



Integreret overvågning af luftforurenings- effekter

Det internationale måleprogram
på Hjerl Hede

Faglig rapport fra DMU, nr. 96
1993



Danmarks Miljøundersøgelser - BIBLIOTEKET
Grenåvej 12, Kals, DK-8410 Rønde



3506870746

Miljøministeriet

Danmarks Miljøundersøgelser
Afd. for Flora- og Faunøkologi
Kalø, Grenåvej 12, 8410 Rønde



Integreret overvågning af luftforurenings- effekter

Det internationale måleprogram
på Hjerl Hede

Faglig rapport fra DMU, nr. 96

Line H. Henriksen
Jesper Bak
Knud Erik Nielsen
Afdeling for Terrestrisk Økologi

Miljøministeriet
Danmarks Miljøundersøgelser
December 1993

Datablad

Titel:	Integreret overvågning af luftforureningseffekter
Undertitel:	Det internationale måleprogram på Hjerl Hede
Forfattere: Afdelingsnavn:	Line Højgaard Henriksen, Jesper Bak, Knud Erik Nielsen, Afdeling for Terrestrisk Økologi
Serietittel og nummer:	Faglig rapport fra DMU nr. 96
Udgiver:	Miljøministeriet Danmarks Miljøundersøgelser ©
Udgivelsesår:	1993
Tegninger:	Kathe Møgelvang, Bente Grue
Feltundersøgelser:	Knud Erik Nielsen (DMU), Per Nørnberg (Aarhus Universitet (AU), Geologisk Institut), Hanne Madsen (AU, Geologisk Institut)
Laboratoriemålinger:	Knud Erik Nielsen (DMU), Hanne Madsen (AU), Marianne Hilligsøe (DMU), Britta Andersen (DMU)
ETB:	Bodil Thestrup
Bedes citeret:	Henriksen, L.H., Bak, J. & Nielsen, K.E. (1993): Integreret overvågning af luftforureningseffekter. Det internationale måleprogram på Hjerl Hede. Danmarks Miljøundersøgelser, 39 s. - Faglig rapport fra DMU nr. 96. Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse.
Emneord:	Integreret overvågning, luftforureningseffekter, tålegrænser/critical loads, succession, eutrofiering, forsurening.
ISBN:	87-7772-135-7
ISSN:	0905-815X
Papirkvalitet:	Cyclus
Tryk:	Silkeborg Bogtryk
Oplag:	150
Sideantal:	40
Pris:	Kr. 100,00 (incl. 25% moms, excl. forsendelse)
Købes hos:	Danmarks Miljøundersøgelser Afdeling for Terrestrisk Økologi Vejløvej 25 DK-8600 Silkeborg Tlf.nr. 89 20 14 00 Telefax: 89 20 14 14

Indhold

Sammendrag 5

Indledning 9

1 Programmet for integreret overvågning 11

- 1.1 Formål 11
- 1.2 Organisatorisk ophæng 12
- 1.3 Relaterede programmer 13
- 1.4 Baggrund for integreret overvågning 15
- 1.5 Tålegrænser for kvælstof og svovl 16

2 Hedelokaliteten ved Hjerl Hede 21

- 2.1 Generel beskrivelse 21
- 2.2 Hjerl Hedes overvågningsstatus 24

3 Måleprogram 25

- 3.1 Feltstation og instrumentation 25
- 3.2 Analyser 26

4 Resultater fra Hjerl Hede 27

- 4.1 Nuværende forhold 27
- 4.2 Sæsonvariation 30
- 4.3 Fem-års udvikling 31

5 HEATH-projektet under det Strategiske Miljøforskningsprogram 33

- 5.1 Baggrund 33
- 5.2 Projektbeskrivelse 33
- 5.3 Forventede resultater 34

6 Referencer 37

7 Danmarks Miljøundersøgelser 39

Sammendrag

Det integrerede overvågningsprogram er et internationalt samarbejdsprogram, der har til formål at identificere effekten af luftforurening på økosystemer. Programmet er iværksat i 1988 af FN's økonomiske kommission for Europa under Geneve-konventionen om langtrækkende grænseoverskridende luftforurening. Programmet bygger på frivillig deltagelse, og indtil videre bidrager 16 lande med data fra 40 referenceområder.

Ved at måle forskellige fysiske, kemiske og biologiske parametre på udvalgte referenceøkosystemer i mange lande bliver det muligt at bestemme økosystemernes status og forudsige de langtidsændringer, der stammer direkte eller indirekte fra luftforurening. Man ønsker med andre ord at skelne naturlige økologiske variationer, såsom succession af planter, fra antropogene forstyrrelser grundet luftforurening. Målingerne skal tilvejebringe videnskabelig basis for miljøpolitiske beslutninger om emissionskontrol.

Ved selve overvågningen bestemmes først økosystemets nuværende status med hensyn til jordbund, vegetation, mikroorganismer osv. Dernæst måles de klimatiske og kemiske parametre, som forventes at påvirke systemet dvs. temperatur, solstråling, nedbør og våd- og tørdeposition (stoffer der tilføres hhv. med nedbøren, hhv. som partikler og gasarter). Sideløbende hermed måles så effekten af disse påvirkninger på jordbunden, planterne, grundvandet, og på forskellige processer som f.eks. omsætningen af organisk materiale.

Som overvågningsområde vælges et afgrænset areal, helst et veldefineret hydrologisk opland. I et sådant opland kan man måle tilførslen af vand og kemiske komponenter, og man kan måle afledningen i det eller de vandløb, der afvander området. De ukendte parametre i systemet kan herefter beregnes og de biologiske og hydrokemiske processer, som f.eks. forvittringsraten, bestemmes.

Med datamaterialet fra overvågningen kan man med matematiske modeller forudsige effekterne af luftforurening. Desuden kan der fastlægges tålegrænser (critical loads) for økosystemernes følsomhed overfor ændringer i den atmosfæriske svovl- og kvælstofbelastning. Tålegrænsen er defineret som den belastning med et forurenende stof, systemet på lang sigt kan udsættes for, uden at skades.

Problemerne med kvælstofbelastning er dels eutrofiering (næringsoverskud) og dels forsuring. Følsomme vegetationssamfund såsom heder og højmoser kan kun eksistere ved en lille kvælstoftilførsel. Øges tilførslen, favoriseres andre arter, som lidt efter lidt tager over. Herved vil de følsomme økosystemer efterhånden forsvinde til fordel for græsheder og skove. Den nuværende kvælstofbelastning, specielt i Nordeuropa, overstiger langt den beregnede tålegrænse for disse økosystemer. Således er tålegrænsen for heder og moser ca. 5 kg N/ha pr. år. De danske heder og

moser modtager i gennemsnit 14 kg N/ha pr. år, hvoraf 7 kg stammer fra grænseoverskridende luftforurening og 7 kg fra inderlandske kilder, specielt ammoniakfordampning fra det danske landbrug.

Forsuring skyldes både kvælstof- og svovldeposition. Svovl tilføres oftest i form af svovlsyre mens kvælstof tilføres som salpetersyre eller ammoniumsulfat, der omdannes til salpetersyre ved nitrifikation af ammoniumionen i jordbunden. En forøget syremængde i jorden giver en forøget mineralforvitring og dermed en større frigivelse af basekationer. Frigives der flere basekationer, end der optages i planterne, udvaskes de overskydende, og på længere sigt kan jordens bufferkapacitet overfor syretilførsel opbruges. Forsuringen kan medføre mangelsymptomer, skadevirkninger på de levende organismer i jorden og øget følsomhed overfor naturlige klimavariationer. Desuden kan forsuringen forplante sig til grundvand og afstrømningsvand, hvor den kan forårsage skader på fisk og planter.

Det danske bidrag til programmet er data fra feltstationen på Hjerl Hede, 30 km vest for Viborg. Hjerl Hede har fungeret som forskningsområde siden 1985.

Hederne repræsenterer et af de følsomme økosystemer, som i løbet af en kortere årrække kan forsvinde, hvis de ikke plejes, eller hvis forureningen med kvælstof forårsager en ændring i plantesamfundene. Både den naturlige udvikling og den menneskeskabte påvirkning med kvælstof går i samme retning mod tilgroning med græs og skov, og det er derfor et interessant område at studere.

På Hjerl Hede er der de sidste 70 år sket en naturlig succession af egetræer, som invaderer heden. Dette fører til, at podsoljordbunden ændrer karakter, den "depodsolerer". Horisontgrænserne, som under lyngvegetationen er skarpe, udviskes under egen, ligesom den sorte udfældningshorisont, B horisonten, bliver brunere. Indvandring af egen medfører også at omsætningen af organisk materiale i de øverste horisonter stiger, hvorved jordvandets indhold af basekationer stiger i forhold til jordvandsindholdet under lyng.

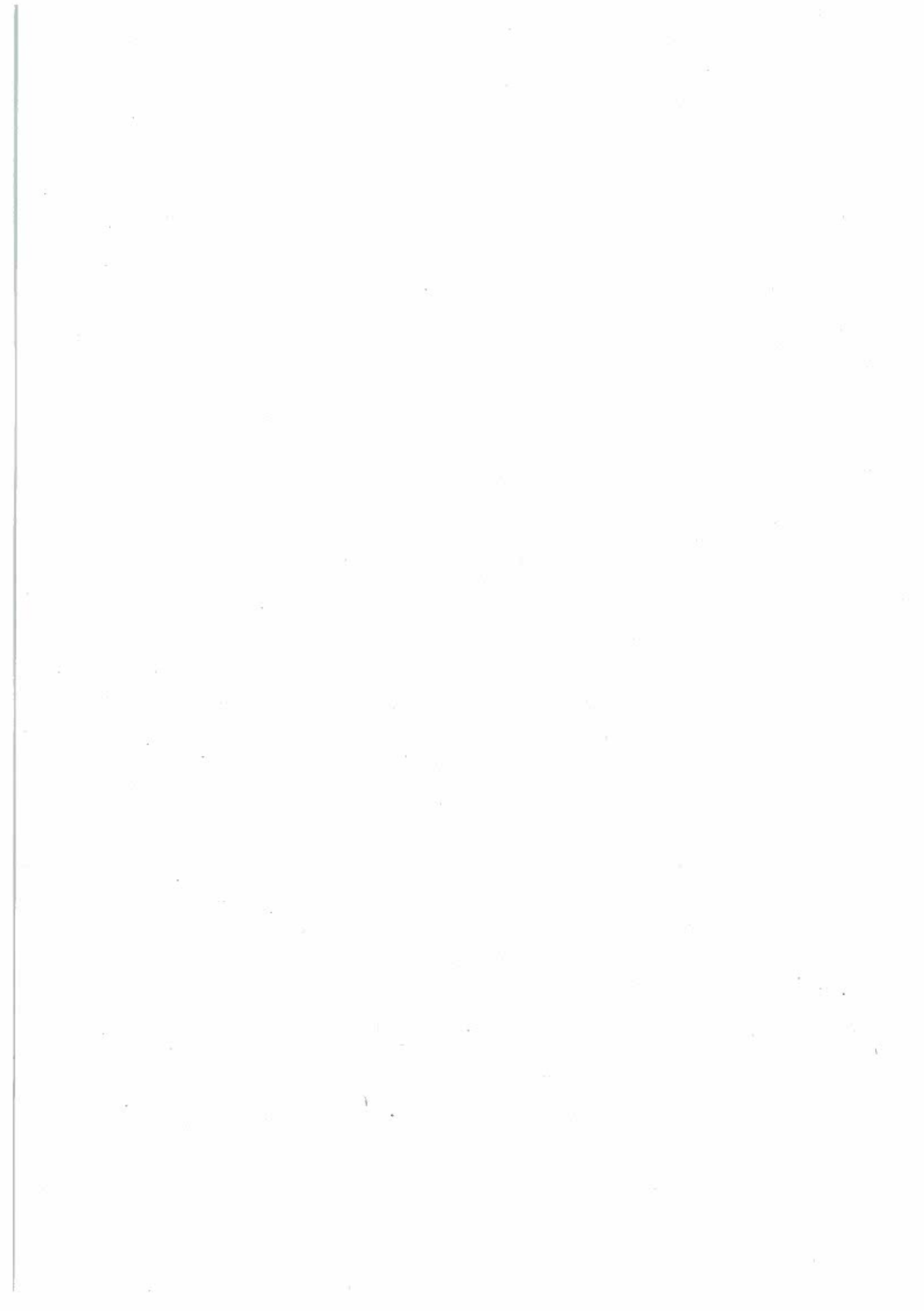
Der er indsamlet tidsserier af hydrologiske og hydrokemiske data i to perioder; første gang i 1986-87 og anden gang i 1992. Den eneste udvikling, der kan observeres fra 1986-87 til 1992 er en reduktion i sulfatkoncentrationen i nedbør, i gennemfald fra eg og i jordvand under eg. Denne reduktion er et direkte målbart resultat af emissionsbegrænsninger af luftforureningen med svovl i hele Europa. Der er ikke iagttaget en tilsvarende reduktion for NO_x , selvom der også for NO_x er sket en emissionsbegrænsning. Dette skyldes primært den stigende trafik, der er en primær kilde til NO_x .

Det er endnu ikke tilstrækkeligt undersøgt, om det aktuelle forureningsniveau har haft væsentlig betydning for områdets sund-

hedstilstand, og hvilken betydning reduktionen i belastningen har haft og vil få.

