

Miljøprojekt nr. 155

1990

Spredning af forurening i moræneler

Miljøministeriet
Miljøstyrelsen

Miljøprojekt

- Nr. 62 : Luftforurening med kvælstofoxider i Danmark
- Nr. 63 : Anvendelse af analyseresultater ved vandkontrol
- Nr. 64 : Kosmetik – bivirkninger
- Nr. 65 : Miljøfremmede stoffer i kommunalt spildevand
- Nr. 66 : Undersøgelser af blødt aggressivt vand
- Nr. 67 : Kilder til grundvandsforurening
- Nr. 68 : Overflade aktiveret iltning af ferrojern i vand fra Hvidmosen
- Nr. 69 : Forbrug og forurening med chlorphenoler
- Nr. 70 : Organiske opløsningsmidler
- Nr. 71 : Kviksølv i havneslam
- Nr. 72 : Organic solvents
- Nr. 73 : Arealanvendelse og geologi – nitrat i grundvand
- Nr. 74 : Kviksølv i danske ferskvandsøkosystemer
- Nr. 75 : Forureningstilstanden i danske svømmebade
- Nr. 76 : Nitrat og pH i drikkevand
- Nr. 77 : Kviksølv i jord
- Nr. 78 : Drænvandskvalitet fra pyritholdige arealer
- Nr. 79 : Leptospira-bakterier i rotter ved dambrug og landbrug
- Nr. 80 : Svømmebade og sygdomsrisci
- Nr. 81 : Lokale forureninger og helbredseffekter
- Nr. 82 : QSAR og toksikologi – en ny strategi i kemikalievurdering
- Nr. 83 : Forurening fra gamle affaldsdepoter uden kemikalieaffald
- Nr. 84 : Alternativ lossepladsteknologi – en litteraturgennemgang
- Nr. 85 : Tilførsel af næringsstoffer til vandløb
- Nr. 86 : Genanvendelse af tekstilaffald
- Nr. 87 : Substitution af PVC-plast med andre plastmaterialer
- Nr. 88 : Emballage til mælk og juice
- Nr. 89 : Vandressourcerne og klimasvingninger
- Nr. 90 : Nikkelafgivelse fra metallegeringer
- Nr. 91 : Algetoksicitetstest
- Nr. 92 : CFC-forbrugsmønster i Danmark
- Nr. 93 : Mikrobiel nedbrydning af miljøfremmede stoffer i grundvand
- Nr. 94 : Genanvendelse af madaffald fra storkøkkener i København
- Nr. 95 : Bundfaunaundersøgelser som redskab til overvågning
- Nr. 96 : Svovlbrintedannelse og -kontrol i trykledninger
- Nr. 97 : Renere teknologi i fiskeindustrien
- Nr. 98 : Renere teknologi i træ- og møbelbranchen
- Nr. 99 : Kompostering af haveaffald i Frederiksborg amt
- Nr. 100 : Hazard Assessment of 1,1,1-Trichloroethane
- Nr. 101 : Organiske opløsningsmidler i husholdningsprodukter
- Nr. 102 : Fuglefaunaen på konventionelle og økologiske landbrug
- Nr. 103 : Sprøjtetfri randzoner i kornmarker
- Nr. 104 : Miljøforbedring ved hovedseparation i rejepilleindustrien
- Nr. 105 : Forbrug af og forurening med bly i Danmark
- Nr. 106 : Haloner – forbrugsmønster i Danmark
- Nr. 107 : Galvanisk overfladebelægning uden affald og spildevand
- Nr. 108 : Madaffald fra storkøkkener – organisation af indsamling og oparbejdning
- Nr. 109 : Erstatningsstoffer for fosfat – spredning og effekter i miljøet
- Nr. 110 : Olie/kemikalieaffald – en spørgeskemaundersøgelse
- Nr. 111 : Undersøgelser af vejledende pyritgrænseværdier
- Nr. 112 : Kvantitative og kvalitative kriterier for risikoaccept
- Nr. 113 : Storskrald og haveaffald
- Nr. 114 : Papirindsamling via specialcontainere og genbrugsstation
- Nr. 115 : Vandmiljøplanens overvågningsprogram
- Nr. 116 : Renere teknologi i svine- og kreaturslagteribranchen

Miljøprojekt nr. 155

1990

Spredning af forurening i moræner

Peter R. Jørgensen
Geoteknisk Institut

Miljøministeriet
Miljøstyrelsen

Miljøstyrelsen vil, når lejlighed gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling.

Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter.

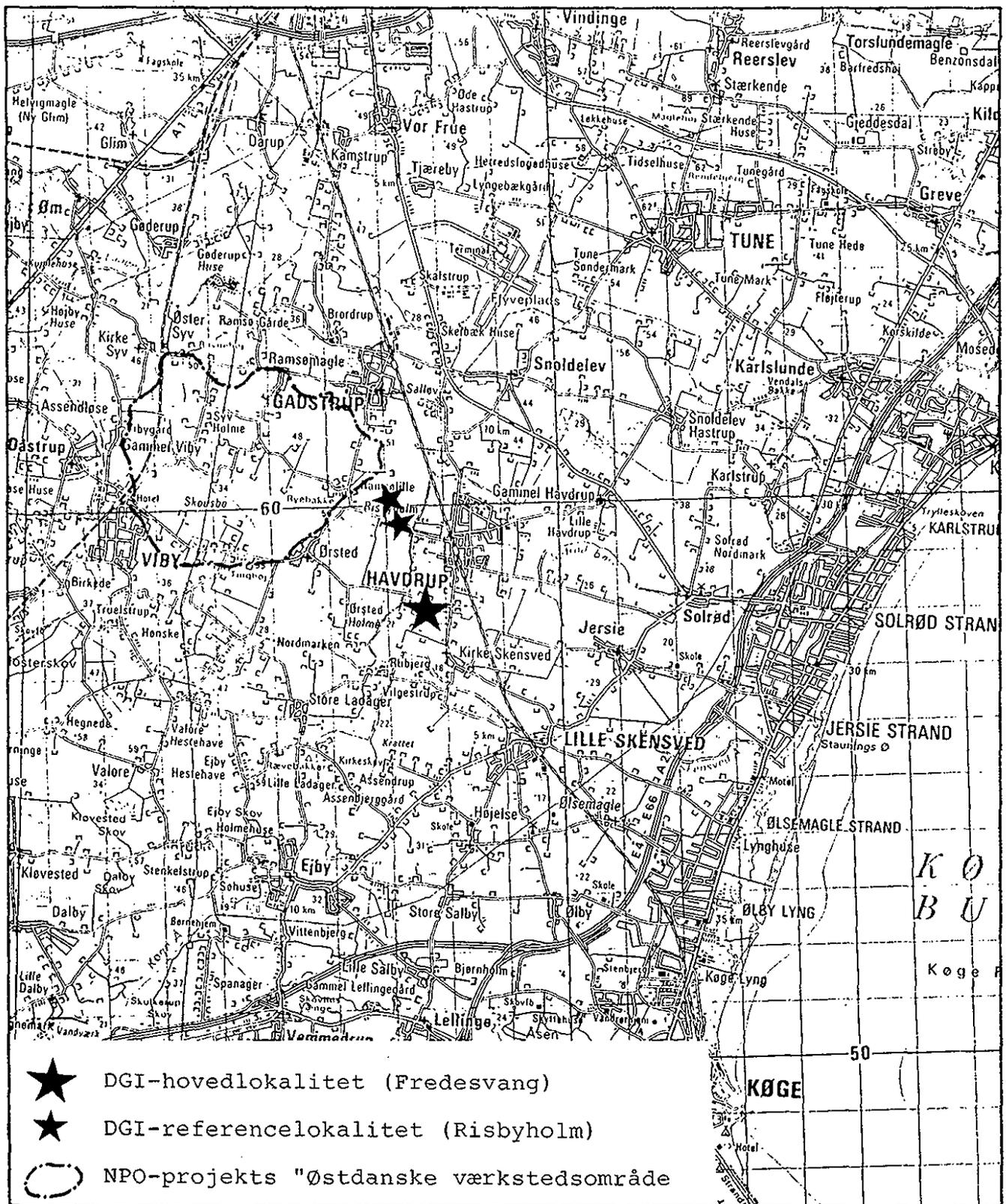
Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Indholdsfortegnelse	Side
1. INDLEDNING	5
2. RESUME	8
3. DATAINDSAMLING OG METODE	12
3.1 Boringer	12
3.1.1 Boremetoder	12
3.1.2 Filtersætning	12
3.1.3 Sedimentprøver	14
3.1.4 Renspumpning og vandprøvetagning	14
3.1.5 Geologisk bedømmelse af sedimentprøver	15
3.2 Gravninger og feltundersøgelser	15
3.2.1 Sedimentprøver	16
3.2.2 Vingeforsøg	16
3.2.3 Profilopmåling	16
3.3 Kemiske analyser	17
3.3.1 Geokemiske analyser	17
3.3.2 Tritium, klorid- og næringssaltanalyser i sedimentprøver, boring 1	18
3.3.3 Kloridanalyser i sedimentprøver, boring 2	18
3.3.4 Tungmetaller i sedimentprøver	18
3.3.5 Pesticidanalyse i sedimentprøver	19
3.3.6 Analyse for organiske pesticider i vandprøver	20
3.3.7 Nitrat-, klorid og tritiumanalyser i vandprøver	21
4. RESULTATER OG DISKUSSION	22
4.1 Geologi	22
4.1.1 Regional stratigrafi	22
4.1.2 Lagserien i Fredsvang	24
4.1.2.1 Regional korrelation	24
4.1.3 Sprækker og moræner	31
4.1.4 Sprækker og kornstørrelse	39
4.1.5 Sprækker og mineralogi	39
4.1.6 Sprækker og rødder	43
4.1.7 Jordbundsforhold	45
4.1.8 Sammenfatning	47
4.2 Hydrogeologi	50
4.2.1 Grundvandsreservoirer	50
4.2.2 Vandindvinding	52
4.2.3 Grundvandsinfiltration	54
4.2.3.1 Sprækker og vandmætning	54
4.2.3.2 Sprækker og klorid	57
4.2.3.3 Tritium i nedbøren og i lagserien	59
4.2.4 Sammenfatning	65
4.3 Stofomsætning i sprækket moræner	67
4.3.1 Fordeling af sekundært jern og aluminium	68
4.3.2 Pseudogleyprocessen	70
4.3.3 Geobiokemisk redoxsekvens	73

4.3.4	Sprækker og denitrifikation	75
4.3.5	Sammenfatning	77
4.4	Arealanvendelse og belastningsforhold i Fredsvang	79
4.5	Miljøkemi og forureningsspredning i Fredsvang	83
4.5.1	Næringssalte og klorid	83
4.5.2	Tungmetaller	89
4.5.3	Organiske pesticider	94
4.5.4	Sammenfatning	99
5.	KONKLUSION	102
6.	REFERENCER	106
7.	BILAG	111
I-III	Boreprofiler	113
IV	Vingeforsøgsresultater	118
V	Sedimentprøvetagning	119
VI	Kemiske analyser af sediment- og vandprøver samt texturanalyse og røtgendiffraktometri	120
VII	Ekstraktion af overfladecoatings	131

1. INDLEDNING

Baggrund	Denne undersøgelse er et led i det tidligere Hovedstadsråds (HR) og Miljøstyrelsens (MS) grundvandsbeskyttelsesarbejde og er iværksat med henblik på at udarbejde retningslinier for grundvandsmonitoring i morænelersområder.
Projektområde	Undersøgelsen er udført i Køgebugt-området nær Havdrup få kilometer fra NPO-projektets "Østdanske værkstedsområde" (Syvbæk-oplandet), fig. 1.
Problemstilling og formål	<p>I Køgebugt-området træffes hyppigt en geologisk situation, hvor den primære grundvandsforekomst findes under et enkelt morænelersdække uden væsentlige sekundære reservoirer. Med udgangspunkt i denne situation har formålet med undersøgelsen været at vurdere:</p> <ul style="list-style-type: none">- om moræneleren udgør et grundvandsbeskyttende homogent medium, eller om der er hydraulisk aktive inhomogeniteter i moræneleren, hvori der kan ske forureningsspredning,- hvilke overvågningsstrategier og -teknikker, der vil være bedst egnede i den nævnte situation.
Strategi	På baggrund heraf er undersøgelsen koncentreret om inhomogeniteter i ler, såsom sprækker, sandlag og sandslirer samt om beskrivelsen af de geokemiske submiljøer, der træffes i tilknytning hertil.
Belastningstyper	For at dække et bredt udsnit af belastningsforhold i forbindelse med jord- og havebrug



Figur 1: Beliggenhed af DGI undersøgelseslokaliteter samt NPO-projektets "Østdanske værkstedsområde"

(næringssalte, tungmetaller og pesticider) er valgt et tidligere forsøgsplantageområde samt et tilstødende markareal som undersøgelseslokalitet. Hovedlokaliteten er m.h.t. udvalgte miljøkemiske parametre suppleret med undersøgelser på to referencelokaliteter henholdsvis i et nærliggende skovområde og et markareal ved Risbyholm, ca. halvanden kilometer fra hovedlokaliteten, fig. 1.

Projektstyrings
gruppe

Resultaterne af arbejdet er fortløbende forelagt og diskuteret i en nedsat projektstyringsgruppe med deltagelse af MS, HR, Roskilde amt, Institut for Teknisk geologi (ITG), Danmarks Geologiske Undersøgelse (DGU) og Geoteknisk Institut (DGI).

Samarbejdsrelationer

En væsentlig del af undersøgelsens aktiviteter vedrørende de geologiske og hydrogeologiske forhold er gennemført i samarbejde med styringsgruppemedlem Johnny Fredericia, ITG, og jordbundsbeskrivelsen er udført af A. Fobian, ITG. Sluttelig er projektets geo-kemiske laboratorieundersøgelser gennemført i samarbejde med styringsgruppemedlem Vibeke Ernstsén, DGU.

2. Resumé

Lokalisering og belastningstyper

Undersøgelsen af "forureningsspredning i moræneler" er gennemført i frugtplantagen Fredsvang, og på et tilstødende markareal ved Havdrup, Midtsjælland. I plantagen har der, siden 1947, været anvendt en lang række organiske og uorganiske pesticider bla. Hg-, Cu-, As-forbindelser, DDT, atrazin og simazin. På markarealet er der udover normal anvendelse af kunst- og husdyrgødning, spredt store mængder svinegylle i 1978-81. Efterfølgende har markområdet ikke modtaget gødning før efter 1984, hvor der udelukkende er anvendt kunstgødning.

Inhomogeniteter og sprækker i moræneler

Der er gennemført detaljeret undersøgelse af lithologiske inhomogeniteter i to 6 meter dybe morænelersprofiler. Opmålingen af profilerne viser, at sprækker udgør et væsentligt strukturelt element i den oxiderede zone af moræneleren (øverste ca. 3 m), mens sprækker sjældent er markeret visuelt til større dybde end 0,5 m i den reducerede zone. Der er dog iagttaget flader med "slickensides"*, der formentlig repræsenterer forkastninger dybere i den reducerede moræneler.

Sprækkernes dannelsesmåde

De opmålte sprækker i Fredsvang er fortrinsvis subvertikale og kan opdeles i to grupper med hver deres dannelsesmåde. Inden for den øverste meter dominerer frost/tø- og udtørringssprækker, uden foretrukken orientering, mens de dybere sprækker følger to foretrukne retninger svarende til et konjurerende for

* flade med friktionsstrikning, der er forårsaget af forkastningsbevægelse af to blokke langs et fælles plan.

kastningssæt, der antageligt har glacialtektonisk oprindelse.

Grundvandsinfiltration og sprækker I en 20 m dyb dobbelt filtersat boring er der foretaget bestemmelse af tritiumprofilet udfra vandprøver og intaktprøver af lagserien. Tritiumprofilet deler den 15 m glaciale lagserie op i en øvre hydraulisk aktiv del og en nedre mindre hydraulisk aktiv del. Øverst i lagserien viser kombinerede tritium- og kloriddata, at sprækkerne udgør morænelerens primære vandledningssystem til områdets sekundære grundvandsreservoir (i 5-6 m's dybde).

Overordnet grundvandsstrømning

Under det sekundære reservoir ned til 10 m's niveauet vurderes en væsentlig del af vandbevægelsen at foregå i sprækker, sandslirer og tynde sandlag i moræneleren. Ud fra meget lave tritiumindhold nederst i moræneleren, antages der at være aftagende vandbevægelse gennem den underste del af den glaciale lagserie. I stedet vurderes en væsentlig del af nedsivningen at strømme af lateralt i sandlagene over 10 m's niveauet. Vandudvekslingen til det primære reservoir sker derfor i væsentlig grad ved lateral strømning i profilets sandlag og sandslire, herunder det sekundære reservoir, til områder med direkte hydraulisk kontakt til det primære reservoir (bl.a. ved Skensved Å cirka 300 m syd for Fredsvang).

Nitrat i lagserien

I den oxiderede zone af moræneleren (de øverste ca. 3 m af profilet), er der målt relativ høje værdier af nitrat. Nitratindholdet aftager ned mod grænsen til den reducerede morænelerszone, der generelt er nitratfri bortset fra i en sandslire og et

tyndt sandlag ca. 10 m u.t. De to sandindslag antages på grundlag af deres nitratindhold at være hydraulisk aktive, og nitratindholdet sættes i forbindelse med den kraftige gyllebelastning i 1978-1981.

Sprækkernes kemiske miljø i den oxiderende zone

Fra 0,5 m's dybde og til undergrænsen af den oxiderede zone er sprækkerne rodledende og omgivet af en smal grå zone, der markerer udbredelsen af et kemisk miljø, hvori sekundære jernforbindelser er blevet reduceret og udvasket ved lavt redoxpotentiale (pseudogleying). Reduktionen af jernforbindelserne er betinget af sprækkernes indhold af rodrester, der inden jernet reduceres, nedbrydes mikrobielt ved denitrifikation, så længe porevandet i sprækkerne indeholder nitrat. Det vurderes, at de denitrificerende forhold fortrinsvis udvikles i den sidste halvdel af vintersæsonen, under vedvarende vandmætning af sprækker og makroporer.

Denitrifikation og markdræn

På denne baggrund vurderes det videre, at denitrifikationsprocessen hæmmes af markdræn, der tillige leder jordvandet ud i recipienten, inden denitrifikationen har nået at fjerne nitratindholdet helt eller delvist i de grå sprækker og makroporer.

Tungmetaller

I frugtplantagen er påvist høje koncentrationer af tungmetallerne Hg og Cu i muldlaget samt muligvis svagt forhøjede indhold af Cu i den oxiderede morænelerzone. Der har dog ikke kunnet påvises spredning af disse tungmetaller i morænenens sprækker.

DDT, DDE og DDD i muld og sprækker

Endvidere er der påvist høje koncentrationer af pesticiderne DDT, DDE og DDD i frugtplantagens muldlag, samt (ved specifik analyse af DDE) lave niveauer af DDE i 0,5 og

1,1 m's dybde i sprækker i moræneleren. Den maximale nedtrængningsdybde i sprækkerne er ikke bestemt, men hverken DDT, DDE eller DDD har kunne påvises i vandprøver fra 4 og 6 m's dybde. På lang sigt vurderes DDE og DDD dog at kunne påvirke grundvandskvaliteten i området.

