovina	sauesvingel
Gymn dry	Gymnocarpium dryopteris	fugletelg
Hupe sel	Huperzia selago	lusegras
Hylo spl	Hylocomium splendens	etasjemose
Hype per	Hypericum perforatum	prikkperikum
Hypn cup	Hypnum cupressiforme	matteflette
Linn bor	Linnaea borealis	linnea
Luzu pil	Luzula pilosa	hårfrytle
Lycy ann	Lycopodium annotinum	stri kråkefot
Maia bif	Maianthemum bifolium	maiblom
Mela pra	Melampyrum pratense	stormarimjelle
Meli nut	Melica nutans	hengeaks
Oxal ace	Oxalis acetosella	gaukesyre
Pheg con	Phegopteris connectilis	hengevang
Pice abi	Picea abies	gran
Plagi asp	Plagiochila asplenioides	prakthinnemose
Plagmcus	Plagiomnium cuspidatum	broddfagermose
Plagtlæ	Plagiothecium laetum	glansjammemose
Pleu sch	Pleurozium schreberi	furumose
Pohl nut	Pohlia nutans	nikkemose
Poly com	Polytrichum commune	stor bjørnemose
Ptildcil	Ptilidium ciliare	bakkefrynse

Vedlegg 1 forts.

Ptil c-c	<i>Ptilium crista-castrensis</i>	kammose
Rhiz pun	<i>Rhizomnium punctatum</i>	bekkerundmose
Rhod ros	<i>Rhodobryum roseum</i>	rosettrose
Rhyt squ	<i>Rhytidiadelphus squarrosus</i>	engkransmose
Rhyt tri	<i>Rhytidiadelphus triquetrus</i>	storkransmose
Rubu ida	<i>Rubus idaeus</i>	bringebær
Soli vir	<i>Solidago virgaurea</i>	gullris
Sorb auc	<i>Sorbus aucuparia</i>	rogn
Trie eur	<i>Trientalis europaea</i>	skogstjerne
Vacc myr	<i>Vaccinium myrtillus</i>	blåbær
Vacc v-i	<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	tyttebær
Vero off	<i>Veronica officinalis</i>	legeveronika
Viol riv	<i>Viola riviniana</i>	skogfiol

Vedlegg 2

Artenes smårutefrekvens i 15 analyseruter i felt 1-5. - Species frequency in 15 sample plots in site 1-5.