Et sideløbende forskningsprojekt under Det Strategiske Miljøforskningsprogram, HEATH-projektet (med deltagelse af Århus og Københavns Universitet samt DMU), undersøger de primære hydrologiske og hydrokemiske fluxe i systemet og tilvejebringer hermed basalviden og procesforståelse om hedeøkosystemer.

For at få det fulde udbytte af data fra et overvågningsprogram er det nødvendigt med sideløbende forskning. Her kan man udvikle og validere simuleringsmodeller, der kan anvendes på overvågningsdata, til forudsigelse af effekter af luftforurening på følsomme økosystemer.



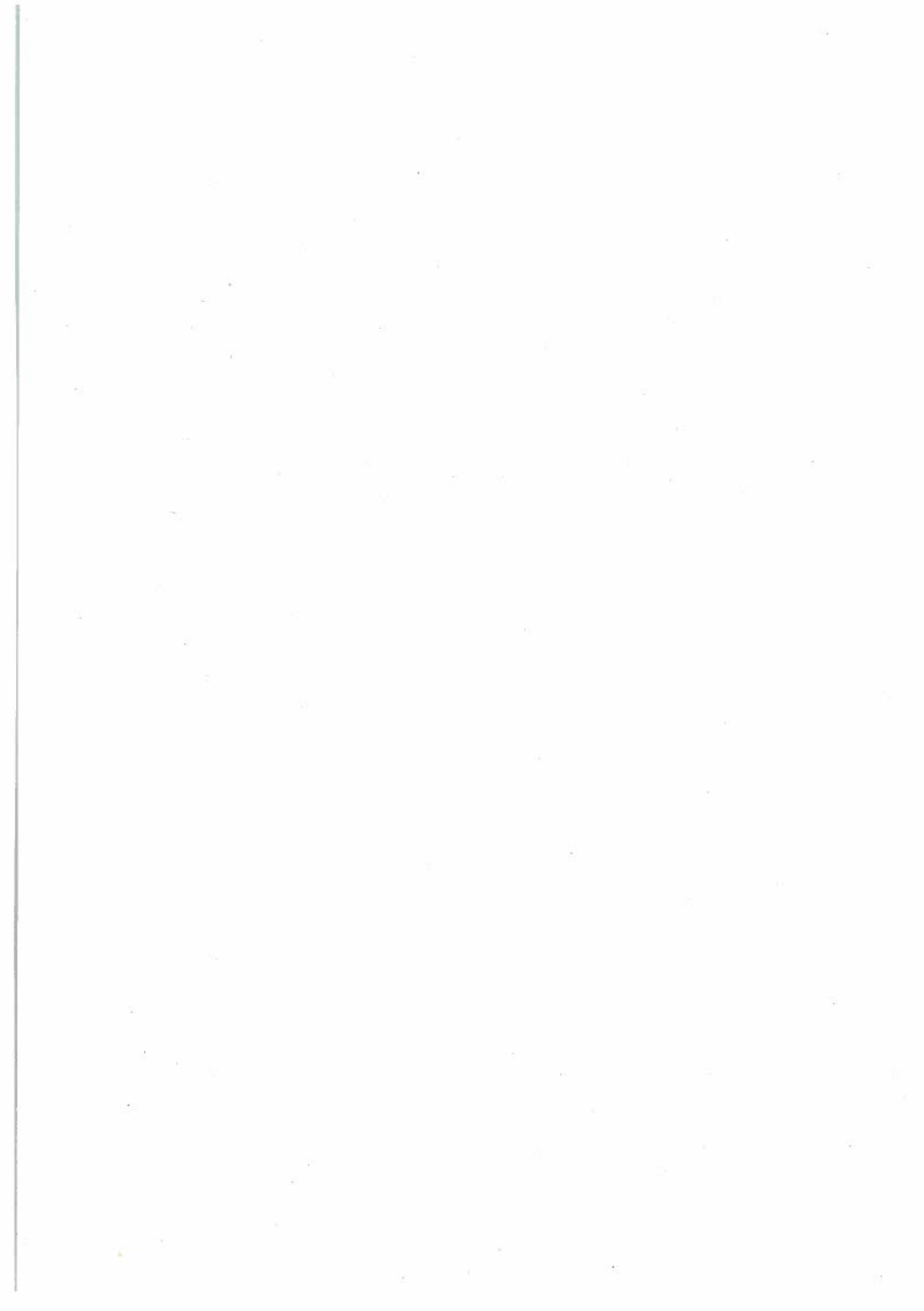
Indledning

Siden industrialiseringen har man observeret, at træer i nærheden af store industriområder blev skadet af gasser og støv fra luften. Fra 1970'erne er der over hele Europa også konstateret et stigende antal skader på skove, som ligger langt fra industrialiserede egne. Fænomenet er kendt som "skovdød", og luftforurening er i stigende grad blevet betragtet som den vigtigste årsag.

Som følge af den voksende fokus på konsekvenserne af luftforurening, blev der i 1979 indgået en traktat om emissionsbegrænsning: "Geneve-konventionen om langtrækkende grænseoverskridende luftforurening" under UN/ECE, FN's økonomiske kommission for Europa. Konventionen er ratificeret af de fleste lande i Vest- og Østeuropa samt USA og Canada. Den omfatter protokoller for svovl, kvælstof og ozon, som menes at være hovedårsagerne til ubalancer i økosystemer.

I løbet af firserne er der som følge af konventionen startet fire overvågningsprogrammer med henblik på at kortlægge og bestemme effekten af luftforurening på henholdsvis ferskvandsområder, skove, materialer og afgrøder. I 1988 blev der på opfordring af de nordiske lande igangsat et treårigt pilotprojekt, som skulle afprøve et integreret overvågningsprogram for små hydrologiske oplande med frivillig deltagelse af interesserede lande. Efter evaluering i 1991/92 blev programmet sat i gang og fik navnet "International Co-operative Programme on Integrated Monitoring of Air Pollution Effects on Ecosystems", eller kortere "IMP". Programmets første "Task Force"-møde blev afholdt hos DMU i Silkeborg den 8.-11. februar 1993, hvor programmets manual blev endelig godkendt (*Pyhäläinen, 1993*).

Det er hensigten med denne rapport at beskrive det integrerede overvågningsprogram og derudover præsentere det danske bidrag til overvågningen i form af en kort status over overvågningsområdet med et udpluk af resultater. Endelig præsenteres også et sideløbende forskningsprogram, HEATH-projektet, under Det Strategiske Miljøforskningsprogram.



1 Programmet for integreret overvågning

1.1 Formål

Hovedformålet med IMP er at bestemme økosystemers økologiske status, samt måle og forudsige de langtidsændringer, som stammer direkte eller indirekte fra luftforurening. Speciel opmærksomhed er knyttet til stofferne kvælstof, svovl og ozon. Økologisk set er formålet at skelne mellem naturlige, økologiske variationer, herunder succession, og antropogene forstyrrelser grundet luftforurening. Målinger af fysiske, kemiske og biologiske forhold, som i en samlet enhed udgør integreret overvågning på uforstyrrede referenceområder, skulle gøre det muligt at identificere nettoeffekterne af langtrækkende luftforurening på økosystemer og oplande. Målingerne skal tilvejebringe videnskabelig basis for miljøpolitiske beslutninger om emissionskontrol.

Overvågningsområdet

Som overvågningsområde vælges et afgrænset areal, helst et hydrologisk opland. Måling på et afgrænset område har den fordel frem for spredte regionale målinger, at man kan beskrive alle parametrene i systemet og få styr på grænseparametrene. I et opland kan man måle tilførslen af vand og kemiske komponenter ved at måle våd- og tørdeposition, og man kan måle fraførslen i udstrømningsvandet fra oplandet. De ukendte parametre i systemet kan herefter beregnes, og de biologiske og hydrokemiske processer, som f.eks. forvittringsraten, bestemmes. Dette giver i sidste ende mulighed for at beregne effekten af luftforurening på økosystemet.

Tålegrænse

Tålegrænsen (critical load) for et økosystem defineres som den belastning med et forurenende stof, systemet på lang sigt kan udsættes for, uden at skades - ud fra den viden, vi besidder i dag. I stedet for at forudsige systemets respons på en bestemt forureningsbelastning, fastlægges den acceptable respons. Den beregnede, acceptable belastning med luftforurening kaldes tålegrænsen.

Effekten af svovl- og kvælstofbelastning

Planter kan skades både direkte og indirekte på grund af forhøjet luftforurening. Den indirekte skade skyldes ofte en langtidseffekt af forurenende stoffer tilført jorden. Tilførsel af svovl og kvælstof til jorden kan forårsage forsuring. Kvælstof virker desuden som et næringsstof, hvor forhøjede tilførsler kan forårsage vegetationsændringer på følsomme områder som heder, moser, overdrev og i naturskove direkte skader på planter skyldes ofte gasformig luftforurening som SO_2 , NO_x og O_3 , der optages gennem bladernes spalteåbninger.

Tålegrænser som politisk redskab

Begrebet "tålegrænse" bliver brugt til udvikling af kontrolstrategier for emissionsbegrænsning. Denne begrænsning fastlægges efter naturens tålegrænser. Forekomsten og følsomheden af forskellige naturtyper kortlægges, og de enkelte naturtyper repræsenteres med den vægt, de enkelte lande lægger på deres bevarelse. Reduktionsmål beregnes derefter ved at tage udgangs-

punkt i den tålegrænse, der beskytter en ønsket del af de kortlagte naturtyper.

Modellering

Til forudsigelser af økosystemernes respons på forureningspåvirkninger og til beregning af tålegrænser er matematiske modeller det bedste redskab. Ved at sammenligne modellernes resultater med de direkte målinger i området kan man evaluere sin viden om de processer, som foregår i systemet. Modellerne er imidlertid kun så gode som input data. Derfor er omfattende målinger både i tid og rum nødvendige for at skaffe tilstrækkelige data til at kalibrere og validere modellerne.

På længere sigt kan man med den integrerede overvågning blandt andet måle ændringer i biodiversitet og økosystemers respons på klimatiske ændringer og begrænsning af ozondeposition.

1.2 Organisatorisk opbygning

Styregrupper

Til opfølgning af konventionen om langtrækkende grænseoverskridende luftforurening er der nedsat en række organer og grupper. Disse organers indbyrdes referencer ses i Figur 1. Arbejdet under konventionen ledes af en styrende forsamling (Executive Body), der har nedsat 4 permanente styregrupper (Working Groups), én gruppe for effekter, én gruppe for EMEP-overvågningen, én gruppe for strategier og én for teknologi. EMEP-samarbejdet (European Monitoring and Evaluation programme) drejer sig om måling og beregning af depositioner. Arbejdsgrupperne følger op på effekterne af de ratificerede protokoller og forbereder nye protokoller under konventionen. Dette arbejde sker på baggrund af rapporteringer fra ekspertgrupper (Task Forces) med forskere fra forskellige lande.

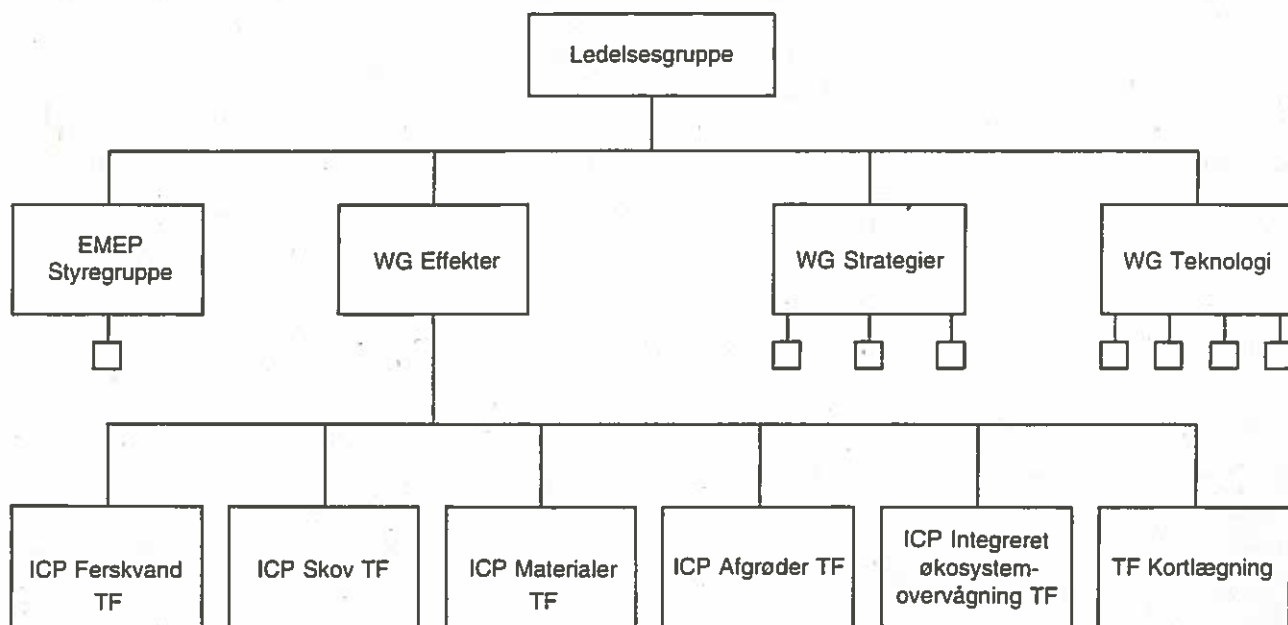
Task Forces

For at kortlægge effekterne af emissionsbegrænsninger eksisterer der desuden fem internationale videnskabelige samarbejdsprojekter, hvoraf det ene er det integrerede overvågningsprogram. De fire andre undersøger effekter for ferskvandsområder, skove, materialer og afgrøder. Derudover findes en gruppe, der beregner og kortlægger tålegrænser for luftforurening.