Atrazin og simazin
i vandprøver

Siden 1978 har atrazin og simazin været anvendt i plantagen. Disse pesticider er påvist på nanogram niveau i vandprøver fra moræneleren og det sekundære reservoir i henholdsvis 4 og 5-6 m's dybde. På denne baggrund er vurderet en minimumsnedsivningshastighed for de to pesticider på ca. 0,5 m/år - formentlig via morænelerens sprækkesystem. Atrazin og simazin forventes på dette grundlag at påvirke grundvandet i området

3. DATAINDSAMLING OG METODE

3.1 BORINGER

3.1.1 Boremetoder

Der er udført to tørrotationsboringer. Der er indledningsvis boret for eller gravet for med "overdiameter" og endvidere anvendt foringsrør for at hindre forurenede jord i at blive ført ned i boringer under borearbejdet.

Boring 1 er udført i 10" til 20 m u.t., mens boring 2 er udført som en dobbeltboring i 6" til henholdsvis 4,5 og 6 m u.t. Den sidste meter er boret i 2".

3.1.2 Filtersætning

Boring 1 er efter borearbejdet filtersat fra 15,5 - 20 m u.t. i Paleocæn grønsandskalk og i 4,5 - 6 m u.t. i Kvartært smeltevands-sand. Mellem filterniveauerne er afproppet med bentonit. Boringerne er tillige afproppet over det øverste filterniveau og afsluttet med et aflukket cementrør.

Lysimeter indretning

Boring 2 er som nævnt udført i to dele med 1/2 m's mellemrum til de to dybder. Det dybeste niveau er filtersat i det sekundære reservoir i 5,5 m u.t. ved hjælp af et teflon lysimeterarrangement (Prehnard system). Filtersætningen i sandlaget er foretaget ved, fra boringens slutdybde, at trække foringsrøret tilbage og derved lade formations-sandet falde sammen omkring lysimeteret.

Herved udelukkes muligheden for evt. kemisk påvirkning fra filtersætningsmateriale. For at hindre nedsivning af overfladevand er afproppet med bentonit til terræn over sandlaget, fig. 2.

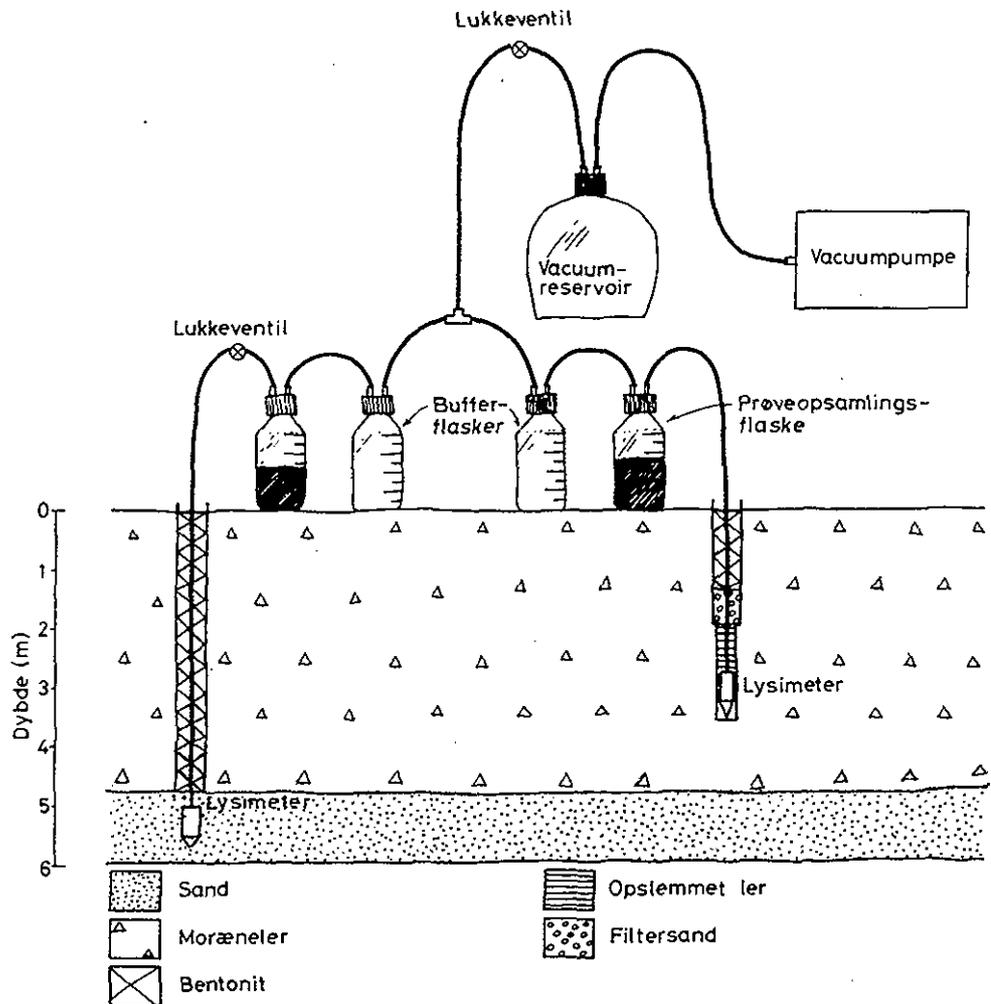


Fig. 2 Indretning af lysimeterarrangement til vandprøvetagning i boring 2.

Det øverste filterniveau er filtersat fra 4 - 4,5 m u.t. Filtersætningen er ligeledes udført som et lysimeterarrangement. For at sikre optimal hydraulisk kontakt mellem moræneleren og lysimeteret, er der fyldt en blanding af kvartsmel og moræneler (fra filtersætningsdybden) i forholden 1:1, omkring og indtil 0,30 m over lysimeteret. Blandingen er udrørt med ionbyttet vand og tilsat

NaCl 2g/l. Ved måling af NaCl-indholdet inden vandprøvetagningen kunne det herefter vurderes i hvilken grad det tilsatte vand i filtersætningsmaterialet var udskiftet med formationsvand. Herudover reducerer høje Na^+ og Cl^- -koncentrationer adsorptionen af pesticider til lysimeteret. Over filtersætningen er fyldt 0,75 m Lund II (filtergrus) og herudover bentonit til terræn, fig. 2, og bilag I-III, s. 111.

3.1.3 Sedimentprøver

I boring 1 er der udtaget 1/2 m intaktprøver for hver meter i de kvartære aflejringer. Prøvetagningen er udført med rustfrie stål-rør med 7 cm i diameter efter oprensning af borehullet. Umiddelbart efter prøveoptagningen blev rørene lukket med gastætte ekspansionslåg og anbragt i fryser ved -18°C .

Udover rørprøverne er udtaget poseprøver fra intervallerne mellem rørene. Disse prøver er ligeledes opbevaret i fryser.

I boring 2 er udtaget prøver for hver halve meter. Prøverne er opbevaret i køler.

3.1.4 Renspumpning og vandprøvetagning

Begge filterniveauer i boring 1 og 2 er forpumpet med et volumen, der svarer til 4-5 filtervoluminer. Herefter er udtaget vandprøver til analyse. Vandprøver til NO_3^- -bestemmelse blev konserveret med thymol og opbevaret i fryser indtil analyse, mens vandprøver til pesticidbestemmelse blev opbevaret i køler.

3.1.5 Geologisk bedømmelse af sedimentprøver

I DGI's laboratorium er intaktprøverne presset ud og bedømt geologisk. Det er specielt undersøgt, om prøverne indeholdt inhomoginiteter (sprækker, sandslirer m.v.). Intaktprøverne er farvebedømt ved hjælp af Münsell farvekodekort og fotograferet. Prøverne fra boring 2 er ligeledes bedømt (dog uden anvendelse af farvekort) inden analyse. Resultatet af den geologiske bedømmelse fremgår af bilag af I-III, s. 111.

3.2 GRAVNINGER OG FELTUNDERSØGELSER

Der er udført to 6 m dybe gravninger med flademålene 19-20 x 15 m (fig. 3). Gravningernes ene langside er udformet som et trapetrinsprofil med henblik på geologisk profilopmåling og prøvetagning.

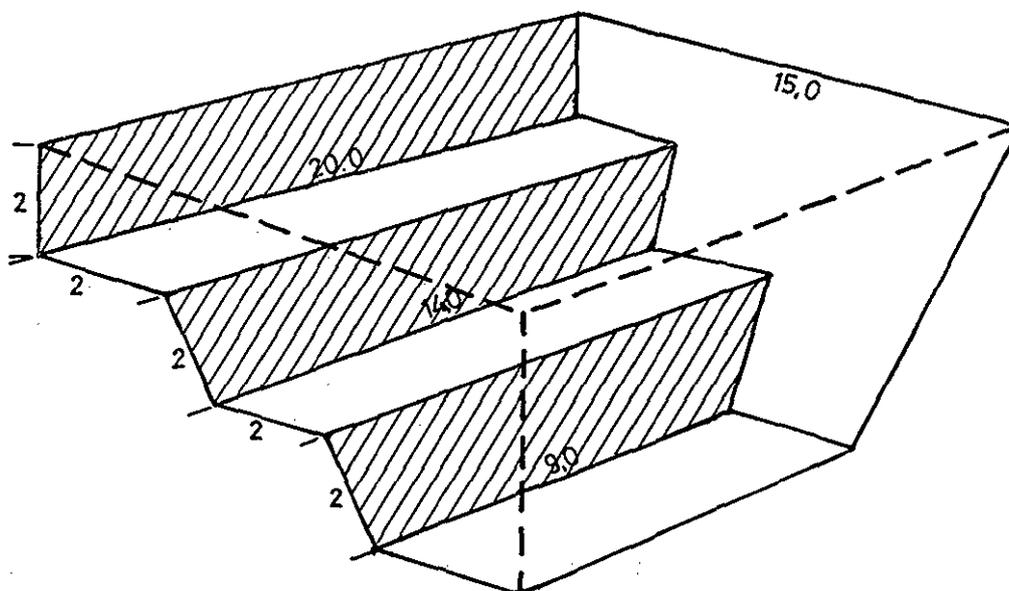


Fig. 3 Udformningen og dimensionerne af de gravede profiler (H og K) i Fredsvang. (Mål angivet i meter).

3.2.1 Sedimentprøver

I gravningerne er udtaget:

- bulkprøver (til kemisk analyse og til fabric analyse)
- traceeprøver (til kemisk analyse).

I den øverste meter af profilet blev bulkprøver udtaget med 0,05 m's mellemrum og herunder med 0,20 m's mellemrum indtil 6 m u.t. Traceeprøver blev udtaget tværs over sprækker til geokemisk og miljøkemisk analyse. Prøveudtagningspunkterne fremgår af bilag V, s. 119. Alle prøverne blev anbragt i fryser umiddelbart efter prøvetagningen.

3.2.2 Vingeforsøg

Ved hjælp af håndvingesæt er foretaget bestemmelse af in situ vingestyrke fra terrænoverfladen og på hvert terrasseniveau i de gravede profiler, bilag IV, s. 117.

3.2.3 Profilopmåling

I de gravede profiler er foretaget opmåling af sprækkerne. Opmålingen er udført langs en vandret linie, der blev anbragt 1,10 m under overkanten af hvert terrassetrin. Opmålingen har omfattet følgende "sprækkeparametre"

- tæthed
- hældning/strygning (orientering)
- vertikal længde
- farve
- evt. indhold (rødder eller andet).

Opmålingen er gennemført på hvert af de terrassettrin, hvor der optræder sprækker. I profil K er kortlægning dog kun gennemført i den vestlige halvdel af profilet.

3.3 KEMISKE ANALYSER

3.3.1 Geokemiske analyser

Det geokemiske analyseprogram er udført i samarbejde med DGU's geokemiske afdeling og omfatter kemiske og lermineralogiske bestemmelser. Analysen er gennemført med henblik på karakterisering af de geokemiske submiljøer i og omkring sprækker i moræneleren. Analysen er udført på jordprøver fra gravning K i og omkring en sprække i henholdsvis den oxiderede og reducerede morænelerszone. Analyseprogrammet har omfattet følgende parametre og analyserne er udført som enkeltbestemmelser, bilag VI, s. 121

- vandindhold
- nitrat og ammonium
- klorid
- fosforsyretil
- natriumcitrat-natriumhydrogencarbonat-natriumdithionit (CBD) - ekstraherbart jern og aluminium
- total oplukning - jern, aluminium og mangan
- røntgendiffraktometrisk analyse på pulver, uorienteret prøve
- Mössbauer spektroskopi
- termisk analyse (DTA) med gasdetektion (EGA)
- teksturanalyse.

3.3.2 Tritium-, klorid- og næringssaltanalyser i sedimentprøver, boring 1

Intakte delprøver uden sprækker eller inhomogeniteter blev umiddelbart efter udpresning anbragt i lufttætte metalspande med låg m.h.p. tritiumanalyse. Senest 2 døgn herefter påbegyndtes destillation af porevandet. Destillationen blev udført på DGU, geokemisk afdeling, mens selve tritiumtællingen blev udført af Isotopcentralen, bilag VI, s. 121.

Det resterende materiale fra intaktprøverne blev herefter nedfrosset og senere analyseret for NO_3^- , NH_4^+ og Cl^- ved colorimetrisk bestemmelse (flowinjektion).

3.3.3 Kloridanalyse i sedimentprøver, bor. 2

Fra boring 2 blev udført kloridanalyse på prøver fra 2, 4 og 6 m u.t., bilag VI. s. 121. Analysen er udført på Danmarks Geologiske Undersøgelse (DGU).

3.3.4 Tungmetaller i sedimentprøver

I profil H er udført tungmetalanalyse i:

- blandjordprøve (0,1, 0,2, 0,4 og 1,0 m u.t.)
- jordprøver fra overjordsintervallet (0-0,25 m u.t.)
- jordprøver fra og omkring sprækker (0,4-2,3 m u.t.).

Der er foretaget "screening" af blandeprøven for Cr, Ni, Cu, Zn, Cd, Hg, Pb og As. De øvrige prøver er analyseret specifikt for Fe, Mn, Cu, As, Hg.

På referencelokaliteterne (fig. 1) er jordprøver fra overjordsintervallet 0-0,25 m u.t.) analyseret for Cu, As, Hg, bilag VI, s. 121.

For at opnå et billede af aflejringerens totale indhold af tungmetaller er blandprøven totaloplukket (>99%) med koncentreret saltpetersyre (HNO_3). Herved ekstraheres de tungmetaller, der både findes i forbindelse med jordens sekundære mineraler (naturligt og som forurening), og de som findes naturligt bl.a. i jordens primære Mg/Fe-mineraler.

For at reducere det naturlige tungmetalbidrag til analyserne er de øvrige prøver ekstraheret med en citronsyrebaseret oplukningsteknik (bilag VII, s. 133), der selektivt ekstraherer adsorberede og copræcipiterede metaller fra jordens lermineraler og Fe/Mn-oxyhydroxyder (sesquioxider).

Ved "screeningen" (blandprøven) er analysen foretaget ved induktiv-koblet plasma atomemissionsspektrometri (ICP-AES).

De specifikke bestemmelser er foretaget ved atomabsorption (ASS) for Fe, Mn og Cu, mens der er anvendt henholdsvis amalganmetoden og hydridmetoden ved Hg- og As-bestemmelsen. Screeningsanalysen er udført på Teknologisk Institut. De resterende analyser er udført på Geologisk Centralinstitut, Malmgeologisk laboratorium, Københavns Universitet.

3.3.5 Pesticidanalyse i sedimentprøver.

I profil H er udført analyse for organiske pesticider i:

- blandeprøve fra 0,1, 0,2, 0,4 og 1,0 m u.t.
- jordprøve fra pløjelaget
- jordprøver fra og omkring sprækker.

Der er foretaget "screening" ved gaschromatografi og massespektrometri (GC/MS) af blandeprøven for typen og koncentrationsniveauet af organiske mikroforureninger med særligt henblik på identifikation af pesticider og deres eventuelle nedbrydningsprodukter, bilag s. 121.

På baggrund af "screeningen" er prøverne fra og omkring sprækkerne samt prøverne fra pløjelaget undersøgt ved GC/MS/SIR-analyse med henblik på kvantitativ bestemmelse af DDE, bilag

Analyserne er udført på ekstrakter med methylenchlorid, basisk vand, methylenchlorid-acetone. Analyserne er udført på Teknologisk Institut.

3.3.6 Analyse for organiske pesticider i vandprøver.

Vandprøver fra 4.0 og 5.5 m u.t. i boring 2 er analyseret for indhold af pesticider ved GC/MS/SIR-analyse. Der blev specielt analyseret for tetradifon, dichlorbenil, atrazin, simazin, MCPA, mechlorprop, dichlorprop, DDD, DDT, DDE samt nedbrydningsprodukterne dichlorbenzophenon, dichlorbiphenyl samt bis(chlorphenyl)eddikesyre, bilag VI, s. 121. Analysen er udført på Teknologisk Institut.

3.3.7 Nitrat-, klorid og tritiumanalyser i vandprøver.

Der er udført analyse for NO_3^- , Cl^- og tritium i vandprøver fra begge filterniveauer i boring 1. Umiddelbart efter vandprøvetagningen blev prøverne konserveret med Thymol. Inden to døgn blev prøverne analyseret ved colorimetrisk bestemmelse ("flowinjection"), bilag VII. Tritiumanalyserne er udført på IsotopCentralen, mens klorid og nitrat er analyseret på DGU.

Der er tillige udført kloridanalyser i vandprøven fra det dybe filterniveau i boring 2 (5,5 m u.t.), bilag VI, s. 121.

4. RESULTATER OG DISKUSSION

Undersøgelsens resultater og diskussion er disponeret således, at der i afsnittene 4.1 - 4.4 redegøres for sprækket morænelers geologiske, hydrauliske/hydrogeologiske og kemiske sedimentologiske egenskaber, som disse optræder i Fredsvang og som de forventes at optræde i tilsvarende morænelerstyper. I afsnit 4.4 og 4.5 redegøres der for de specifikke belastnings- og forureningsforhold i Fredsvang.

4.1 GEOLOGI

I det følgende afsnit gennemgås felt- og laboratorieundersøgelserne af lagserien i Fredsvang. Hovedvægten er lagt på morænernes inhomogeniteter og resultaterne danner grundlag for de efterfølgende hydrogeologiske og kemiske afsnit.