Analyseruter:	1.1	1.2	1.3	2.4	2.5	2.6	3.7	3.8	3.9	4.10	4.11	4.12	5.13	5.14	5.15
<i>Acer pseudoplatanus</i>	.	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Picea abies</i>	1	5	.	.	2	1	.	.	.	.	.	.	.	2	1
<i>Rubus idaeus</i>	.	2	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Sorbus aucuparia</i>	8	8	6	7	3	5	1	1	7	5	3	4	3	1	4
<i>Vaccinium myrtillus</i>	13	15	9	6	3	4	11	2	.	6	13	11	16	16	16
<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	.	.	.	.	.	.	16	14	.	.	.	13	1	12	11
<i>Agrostis canina</i>	.	.	.	.	2	.	4	.	.	.	4	.	.	.	.
<i>Agrostis capillaris</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	7	.	.	.	.	.	.
<i>Angelica sylvestris</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.
<i>Anthoxanthum</i>	.	.	.	.	.	.	2	.	3	.	.	.	.	.	.
<i>Athyrium filix-femina</i>	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Carex digitata</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	12	.	.	.	.	.	.
<i>Carex pallescens</i>	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	2	.	.	.	.
<i>Deschampsia flexuosa</i>	14	5	16	15	1	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
<i>Dryopteris expansa</i>	4	4	.	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Equisetum pratense</i>	.	.	.	.	1	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Festuca ovina</i>	.	.	.	.	.	.	5	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Gymnocarpium</i>	6	6	3	13	5	5	2	7	6	9	1	5	7	11	1
<i>Huperzia selago</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3	2	.	.	.	.
<i>Hypericum perforatum</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.
<i>Linnaea borealis</i>	.	7	.	.	.	.	1	.	5	9	.	6	8	11	1
<i>Luzula pilosa</i>	.	.	.	.	.	.	4	3	3	1	2	2	.	.	.
<i>Lycopodium annotinum</i>	.	.	.	5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2
<i>Maianthemum bifolium</i>	13	16	14	15	8	5	16	16	16	16	5	5	11	12	12
<i>Melampyrum pratense</i>	.	.	.	.	.	.	12	8	16	2	.	.	.	.	.
<i>Melica nutans</i>	.	.	.	.	.	9	.	.	.	1	.	.	.	.	.
<i>Oxalis acetosella</i>	4	.	.	.	5	5	.	3	11	1	3	.	.	.	.
<i>Phegopteris connectilis</i>	.	.	.	.	.	3	.	.	.	5	2	.	.	.	.
<i>Solidago virgaurea</i>	.	.	.	.	.	.	.	2	3	1	.	.	.	.	.
<i>Trientalis europaea</i>	5	6	14	14	6	5	4	15	.	1	1	.	1	.	.
<i>Veronica officinalis</i>	.	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Viola riviniana</i>	.	.	.	.	.	.	1	1	1	.	2	.	.	.	.
<i>Brachythecium reflexum</i>	2	.	.	.	2	11	.	.	.	1	2	1	.	.	.
<i>Brachythecium spp.</i>	13	7	15	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Cirriphyllum piliferum</i>	11	.	3	.	.	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.
<i>Dicranum fuscescens</i>	.	.	.	2	.	.	.	6	.	.	.	.	.	.	.
<i>Dicranum majus</i>	3	.	.	.	.	.	1	.	.	.	3	.	1	1	13
<i>Dicranum scoparium</i>	14	5	1	11	3	4	6	13	.	3	2	1	1	1	1
<i>Hylocomium splendens</i>	1	13	5	16	1	4	15	14	16	16	16	16	16	16	16
<i>Hypnum cupressiforme</i>	1	.	.	1	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.
<i>Plagiomnium</i>	5	.	.	.	.	.	4	9	2	1	1	.	.	.	.
<i>Plagiothecium laetum</i>	5	2	5	4	5	4	.	6	.	.	.	1	.	2	3
<i>Pleurozium schreberi</i>	.	.	.	.	.	.	3	2	.	8	3	.	3	8	11
<i>Pohlia nutans</i>	6	.	.	.	4	.	.	7	.	.	.	1	.	.	.
<i>Polytrichum commune</i>	.	1	.	.	1	.	5	6	.	7	1	2	.	.	.
<i>Ptilium crista-castrensis</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	14	14	.
<i>Rhizomnium punctatum</i>	.	.	.	.	.	.	1	.	.	3	6	1	.	.	.
<i>Rhodobryum roseum</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	3	1	.	.	.
<i>Rhytidiadelphus</i>	2	.	.	.	.	1	.	.	.	1	1	.	.	.	.
<i>Rhytidiadelphus</i>	.	13	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Barbilophozia barbata</i>	.	.	.	.	.	.	5	7	.	.	.	.	.	.	.
<i>Barbilophozia floerkei</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.
<i>Barbilophozia hatcheri</i>	3	13	1	5	3	4	2	.	.	9	8	6	.	.	4
<i>Barbilophozia</i>	.	1	1	.	.	.	.	.	2	3	3	.	11	5	12
<i>Cephalozia spp.</i>	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Chiloscyphus</i>	6	6	16	2	5	2	.	.	3	1	.	2	.	2	1
<i>Chiloscyphus sp.</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
<i>Plagiochila asplenioides</i>	1	9	14	.	12	5	1	2	2	9	9	7	.	.	.
<i>Ptilidium ciliare</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2
<i>Cladonia chlorophaea</i>	1	.	.	1	.	2	.	9	.	.	.	.	.	.	.
<i>Cladonia sp.</i>	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	1