Forskellige afdelinger i Danmarks Miljøundersøgelser er repræsenteret i diverse ekspertgrupper. Disse afdelinger er anført på Figur 1.

EDC

Indtil videre er 40 oplande fra 16 lande inddraget i det integrerede overvågningsprogram, og flere er startet. I Finland er der oprettet et "miljø data center" (EDC), der er ansvarlig for arkivering og sammenfatning af de indgivne data.



WG = arbejdsgruppe/styregruppe
 TF = arbejdsgruppe af nationale eksperter (Task Force)
 ICP = internationalt samarbejdsprogram

Figur 1. Den organisatoriske struktur af de forskellige organer under "Konventionen om langtrækkende grænseoverskridende luftforurening" (Federal Environmental Agency, 1993). Deltagelsen af forskellige afdelinger fra Danmarks Miljøundersøgelser er angivet: TØ (Afdeling for Terrestrisk Økologi), FOLU (Afdeling for Forureningskilder og Luftforurening), FEVØ (Afdeling for Ferskvandsøkologi).

1.3 Relaterede programmer

Regional udvikling af politiske strategier til at reducere luftforureningen kræver evaluering og vurdering af miljøovervågningsdata. Vurderingerne er baseret på udvikling og anvendelse af økosystemmodeller ud fra overvågningsdata.

Intensiv overvågning

Overvågning af økosystemer foretages på flere forskellige niveauer. Der eksisterer programmer for intensiv overvågning på små arealer, hvor forståelsen af processerne i økosystemet er det primære mål. Her kan der indsamles tilstrækkeligt materiale til at udvikle komplicerede tidsafhængige modeller, der kan forudsige fremtidige ændringer i økosystemet som følge af forureningsforøgelse eller -reduktion. Mange lande inden for FN's økonomiske kommission for Europa opererer med et lille antal (1-10) af sådanne områder.

Regional og national overvågning

Der findes også bredere regionale overvågningsnetværk, hvor data indsamles mindre hyppigt men i flere områder. Endelig findes nationale overvågningsundersøgelser, hvor indsamlingen er så sjælden som 1-2 gange pr. tiår. Disse bidrager ikke til procesforståelse, men kan anvendes til at validere allerede udviklede modeller.

IMP

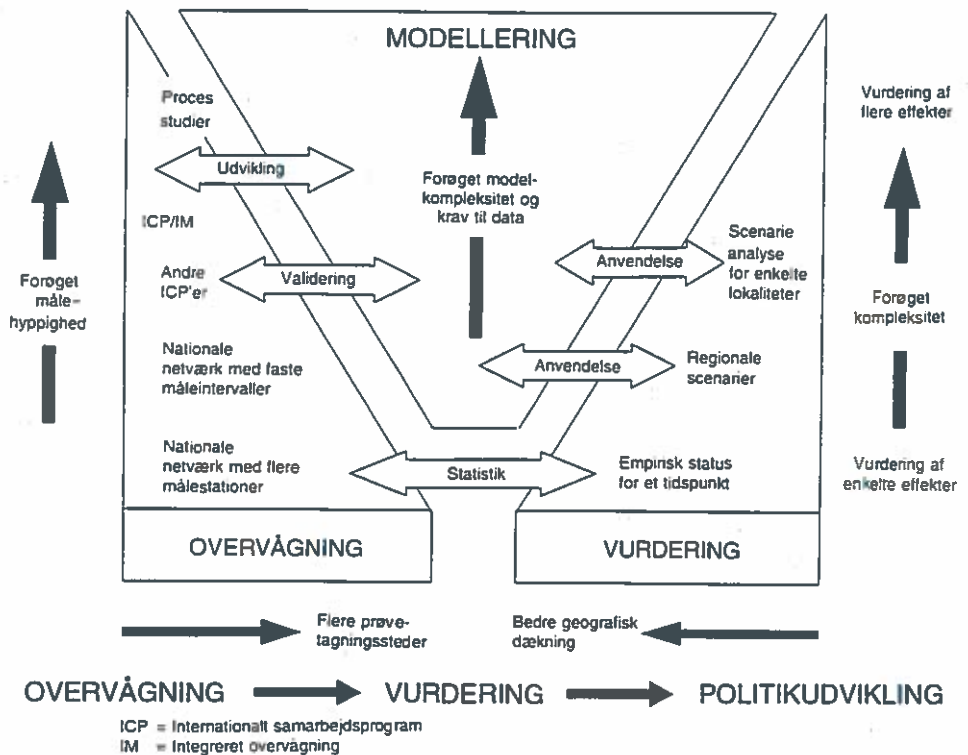
IMP (Integrated Monitoring Programme) udgør koblingen mellem overvågning i små områder med god dækning af parametre og

den bredere overvågning. Ved at måle i flere forskellige lande kan der foretages sammenligninger af komplekse og mangeartede effekter tværs over klimatiske gradienter, såvel som over geologiske, økone og politiske grænser.

Fra modeller til politisk anvendelse

Modeller udviklet på baggrund af data fra intensiv overvågning bliver anvendt og valideret på data fra bredere overvågning, før de danner grundlag for politiske vurderinger på regionalt plan.

IMP repræsenterer det højeste niveau med internationalt samarbejde og kan derfor imødekomme det internationale politiske forums behov for information. På egen hånd kan IMP ikke levere politisk relevant information (f.eks. tålegrænser); dertil er det også nødvendigt med den samtidige eksistens af lavere niveauer, der viser den regionale variation. På Figur 2 ses en model for placeringen af de forskellige overvågningsniveauer og deres kobling til miljøpolitiske beslutninger via modeludvikling og modelvalidering.



Figur 2. Model for hvordan miljøpolitik udvikles gennem et forløb fra overvågning og modellering til anvendelse. IMP's (ICP/IM) position i hierakiet af overvågningsprogrammer er vist (Pylvänäinen, 1993).

Ved at sikre et overlap i de forskellige overvågningsniveauer er det muligt at overføre data og modeller mellem niveauerne. Dette gøres f.eks. ved at lave integreret overvågning i forbindelse med en procesforskningsstation. Ydermere er det vigtigt at måle kontinuerligt på alle niveauer. Kun på denne måde fås den information om tids- eller stedsmæssig variation, der kræves for at skelne naturlige fra antropogene effekter.

1.4 Baggrund for integreret overvågning

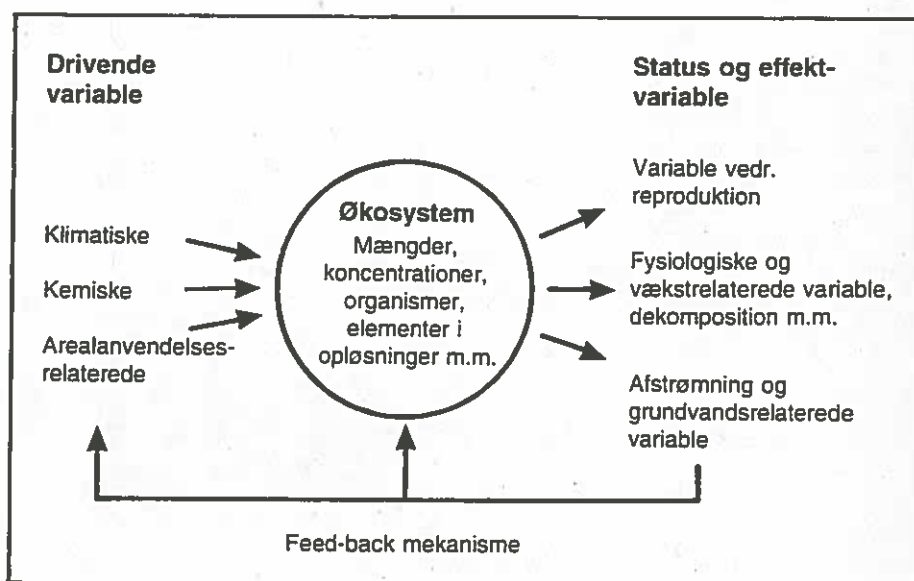
I naturen findes et fint afstemt og meget kompliceret samspil mellem fysiske, kemiske og biologiske faktorer. En ændring i en af disse faktorer kan få vidtrækkende konsekvenser for andre faktorer.

Målte parametre

Intensiv integreret overvågning består således af fysiske, kemiske og biologiske målinger foretaget i et uforstyrret økosystem med en fast afgrænsning, f.eks. et hydrologisk opland. Der måles tilstrækkeligt tæt til at repræsentere området, og der måles på en række parametre: klima, luftkemi, nedbørskemi, gennemfald (dryp fra vegetationen) og stammenedløb, jordbundskemi, jordvandskemi, grundvandskemi, sø- og vandløbskemi, sø- og vandløbshydrobiologi, det kemiske indhold i blade og førnfald, metal-kemi af mosser, omfanget af skovskader, vegetation, epifytter (snyltere) på træstammer, grønalger og mikrobiologisk nedbrydning. De forskellige parametre måles dog ikke med samme hyppighed. Målingerne udføres over længere tid, så der bliver mulighed for at følge udviklingstendenser.

De målte parametre opdeles i styrende parametre, tilstandsparametre og effekt-parametre, som illustreret i Figur 3.

Figur 3. Samspillet mellem styrende parametre og tilstands- og effekt-parametre i et økosystem (Nihlgård and Pytvänäinen, 1992)



Styrende parametre

De eksterne styrende parametre påvirker økosystemet delvist uafhængigt af andre parametre. Dette gælder for klimatiske parametre såsom, nedbør og indkommende solstråling; det gælder for kemiske parametre som våd- og tørdeposition, deposition af forurenende gasarter og forvitring af jorden. Endelig inkluderes landbrug også, idet ammoniak fra husdyrgødning og støv fra kalkning og markarbejde også er betydende parametre.

Tilstands-parametre

De variable tilstands-parametre er strukturelle dele af økosystemet som f.eks. jordbund, udgangsmateriale og topografi samt et antal kvantitative data på organismer.

Effekt-parametre

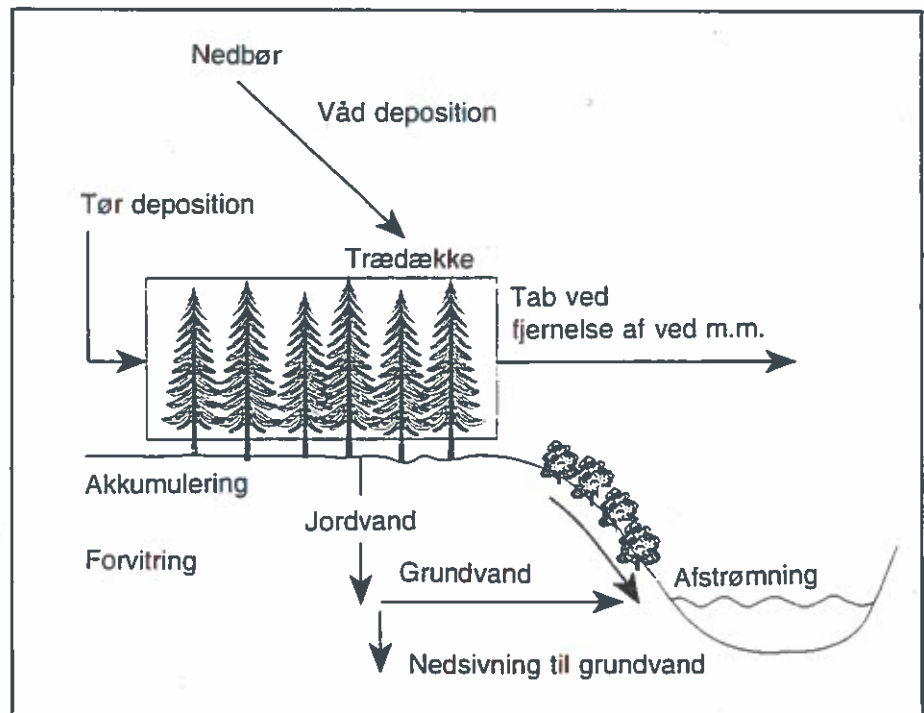
Effekt-parametre er defineret som processer, der ændres af de styrende parametre. Processerne forårsager ofte på lang sigt ændringer af tilstands-parametrene og nogle gange også af de styrende parametre på grund af forskellige feed-back mekanismer. Dette er f.eks. tilfældet for nogle af drivhusgasserne i atmosfæren, som kan reduceres eller øges pga. ændringer på jorden.

Masse-balance

Noget af det mest centrale ved den integrerede overvågning er massebalance-studier. Her kvantificeres fluxen af de væsentlige kemiske komponenter i systemet. Tilførslen kan ske med nedbør og partikel- og gasafsætning på vegetation og jord samt ved mineralforvitring. Da vand er det transporterende medium for kemiske komponenter, kan fluxen gennem systemet bestemmes ved at måle fraførslen i grundvand og afstrømningsvand. Det er dog en forudsætning, at komponenten ikke i nævneværdig grad føres tilbage til atmosfæren i form af gas.