4.1.1 Regional stratigrafi

Weichseltidens
isfremstød

Sidste istid, Weichsel-istiden, regnes i dag for at rumme mindst 4 isdækningsfaser adskilt af relativt varme perioder, hvor isen helt eller delvis forsvandt fra det danske område. I en tidlig fase af Weichsel-istiden er gletscherne trængt ned over Danmark fra nord og har efterladt en karakteristisk moræne bl.a. i det nordligste Sjælland. Formentlig efter en kortvarig bortsmeltning er gletscheren med fornyet kraft trængt ned over landet. Fremstødsretningen var denne gang fra NØ, og det antages, at isen er trængt ned over hele Sjælland og helt til den såkaldte hovedopholdsline i det centrale Jylland. Senere smeltede isen atter væk,

Typeprofil i Køgt Bugt området

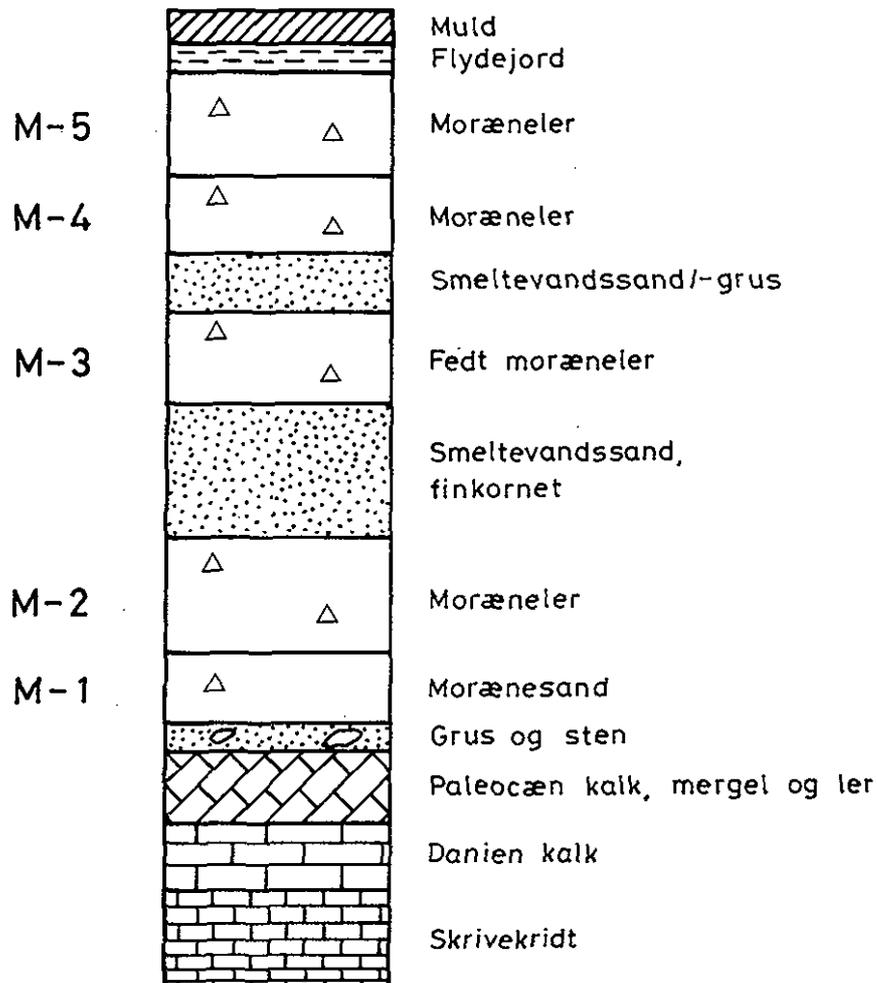


Fig. 4 Geologisk typeprofil for Køgebugt-området. Opstillet primært efter DSB's undersøgelser i forbindelse med Køgebugtbanen, /1/.

og der fulgte herefter fremstød fra mere sydlige retninger.

Typeprofil af lagserien i Køgebugt-området

I Køgebugt-området er der i forbindelse med forundersøgelser til Køgebugtbanen beskrevet mindst fem moræneenheder (M1-M5) og to enheder af smeltevandssand/grus, over de prækvartære aflejringer, fig. 4, /1/. Den nederste smeltevandsenhed findes som et tykt sandlag i store dele af Køgebugt-området, men kan findes som tynde lag næsten overalt i resten af regionen. Den øvre, mere grovkornede, enhed af smeltevandssand/grus, har

mere lokal udbredelse og træffes i alle tilfælde med ringe lagmægtighed. Denne enhed er kun sjældent truffet nord for Solrød /1/.

Det fede moræneler (M-3) er egnens mest karakteristiske og det skyldes først og fremmest tilstedeværelsen af den iøjnefaldende lagfølge med det fede moræneler over det nedre smeltevandssand, at det har kunne lade sig gøre at opstille en rimelig sikker morænestratigrafi for regionen /1/.

Moræneenhederne over det øvre "smeltevandssand" er svære at skelne visuelt. Undersøgelser antyder, at M-5 (fig. 4) ligger, som et ensartet dække over hele Køgebugt-området /1/. Enheden beskrives som relativ "slap" (forskydningsstyrke, $C_v < 400 \text{ kN/m}^2$) og med et vandindhold på 13-16%, mens de tilsvarende tal for den underliggende enhed er 500 kN/m^2 og 9-13% /1/.

Chronostratigrafi

Til trods for det store prøvematerialer i Køgebugt-undersøgelsen, har det ikke været muligt at tidsfæste moræneenhederne til bestemte isfremstød. Det fastslås dog ud fra foraminifer undersøgelser, at de to øverste morænelersenheder (M- 4 og 5) er dannet i sidste istid, mens de underlejrende moræneenheder sandsynligvis er betydeligt ældre /1/. En nøjere udredning af de glacialstratigrafiske relationer i området må således afvente resultaterne af videre videnskabelige undersøgelser.

4.1.2 Lagserien ved Fredsvang

Lokalisering af profiler og boringer

I Fredsvang er der gravet to trappeformede, ca. 20 m brede profiler (fig. 3) til 6 m's dybde og udført to boringer til henholdsvis

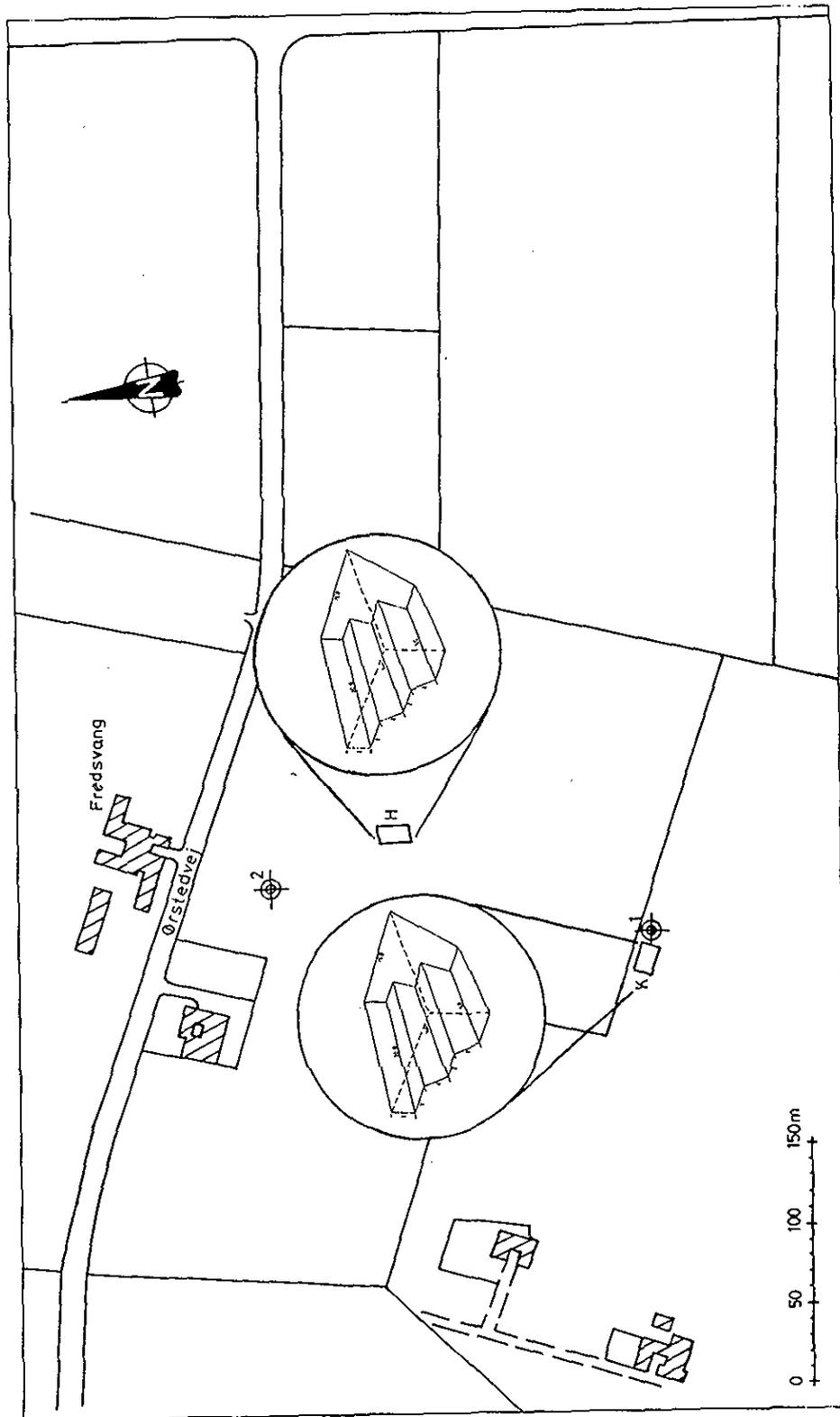


Fig. 5 Situationsplan over boringer og gravninger i "Fredsvang".

PROFILER I FREDSVANG

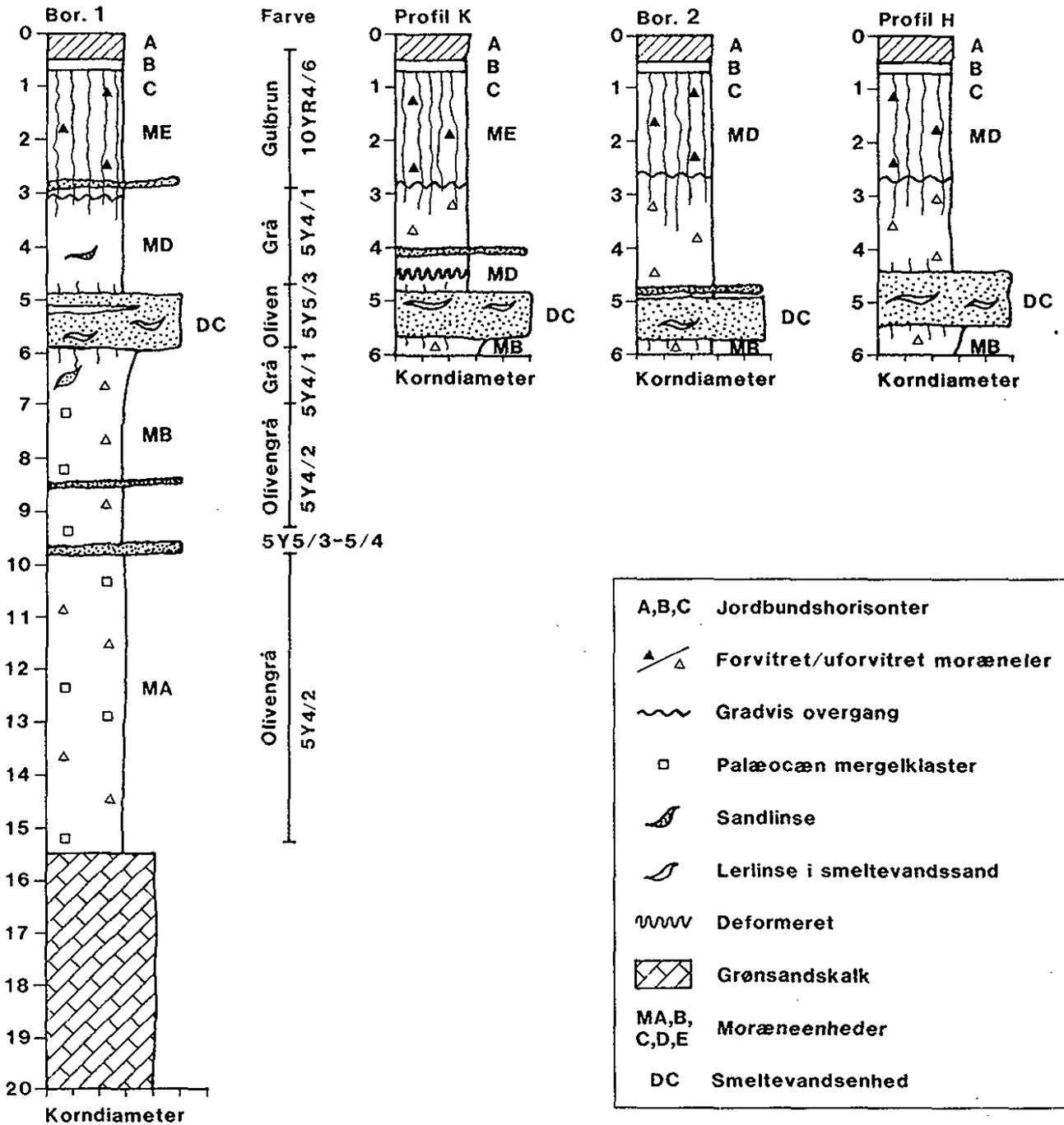


Fig. 6 Sammenstilling af lithologiske data fra boringer og gravninger i Fredsvang.

6 og 20 m's dybde. Lokaliseringen af disse fremgår af fig. 5 og de tilhørende boreprofiler af bilag I og II. Resultaterne af den geologiske opmåling af profilerne og bedømmelsen af intakte og omrørte prøver fra borerne er sammenstillet i fig. 6.

Paleocæne aflejringer og lokalmorænepræg

Nedefra (20 m u.t.) indledes den gennemborede sekvens (boring 1) med Paleocæne aflejringer af grønsandskalk. Kalken er hærdet og optræder ensartet mellemkornet. I 15,4 m's dybde følger en skarp grænse til reduceret olivengrå moræneler (MA). Enheden er meget kalkholdig og lokalmorænepræget med et op- eller aftagende indhold af Paleocæne mergelklaster, der giver den en olivengrå tone. I 8,5 m's dybde er der truffet en sandslire med en hældning på ca. 45° og i 9,7 m's dybde er truffet et 20 cm tykt olivenfarvet horisontalt sandlag.

Fra 6,5 - 5,5 m's dybde (MB), har morænen kun et sporadisk indhold af Paleocæne klaster. Overgangen mellem A- og B-enhederne sker fra den ene kerne til den næste og markeres ved farveskift til grå. I profil K ses øverst i enhed MB, enkelte sandlinser og op mod det overlejrende sandlag (DC) er morænen uregelmæssigt opsprækket med en sprækkeafstand på ca. 10 cm, fig. 6 og 7.

Profil H og K, og boring 2 er 6 m dybe og forbedre derved den laterale datadækning væsentligt øverst i lagserien.

Smeltevandssandet

I 5,5-4,5 m's dybde er der i hele Fredsvang truffet et mellemkornet olivenfarvet sandlag (DC) af smeltevandsoprindelse. I profil H er sandlaget homogent og har et horisontalt og

roligt forløb tværs gennem hele profilet, mens det i profil K holder 2-4 grader mod vest og har et mere inhomogent og svagt is-tektoniseret præg, fig. 7. Inhomogeniteterne består af partier og slirer af leret sand og ler.

De afsluttende
morænelersenheder

Over sandlaget følger morænelersenhed MD, der overlejres af ME i profil K og boring 1. I den østlige del af profil K er enheden MD markant adskilt fra den overlejrende moræneler (ME), men midt i profilet mister den gradvist sit særpræg, således at de to enheder øst i profilet ikke kan skelnes fra hinanden. Overgangen mellem de to enheder er vest i profilet markeret ved en usædvanlig skarp grænse, der lateralt veksler mellem at være udviklet som et tyndt rustfarvet sandgruslag eller blot som et plan. Grænsen holder parallelt med sandlaget (DC) og opløses midt i profiler, hvor de to enheder som før nævnt tilsyneladende går i et, fig. 7.

Dislocering

Lagrelationen viser, at MD er en erosionsrest i gravning K, og at erosionen og disloceringen af smeltevandssandet er sket ved aflejring af ME. Fjerformede forkastninger ved basis af denne enhed antyder et Ø/NØ-ligt isfremstød. En mere sikker bestemmelse af isfremstødsretningen ved mikrofabricmåling har ligget uden for rammerne af denne undersøgelse, men vil blive søgt gennemført ved senere undersøgelse.

Forskydningsstyrke

Måling af morænets forskydningsstyrke (vingestyrke) i de øverste 6 meter (MB, MD og ME) viser, i profil H, en relativ fast moræne, med styrker fra 100 - >365 kN/m² fra ringe dybde og med kun en svagt stigende

tendens nedefter. I profil K er der målt noget lavere forskydningsstyrker (88->365) i de øverste 4 meter (enhed E), mens der er målt høje forskydningsstyrker herunder (enhed D), bilag IV s. 121.

Forvittringsgrænsen Forvittringsgrænsen mellem reduceret grå og oxideret gulbrun moræneler ligger i ca. 2,3 og 2,8 m u.t. i henholdsvis profil H og K. Overgangen sker over et 5-10 cm bredt interval, og enheden afsluttes opefter med et veludviklet pseudogley jordbundsprofil.

4.1.2.1 Regional korrelation

I den nedre del af morænelerssekvensen er det vanskeligt at korrelere enhed A til den regionale stratigrafi på grund af det kraftige Paleocæne lokalmorænepræg. Øverste i lagserien synes sekvensen omkring smeltevandssandet dog at korrelere med det stedvist udbredte regionale øvre smeltevandssand, fig. 4.

**Sekundært
reservoir**

Denne korrelation styrkes bl.a. af, at smeltevandssandet er udbredt i en stor del af området syd for Havdrup. Bruges dette sandlag som udgangspunkt, vil morænen under sandlaget i Fredsvang være ækvivalent til de ældre regionale glaciale aflejringer fra før sidste istid (M1-M3), mens enhederne over vil være Weichsel-moræner (M4 og M5), fig.4.

De to moræner, der er truffet over smeltevandssandet, i profil K og boring 1 (MD og ME), kan svare til de regionale enheder, M-4 og M-5. Bortset fra at morænerne i Fredsvang har lavere vingestyrker end målt i M-4 og M-5 er denne korrelation i overensstemmelse

med skiftet fra høje til lave forskydningsstyrker ved overgangen fra MD til ME. Base-ret på fordelingen af vingestykkerne svarer ME således til den mere "slappe" regionale topmoræne (M-5), fig. 4. I profil H, svarer de høje vingestykker helt op til terræn til, at MD er ækvivalent til M-4 der således muligvis udgør den afsluttende enhed i profil H og bor. 2 (se fig. 6).

4.1.3 Sprækker og moræneler

Der er iagttaget talrige veludviklede grå sprækker i den oxiderede moræneler og herunder rustmarkerede sprækker, enkelte ned til to m's dybde, i den reducerede ler. Ud over de rustmarkerede sprækker blev der dybere i morænen iagttaget enkelte planer med "slickensides"*, der sandsynligvis også bør opfattes som sprækker. Der er ikke påvist sprækker under sandlaget DC i de intakte borekerner fra bor. 1.