Analyser av luftkvalitet fra hver analyserute i feltene 1-5. Konsentrasjoner i $\mu\text{g}/\text{m}^3$ toluen-ekvivalenter. Deteksjonsgrense ved $0,005 \mu\text{g}/\text{m}^3$. - Air quality analyses from each sample plot in sites 1-5. Concentrations in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ toluene-equivalents. Detection limit at $0.005 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Analyserute - Sample plot	Felt 1 - Site 1			Felt 2 - Site 2			Felt 3 - Site 3			Felt 4 - Site 4			Felt 5 - Site 5			Blind 1	Blind 2	Bedrift
	1.1	1.2	1.3	2.4	2.5	2.6	3.7	3.8	3.9	4.1	4.11	4.12	5.13	5.14	5.15	Contr 1	Contr 2	Factory
Benzen	0,162	0,115	0,171	0,135	0,162	0,138	0,162	0,157	0,192	0,149	0,173	0,185	0,192	0,229	0,237	0,053	0,088	0,187
Toluen	0,589	1,010	0,920	1,311	1,178	1,354	0,854	0,931	0,894	0,953	0,920	0,718	2,042	0,744	0,925	0,283	0,223	1,156
Etylbenzen	0,041	0,053	0,028	0,052	0,149	0,044	0,102	0,082	0,052	0,055	0,060	0,066	0,094	0,066	0,123	0,000	0,016	0,143
p- og m-Xylen	0,148	0,170	0,141	0,196	0,583	0,112	0,371	0,308	0,232	0,225	0,160	0,261	0,311	0,264	0,429	0,000	0,000	0,476
o-Xylen	0,000	0,074	0,000	0,104	0,330	0,036	0,211	0,215	0,099	0,091	0,071	0,102	0,135	0,110	0,187	0,000	0,000	0,251
1-Metyl-4-etylbenzen	0,079	0,107	0,091	0,127	0,302	0,069	0,250	0,234	0,192	0,113	0,063	0,148	0,141	0,108	0,174	0,000	0,000	0,955
1-Metyl-3-etylbenzen	0,000	0,035	0,039	0,052	0,132	0,024	0,104	0,110	0,083	0,050	0,000	0,052	0,050	0,031	0,088	0,000	0,000	0,463
1-Metyl-2-etylbenzen	0,053	0,060	0,047	0,069	0,110	0,052	0,141	0,144	0,151	0,066	0,063	0,060	0,030	0,044	0,068	0,000	0,000	0,809
1,3,5-Trimetylbenzen	0,000	0,060	0,066	0,082	0,096	0,082	0,127	0,134	0,141	0,027	0,039	0,060	0,049	0,036	0,057	0,000	0,000	0,716
1,2,4-Trimetylbenzen	0,243	0,272	0,236	0,336	0,587	0,303	0,898	0,825	0,881	0,215	0,214	0,258	0,152	0,110	0,226	0,000	0,000	5,943
1,2,3-Trimetylbenzen	0,152	0,143	0,141	0,177	0,231	0,181	0,455	0,452	0,493	0,119	0,129	0,121	0,046	0,050	0,057	0,000	0,000	3,669
1-Metyl-3-(1-metyletyl)-benzen og 1-Metyl-4-(1-metyletyl)-benzen (p- og m- Cumen)	0,000	0,000	0,000	0,028	0,044	0,000	0,069	0,036	0,085	0,000	0,000	0,011	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,452
1,3-Dietylbenzen	0,050	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,160	0,154	0,159	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,388
1-Metyl-3-propylbenzen	0,177	0,214	0,176	0,199	0,338	0,214	0,492	0,477	0,482	0,168	0,168	0,159	0,077	0,104	0,151	0,000	0,000	4,110
1-Metyl-4-propylbenzen	0,000	0,057	0,049	0,030	0,110	0,068	0,170	0,231	0,214	0,052	0,061	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	2,171
1-Metyl-2-propylbenzen	0,058	0,069	0,057	0,075	0,088	0,079	0,187	0,182	0,196	0,052	0,049	0,041	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,948
1-Etyl-3,5-dimetylbenzen	0,294	0,232	0,236	0,236	0,269	0,214	0,564	0,573	0,603	0,162	0,151	0,220	0,093	0,102	0,116	0,000	0,000	5,491
1-Etyl-2,4-dimetylbenzen	0,203	0,134	0,176	0,170	0,195	0,141	0,363	0,391	0,432	0,091	0,108	0,140	0,064	0,000	0,025	0,000	0,000	3,415
2-Etyl-1,3-dimetylbenzen	0,069	0,041	0,088	0,119	0,123	0,110	0,217	0,214	0,258	0,072	0,072	0,074	0,030	0,000	0,000	0,000	0,000	1,811
2-Etyl-1,4-dimetylbenzen	0,130	0,154	0,141	0,157	0,195	0,157	0,369	0,473	0,390	0,129	0,116	0,102	0,000	0,000	0,058	0,000	0,000	3,457
4-Ethyl-1,2-dimetylbenzen	0,198	0,207	0,221	0,242	0,292	0,226	0,603	0,580	0,641	0,157	0,146	0,148	0,039	0,000	0,058	0,000	0,000	6,331
1,2,3,4-Tetrametylbenzen	0,184	0,049	0,253	0,033	0,072	0,042	0,082	0,204	0,195	0,000	0,060	0,035	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,268
1,2,3,5-Tetrametylbenzen	0,071	0,141	0,137	0,154	0,165	0,152	0,366	0,375	0,386	0,090	0,225	0,102	0,000	0,000	0,261	0,000	0,000	3,876
1,2,4,5-Tetrametylbenzen	0,066	0,080	0,093	0,112	0,124	0,107	0,229	0,248	0,276	0,061	0,082	0,079	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	2,488
Inden	0,000	0,140	0,173	0,127	0,209	0,134	0,272	0,289	0,300	0,196	0,112	0,149	0,000	0,000	0,107	0,000	0,000	1,214
Metyllinden	0,000	0,071	0,039	0,031	0,030	0,038	0,086	0,151	0,176	0,025	0,025	0,038	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,470
Naftalen	0,080	0,170	0,060	0,079	0,218	0,075	0,187	0,204	0,148	0,141	0,130	0,176	0,091	0,177	0,137	0,069	0,075	0,603
Sum av alle identifiserbare stoffer/ Sum of all identified elements	3,047	3,854	3,779	4,434	6,330	4,150	8,091	8,375	8,350	3,460	3,396	3,501	3,636	2,177	3,482	0,405	0,402	56,262
Sum av Shellisol AB stoffer/ Sum of Shellsol AB components	2,108	2,433	2,518	2,636	3,928	2,466	6,391	6,681	6,881	1,987	2,012	2,169	0,862	0,763	1,582	0,069	0,075	54,049