Transporten af kemiske komponenter er underlagt den interne cirkulation f.eks. i gennemfald fra vegetationen, fœrnfald, omsætning af organisk materiale i jorden, optagelse i planter eller nedsivning i jordvand. Ved bestemmelsen af den interne og eksterne stofflux kan man dermed belyse, hvorvidt der sker en akkumulation eller udvaskning i henholdsvis jorden, grundvandet eller vegetationen. Figur 4 viser en model for fluxen igennem økosystemet.

Figur 4. Model for fluxen i et opland eller begrænset afvandingsområde. Våd-deposition + tørdeposition + forvitring = overflade-afløb + nedsivning til grundvand + akkumulation + output af aerosoler (Pyöväinen, 1993).



1.5 Tålegrænser for kvælstof og svovl

Eutrofiering

I Danmark er eutrofiering (næringsstofoverskud) et af hovedproblemerne ved luftforurening. Den forhøjede næringsstofftilførsel kan på længere sigt accelerere og ændre successionsforløb og

Bak, 1992). I svenske naturskove er den naturlige vegetationstype ved lave depositioner et epifytsamfund. Allerede ved 1.5 kg N/ha/år ændres epifytsamfundet til et tyttebærsamfund. Ved højere depositionsniveauer fås blåbærsamfund og græs, og ved depositioner over 15 kg N/ha/år fås et urtesamfund (*Sverdrup, pers. medd.*). Denne forenkede successionsopfattelse skal vise, at artssammensætningen og variationen på naturarealer er meget følsom for næringsstofftilførslen.

I Danmark kendes ingen rigtigt gode eksempler på successionsændringer som følge af eutrofiering, bortset fra ændringer af epifytsamfund. På Stanghede ved Viborg findes en blåtopdomineret lynghede, der godt kunne være et resultat af kraftig kvælstofbelastning. Det gennemsnitlige depositionsniveau i Danmark er 21 kg N/ha/år. Dette niveau må reduceres væsentligt, hvis en række naturtyper af stor landskabsmæssig og rekreativ værdi på længere sigt skal bevares.

Kvælstofs kredsløb

Kvælstof er det eneste næringsstof, hvis cyklus udelukkende reguleres af biologiske processer. Kvælstof optages i planterne enten fra jorden eller direkte fra atmosfærisk deposition på planteoverfladen. Kvælstof føres til jorden ved løvfald og nedbrydes efterhånden ved hjælp af mikroorganismer. I jorden opbygges en pulje af svært tilgængeligt kvælstof, hvoraf noget kan mineraliseres (omdannes fra organisk til uorganisk form) og optages videre i planterne. Kvælstof kan føres bort fra systemet på flere måder: ved høst af landbrugsafgrøder eller vedmasse, ved erosion og brand, ved ammoniakfordampning og denitrifikation (en biologisk proces, der omdanner uorganisk kvælstof til inaktivt, atmosfærisk kvælstof).

Kvælstofmætning

Når der tilføres mere kvælstof, end der kan optages af planter og mikroorganismer, taler man om kvælstofmætning. Kvælstofmætningen kan bruges som indikator for den langsigtede stabilitet af naturlige økosystemer. Hvis mætningsgrænsen overskrides, sker der en udvaskning af kvælstof sammen med basekationer, og jordbunden forsures og berøves næringsstoffer.

Forsuring

Forsuring er et andet vigtigt følgeproblem af luftforurening. Forsuring af mineraljord, grundvand og overfladevand skyldes hovedsagelig depositionen af svovl- og kvælstofforbindelser. Naturlige kemiske og biologiske processer og intensive driftformer i skov- og landbruget kan dog også bidrage til produktionen af syre.

Reduktion i jordens bufferkapacitet

Jordbundsforurening er en proces, som er karakteriseret ved en reduktion i jordbundens kapacitet til at neutralisere syre (bufferkapaciteten) samt en akkumulation af syre. Den syreneutraliserende evne er knyttet til ionbytningsprocesser på negativt ladede overflader af lerminerale og humusforbindelser samt mineralforvitring af silikat og karbonatminerale. Sidstnævnte er dog vigtigst på længere sigt. Ved forvitring forbruges syrer, og basekationer (næringsstoffer) frigives. Hvis der frigives flere basekationer end planterne kan optage, vil basekationerne udvaskes, og med tiden kan jordens pulje opbruges. Resultatet er, at jordvan-

dets indhold af brintioner stiger (pH falder), og hermed kan aluminiumioner og andre toksiske ioner mobiliseres. Disse ioner kan skade levende organismer, f.eks. bakterier, svampe, mycorrhiza, planterødder og jordlevende dyr, og dermed reducere omsætningen i systemet.

Et reduceret indhold af basekationer i jorden kan foruden almindelige mangelsymptomer føre til øget følsomhed overfor tørke, insekter, luftens indhold af gasser osv.

Nitrat og ammonium

Nitrat og ammonium er de kvælstofforbindelser, som oftest optræder i jorden. Ammonium absorberes let til jordpartikler ved ionbytning, mens nitrat er meget mobilt og let udvaskes med det nedsivende vand (*Gundersen og Rasmussen, 1988*). Nitrat i jorden stammer hovedsageligt fra nitrifikation af ammonium, hvorved der dannes brintioner. Når ammonium optages i planter, sker der samtidig en brintionoptagelse, og omsætningen er dermed protonneutral. Først når nitrifikationshastigheden overstiger planternes optagelsesevne, kan nitratudvaskning forekomme - ledsaget af udvaskning af basekationer, brintioner og aluminiumioner.

Sulfat

Sulfat kan tilbageholdes i jorden ved adsorption til organisk stof eller til sesquioxider. Ved tilstrækkelig syre-tilførsel opløses sulfatforbindelsen og sulfat frigives til jordvandet (*Raulund-Rasmussen og Larsen, 1990*).

Forsuring af grundvand og vandløb

Det forhøjede jordvandsindhold af sulfat, nitrat, brintioner og/eller aluminiumioner vil med det nedsivende vand forplante sig til grundvand og overfladevand. Ofte vil syren dog neutraliseres af bikarbonat i den umættede zone. Fuld neutralisering af højtliggende grundvand kan dog ikke altid opnås, specielt hvis alkaliniteten i jorden er lav pga. højt kvartsindhold eller grov tekstur (lille specifik overflade).

Udover de skadelige effekter på jordbundens levende organismer, kan kvælstof og sulfat også bidrage til skadelige effekter i grundvand og overfladevand. Nitrat i grundvandet kan f.eks. udgøre en sundhedsrisiko for spædbørn og bidrage til forurening med kvælstof i vandløb og søer. En øget aluminiumkoncentration i forbindelse med lav pH kan medføre skader på fisk i vandløb og søer. Endelig ses den naturlige vegetation i forsurede søer at være ændret i retning af både nitrofile og acidofile arter, dvs. arter, der klarer sig godt ved stor tilførsel af nitrogen og syre.

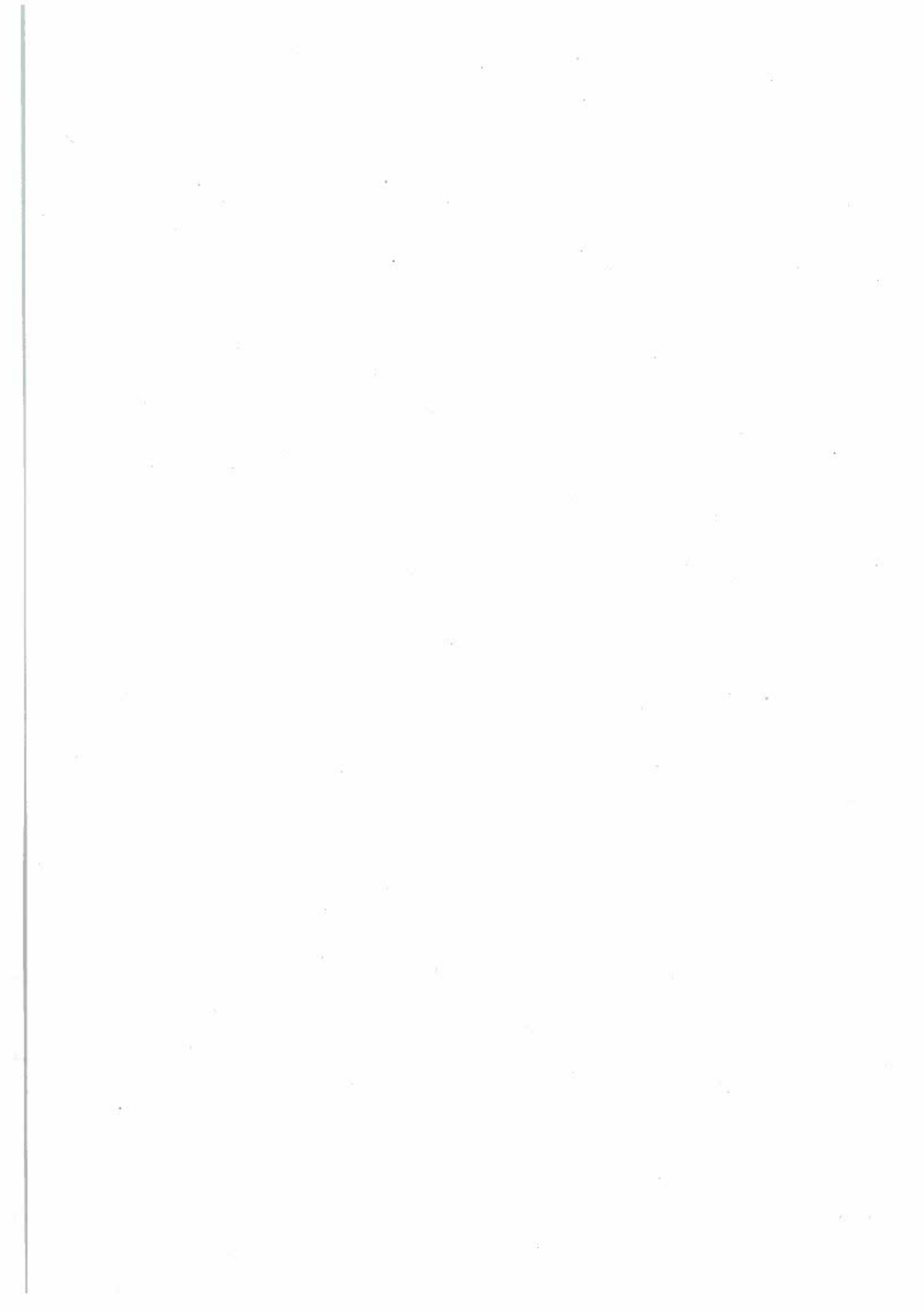
Hvor stammer forureningen fra?

Omkring halvdelen (7 kg/ha pr. år) af den totale kvælstoftilførsel til naturarealer i Danmark skyldes ammoniakfordampning fra det danske landbrug, resten skyldes grænseoverskridende luftforurening. I et landbrugsland som Danmark findes der derfor ikke mange økosystemer, som kan gå ind under betegnelsen "uforstyrrede". Hovedparten af svovltilførslen skyldes også grænseoverskridende luftforurening. Det er derfor vigtigt for Danmark at deltage i det internationale samarbejde om fastlæggelse af naturens tålegrænser for luftforurening, både for at beskytte og sikre et varieret udbud af danske naturtyper og for at fastlægge rimelige reduktionsmål for de danske emissionskilder.

*Muligheder med integreret
overvågning*

Integreret overvågning giver mulighed for at beregne og følge koncentrationen, transporten og puljerne af mikro- og makro-næringsstoffer i et samlet område. Det bliver dermed muligt både at beskrive områdets aktuelle tilstand og forudsige den fremtidige udvikling, f.eks. et fald i pH, når bufferkapaciteten i jorden er opbrugt. Da der også foretages en intensiv overvågning af vegetationens sammensætning og sundhed, er det muligt at foretage direkte koblinger mellem forureningspåvirkning og biologiske effekter.

Det internationale samarbejdsprojekt om integreret overvågning giver yderligere mulighed for at sammenligne områder med forskellige belastninger af luftforurening. Sammenhænge mellem luftforurening og effekter kan herved testes ved anvendelse af kortere tidsserier end nødvendigt ved en national overvågning.