Sprækkernes fremtoning

Med hensyn til sprækkernes visuelle fremtoning fordeler de sig i to veldefinerede grupper, der repræsenterer henholdsvis den oxiderede og reducerede zone af morænen. I den oxiderede zone omslutes sprækkerne af en 4-35 mm bred grå zone, der igen omslutes af en 5-10 mm bred rustbræmme, fig. 8. Til forskel fra sprækkerne i den oxiderede zone er sprækkerne rustfyldt i den reducerede zone, fig. 9. Her grænser den grå moræneler

* flade med friktionsstribning, der er forårsaget af forkastningsbevægelse af to blokke langs et fælles plan.



Fig. 8 Farvezoneringen omkring sprækkerne på en horisontal flade i 2 m's dybde, profil K. Bemærk den rustrøde bræmme omkring den grå sprækkezone. Endvidere viser billedet sprækkernes parallelitet og deres store horisontale udstrækning.



Fig. 9 Frigravet rustbelagt sprækkeflade i den reducerede moræneler i 3-3,5 m's dybde.

skarpt op til rustudfyldningerne, og der ses således ingen omdannelseszone omkring disse sprækker.

Opmålings-
principper

Sprækkerne er opmålt i de tilfælde, hvor selve sprækkeplanerne har kunnet blotlægges og derved skelnes sikkert fra rod- og orme-gange. Små og mindre regulære sprækker, der ikke kunne blotlægges er ikke opmålt. Opmålingen omfatter hele profil H og halvdelen af profil K og er udført langs vandrette linier i 1,10 og 2,10 m's dybde. Følgende sprækkeparametre er bestemt:

Sprække-
parametre

- tæthed
- længde og orientering
- indhold af organisk materiale (rødder eller humus)
- farve
- tykkelse af omdannelseszoner.

Sprækkeudbredelse
i profil H

I den oxiderede moræneler i profil H, for-deler sprækkerne sig helt overvejende inden for intervallet 0,75-1,6 m u.t., fig. 10. I dette interval er der målt en lateral spræk-ke-tæthed på 3-5 sprækker/m, hvilket svarer til den sprække-tæthed, der er målt andre steder på Sjælland, /2/. Det skal dog under-streges, at sprække-tætheden er væsentlig større, hvis de mindre regulært udviklede sprækker medtages. Formentlig udgør denne gruppe en betydelig del af "makroporesyste-met" (flammede grå partier i fig. 16).

I den reducerede moræneler er sprække-tætheden væsentlig mindre end i den oxiderede zo-ne, og i profil H fortsætter sprækkerne maksimalt 0,5 m under redoxgrænsen. Der er udover de nævnte sprækker tillige iagttaget

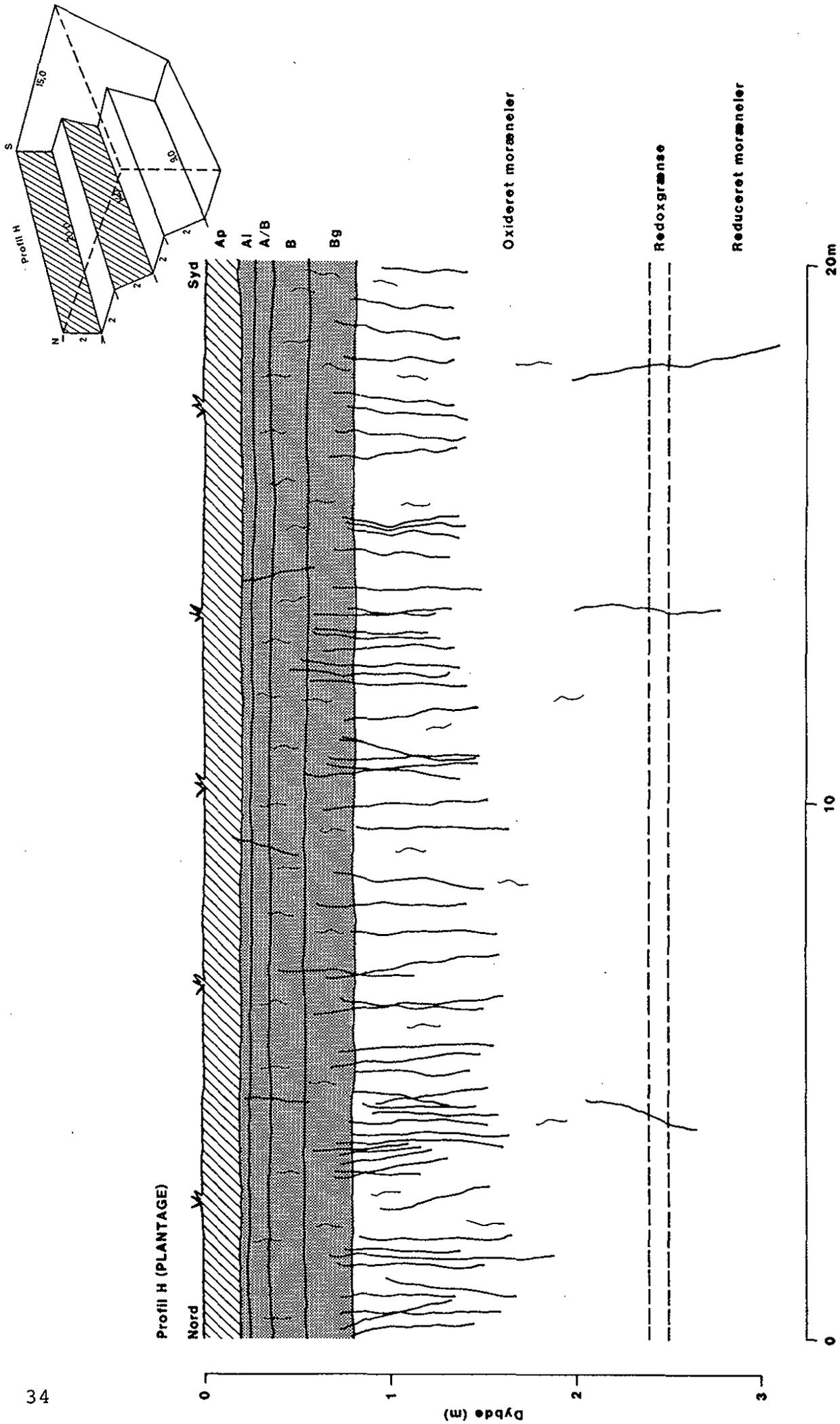


Fig. 10 Fordelingen af opmålte sprækker i Fredsvang, profil H. Rod- og ormegange samt småsprækker, hvis orientering ikke kunne måles, er angivet signaturmæssigt (korte tynde streger).

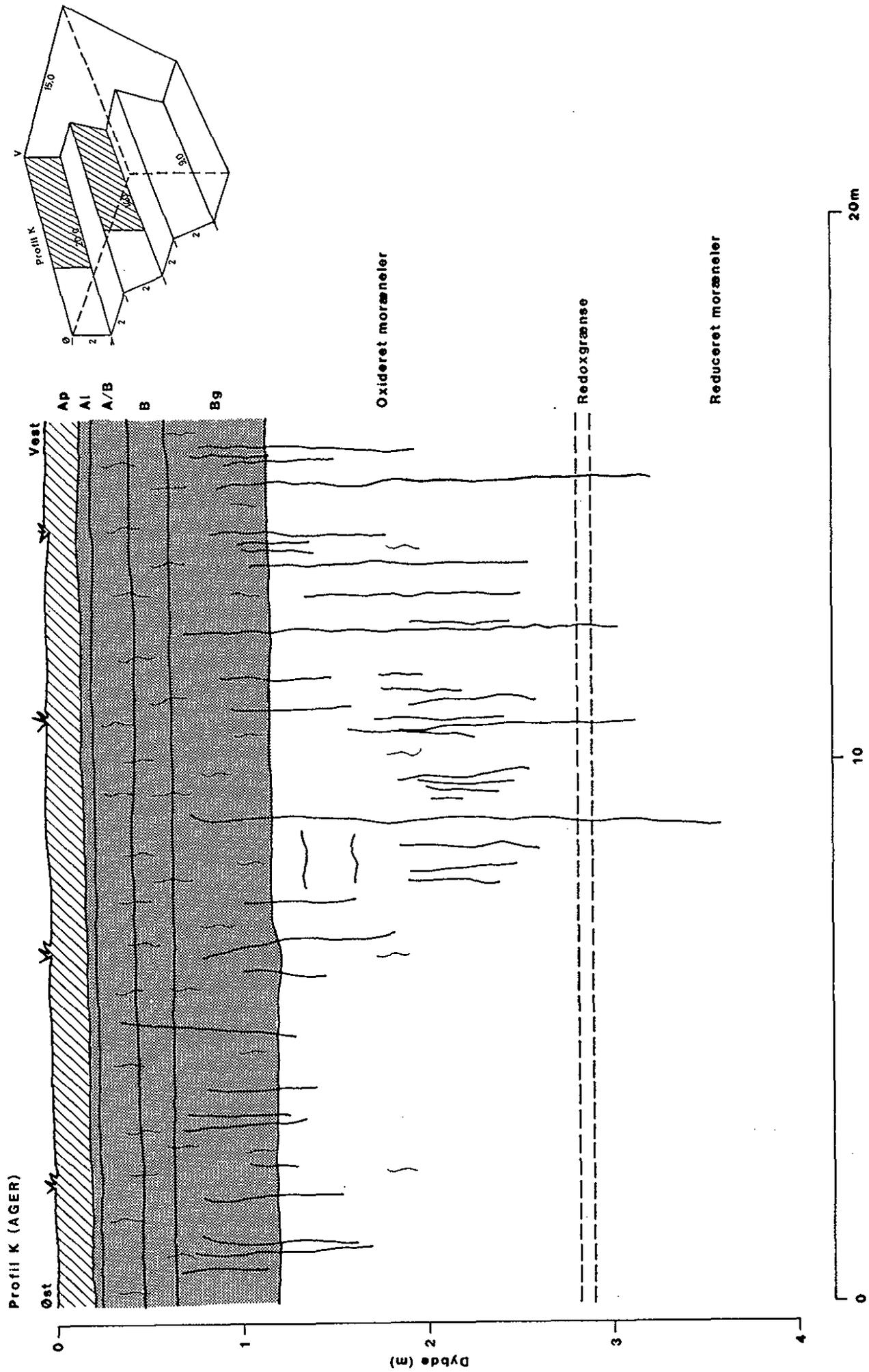


Fig. 11 Fordelingen af opmålte sprækker i Fredsvang, profil K. Rod- og ormegange samt småsprækker, hvis orientering ikke kunne måles, er angivet signaturmæssigt (korte tynde streger).

svagt udviklede sprækker umiddelbart over og under smeltevandssandslaget (DC).

Sprækkeudbredelse
i profil K

I den oxiderede moræne er sprækketætheden den samme i de to profiler (H og K), fig. 10 og 11. Sprækkerne har dog større vertikal udbredelse i K og kan i mange tilfælde følges fra den oxiderede zone og videre ned i den reducerede zone. Sprækkerne kan dog sjældent følges til mere end cirka 0,5 m under redoxfronten.

Sprækkernes hori-
tale udstrækning

De enkelte sprækkes maximale horisontale udstrækning er ikke bestemt, men må forventes at kunne være ganske betydelig, idet vertikale sprækker i 2 m's dybde, kunne følges horisontalt mere end 2 meter i profil K, fig. 8.

Dannelsesmåder

Flere forskellige mekanismer er mulige som forklaring på sprækkernes dannelsesmåde. Blandt de mest sandsynlige er:

- gletscherisens stresspåvirkning og aflastning under aflejringen af morænen (syndepositionelt dannede sprækker),
- opsprækning ved frost og udtørring (postdepositionelt dannede sprækker).

Ved begge mekanismer kan der dannes subhorisontale og vertikale sprækker.

Frost- og udtørringssprækkerne vil typisk være knyttet til toppen af aflejringerne, og sprækkerne vil ikke vise nogen foretrukket retning. Vertikale sprækker dannet ved gletscherisens stresspåvirkning, vil derimod i højere grad gennemsnitligt den enhed de er dannet i og hertil normalt være orienterede som

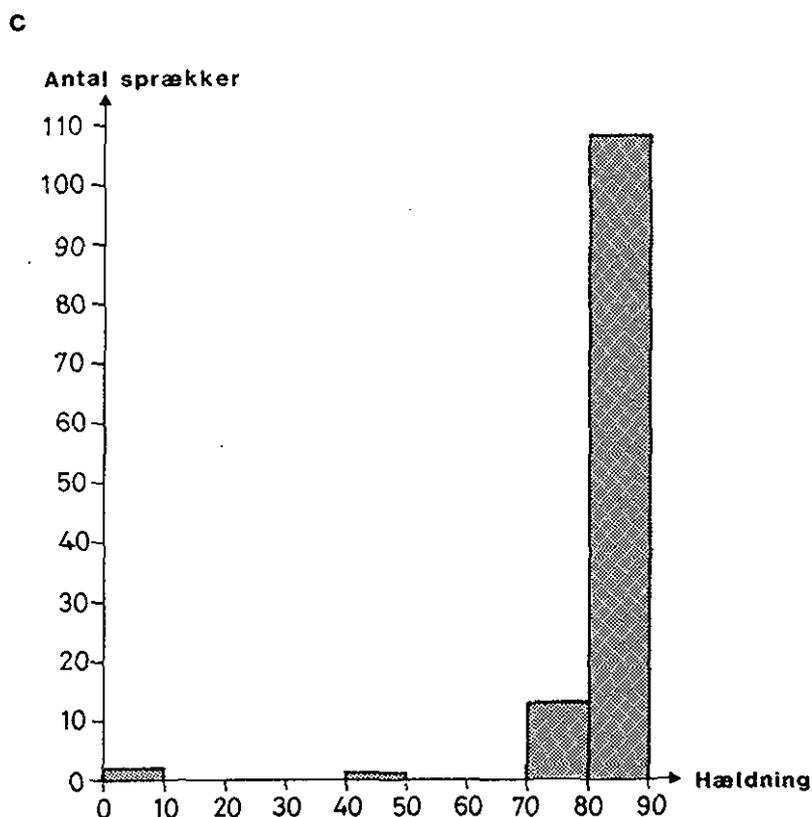
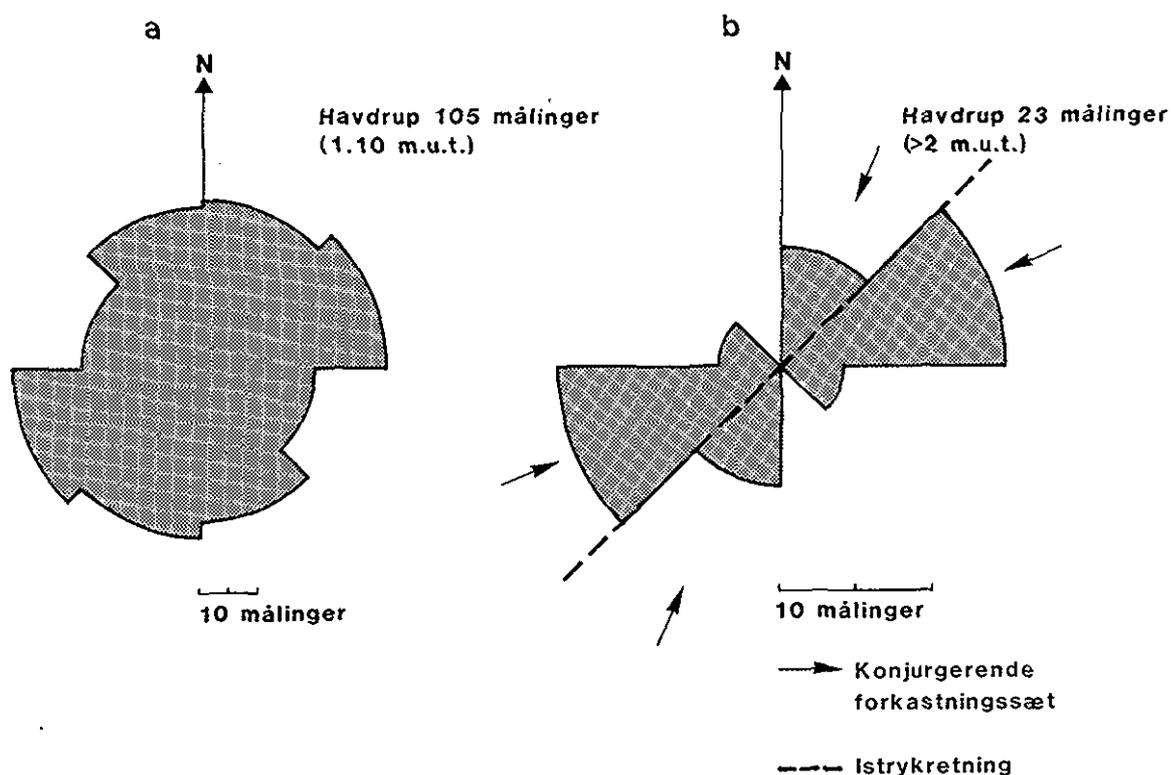


Fig. 12 Sprækkernes orientering i Fredsvang (Havdrup).
 a: Rosediagram over de overfladenære sprækkers strygning.
 b: Rosediagram over de dybere sprækkers strygning. På Diagrammet er endvidere angivet det konjurerende forkastningssæt og retningen af et dertil svarende isfremstød.
 c: Sprækkernes hældning målt i forhold til horisontalplanet.

konjurerende par, hvor vinkelhalveringslinien i den spidse vinkel mellem sprækkeparrene er parallel med (bevægelsesretningen af) den deformerede is /2/.

Sprækkernes målte orienteringer

Sprækkernes orientering er vist i fig. 12. Rosediagrammerne angiver kompasretningen for sprækkernes skæring med horisontalplanet (strygningen), mens histogrammerne angiver sprækkernes hældning målt vinkelret på strygningen.

Opmålingen viser, at sprækkernes hældning overvejende er mere end 80 grader, fig. 12 c. Der findes dog enkelte vandrette sprækker, særlig i jordbundszone.

I fig. 12 a, er vist sprækkernes retning i 1.10 m's dybde. Det fremgår af rosedigrammet, at målingerne fordeler sig over hele kompasrosen, uden nogen sikker foretrukket retning. I fig. 12 b er udvalgt de sprækker, der når dybere end 2 m u.t. (fortrinsvis i profil K). Flertallet af disse fordeler sig i to grupper med henholdsvis ØNØ-VSV'lig og NNØ-SSV'lig retninger. Den førstnævnte gruppe er den største og sprækkernes parallelitet i gruppen fremgår tillige af fig. 8.

Tolkning

Ud fra den manglende orientering af de overfladenære sprækker er det sandsynligt, at de skyldes frost og udtørring, og dermed er postdepositionelle. Af de dybere sprækkers orientering kan der udledes en lokal ØNØ-VSV'lig isbevægelsesretning, fig. 12b. Denne retning er i overensstemmelse med den østlig komponent, der som nævnt synes at kunne udledes fra fjersprækkerne i MB. Resultatet skal dog tages med et vist forbehold indtil,

der ud fra andre glacialstratigrafiske metoder er bestemt en mere sikker isfremstødsretning i forbindelse med MD og ME, figur 6. På grundlag af orienteringsmålingerne synes de dybere sprækker dog at være glacialtektonisk betingede brudflader, dannet ved gletscherisens mekaniske påvirkning og sprækkerne vil derfor formentlig i mindre grad være bundet til terrænoverfladen, end hvis de var betingede af udtørring eller frost/tø.