Vedlegg 4

Klorofyll fluorescens målinger F_v / F_m fra arter i tilknytning til hver analyserute i felt 1-5. Tre gjentak fra hver analyserute. -
Chlorophyll fluorescence measurements F_v / F_m from species attached to the sample plots in site 1-5. Three replicates from each sample plot.

Rute	Felt 1			Felt 2			Felt 3			Felt 4			Felt 5		
	1.1	1.2	1.3	2.4	2.5	2.6	3.7	3.8	3.9	4.10	4.11	4.12	5.13	5.14	5.15
Gran	0,863	0,854	0,869	0,838	0,830	0,842	0,833	0,774	0,812	0,850	0,861	0,844	0,827	0,816	0,829
<i>Picea abies</i>	0,857	0,871	0,866	0,856	0,815	0,848	0,812	0,831	0,829	0,854	0,882	0,867	0,821	0,828	0,824
	0,873	0,865	0,871	0,855	0,848	0,848	0,804	0,811	0,839	0,877	0,866	0,883	0,819	0,824	0,830
Rogn	0,853	0,867	0,879	0,821	0,783	0,822	0,810	0,844	0,813	0,862	0,850	0,863	0,804	0,792	0,801
<i>Sorbus</i>	0,871	0,859	0,871	0,804	0,827	0,814	0,823	0,806	0,793	0,877	0,882	0,876	0,810	0,803	0,809
<i>aucuparia</i>	0,862	0,887	0,859	0,789	0,831	0,832	0,823	0,788	0,817	0,853	0,856	0,889	0,801	0,813	0,817
Blåbær	0,827	0,834	0,843	0,795	0,829	0,807	0,819	0,823	0,667	0,867	0,846	0,857	0,827	0,801	0,840
<i>Vaccinium</i>	0,849	0,852	0,837	0,809	0,818	0,802	0,805	0,832	0,695	0,891	0,684	0,852	0,661	0,773	0,815
<i>myrtillus</i>	0,866	0,856	0,871	0,798	0,830	0,809	0,790	0,831	0,781	0,887	0,841	0,851	0,820	0,813	0,843
Fugleteig	0,811	0,803	0,797	0,674	0,722	0,721	0,590	0,747	0,706	0,872	0,855	0,865	0,730	0,722	0,750
<i>Gymnocarpium</i>	0,788	0,822	0,832	0,698	0,811	0,725	0,660	0,839	0,651	0,861	0,844	0,873	0,698	0,719	0,747
<i>dryopteris</i>	0,826	0,811	0,827	0,730	0,768	0,769	0,668	0,657	0,634	0,837	0,850	0,899	0,664	0,698	0,731
Maiblom	0,810	0,829	0,821	0,791	0,809	0,795	0,765	0,806	0,692	0,827	0,832	0,824	0,769	0,754	0,823
<i>Maiantemum</i>	0,807	0,821	0,830	0,798	0,816	0,770	0,793	0,774	0,732	0,822	0,831	0,822	0,772	0,774	0,821
<i>bifolium</i>	0,831	0,827	0,837	0,789	0,823	0,818	0,724	0,787	0,794	0,813	0,822	0,818	0,761	0,792	0,812
Etasjemose	0,630	0,596	0,672	0,000	0,044	0,000	0,591	0,758	0,610	0,763	0,790	0,741	0,721	0,757	0,733
<i>Hylocomium</i>	0,612	0,604	0,523	0,000	0,215	0,035	0,285	0,171	0,677	0,769	0,781	0,774	0,712	0,627	0,752
<i>splendens</i>	0,711	0,634	0,639	0,038	0,051	0,036	0,370	0,144	0,061	0,743	0,751	0,769	0,751	0,782	0,744

ISSN 0802-4103
ISBN 82-426-0779-6

461

NINA
OPPDRAGS-
MELDING

NINA Hovedkontor
Tungasletta 2
7005 TRONDHEIM
Telefon: 73 58 05 00
Telefax: 73 91 54 33

NINA
Norsk institutt
for naturforskning