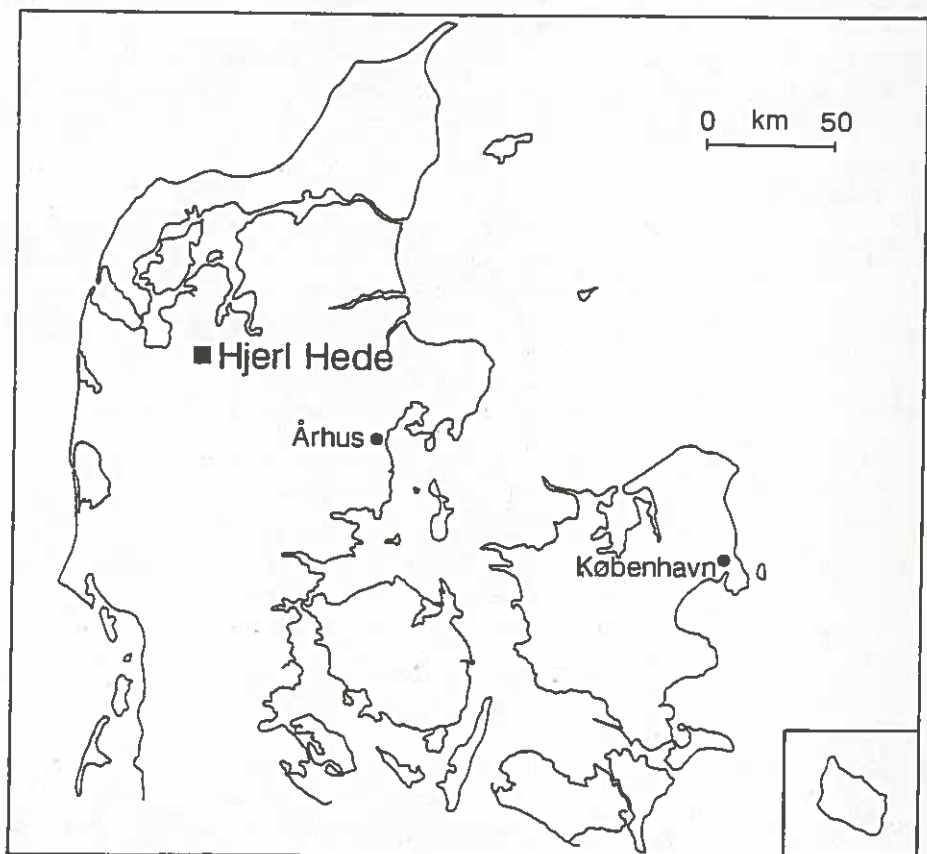
2 Hedelokaliteten ved Hjerl Hede

Danmark deltager i det integrerede overvågningsprogram med data fra Hjerl Hede. Der foreligger data fra 1985, men det egentlige overvågningsprogram blev igangsat 1992/93. Hedearealerne ved Hjerl Hede er beliggende på sandede og næringsfattige jorder og repræsenterer derved de meget følsomme økosystemer i samme kategori som højmoser, uopdyrkede enge og naturskov. Heder er derfor specielt velegnede som overvågningslokaliteter til vurdering af forureningspåvirkninger, idet hedens oprindelige vegetation kun kan eksistere ved en lille kvælstofbelastning. Øges belastningen, vil de naturligt forekommende arter udkonkurreres og erstattes af andre. Den naturlige succession af vegetationen går dog i samme retning som effekten af kvælstofbelastning, dvs. i retning mod græssamfund og indvandring af skov. Det kan derfor være svært at adskille den naturlige vegetationsdynamik fra effekten af luftforurening.

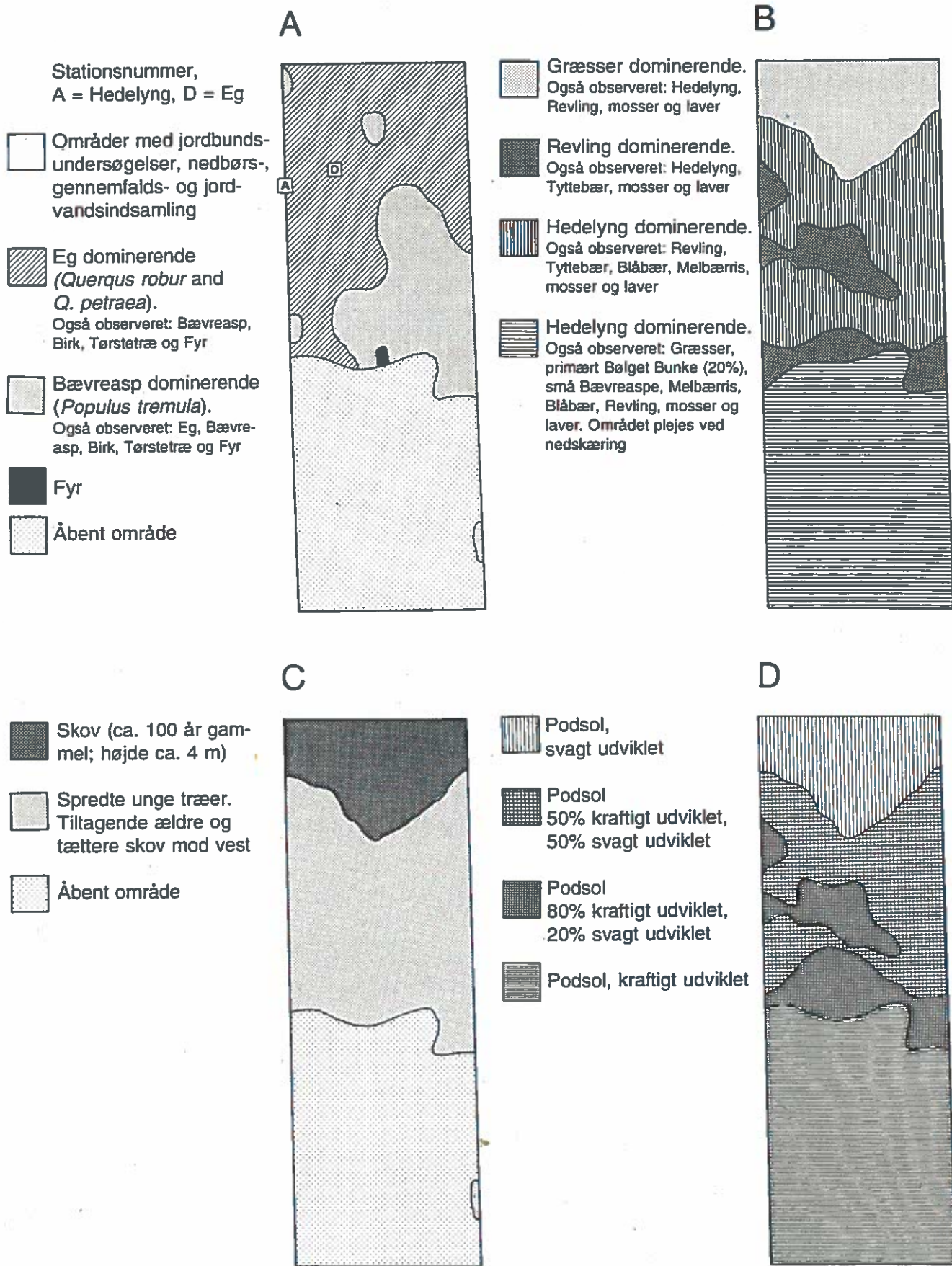
2.1 Generel beskrivelse

Beliggenhed

Hjerl Hede er beliggende i Nordvestjylland, 30 km vest for Viborg, se Figur 5. Området ligger langt fra lokale forureningskilder, bortset fra landbrug (ammoniak).



Figur 5. Overvågningsområdets beliggenhed



Figur 6. Kort over feltstationen i overvågningsområdet på Hjerl Hede. A. Trævegetationen og feltstationens placering, B. Undervegetationen, C. Vegetationens udviklingsstadium, D. Fordelingen af jordtyper.

Hjerl Hede ligger på en næsten plan smeltevandsslette ca. 20 m over havniveau, afgrænset mod vest af Flyndersø. Spredt over heden findes en del dødishuller. Mægtigheden af de sandede smeltevandsaflejringer fra slutningen af sidste istid (for ca. 10.000 år siden) antages at være ca. 50 m (Madsen, 1991). Smeltevandsaflejringerne overlejrer sedimenter fra tertiæret.

Klima

Den årlige middeltemperatur er på +7,9 gr.C. Middeltemperaturen i den koldeste og varmeste måned er på henholdsvis -0,4 og +16,6 gr.C. Middelnedbøren er på ca. 700 mm årligt og den aktuelle fordampning på 422 mm (Madsen, 1991).

Historie

Heden er et kulturlandskab opstået ved menneskets udnyttelse af naturen. Pollenanalyser har vist, at den oprindelige vegetation i Midt- og Vestjylland var åben løvskov (birk, hassel og fyr). Fra omkring år 3000 f.Kr. blev skovene efterhånden ryddet til agerbrug og hederne kom til at præge landskabet. For ca. 200 år siden, hvor hedernes udbredelse var maksimal, udgjorde de ca. en tredjedel af Jyllands areal. Siden er hederne blevet opdyrket og tilplantet. Heder skal vedligeholdes med græsning, nedbrænding eller jævnlig nedskæring for ikke at springe i skov. I de senere år skyldes arealnedgangen således især tilgroning.

Vegetation

Arealerne på Hjerl Hede blev fredet i 1910, hvorefter området langsomt blev invaderet hovedsageligt af stilkeg. På Hjerl Hede er alle typer af naturlig succession repræsenteret lige fra lyngarealer, områder med lave spredte egepur og bævreaspe og til 100 år gammel, tæt egeskov. Der er ikke observeret nogen nævneværdige skader på træerne, som kunne skyldes luftforurening. På Figur 6A ses trævegetationen i det udvalgte område sammen med feltstationens placering, og på Figur 6B ses undervegetationens udbredelse. I Figur 6C ses området opdelt efter udviklingsstadier. Lyngvegetationen i det åbne område bliver jævnlige skåret ned.

Invasjonen af egepur er sket med en hastighed på ca. 300 m på 100 år og er delvist forårsaget af mus, som har lavet agernlagre i jorden i en radius på op til 30 m fra et egetræ (Jensen og Nielsen, 1986). Ud over denne gradvise succession sker der en springvis succession forårsaget af skovskader, der af og til taber agern på den åbne hedeplade. Invasjonen af træer efterfølges af et skift i undervegetation fra lyng og revling til græs. Dette ses også af Figur 6A og 6B.

Jordbund

Jordbunden på Hjerl Hede er oprindeligt en podsoljord. Ved indvandringen af træer sker der en tydelig ændring af jordbunden. Det er vist, at egetræer "depodsolerer" den oprindelige podsoljord under heden (Nielsen et al. 1987, a,b). Dette forklares mere detaljeret i resultatafsnittet. På Figur 6D ses, hvordan fordelingen af jordbundstyper følger træernes succession.

2.2 Hjerl Hedes overvågningsstatus

Hjerl Hede er oprettet som feltstation i et forskningsprojekt i 1983. Siden er der lavet adskillige undersøgelser i området (se listen over litteratur fra Hjerl Hede bagest i rapporten).

I forbindelse med integreret overvågning er det ikke alle de mulige parametre, der måles. Arealet er kun et udsnit af et hydrologisk opland, hvor den hydrologiske og hydrokemiske fraførsel afgrænses ved rodzonen. Beskrivelse og modellering af hydrologien foretages ud fra TDR-målinger under HEATH-projektet, som er et strategisk miljøforskningsprojekt.

Overvågningsarealet er undersøgt med hensyn til nedbør, gennemfald fra træerne, jordbund, jordvandskemi og vegetation, dog med færre måleinstrumenter og - hvad angår vegetationen - knap så detaljeret som anbefalet. Trods de sparsomme data, er arealet ved Hjerl Hede dog vurderet til at kunne bidrage med vigtige informationer og i de kommende år fungere som referenceområde for den "oprindelige" vegetation i Danmark. Ved "oprindelig" menes, at den er en vigtig del af vores kulturarv. Heden er efterhånden en sjælden naturtype, som Danmark bør have en international forpligtelse til at beskytte.

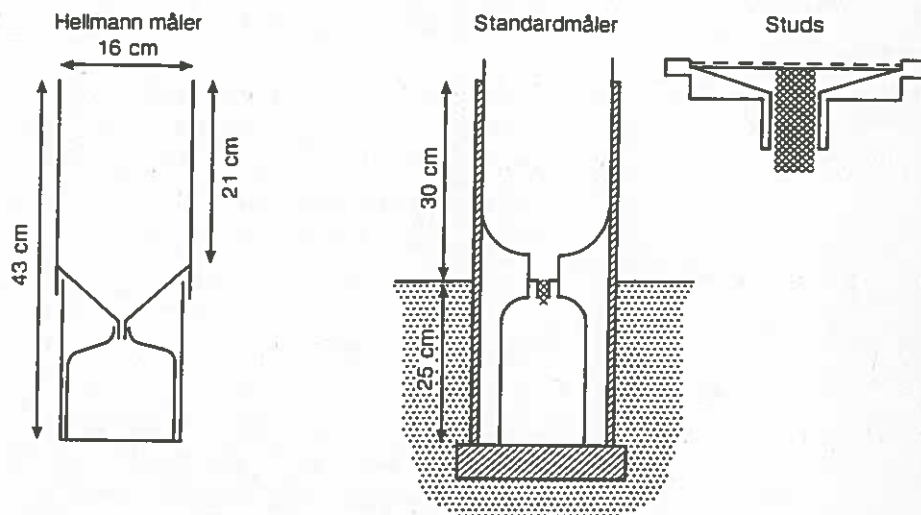
3 Måleprogram

3.1 Feltstation og instrumentation

Overvågningsarealet udgør et område på 12 ha. I zonen med spredt egekrat er feltstationen opdelt i to underområder, det ene med lyng-revling-vegetation (A) og det andet med ege-græs-vegetation (D), Figur 6A.