4.1.4 Sprækker og kornstørrelse

Prøvemateriale

Analyserne for kornstørrelse og mineralogi (i afsnit 4.1.5) er udført på morænelersprøver, der er udtaget i profil K omkring en sprække i den oxiderede og reducerede zone (henholdsvis 2.5 og 3.5 m's dybde), se bilag V, s. 119. Som nævnt optræder sprækkerne og zoneringsen omkring dem ensartet i begge profiler. Analyseresultaterne betragtes derfor som generelt repræsentative for sprækkerne i Fredsvang.

Kornstørrelsesfordelingen fra sprækkerne og ind i matrix i prøverne fremgår af fig. 13. Resultaterne viser, at moræneleren hverken i den forvitrede eller uforvitrede zone viser nogen signifikant kornstørrelsesvariation fra sprækkerne og ind i matrixen. Sprækkerne er således udviklet i ensartet moræneler, der kornstørrelsesmæssigt ligger på grænsen til ret fed (20% ler) ler /3/.

4.1.5 Sprækker og mineralogi

Røntgendiffraktometrisk bestemmelse - Røntgendiffraktometrisk analyse viser, at der kun er ringe variation i den mineralogiske sammensætning fra sprækkerne og ind i morænenens matrix, tab. 1.

I både den oxiderede og reducerede zone forekommer lerminerallerne kaolinit, illit, vermiculit, smectit og veksellagsmineraller af typen illit-smectit. I den reducerede zone er der et forhøjet smectitindhold i

Lermineral%	Kaolinit	Illit	Vermiculit	Smectit	Chlorit	Veksellagsmineraller
Oxiderede zone (2,5 m u.t.)						
Grå sprække	14	19	25	15	0	27
Rustrød sprække-kerand	13	16	29	18	0	23
Gulbrun matrix	14	21	27	14	0	25
Reducerede zone (3,5 m u.t.)						
Rustrød sprække	17	19	21	14	7	22
Grå matrix	22	22	24	6	7	19
Grå matrix	25	23	22	3	10	18

Tabel 1 Røntgendiffraktometrisk bestemmelse af lermineralfraktionen <math>< 2 \mu\text{m}</math> i den oxiderede og reducerede zone i Fredsvang, profil H.

sprækken, og til forskel fra den oxiderede zone tillige et indhold af klorit. Formentlig skyldes det forhøjede indhold af smectit i sprækken mekanisk transport oppe fra i profilet.

Mössbauerspektrometri

Fordelingen af ferrojernet Fe(II) og ferrijern Fe(III) i lerminerallerne krystalgitter angiver deres redoxtilstand og er analyseret ved Mössbauerspektrometri, fig. 14 a.

I den oxiderede zone ses forholdet Fe(II)/Fe(III) at være det samme i den grå sprækkezone og lermatrixen. Farvezoneringen skyldes således ikke lerminerallerne, der optræder i den oxiderede fase både i og uden for de gråfarvede sprækker.

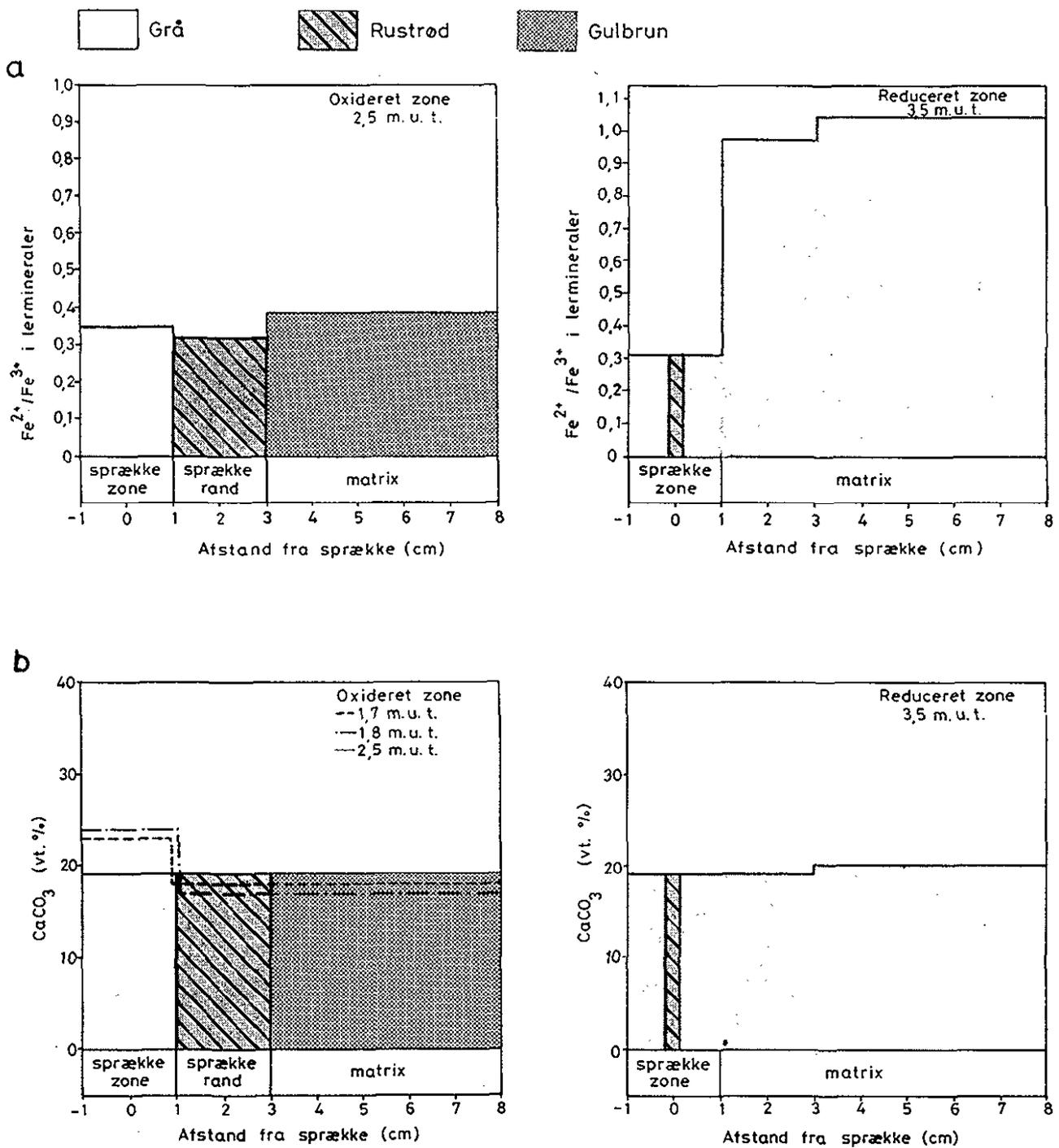


Fig. 14 a: Variationen af forholdet; Fe^{2+}/Fe^{3+} i lermineralernes krystalgitter fra sprække til matrix i den oxiderede og reducerede moræner.

b: Kalkindholdets variation fra sprække til matrix i den oxiderede og reducerede moræner.

Samme Fe(II)/Fe(III) forhold som i den oxiderede zone genfindes i selve sprækken i den reducerede zone. Fra sprækken stiger forholdet gradvist fra 0.3-1.3 ud i den grå matrix. Den kemiske omdannelse går således nogle centimeter længere ind i matrixen end farvemarkeringsen af sprækken.

Kalkudvaskningsdybde og kalkudfældning

Moræneleren er generelt udvasket for kalk til ca. 60 cm's dybde. Herunder er der iagttaget fine kalkudfældninger i sprækkerne, indtil ca. 2 m's dybde. Dette fremgår tillige af kalkanalyser, der viser et forhøjet kalkindhold i sprækkerne i 1.7 og 1.8 m's dybde. Ved større dybde har der ikke kunne påvises et forøget kalkindhold i sprækkerne, fig. 14 b.

Kalkfordeling svarer til, at den kalk, der udvaskes øverst i profilet, delvist genudfældes dybere i profilets makroporer og sprækker. Røntgendiffraktrometrisk undersøgelse af kalken viser, at den helt overvejende består af kalцит.

4.1.6 Sprækker og rødder

Feltobservationer

Under feltarbejdet kunne det iagttages, at mindre rødder fortrinsvis følger sprækkesystemerne, hvor de findes gennem hele den oxiderende morænelerszone. Den reducerede ler er generelt rodfri, men enkelte steder er rødder dog trængt ned øverst i de rustbelagte sprækker.

Generelt om sprækker og lerjorde

Sprækker og makropores rodledende virkning har generelt stor betydning for plantevæksten på lerjorde, hvor rødderne i visse tilfælde findes som måtter i sprækkeplanerne, mens de indre dele af lermatrixen næsten er

fri for rødder /4/. Ved at undgå de permanent vandmættede forhold i lermatrixen og istedet følge sprækkesystemet og makroporer (temporært vandmættede) sikres rødderne at forbrugt O_2 og produceret CO_2 kan udveksles "frit" gennem det i vækstsæsonen luftfyldte makroporesystem (ilt diffusion i luft sker

Afgrøde område	græs				frø- græs	byg				hvede	
	1	2	3	4		1	2	3	4		
z(1.0)	40	20	40	30	70	30	40 (10)	25	25	50	
z(0.1)	60	60	70	90	135	60	90	80	110	115	145
z(0.01)	>120	80	110	120	150	90	>130	110	>195	140	190

Tabel 2. Den samlede tykkelse af lag med mange rødder z(1.0), med mange eller få rødder z(0.1) og med mange, få eller meget få rødder z(0.01) for afgrøderne græs, byg og hvede på 11 himmerlandske lokaliteter med lerholdige sedimentter. Dybderne er angivet i cm /4/.

ca. 10^4 gange hurtigere end i vand)/4/.

Roddybder på ler
jorde

Roddybden og rodtætheden for afgrøderne græs, byg og hvede på glaciale lerjorde er tidligere undersøgt i 11 profiler i Himmerland, tabel 2 /4/. Tabellernes tre klasser Z(1,0), Z(0,1) og Z(0,01) angiver den samlede mægtighed af lag med rodindhold på henholdsvis ≥ 1 cm/cm³, $\geq 0,1$ cm/cm³ og $\geq 0,01$ cm/cm³. Tabellen viser, at de undersøgte afgrøders effektive roddybde (z(0.1)) er ca. 1.4 meter, mens den maximale roddybde er >1,95 m /4/.

Når rødderne i markprofilet i Havdrup findes ned til 3.5 m's dybde i sprækkerne kan det skyldes tidligere bevoksning med lucerne el-

ler skov. Røddernes fremskredne nedbrydningstilstand støtter en sådan residual forekomst.

4.1.7 Jordbundsforhold i Fredsvang

Jordbundens væsentligste karakteristika fremgår af fig. 15, og er beskrevet efter retningslinier fra Fobian (1984).

Jordbundstype og dræning

I både profil H og K er jordbunden dannet på moræneler og udviklet som typiske pseudogleyprofiler. I profil H (plantage) er der drænet kunstigt, mens der hverken under profilgravningen eller på flyvefotos tilbage til 1930, har kunnet konstateres dræning omkring profil K (markarealet).

Rod- og ormegange

Under pløjelaget i A/B- og B horisonterne, fig. 15, har jordaggregaterne fin til grov blok- og prismestruktur med orme- og rodgange indtil ca. 1,3 m's dybde. Makroporesystemet er i vid udstrækning lokaliserende for (og resultat af) planterødder, der ved at benytte makroporer som nævnt sikres optimalt luftskifte i vækstsæsonen. Der træffes lejlighedsvis humusholdige belægninger i rod- og ormegange ned til ca. 1,2 m's dybde.

Pseudogley udvikling

I de øverste horisonter af jordbunden er der mange fine til grove orme- og rodgange, men fra ca. 0,6 m's dybde (Bg-horisonten) mindskes deres hyppighed. Morænen får samtidig præg af pseudogleyprocesser der er forårsaget af periodevis vandmætning.

Dette skift kommer til udtryk ved en markant marmorering med grå og brune pletter, fig. 16, der nedefter gradvis går over i af en vertikal gråstribning, der er knyttet til

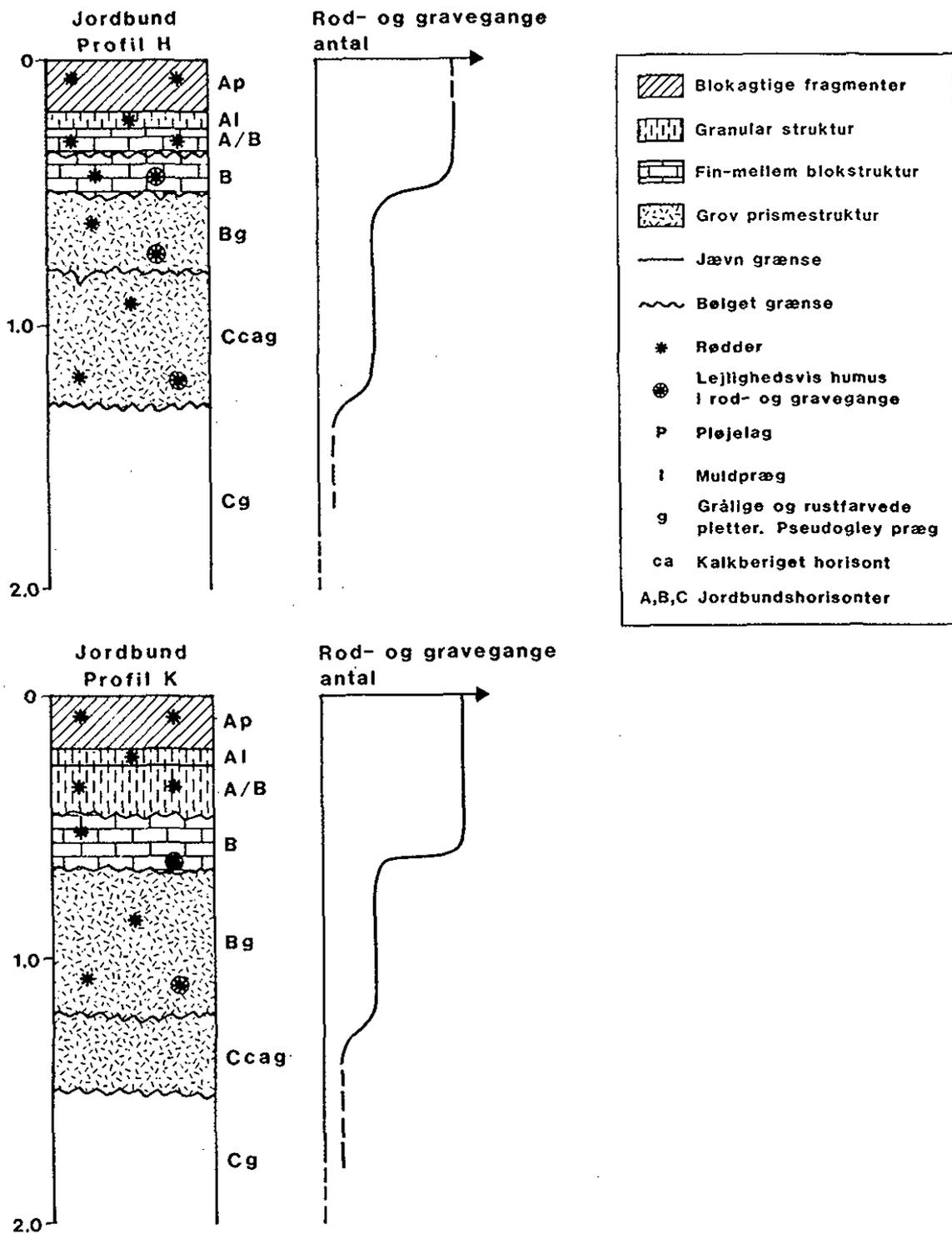


Fig. 15 Jordbundsprofiler (profil H og K) i Fredsvang.

sprækker i morænen. Pseudogleypræget omkring sprækkerne fortsætter gennem hele den oxide-rede morænelerszone (C-horisonterne i fig. 15) og gråfarvningen er altid associeret med organisk materiale i form af rodrester.

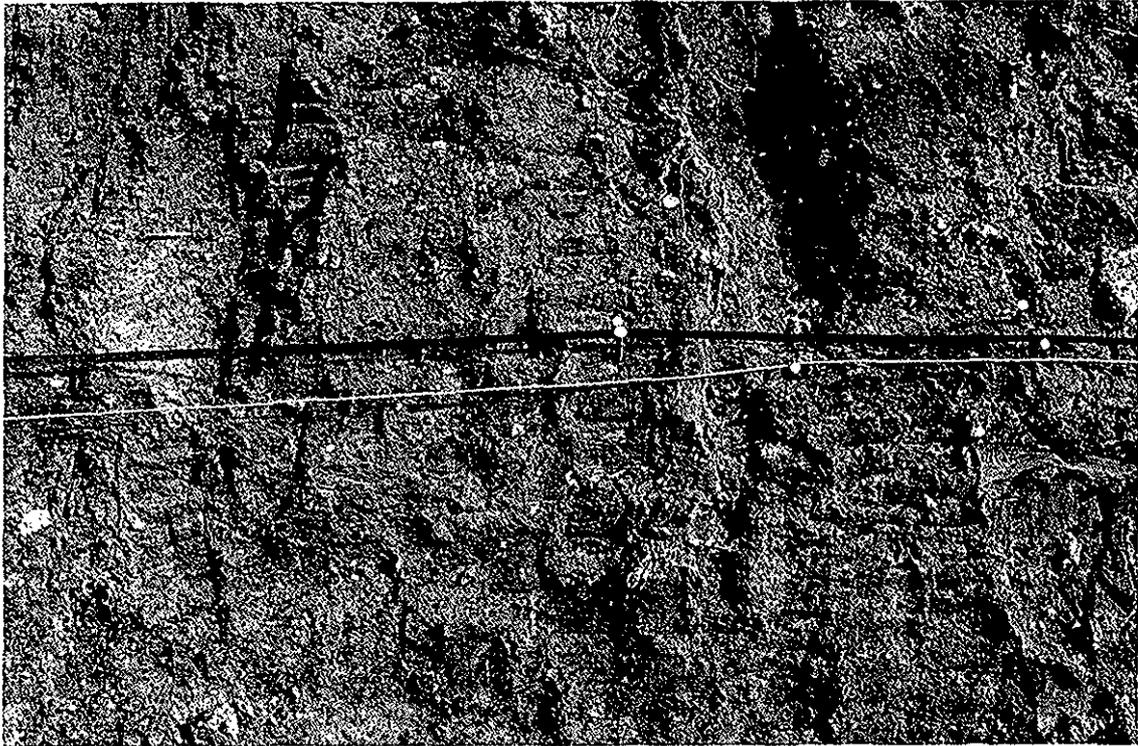


Fig. 16 Karakteristisk pseudogley-marmorering med vekslende grå og brune partier i Bg/Ccag-horisonten i profil H. Målebåndet er placeret i cirka 1 m's dybde.

4.1.8 Sammenfatning

Stratigrafi

Palæocene marine aflejringer af hårdnet grønsandskalk udgør de øverste prækvartære aflejringer i Fredsvang. Den overlejrende glaciale lagserie er ca. 15 m mægtig og er primært udviklet som moræneler med tydeligt lokalmorænepræg (Palæocent materiale) i den nederste halvdel. I ca. 5 m's dybde optræder et ca. 1 m tykt diluvialt sandlag, der er udbredt i hele området omkring Fredsvang.

Endvidere er truffet sandslirer og et ca. 20 cm tyndt sandlag i ca. 10 m's dybde. Det øverste sandlag er udbredt lokalt i hele Køgebugtområdet syd for Solrød.

Opmåling af sprækker

Der er gennemført detaljeret undersøgelse af inhomogeniteter i to 6 m dybe morænelersprofiler. Opmålingen af profilerne viser, at sprækker udgør et væsentligt strukturelt element i den oxiderede zone af moræneleren (øverste ca. 3 m), mens sprækker sjældent er markeret visuelt til større dybde end 0,5 m i den reducerede zone. Der er dog iagttaget flader med "slickensides", som formentlig repræsenterer forkastninger dybere i den reducerede moræneler.

Sprækkedannelse

De opmålte sprækker i Fredsvang er fortrinsvis subvertikale og kan opdeles i to grupper med hver deres dannelsesmåde. Inden for den øverste meter dominerer frost/tø- og udtørings-sprækker uden foretrukken orientering, mens de dybere sprækker følger to foretrukne retninger, svarende til et konjurerende forkastningssæt, der sandsynligvis har glacialteknisk oprindelse.

Mineralogi

Der har ikke kunne påvises væsentlig lermi-neralogisk variation eller kornstørrelsesvariation i forbindelse med sprækkerne. Der er påvist generel kalkudvaskning til ca. 0,6 m's dybde og en vis genudfældning af kalken i sprækker ned til ca. 2 m's dybde.

Sprækker og rødder

Fra ca. 0,5 m's dybde er makroporer og sprækker rodledende. Dette er et generelt træk for lerjorde, hvor rødder ofte findes som måtter i sprækkeplaner. I Fredsvang er sprækkerne rodholdige gennem hele den oxide-

rede zone, mens den typiske effektive roddybde i forbindelse med markafgrøderne græs, byg og hvede er ca. 1,5 m på lerjorde.

Jordbundsforhold

Jordbundsudviklingen i Fredsvang bærer præg af periodevis vandmætning, og jordbundsprofilerne er udviklet som typiske pseudogleyprofiler. Pseudogleyprægets karakteristiske grå/brune marmorering er udviklet omkring sprækker og makroporer fra ca. 0,5 m's dybde og findes omkring sprækker gennem hele den oxiderede zone af moræneleren, og altid i forbindelse med rødder og rodrester.

4.2 HYDROGEOLOGI OG VANDINDVINDING

Selvom store dele af Østdanmark dækkes af moræneler har disse aflejrings hydrogeologi tidligere kun påkaldt sig mindre opmærksomhed. Kendskabet til infiltrationsmekanismerne i moræneler er derfor på et lavt detaljeringsniveau, og i daglig praksis regnes moræneler ofte for vandstandsende på trods af at de mest intensivt udnyttede grundvandsforekomster ofte findes under store morænelersområder, f.eks. i Køgebugt-området.

I dette afsnit beskrives områdets hydrogeologi og infiltrationsmekanismerne i den glaciæle lagserie ud fra reservoir- og vandindvindingsforhold, samt ud fra data om lagseriens inhomogeniteter i kombination med grundvandskemiske data for klorid og tritium.

4.2.1 Grundvandsreservoirer

Sekundære grundvandsreservoir

Geologisk basisdata viser, at det øvre smeltvandssand (DC i afsnit 4.1) udgør et sekundært grundvandsreservoir med udbredelse i store dele af området syd for Havdrup. Dette fremgår også af det geologiske profil, fig. 17, hvor reservoiret findes både nord og syd for Fredsvang.

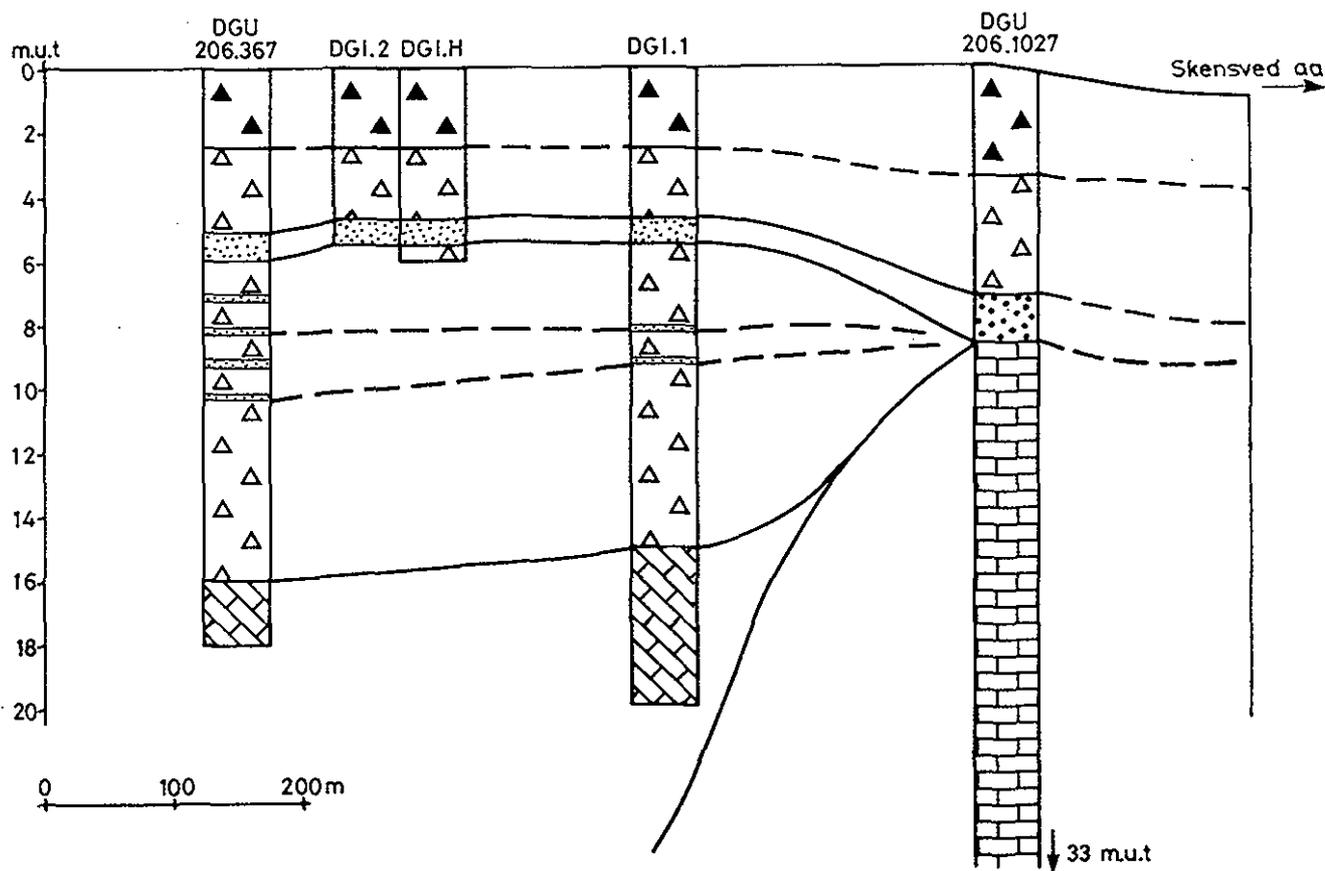
Primære grundvandsreservoir

Det primære reservoir opbygges mod nord i profilet af de Paleocæne grønsandsaflejringer. Mod syd hæver Danienkalkoverfladen sig, og i takt hermed forsvinder Paleocænet og det nederste morænelersinterval. Herved kommer det sekundære reservoir mod syd ved Skensved Å til at hvile direkte på det pri-

NORD

SNIT A-A'

SYD



- Forvitret moræneler
- Uforvitret moræneler
- Smeltevandssand
- Smeltevandsgrus
- Paleocæn kalksand
- Danien kalk

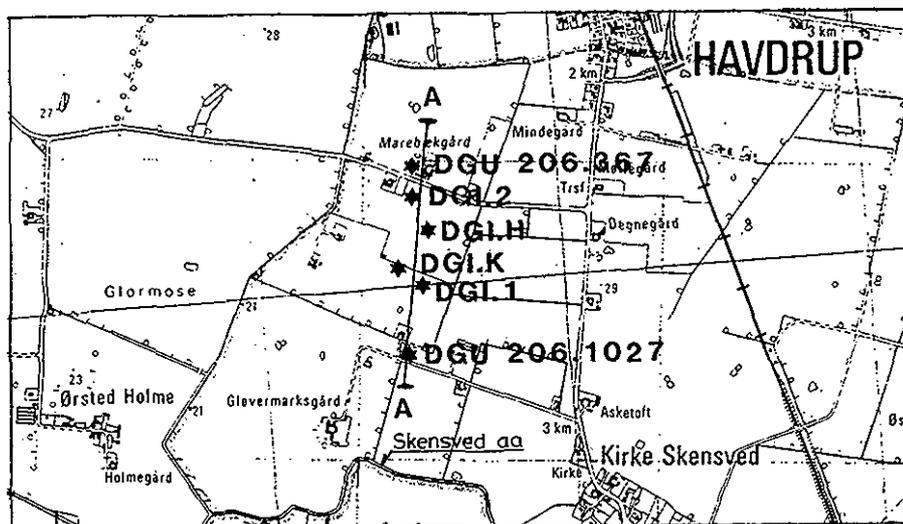


Fig. 17 Geologisk profil fra Fredsvang til Skensved Å. Bemærk det gennemgående diluviale sandlag, der hviler direkte på kalkoverfladen ved Skensved Å.

mære reservoir, som det derved danner hydraulisk kontakt med og bliver en del af, fig. 17.

Reservoirforhold

Pejleresultater i boring 1 viser, at det sekundære reservoir har artesisk vandspejl i vinterhalvåret og frit vandspejl i sommerhalvåret. I det primære reservoir er der permanent artesiske forhold, og pejleresultaterne viser endvidere, at der er nedadrettet potentialegradient fra det sekundære mod det primære reservoir, bilag I.

Lækageforhold

På grund af det sekundære reservoirs store udbredelse i området og dets direkte hydrauliske kontakt til det primære reservoir ved Skensved Å, må en væsentlig del af oplandets nedbør (på trods af den nedadrettede hydrauliske gradient) forventes at strømme af lateralt via det øvre smeltevandssand til det primære reservoir, delvis udenom det nederste morænelersinterval i Fredsvang.

4.2.2 Vandindvinding

Før 1952

Indtil 1952 var områdets vandforsyning primært baseret på brønde i det sekundære grundvandsreservoir, og der skete kun begrænset udnyttelse af grundvandsforekomsten i det primære reservoir.

Efter 1952

I 1952 etablerede Københavns Vandforsyning en kildeplads ved Havdrup. Indvindingen herfra lå indtil 1970-71 på et konstant niveau, omkring 3 mill. m³/år fra det primære reservoir. Herefter aftog indvindingen ca. 25% over en femårig periode til sit nuværende niveau /6/. Ved indvindingens opstart i 1952 blev samtlige brønde (idet sekundære reservoir) i området tørlagt. Tørlægningen skete

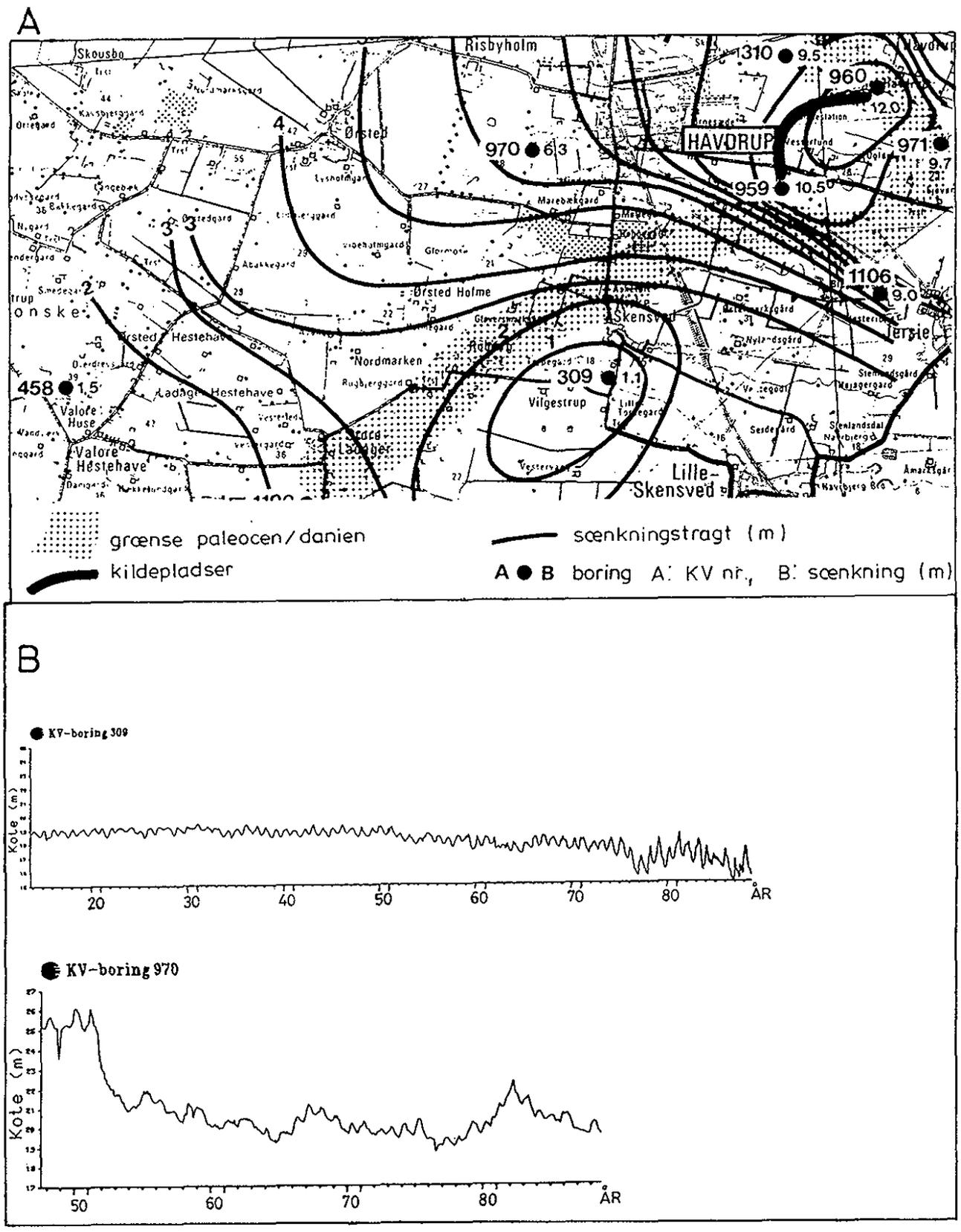


Fig. 18 A: Grundvandssækningen i det primære reservoir siden 1952.
 B: Pejleserier for to borer nord og syd for Fredsvang,
 /6/.

i sommeren umiddelbart efter opstarten og samtidig i alle områdets brønde /7/. Den hurtige respons på indvindingen i det primære reservoir, indikerer i overensstemmelse med de geologiske data, fig. 17 umiddelbar, hydraulisk kontakt mellem de to reservoirniveauer.

Grundvandssænkning

Siden indvindingens start i 1952 og indtil 1964 har grundvandsspejlet været faldende. Fig. 18 viser de observerede sænkninger i det primære reservoir i året 1964, hvor vandstanden nåede sit laveste niveau. Ved Fredsvang er sænkningen cirka 4 meter. Pejleserierne i området viser, at potentialet i kalkreservoiret siden 1964 har været konstant eller svagt stigende, fig. 18. Da potentialeniveauet i det sekundære reservoir formentlig også har været uændret i samme periode forventes potentialegradienten og dermed lækagen mellem sekundært og primært reservoirniveau at have været nær konstant siden 1964.

4.2.3 Grundvandsinfiltration

4.2.3.1 Sprækker og vandmætning

Vandindholdet omkring sprækkerne i morænen fremgår af fig. 19 a. Mens der ikke er forskel mellem vandindholdet i sprækker og matrix i den reducerede zone, aftager vandindholdet i den oxiderede zone fra sprækken og ind i matrixen. Variationen i den oxiderede zone skyldes formentlig forskelle i morænenes porøsitet omkring sprækkerne. Prøvetagningen er foretaget i oktober måned.