Opsamling af nedbør

I område A er der opsat 6 standardmålere og to Hellmann-målere til nedbørsopsamling, og i område D 4 standardmålere til opsamling af gennemfald fra egetræerne. Målerne er begge steder placeret i øst-vest gående rækker med 3 m's indbyrdes afstand. Målerne er konstrueret som vist på Figur 7.

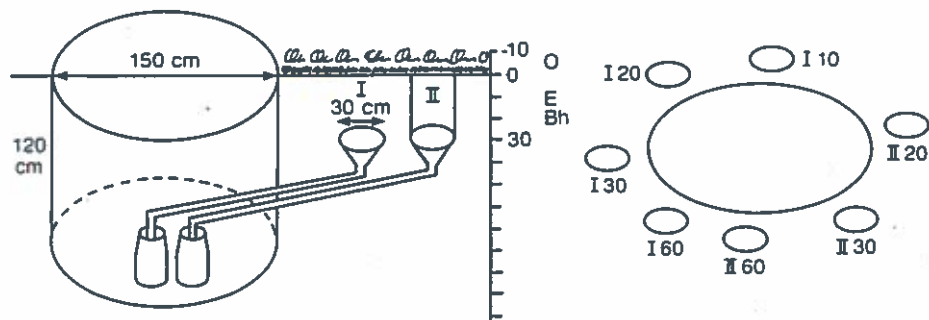


Figur 7. Skitse af Hellmann-måler og standardmåler. Hellmann-måleren har et areal på 200 cm² og standardmåleren et areal på gennemsnitligt 207,6 cm². Standardmåleren består af to plastikflasker koblet sammen via lågene. Bunden er skåret af den øverste, så der opstår en tragt med skarpe kanter. I sammenkoblingen findes en studs med to filtre, et groft og et fint, samt et net, der sikrer kapillær forbindelse. Begge målere er gravet ned i jorden for at sikre, at de står køligt.

Jordvandsopsamling

Jordvandsopsamlingen er udført med to forskellige typer perkolationslysimetre. Konstruktionen af lysimetrene fremgår af Figur 8. Type I er installeret fra en vandret skakt i den ønskede dybde. Herved bevares den overliggende jord intakt. Type II består af en cylinder, som bankes ned i jorden til ønsket dybde, efter at de øverste organiske horisonter forsigtigt er løftet til side. Cylinderen er herefter taget op, lysimetertragten påmonteret, og hele systemet sat tilbage i hullet.

Begge typer af lysimetre er placeret i fire forskellige dybder, 10, 20, 30 og 60 cm, for at opnå et detaljeret billede af jordvandsindholdet, som afspejler jordbundsprocesserne. Der er i alt opsat 14 lysimetre under lyng (A) og 14 under egebevoksning (D). Opstillingen ses på Figur 8.



Figur 8. Lysimeteropstilling. Øverst ses konstruktionen af de to lysimertertyper; type I til venstre og type II til højre. Nederst på figuren er vist en plan over lysimeteropstillingen. Der er anvendt samme plan over hhv. lyng og eg. Type II10 er udeladt, da den er identisk med type I10.

Indsamlingshyppighed

Nedbør, gennemfald og jordvand indsamles to gange om måneden eller efter behov.

Jordbundsprofiler

Jordbundsprofilerne er beskrevet fra en 9 m lang grav. I den ene ende findes lyngprofilet (A) og i den anden ende egeprofilet (D).

Vegetationsopmåling

Vegetationen på overvågningsarealet er beskrevet ud fra tre øst-vestgående linier. For hvert linieudsnit på 2 meter vurderes, hvor stor en procentdel, de forskellige arter er repræsenteret med. Disse optegnelser ligger til grund for udarbejdelsen af vegetationskortene Figur 6 A,B og C.

3.2 Analyser

Alle nedbørs-, gennemfalds- og jordvandsprøver er analyseret for pH, TOC, Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , NH_4^+ , NO_3^- , Cl^- og SO_4^{2-} . Jordvandsprøverne er desuden analyseret for Fe^{3+} og Al^{3+} .

Alle jordprøverne er analyseret med hensyn til kornstørrelsesfordeling samt pH, C, N, Fe, Al, Mn og Si, de fire sidstnævnte er ekstraheret med henholdsvis Na-pyrofosfat (Pyr), dithionit-citratbicarbonat (DCB) og ammoniumoxalat (Oxalat).

Angående metodebeskrivelser henvises til listen over litteratur fra Hjerl Hede bagest i rapporten.

Planer om udbygning

I IMP-sammenhæng er der planer om at udvide overvågningsindsatsen på Hjerl Hede. En detaljeret vegetationsbeskrivelse prioriteres højt for at kunne følge vegetationsudviklingen nøje. Desuden lægges der stor vægt på modellering af hydrologien. Udbygningen vil foregå i tilknytning til HEATH-projektet under SMP.

4 Resultater fra Hjerl Hede

Da programmet for integreret overvågning først er sat i gang i 1992/93, er det naturligvis ikke muligt at påvise effekter af luftforurening endnu. Det er dog hensigten med dette afsnit at redegøre kort for hedeøkosystemets status og beskrive betydningen af den naturlige succession af planter på jordbundsforholdene. Tids-serier fra to forskellige år med 5 års mellemrum kan endvidere afsløre, om der inden for så kort et tidsrum er sket en udvikling.

4.1 Nuværende forhold

Mineralogi

Udgangsmaterialet på Hjerl Hede er velsorteret smeltevandssand, se Tabel 1. Kemiske analyser viser, at jorden består af kvarts og hovedsagelig feldspat for resten (Madsen og Nørnberg, 1993). Lerminerallerne er vigtige for jordens bufferkapacitet, idet de virker som ionbyttere. Lerfraktionen udgør kun få procent og består, udover kvarts (15-40%) og feldspat (10-20%), også af glimmermineraller (10-40%), vermiculit/smectit (5-50%) og kaolinit (9-15%) (Madsen, 1991). Spredningen skyldes, at mineralogien er bestemt for hver horisont. Vermiculit/smectit-indholdet stiger ned igennem profilet, mens kaolinit-indholdet er størst øverst i profilet. Kaolinit er slutproduktet af forvitringen af både feldspat og glimmermineraller. I de øverste horisonter i både lyng- og egeprofilen er der siden istiden sket en kraftig forvitring af feldspat og en udvaskning af basekationer (natrium, kalium, magnesium og calcium).

Tabel 1: Jordbundsdata fra lyng- og egeprofilen: partikelstørrelsesfordeling, kulstof, C/N forhold og pH (Madsen og Nørnberg, 1993).

Profile	Horizon	Depth cm	Iron %			Aluminium %			Fe+Al Pyr/DCB	ODOE
			Pyr	DCB	Ox	Pyr	DCB	Ox		
1 Heather	Oi, Oe*	-5-2	0.79	2.51	1.62	1.06	0.99			
	Oa*	-2-0	0.42	0.89	0.53	0.52	0.51			
	A	0-5	0.02	0.91	0.31	0.37	0.35	0.32	0.31	0.09
	E1	5-	0.07	0.53	0.12	0.11	0.06	0.02	0.31	0.03
	E2	23	0.12	0.75	0.43	0.10	0.06	0.06	0.27	0.04
	Bhs	23-36	2.31	3.74	3.13	0.68	0.71	0.65	0.67	0.41
	Bs1	36-47	2.37	4.08	3.10	1.00	1.10	1.11	0.65	0.17
	Bs2	47-60	0.49	2.15	1.25	1.39	1.94	2.26	0.46	0.07
	Bs3	60-65	0.41	2.52	1.38	1.80	2.31	2.58	0.46	0.07
	BC1	65-	0.61	3.75	1.49	2.82	3.54	3.54	0.47	0.11
	BC2		0.26	1.67	0.18	0.79	0.84	1.00	0.42	0.03
BC3	110	0.74	7.57	2.62	1.83	2.94	2.55	0.24	0.07	
C	110-170	0.26	1.53	0.90	0.65	0.70	0.76	0.41	0.03	
2 Oak	Oi, Oe*	-5-0	0.42	1.67	0.73	0.29	0.31			
	A	0-4	0.86	2.18	0.51	0.55	0.56	0.28	0.51	0.08
	E	4-15	0.25	1.14	0.34	0.16	0.13	0.11	0.32	0.10
	Bhs	15-20	1.71	2.94	1.94	0.43	0.44	0.41	0.63	0.36
	Bs1	20-50	1.33	2.69	1.79	0.86	0.91	0.92	0.61	0.14
	Bs21	50-	0.92	2.68	1.56	1.58	1.93	1.89	0.54	0.08
	Bs22	65	0.44	2.69	1.25	1.44	2.03	1.98	0.40	0.06
	BC1	65-	0.44	3.08	1.24	2.12	2.59	2.33	0.45	0.06
	BC2		0.32	2.06	0.96	1.10	1.43	1.50	0.41	0.04
	BC3	110	0.54	3.94	1.58	1.53	2.06	1.91	0.35	0.05
	C	110-150	0.21	1.36	0.78	0.56	0.63	0.72	0.39	0.02

* Data fra Nielsen, 1987a.

Tabel 2: Jordbundsdata fra lyng og egeprofilen: jern og aluminium ekstraheret med Na-pyrofosfat (Pyr), dithionit-citrat-bicarbonat (DCB) og ammoniumoxalat (Oxalat).

Profile	Horizon	Depth cm	Particle size distribution % of < 2 mm									C %	C/N	pH	
			> 2 mm	2000-1000	1000-500	500-250	250-125	125-63	63-20	20-2	< 2µm			H ₂ O	KCl
1 Heather	Oi, Oe*											29.30	24	4.25	2.86
	Oa*											9.29	37	3.85	2.71
	A	0-5	0.4	1.6	14.3	44.0	27.3	4.9	3.0	3.7	1.1	5.23	39	3.82	2.48
	E1	5-	0.8	2.1	16.3	41.6	28.3	6.5	2.4	2.0	0.8	0.97	32	3.95	2.83
	E2	23	0.8	1.7	10.7	38.7	33.1	9.5	4.0	1.2	1.1	0.28	35	3.97	3.16
	Bhs	23-36	0.9	1.7	11.8	37.9	31.3	8.3	5.4	2.0	1.5	0.70	24	3.99	3.28
	Bs1	36-47	0.9	2.2	13.6	39.5	30.0	7.3	3.6	2.1	1.9	0.46	24	4.51	3.98
	Bs2	47-60	1.0	2.3	15.3	41.6	31.4	7.0	1.1	0.8	0.6	0.22	22	4.60	4.56
	Bs3	60-65	21.3	2.5	13.5	43.1	26.7	9.7	3.5	1.2	0.3	0.22	19	4.65	4.52
	BC1	65-	1.8	1.9	13.9	47.7	10.3	10.9	9.8	4.4	1.1	0.29	17	4.72	4.32
	BC2		3.6	2.4	22.0	60.5	11.8	1.7	0.7	0.4	0.5	0.09	20	4.71	4.39
	BC3	110	4.3	3.0	12.5	24.1	4.3	17.1	24.1	8.0	7.0	0.15	13	4.80	3.83
	C	110	3.0	6.3	32.3	50.3	9.5	0.6	0.2	0.1	0.8	0.06	20	4.71	4.30
2 Oak	Oi, Oe*											9.40	15	5.02	3.77
	A	0-4	0.3	2.1	14.8	42.8	24.9	6.0	4.3	2.3	2.7	6.03	25	4.00	2.85
	E	4-15	0.9	2.8	14.2	41.8	28.4	7.4	2.5	1.4	1.5	0.86	26	4.16	3.04
	Bhs	15-20	0.8	2.7	15.4	41.4	27.1	7.0	1.9	3.0	1.6	0.69	19	4.28	3.32
	Bs1	20-50	1.2	2.6	15.5	41.8	27.6	6.7	2.5	2.5	0.8	0.38	19	4.71	4.11
	Bs21	50-	2.7	2.4	12.4	43.9	29.2	8.2	1.8	1.4	0.6	0.28	21	4.73	4.49
	Bs22	65	7.3	2.0	12.9	53.7	21.2	6.5	1.6	1.6	0.4	0.22	18	4.71	4.56
	BC1	65-	1.6	1.8	13.4	56.9	15.6	5.8	3.6	2.4	0.6	0.18	17	4.75	4.45
	BC2		1.1	1.5	14.7	60.9	13.8	4.7	2.4	1.3	0.7	0.15	20	4.67	4.48
	BC3	110	0.3	1.9	17.1	40.5	9.9	10.5	10.5	6.5	3.0	0.15	14	4.71	4.11
C	110	5.6	3.5	17.9	60.6	17.1	0.7	0.2	0.1	-	0.06	20	4.73	4.54	

* Data fra Nielsen et al., 1987a.
Fremhævet tekst indikerer et gruslag.