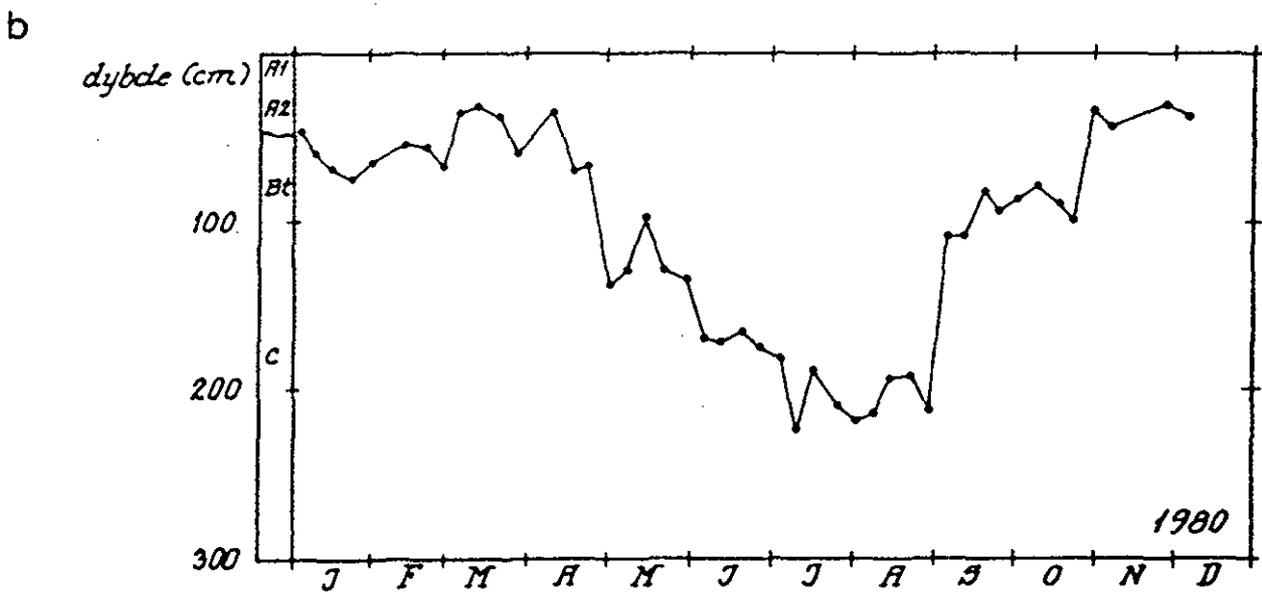
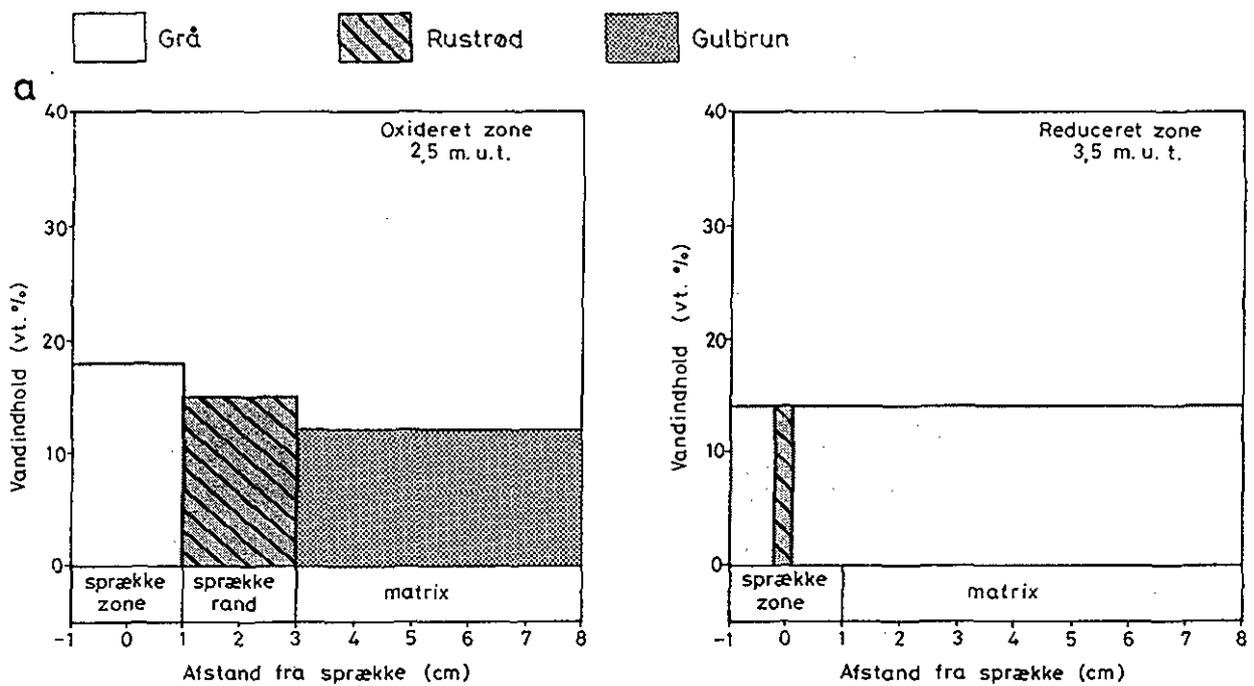


Fig. 19 a: Vandindholdets variation fra sprække til matrix i den oxiderede og reducerede moræner.
 b: Eksempel på grundvandsstandens variation i en pseudoglej jord på moræner ved Glumsø, Midtsjælland, /4/.

Permanent og temporær vandmætning

Morænen matrix vil normalt være permanent vandfyldt fra pseudogleypræget begyndelse i ca. 0,5 m's dybde, mens sprækkerne og makroporerne kun er vandmættede i vintersæsonen (temporær vandmætning) /24/. At planterødderne fortrinsvis benytter sprækkerne (for at kunne ånde) indikerer tillige sprækkernes luftfyldte tilstand i vækstsæsonen.

I den reducerede zone er der permanent vandmættede forhold, hvilket fremgår både af lermineralernes reducerede jernindhold, iagttaget vandudsivning fra sprækker og af røddernes generelle fravær i zonen. Således udgør forvittringsgrænsen mellem den oxiderede og reducerede moræneler, grænsen mellem permanent og temporært mættede grundvandsforhold i sprækkesystemet.

Grundvandsstandes årstidsvariation

Grundvandsstandens årstidsvariation i morænen er ikke målt i Fredsvang, men der kan formentlig analogisluttes til andre Midt-sjællandske pseudogleyjorde på moræneler.

Et sådant eksempel er vist i fig. 19 b, hvor grundvandstandens årstidsvariation er målt i en pseudogleyjord ved Glumsø /4/.

I sommersæsonen er der i eksemplet umættede forhold ned til 2-2.5 m u.t., mens grundvandsstanden stiger springvist helt op til 0.5 m u.t. i vinterperioden. Denne dybde vil være sammenfaldende med overgrænsen for udvikling af jordbundens pseudogleypræg (ca. 0,5 m's dybde som i Fredsvang). Generelt er jorde med pseudogleyudvikling præget af store variationer i "grundvandsstanden" og der kan også i sommerperioden ske forbigående vandmætning i forbindelse med kraftig nedbør. Formentlig er de store variationer i

grundvandsstanden primært udtryk for opfyldningen og tømningen af makroporer og sprækker. Dette svarer til en lille effektiv porøsitet og en deraf følgende høj vandpartikel hastighed gennem leren. Det fremgår tillige af eksemplet, at grundvandsdannelsen, der fortrinsvis ligger i vinterhalvåret sker under vandmætning af sprækker og makroporer.

4.2.3.2 Sprækker og klorid

Klorid og sprækker

Kloridindholdets variation fra sprækkerne og ind i matrixen er vist i fig. 20 a. Det ses, at kloridindholdet (profil K) er væsentlig lavere i sprækkerne end i matrixen. Denne fordeling er mest udtalt i den forvitrede moræneler (2.5 m u.t.), hvor stigningen fra sprække til matrix er ca. fire gange så stor som i den uforvitrede zone (3.5 m u.t.).

Klorid og gyllebelastning

De høje kloridværdier i morænelersmatrixen skyldes kraftig gyllebelastning på markarealet i perioden 1978-81, hvor der blev drevet svinefabrik på Fredsvang (Marebækgård). Belastning med gylle kan i ekstreme tilfælde give kloridindhold på 200-300 mg/l i det nedsivende vand /13/. At kloridniveauet på markområdet er belastningsbetinget fremgår af, at det er væsentligt forhøjet i forhold til kloridniveauet i plantagen, hvor der ikke er spredt gylle, fig. 20 b.

Kloridudvaskning i sprækker

Det nuværende lave kloridindhold i sprækkerne på markområdet indikerer, at de er hydraulisk aktive med kloridfattigt vand, svarende til en væsentligt mindre kloridbelastning på markarealet siden 1981 (afs. 4.5). Dette synes også at gælde sandsliren i boring 1, idet der i moræneleren nær denne,

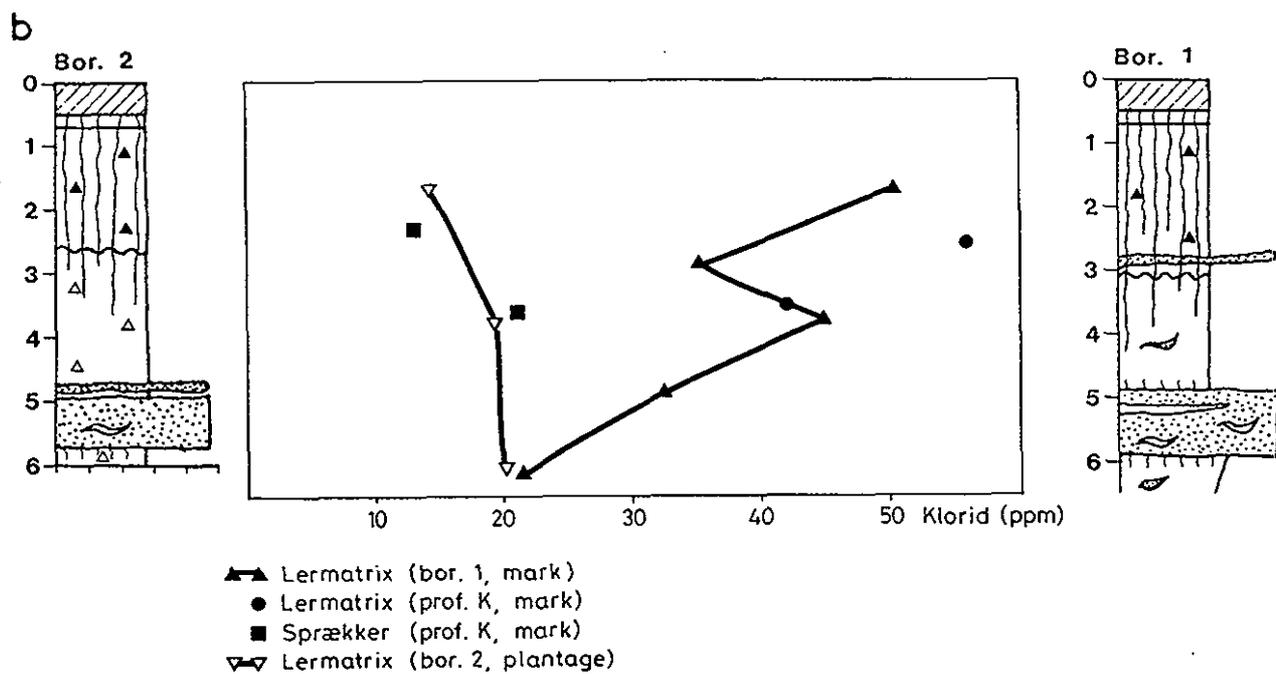
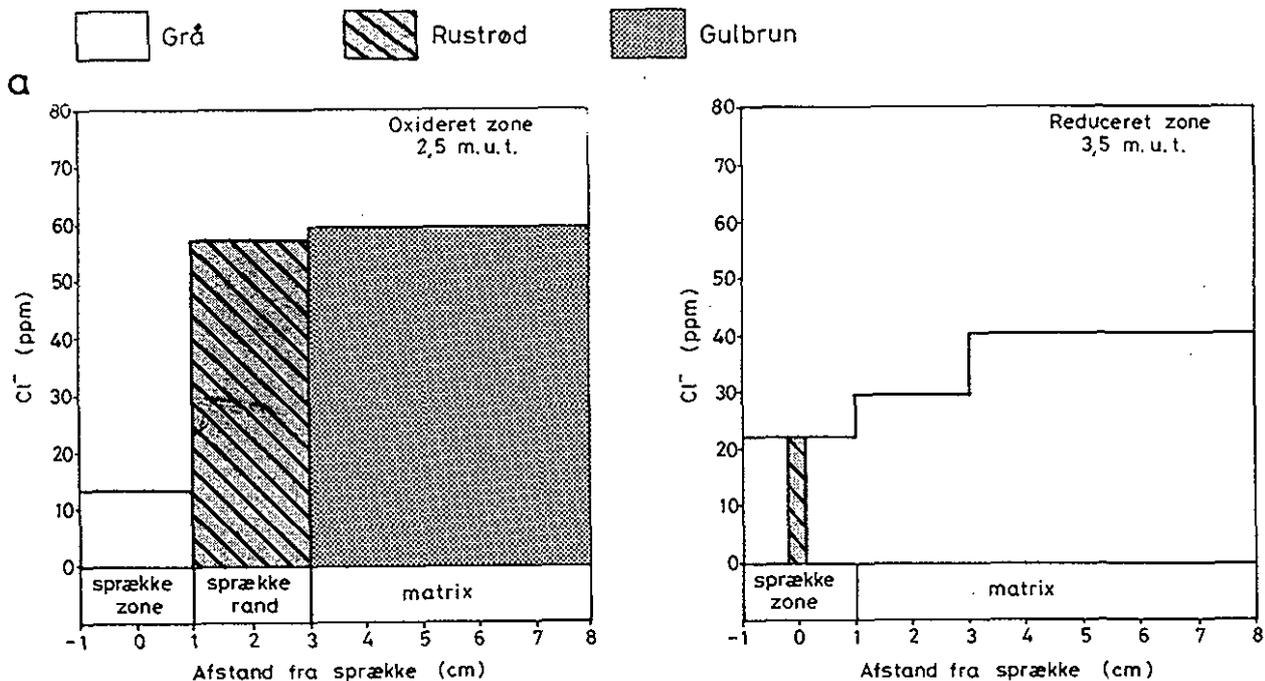


Fig. 20 a: Variationen af lerens kloridindhold fra sprække til matrix i 2,5 og 3,5 m's dybde på markområdet.
 b: Sammenligning af kloridindholdet i lermatrixen på markområdet og i plantageområdet. Endvidere er vist kloridfordelingen omkring sprækkerne, og omkring sandsliren i boring 1 (markområdet).

ligeledes er målt lavt kloridindhold. Slut-
teligt fremgår det af fig. 20 b, at udvask-
ningen i sprækkerne har reduceret kloridind-
holdet heri til samme lave niveau som ni-
veaet i lermatrixen i plantagen.

Sprækkernes hydrau-
liske egenskaber

Kloridfordelingen omkring sprækkerne og
sandsliren indikerer således deres hydrau-
liske aktivitet. Kloridgradienterne henimod
sprækkerne og bevarelsen af det høje klorid-
niveau i matrixen sandsynliggør endvidere,
at matrixstrømningen sker som en kombineret
langsom diffusiv og advektiv proces. Spræk-
kernes videre hydrauliske kontakt nedefter
og deres rolle som morænelerens vandled-
ningssystem behandles i det følgende afsnit.

4.2.3.3 Tritium i nedbøren og i lagserien

Tritiums
oprindelse

Den radioaktive brintisotop Tritium har en
halveringstid på 13,3 år, og en naturlig
forekomst på ca. <10 tritiumenheder (TU) i
overfladevand /8/.

Nedbørens tritium-
indhold

I 1950'erne og 60'erne forårsagede atomprø-
vesprængninger en drastisk forøgelse af ned-
børens tritiumindhold, der er afbildet i
fig. 21 a b /8/, /9/. Efter de høje triti-
umindhold i 60'erne, har indholdet i perio-
den 1965-78 ligget på et nogenlunde konstant
eller svagt faldende niveau, med årsmiddel-
værdier på 100-150 TU (fig. 21a). Siden
1978, med en årsmiddelværdi omkring 100 TU,
er nedbørens tritiumindhold aftaget til mi-
nimumsværdien 10 TU i 1986 efterfulgt af en
svag stigning i 1987 (fig. 21b).

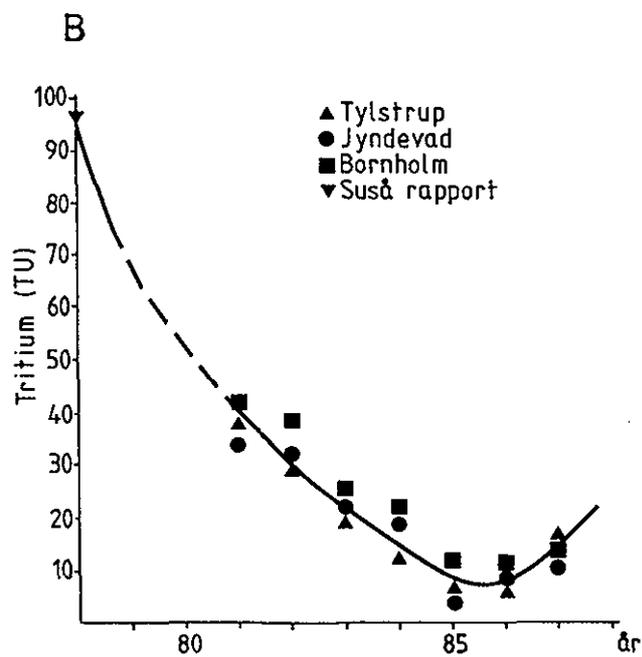
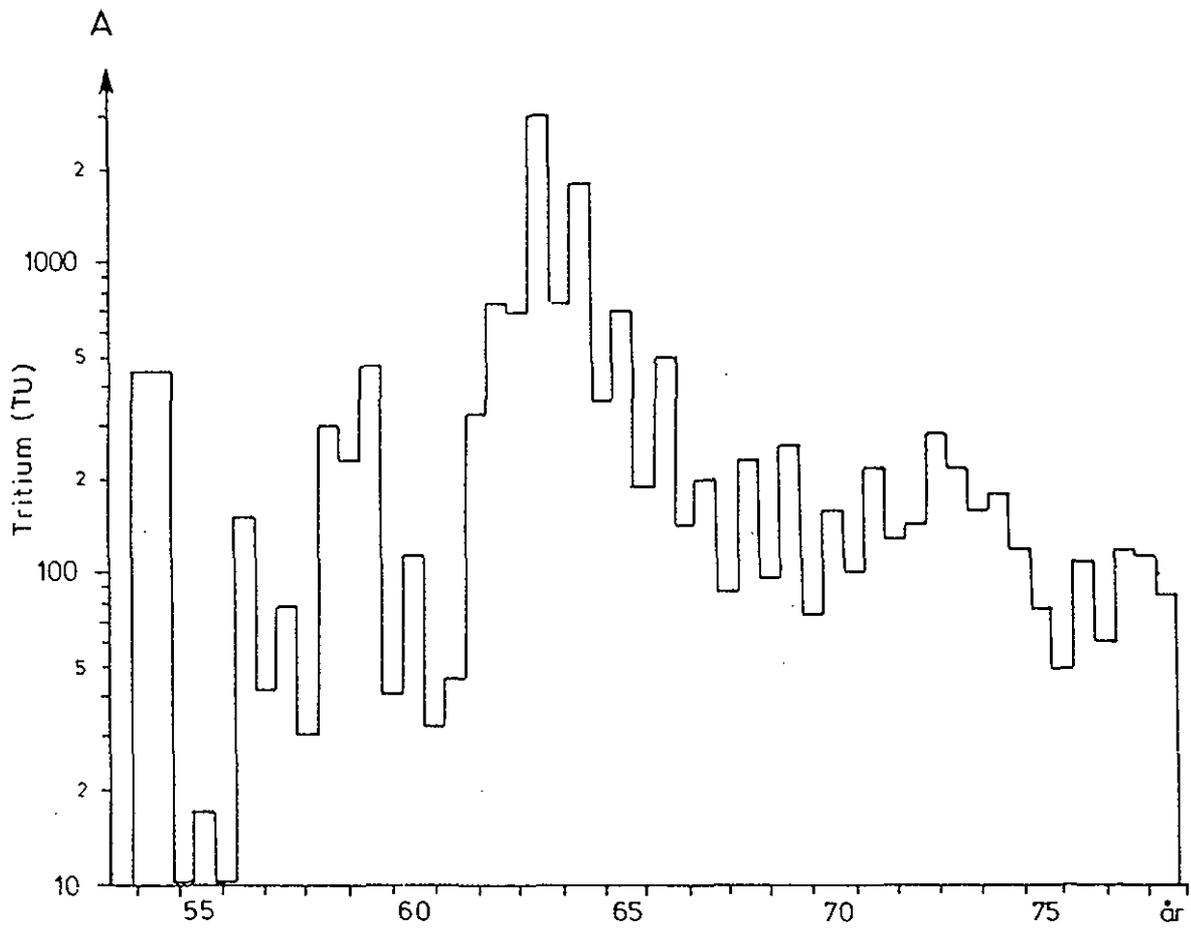


Fig. 21 Udviklingen af nedbørens tritiumindhold.
 A: Halvårsmiddelværdier fra 1953-78, /9/.
 B: Årsmiddelværdier fra 1978-87, /8/.