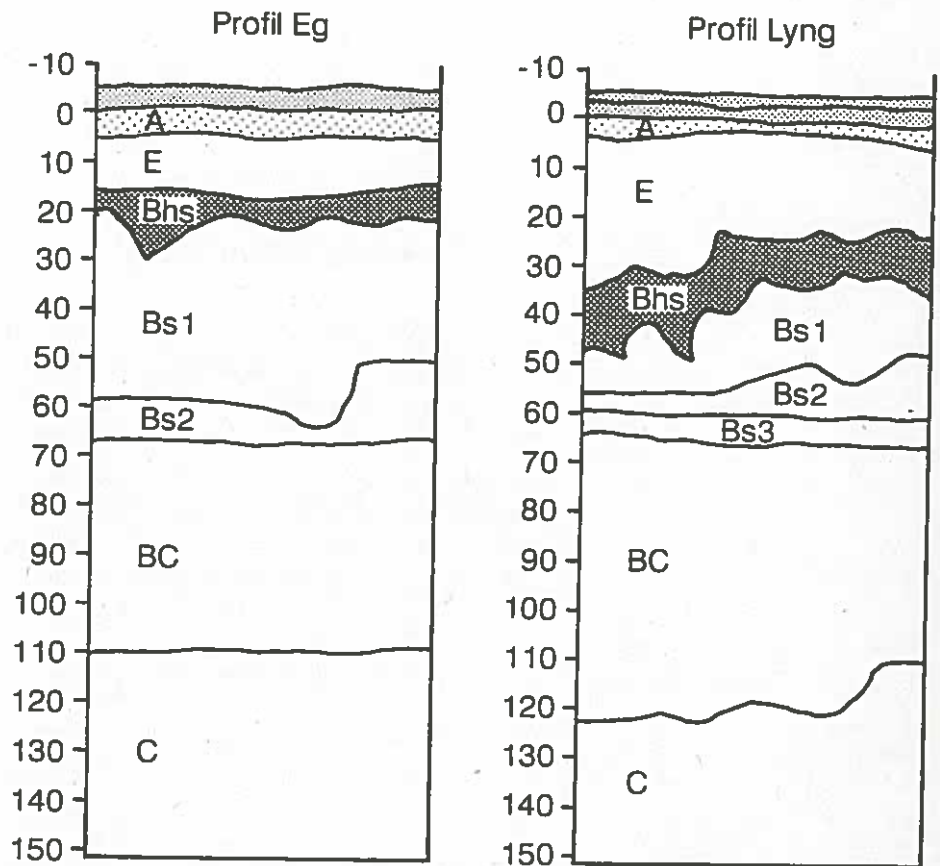
Podsoljord

Jordbunden under lyng er en typisk podsoljord med skarpe horisontgrænser, se Figur 9. Den er kendetegnet ved en lys udvaskningshorisont, E-horisonten, over en sort udfældningshorisont, B-horisonten, hvor jern og aluminium er udfældet sammen med organisk materiale; dette ses også af Tabel 1 og 2.

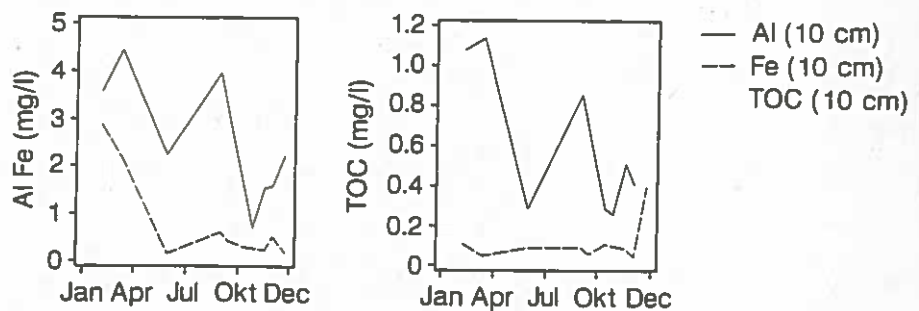
Depodsolering

Når egen indvandrer på lyngheden, skifter jordbunden karakter (Nielsen et al. 1987, a,b). I løbet af relativt kort tid (50 år) har egen været i stand til at ændre det karakteristiske podsolprofil i retning mod en sur brunjord - en proces, som kaldes depodsolering, se Figur 9. Der er sket en udviskning af horisontgrænserne, og jordbunden er blevet løsere på grund af en ændret rodfordeling. Udfældningshorisonten har skiftet farve fra sort til brun, hvilket afspejler, at indholdet af jern og aluminium er reduceret, se Tabel 2. pH i tophorisonterne under egen er næsten en halv enhed større end under lyngen. Ligeledes er omsætningen af organiske planterester under egen steget, hvilket ses ved at C/N forholdet er faldet (Tabel 1). Desuden ses et øget indhold af kalium og calcium i jordvandet fra de øverste horisonter (Figur 10). Denne øgede basemætning kan skyldes to forhold. For det første vil egerødder i modsætning til lyngrødder nå dybt ned i uforvitret materiale og dermed sende basekationer op i træet. Omsætningen af egens førne (gamle blade) vil derfor øge basemætningen. For

det andet kan den øgede basemætning stamme fra et eksternt mer-bidrag til egetræerne. Normalt vil våddepositionen, altså den stofmængde, der tilføres med nedbøren, være af samme størrelse på lyng som på eg. Men tørdepositionen, altså tilførslen af partikler og gasser fra luften, vil være meget større på egetræer end på lyngvegetation, fordi egetræer virker som store filtre eller modtageroverflader på grund af højden og det store gren- og bladareal. De afsatte stoffer kan derefter føres ned på jorden med regn og dermed øge indholdet i jorden under egen.



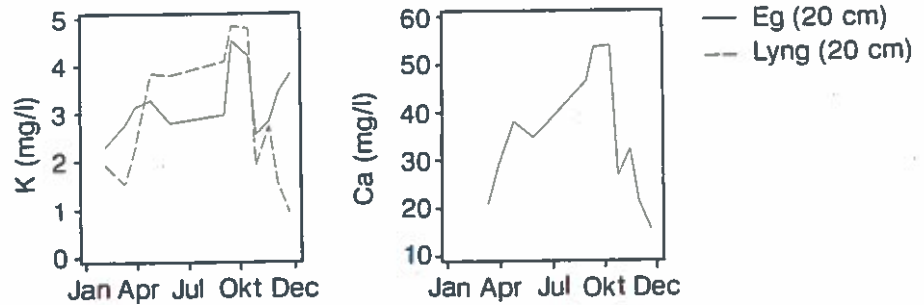
Figur 9. Til venstre ses podsolprofilet under lyng og til højre profilet under eg. Bogstaverne på figuren er horisontbetegnelser. "A" er den organiske tophorisont, "E" er udvaskningshorisonten, "B" er udfældningshorisonten med underopdelinger og "C" står for udgangsmateriale.



Figur 10. Jordvandets indhold (mg/l) af kalium og calcium i 20 cm's dybde under lyng og under eg i 1992.

I overensstemmelse med jordbundslitteraturen (Scheffer og Schachtschabel, 1989) eksisterer der en meget fin korrelation mellem organisk stof og jern og aluminium, som skyldes det organiske stofs evne til at danne komplekser med jern og aluminium, de såkaldte sesquioxider, se Figur 11.

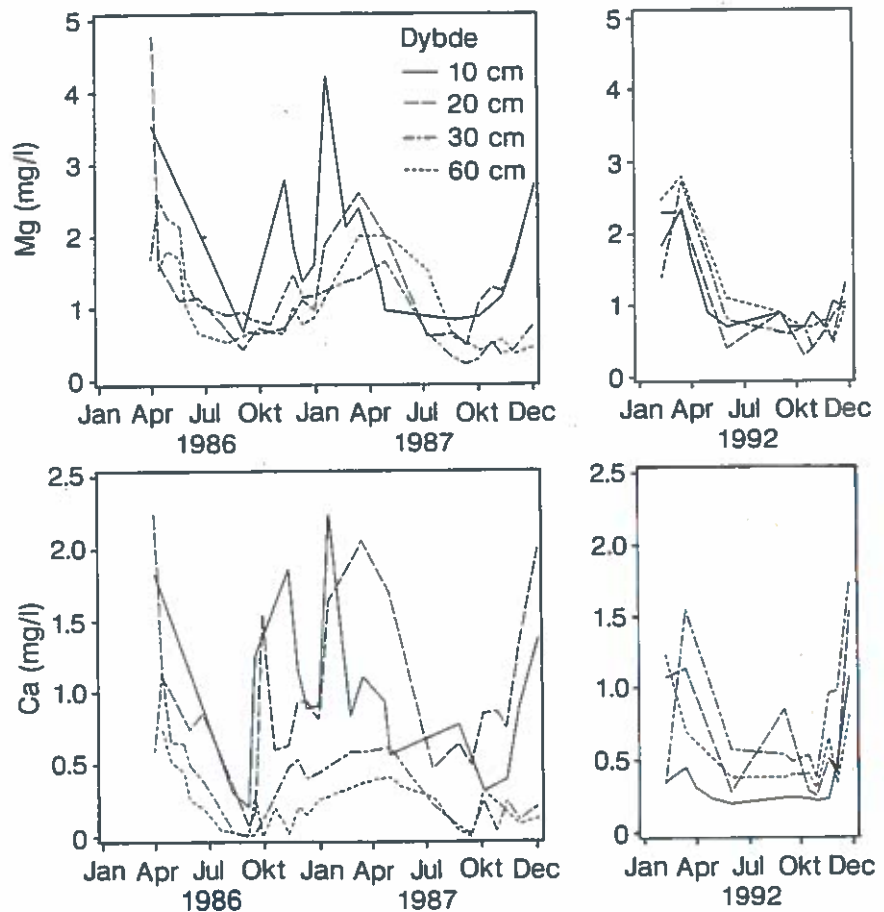
Figur 11. Jordvandets indhold af TOC (totalt organisk kulstof), jern og aluminium i 10 cm's dybde under eg.



4.2 Sæsonvariation

I jordvandet under egen kan der for visse stoffer ses en sæsonvariation. Dette gælder for magnesium og calcium som stammer fra mikrobiel nedbrydning af planterester, forvitring og fra atmosfærisk deposition. Disse stoffer findes i størst koncentration om vinteren og mindst om sommeren, se Figur 12. Sommerens minimum kan have flere årsager. Dels er der tit tørt om sommeren, således at forvitring og mikrobiel nedbrydning hæmmes af mangel på vand, og dels vil en del næring optages af planterne.

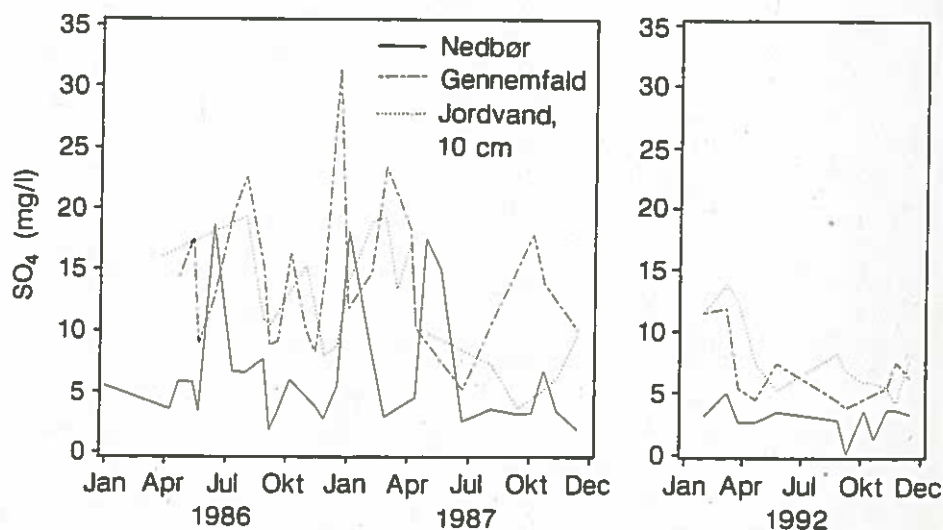
Figur 12. Sæsonvariationen af jordvandets indhold (mg/l) af magnesium og calcium på Hjerl Hede. De to tidsserier er fra henholdsvis 1986-87 og 1992.



4.3 Fem-års udvikling

For langt de fleste kemiske parametre er det ikke muligt at erkende nogen udvikling fra 1986 til 1992. Dog er koncentrationen af sulfat i nedbør, i gennemfald fra eg og i jordvand under eg faldet siden 1986-87, hvis man ser på de laveste værdier af kurverne på Figur 13. De store udsving på kurverne i 1986-87 skyldes, at indsamlingen er foregået oftere (på ugebasis eller ved særlige nedbørsbegivenheder) end i 1992, hvor kurverne er mere udjævnede. Ved at samle ind på månedsbasis, som i 1992, mistes altså vigtig information om udsving i koncentrationen. Faldet i sulfatkoncentrationen afspejler den reduktion i emissionen, som er et resultat af de seneste års emissionsbegrænsninger. I Europa er der som følge af Geneve-konventionen foretaget en emissionsbegrænsning af SO_2 på 20 % i forhold til 1980-niveauet. Målet med protokollen er en reduktion på mindst 30%.

Figur 13. Sulfatkoncentrationen (mg/l) i nedbør samt i gennemfald og jordvand under eg på Hjerl Hede. De to tidsserier er fra henholdsvis 1986-87 og 1992.



Årsagen til, at reduktionen kun observeres under eg og ikke under lyng, er igen egetræernes filtereffekt. Dette understøttes også af, at niveauet er meget højere under eg end under lyng. Hermed kan mængden af sulfat, som med regnen skylles af egebladene og ender på jorden, være op til 5 gange større end mængden i nedbør, se figur 16. Gennemdryppet under lyngen er ikke målt, men forventes at indeholde en mindre stofmængde end gennemfaldet under egen.

Kvælstof

Hvad angår kvælstof, ses ingen forskel fra 1986-87 til 1992. Indholdet af nitrat i jordvandet har været under detektionsgrænsen hele tiden. Kun i de øverste horisonter under egen findes et meget lille indhold af ammonium, dannet ved nedbrydning af planterester. Dette tyder på, at økosystemet ikke har nået mætningsgrænsen for kvælstofoptag. Om der som følge af den nuværende høje kvælstofdeposition er foregået en vegetationsændring udover den naturlige succession af egetræer, er det endnu for tidligt at vurdere. Hertil kræves fortsat overvågning og forskning.



5 Heath-projektet under det Strategiske Miljøforskningsprogram

5.1 Baggrund

Under Det Strategiske Miljøforskningsprogram 1992-1996 er der i efteråret 1992 blevet oprettet et Center for Terrestrisk Økosystemforskning med det formål at undersøge indvirkningen af atmosfærisk deponeret kvælstof på terrestriske økosystemers stabilitet og dynamik. Sigtet er dels at kunne modellere de aktuelle konsekvenser af kvælstofdepositioner fra atmosfæren dels at forudsige den fremtidige udvikling og modellere forskellige scenarier for belastningsudvikling. Den strategiske forskning skal over en 5-årig periode forbedre videngrundlaget for den politiske og samfundsmæssige beslutningsproces på miljøområdet, herunder tiltag vedrørende luftkvalitet samt drifts- og plejemæssige tiltag for stabilisering af nåleskovs- og hedeøkosystemer (henholdsvis NECO- og HEATH-projekterne) (*Rasmussen, 1993*).

Delprojektet HEATH undersøger "økologiske processer i danske heder og deres relation til det atmosfæriske miljø". Projektet vil således bidrage med procesforståelse og modelvalidering, der vil være af afgørende betydning for anvendelsen af data fra det integrerede overvågningsprogram. I HEATH-projektet deltager Geologisk Institut, Århus Universitet, Botanisk Institut, Københavns Universitet og Danmarks Miljøundersøgelser, Afdeling for Terrestrisk Økologi.

Hedeøkosystemet er valgt som typelokalitet for et luftforureningsfølsomt økosystem. Hvis hederne ikke plejes, vil de som nævnt ved naturlig succession blive til skov. Det er dog af samfundsmæssig interesse at bevare hederne med deres oprindelige plante- og dyreliv. Kun med en basal forståelse af, hvordan økosystemerne fungerer, er det muligt at bedømme, hvad en eventuel ydre påvirkning i form af forøget atmosfærisk kvælstofbelastning betyder for hedernes fortsatte eksistens.

5.2 Projektbeskrivelse

Den atmosfæriske kvælstofdepositioners indflydelse på heder, udføres i projektet som gødskningsforsøg. Kvælstof- og ionbalancerne på gødskede og ugødskede forsøgsfelter sammenlignes med hensyn til ændringer i mikroflora og vegetation. Det forventes, at processerne ved små doser kvælstof er anderledes end ved store doser. Der inddrages to intensive forsøgsområder. Det ene område er indlandsheden Hjerl Hede, og det andet er klitheden ved Lodbjerg. Der gennemføres også ekstensive undersøgelser i andre forsøgsområder. Med henblik på at kvantificere kvælstofdepositionen måles våddeposition i regnmålere, nettodeposition som gennemfald samt ammoniakfluxen bl.a. ved hjælp af mikroklimatiske målinger. Nedsivningsvandets kvælstofindhold bestem-

mes, og der undersøges en række interne omsætninger: førnfald, mineralisering m.m. Mikrofloraen karakteriseres enzymatisk som baggrund for en opdeling i funktionelle grupper. Hedelyngens mykorrhiza-infektionsgrad bestemmes. Plantevækstens arts-sammensætning, biomasse og produktion måles.

Feltlokaliteten ved Hjerl Hede

Feltlokaliteten ved Hjerl Hede er allerede beskrevet med hensyn til beliggenhed, jordbund og historie. Hjerl Hede ligger i et højdepositionsområde, hvad angår ammoniak. HEATH-projektets forsøgsarealer ligger på åben hede umiddelbart øst for det integrerede overvågningsareal (Figur 6A).

Feltlokaliteten ved Lodbjerg Klitplantage

Ved Lodbjerg Klithede i Thy er forsøgsområdet placeret 1-2 km syd for Lyngby i et åbent småkuperet klitlandskab, som hæver sig få meter over grundvandsstanden. Vegetationen er en blanding af revling og flader med laver og mosser. Klitheden har ikke været plejet siden fåregræsning blev opgivet for ca. 40 år siden. Heden ligger i et lav-depositionsområde med hensyn til ammoniak.

Der udlægges 4-5 ekstensive forsøgsarealer fortrinsvis på Hjerl Hede. De skal dække et bredere udsnit af hedevegetationstyper, som ikke har været dyrket i nyere tid. Et felt vil således blive etableret i IMP-området.

Gødskningsforsøg

Kvælstofgødskningsforsøg udføres på såvel intensive som ekstensive forsøgsområder. På intensive forsøgsområder etableres 4 blokke med hver 4 behandlinger: 0, 15, 35 og 70 kg N/ha pr. år. Blokken, som ikke gødskes (0 kg), fungerer som reference og modtager kun den aktuelle atmosfæriske kvælstofdeposition på ca. 15 kg N/ha pr. år. De øvrige mængder skal simulere en tilførsel på henholdsvis ca. 2, 3 og 5 gange den aktuelle kvælstofdeposition. Gødskningen udføres 6 gange om året med NH_4NO_3 opløst i demineraliseret vand.

Udstyr

De intensive felter er udstyret med en 5 m høj mast til mikroklimatiske målinger, en 4 m høj mast til ammoniakopsamlere og en brønd med perkolationslysimetre samt suktionslysimetre under rodzonen. Desuden måles jordfugtighed i tre dybder ved hjælp af TDR-målesonder (Time Domain Reflectometry). Herudover installeres der to rør til neutronsondemålinger til 6 m's dybde.

5.3 Forventede resultater

De data, der indsamles i projektet forventes at give et øget og mere detaljeret kendskab til depositionen, omsætningen og effekterne af atmosfærisk kvælstof i hedeøkosystemerne - med andre ord en god procesforståelse. Nøjagtigheden og graden af viden om processerne i systemet kan evalueres ved hjælp af simuleringmodeller, hvor man sammenligner modellens resultater med de direkte målinger foretaget i felten. Tyngdepunktet i modelleringen vil blive lagt på en tæt kobling mellem nedbørs-, jordvands-kemiske data, mineralsammensætning, hydrologiske målinger, samt mineraliseringsrater fra jordbundens organiske horisonter. Med data fra projektet vil det være muligt at opstille

og verificere modeller til fastlæggelse af tålegrænser for hedeøkosystemets følsomhed over for ændringer i den atmosfæriske kvælstofbelastning. Modelleringen af kvælstoftålegrænser kræver, ud over de nye data fra HEATH-projektet, en indsamling af tilgængelige nationale data fra øvrige hedeområder og tidligere års resultater fra Hjerl Hede. Hovedsagelig anvendes dynamiske modeller, der er udviklet i Holland og Sverige (SMART og MACAL).

HEATH-projektet og IMP

HEATH-projektet og integreret overvågning er affødt af samme problemstilling: effekten af luftforurening på økologiske referencøkosystemer. Den viden, man opnår fra HEATH-projektet og lignende forskningsprojekter er en vigtig forudsætning for, at data indsamlet til et program for integreret overvågning bliver udnyttet optimalt. Hvor HEATH-projektet er procesorienteret, fokuserer den integrerede overvågning på langtids-udviklingstendenser. HEATH-projektet kan anvise hvilke former for vegetationsovervågning, indsamlingsmetoder og modeller, som er relevante at benytte i den integrerede overvågning fremover.



6 Referencer

Litteratur fra Hjerl Hede:

- Jensen, T.S. and Nielsen, O.F. (1986): Rodents as seed disperser in a heath - oak wood succession. *Oecologia* 70: 214-221.
- Nielsen, O.F. (1982): Indvandring af eg på Hjerl Hede. *Dansk Dendrologisk Årsskrift*, 5 (4): 149-161.
- Nielsen, K.E., Nørnberg, P. and Dalsgaard, K. (1987): a. Effects on soils of an oak invasion of a *Calluna* heath, Denmark. I. Morphology and chemistry. *Geoderma* 41: 79 -95.
- Nielsen, K.E., Nørnberg, P. and Dalsgaard, K. (1987): b. Effects on soils of an oak invasion of a *Calluna* heath. Denmark. II. Changes in organic matter and cellulose decomposition. *Geoderma*, 41: 96 - 106.
- Sloth, L. (1990): En undersøgelse af vegetations- og sæsonvariationens indflydelse på jordbundsudviklingen. Specialeopgave, Geologisk Institut, Aarhus Universitet. (Upubl.) pp. 78.
- Madsen, H.B. (1991): Mineralogisk undersøgelse af fire profiler på Hjerl Hede. Specialeopgave, Geologisk Institut, Aarhus Universitet. (Upubl.) pp. 115.
- Madsen, H.B. and Nørnberg, P. (1993): Mineralogi of four sandy soils developed under heather, oak, spruce and grass in the same fluvio-glacial deposit in Denmark. (in prep).
- Nørnberg, P., Sloth, L. and Nielsen, K.E. (1993): Rapid changes of Sandy Soils Caused by Vegetation Changes. *Can. Jour. Soil Sci.* (in press).
- Nielsen, K.E., Nørnberg, P., Dalsgaard, K. (1993): Skovrejsnings betydning for jordvand og jordbundsprocesser i sandjorde. *Dansk Skovbrugs Tidsskrift*, 3/93: 69-81.

Anden litteratur

- Federal Environmental Agency (Umweltbundesamt), (1993): Manual on methodologies and criteria for mapping critical levels/loads and geographical areas where they are exceeded. *Texte 25/93*, pp. 111.
- Gundersen, P. and Rasmussen, L. (1988): Nitrification, acidification and aluminium release in forest soils. in: Nilsson, J. and Grennfelt, P., Critical loads for Sulphur and Nitrogen. *Miljørapport 1988:15*. Nordic Council of Ministers, 225-268.
- Løkke, H. og Bak, J. (1992): Principper og problemer i forbindelse med den kommende NO_x-kortlægning af Danmark. Skriftligt

indlæg til BFS Brændsels- og Fyringsteknisk Selskabs konference "Nye internationale tiltag til begrænsning af luftforurening", den 13. maj 1992, Industriens Hus, København K.

Nihlgård, B. and Pylvänäinen, M. (1992): Evaluation of Integrated Monitoring in Terrestrial Reference Areas of Europe and North America. The Pilot Programme 1989-1991. Environmental Data Centre (EDC), National Board of Waters and the Environment, Helsinki.

Pylvänäinen, M. (1993): Manual for Integrated Monitoring, Programme Phase 1993-1996. Environmental Report 5. Environmental Data Centre (EDC), National Board of Waters and the Environment, Helsinki.

Rasmussen, L. (1993): Projektbeskrivelser, NECO, HEATH. Center for Terrestrisk Økosystemforskning. Det strategiske Miljøforskningsprogram.

Raulund-Rasmussen, K. og Larsen, J.B. (1990): Jordbundsforureningens årsager og virkninger i skove - med særlig henblik på effekten af luftforurening og skovdyrkningspraksis. Dansk Skovbrugs Tidsskrift, 1/90, 1-41.

Scheffer, F. and Schachtschabel, P. (1989): Lehrbuch der Bodenkunde, 12. udg., Ferdinand Enke Verlag Stuttgart.

Danmarks Miljøundersøgelser

Danmarks Miljøundersøgelser - DMU - er en forskningsinstitution i Miljøministeriet. DMU's opgaver omfatter forskning, overvågning og faglig rådgivning indenfor natur og miljø.

Henvendelser kan rettes til:

Danmarks Miljøundersøgelser
Postboks 358
Frederiksborgvej 399
4000 Roskilde

Direktion og Sekretariat
Forsknings- og Udviklingssekretariat
Afd. for Forureningskilder og
Luftforurening
Afd. for Havmiljø og Mikrobiologi
Afd. for Miljøkemi
Afd. for Systemanalyse

Tlf. 46 30 12 00
Fax 46 30 11 14

Danmarks Miljøundersøgelser
Postboks 314
Vejløvej 25
8600 Silkeborg

Afd. for Ferskvandsøkologi
Afd. for Terrestrisk Økologi

Tlf. 89 20 14 00.
Fax 89 20 14 14.

Danmarks Miljøundersøgelser
Grenåvej 12, Kalø
8410 Rønde

Afd. for Flora- og Faunaøkologi

Tlf. 89 20 14 00.
Fax 89 20 15 14.

Publikationer:

DMU udgiver faglige rapporter, tekniske anvisninger, særtryk af videnskabelige og faglige artikler, Danish Review of Game Biology samt årsberetninger.

I årsberetningen findes en oversigt over det pågældende års publikationer. Årsberetning samt en opdateret oversigt over årets publikationer fås ved henvendelse til telefon: 46 30 12 00.



Integreret overvågning af luftforureningseffekter

ISBN: 87-7772-135-7
ISSN: 0905-815X