Tritium som
grundvandstraceer

Anvendt som traceer i grundvandet indikerer tritiumfrit grundvand, at vandet er infiltreret inden 1953. På grund af aflejringerne hydrauliske inhomogenitet vil yngre og ældre grundvand normalt blandes under infiltrationen. Hertil kommer muligheden for diffusiv transport af tritium til og fra hydraulisk aktive sprækker f.eks. i moræneler. I forbindelse med tritiumbelastet 50'er og 60'er nedbør har diffusionsgradienterne været rettet væk fra sprækkerne, og tritium er trængt indtil ca. 2 meter ind i lermatrixen /10/, /11/. Omvendt vil gradienten i dag være rettet fra lermatrixen mod sprækkerne, når disse er hydraulisk aktive med ungt tritiumfattigt vand.

Processerne betyder tilsammen, at tritiumfordelingen i grundvandet normalt vil være ændret betydeligt i forhold til den oprindelige fordeling i nedbøren. Derfor genfindes nedbørens tidslige tritiumfordeling (korri-geret for radioaktivt henfald), kun i hydraulisk homogene aflejringer, hvor infiltrationen sker som en jævn front (stempelstrømning).

Tritium i Freds-
vang

I fig. 22 er lagserien i boring 1 sammenstillet med fordelingen af tritium i moræ-
nens matrix, og herudover er vist tritium-
indholdet i vandprøver fra det sekundære- og
det primære grundvandsreservoir.

Tritiumprofilet i
og over det sekun-
dære reservoir

Øverst i lagserien ses tritiumværdierne at
stige ned mod det sekundære grundvandsreser-
voir (DC), mens tritiumværdien i selve re-
servoiret ligger på næsten samme lave ni-
veau, som målt nærmest ved terræn. Ses dette
i sammenhæng med nedbørens aftagende triti-
umindhold siden begyndelse af 70'erne, viser

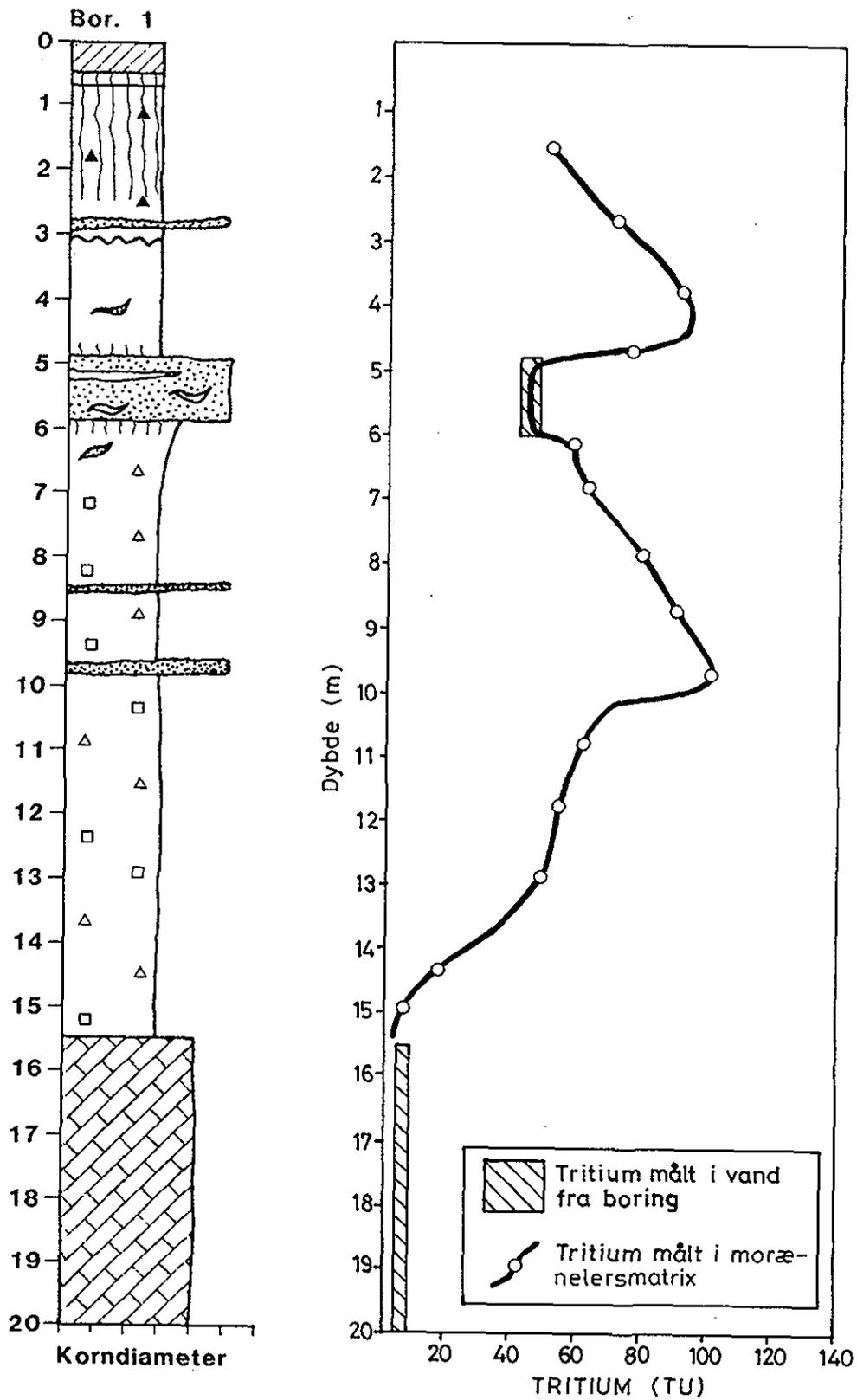


Fig. 22 Sammenstilling af tritiumprofilen og lagserien i boring 1. Signaturforklaring til lagserien findes på fig. 6.

fordelingen, at vandet i det sekundære reservoir er yngre end vandet i lermatrixen ovenover. Vandet i reservoiret kan (i overensstemmelse med kloridfordelingen omkring sprækkerne) derfor kun i meget ringe omfang være transmitteret gennem lermatrixen.

Ved DGU's jordartskartering (øverste meter) er der ikke truffet sand nogen steder i området. Sammen med reservoirets stabilt beliggenhed i 5-6 m's dybde (se fig. 6), taler dette imod, at det unge vand er tilført ved, at sandlaget har hydraulisk kontakt med terrænoverfladen opstrøms for boringen. Derimod taler sprækkernes forekomst og de kemiske indicier (kloridfordelingen omkring sprækkerne), for at en væsentlig del af infiltration til reservoiret sker via sprækkerne. Det høje tritiumindhold i morænen matrix vil i analogi med kloridfordelingen omkring sprækkerne, fig. 20, være diffusionsbetingede residualværdier fra ældre mere tritiumbelastet vand. Det stigende tritiumindhold, ned mod reservoiret (DC), kan i nogen grad afspejle vandets tiltagende alder mod dybden, men skyldes formentlig primært en aftagende sprækketæthed nedefter. Sidstnævnte forhold betyder, at gennemsnitsdiffusionsafstanden til sprækkerne vokser med dybden, hvorved "udvaskningsraten" pr. matrixvolumen aftager.

Tritiumprofilet under det sekundære reservoir (DC) stiger der det sekundære tritiumindholdet til sin maximale værdi ca. 100 TU, umiddelbart over sandlaget i 10 m's dybde. Det bør bemærkes, at tritiumprofilet i dette interval er en repetition af profilet over det sekundære reservoir. Repetitionen skyldes, at infiltrationen sker med relativt ungt vand både over og under det sekundære

reservoir. Ligesom det øvre sandlag forsynes det nedre sandlag, sandsynligvis med vand gennem morænen inhomogeniteter. Dette støttes af, at der er målt nitratværdier i forbindelse med sandlaget i 10 m's dybde (se afsnit 4.6). Det lidt højere tritiumniveau nederst i denne del af profilet, indikerer dog samtidig en vis advektiv eller diffusiv påvirkning af tritiumniveauet med grundvand, der er ældre, end det er tilfældet over det sekundære reservoir (DC).

Overordnet vandbevægelse i Fredsvang I den underste del af den glaciale lagserie aftager tritiumindholdet ned til det primære reservoir, hvor vandet omtrent er tritiumfrit (infiltreret før 1953). Alderskontrasten mellem den øverste og den underste del af tritiumprofilet skyldes sandsynligvis både, at størstedelen af nedsivningen strømmer af lateralt i sandlagene over 10 m's niveauet, og at moræneleren under det nederste sandlag kun indeholder få eller ingen hydraulisk aktive inhomogeniteter og dermed har en mindre vertikal vandbevægelse.

Tritiumprofilet deler således lagserien op i en øvre hydraulisk aktiv del, og en nedre mindre hydraulisk aktiv del. Øverst i den hydraulisk aktive del viser tritiumfordelingen, at en væsentlig del af vandbevægelsen må ske i sprækker, sandlirer og sandlag i morænen. I den nedre mindre hydraulisk aktive del sker vandbevægelsen derimod sandsynligvis overvejende ved langsom vertikal stempelstrømning i morænen matrix.

Det bør endvidere bemærkes, at dette overordnede strømningsbillede svarer til områ-

dets hydrogeologiske opbygning, hvor det sekundære grundvandsreservoir har direkte hydraulisk kontakt med det primære reservoir ca. 300 m syd for boring 1.

4.2.4 Sammenfatning

- pejleresultater i det sekundære og primære reservoir viser, at der er nedadrettet hydraulisk gradient gennem lagserien i Fredsvang. I vinterhalvåret er der artesiske forhold i begge reservoirniveauer, mens der er frit grundvandsspejl i det sekundære reservoir i sommerhalvåret.
- undersøgelseslokalitetens markareal har tidligere været udsat for kraftig kloridbelastning (gylle). Høje kloridindhold i lermatrix og lave kloridindhold i sprækker og sandslirer indikerer udvaskning i morænelerens inhomogeniteter og dermed, at disse er hydraulisk aktive.
- efter meget høje tritiumindhold i 60'erne har nedbørens tritiumindhold i perioden 1965-78 ligget på et nogenlunde konstant eller svagt faldende niveau med årsmiddelværdier på 100-150 TU. Efter 1978 er niveauet faldet fra ca. 100 TU til 10-20 TU i 1987.
- fordelingen med de påviste høje tritiumværdier (op til 90 TU) i moræneleren over det sekundære grundvandsreservoir (5-6 m u.t.), og lave tritiumværdier (ca. 45 TU) i selve reservoiret viser, at vandet i det sekundære reservoir er yngre end vandet i lermatrixen over reservoiret. Da det sekundære grundvandsreservoir (sandlaget) ingen steder i området "går i dagen", må

infiltrationen til reservoiret være sket gennem sandslirer og sprækkesystemet, der på denne baggrund vurderes at udgøre morænelerens primære vandledningssystem.

- ud fra høje tritiumaldre nederst i morænersprofilen vurderes der at være aftagende vertikal vandbevægelse gennem den nederste del af lagserien. Vandudvekslingen til det primære reservoir vurderes i stedet fortrinsvis at ske ved lateral strømning i det sekundære reservoir til områder med direkte hydraulisk kontakt (bl.a. ved Skensved å) til det primære reservoir.

4.3 STOFOMSÆTNING I SPRÆKKET MORÆNELER

Som det fremgår af det foregående afsnit, er der sikre indicier for, at en væsentlig del af grundvandsbevægelsen i moræneleren sker i sprækker og makroporer.

De færreste stoffer, herunder forureningskomponenter, transporteres imidlertid konservativt med grundvandet. En væsentlig årsag hertil er, at de fleste stoffer deltager i kemiske processer, der i forskellig grad omsætter eller tilbageholder dem i aflejringerne.

Geokemiske
submiljøer

Alene ud fra en visuel bedømmelse af morænen er det tydeligt, at der i forbindelse med farvezoneringen omkring sprækkerne og makroporerne er udviklet forskellige geokemiske submiljøer, der må forventes at påvirke betingelserne for stoftransporten og stofomsætningen i moræneleren.

Undersøgelses
strategi

Den følgende beskrivelse af de geobiokemiske forhold i morænelerens sprækker og makroporer, bygger på kemiske "fingeraftryk" af porevandskemi, bl.a. i form af sekundære mineraludfældninger. Der er således tale om indirekte bestemmelse af porevands sammensætning, og som følge heraf hviler afsnittets konklusioner på rent ligevægtskemiske betragtninger, vurderet ud fra det sekundære geokemiske miljø. Denne fremgangsmåde kan være problematisk i forhold til stoftransport i sprækker og makroporer, hvor vandbevægelsen lejlighedsvis må forventes at være så hurtig, at vandkemi ikke når at komme i ligevægt med det omgivende sekundære geokemiske miljø. Problemet er dog reduceret

mest muligt ved kun at anvende reaktive forbindelser og veldokumenterede relationer mellem porevandsprocesser og deres geokemiske reaktionsprodukter.

Geokemiske indikatorparametre

Sekundære jern- og aluminiumforbindelser er blandt de mest anvendte og veldokumenterede procesindikatorer inden for kemisk sedimentologi og pedologi. Både jern- og aluminiumforbindelserne er reaktive og vil i kombination afspejle bl.a. redoxbetingelserne for stoftransporten /4/.

De sekundære Fe-forbindelser består af Fe (III)oxyder/hydroxyder/oxyhydroxyder i mere eller mindre krystallinsk form, mens sekundært aluminium fortrinsvis forekommer som hydroxyder. Analyserne for det sekundære jern og aluminium (CBD-Fe og CBD-aluminium) er udført på de samme prøver som analyserne for kornstørrelse og mineralogi (se afsnit 4.1 og bilag V, s. 119). Analyseresultaterne betragtes som tidligere nævnt som generelt repræsentative for sprækkerne i Fredsvang, idet zoneringsen omkring sprækkerne optræder ens i de to profiler.

4.3.1 Fordeling af sekundært jern og aluminium

Fordeling af sesquioxider

Fordelingen af CBD-jern og CBD-aluminium i den oxiderede zone, fig. 23, viser, at der er et markant mindre indhold af jern i den grå sprækkezone end i matrixen, og at der i den rustrøde bræmme på overgange til matrixen er sket en kraftig berigelse af jernindholdet. Aluminium følger samme mønster, men med en væsentlig svagere tendens, svarende

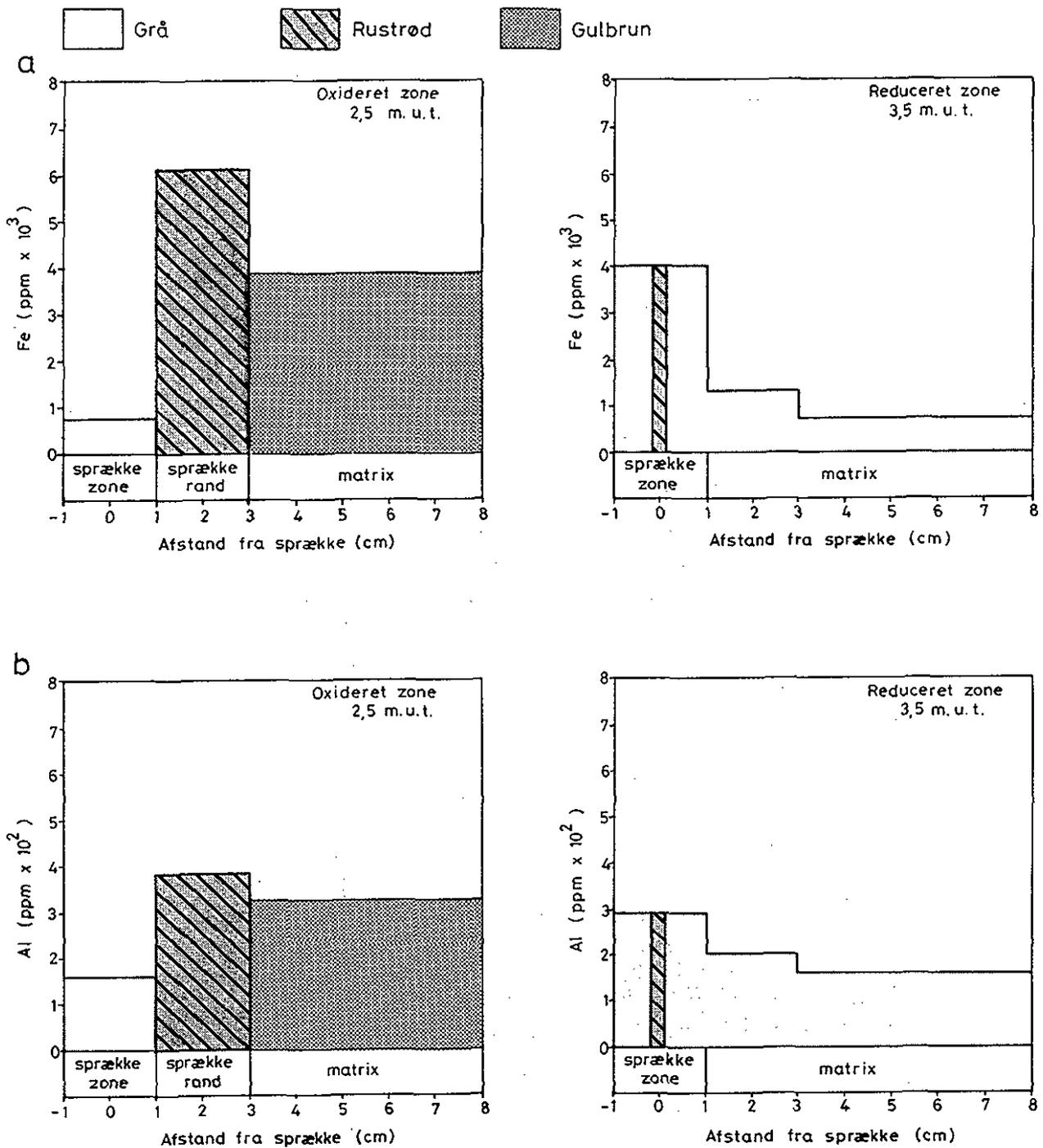


Fig. 23 Variationen fra sprække til matrix af (a) ferrijern og (b) aluminium i sekundære mineraler (CBD-ekstraherbare). I 2,5 m's dybde er lerprocenten i sprækkezone, sprække-rand og matrix hhv. 20, 18 og 19. I 3,5 m's dybde er lerprocenten i sprækkezone og matrix hhv. 22 og 18-21.

til den co-udfældning/opløsning af aluminium, der vil være knyttet til indholdet af sekundære jernforbindelser.

I sprækkerne i den reducerede moræneler, fig. 23, er der modsat sprækkerne i den oxiderede zone en markant berigelse af jern, der igen følges af en mindre aluminiumberigelse. Indholdet af begge stoffer aftager gradvist ud i lermatrixen.

Gråfarvning og
rødder

Gråfarvningen af sprækker (pseudogleying) er som nævnt i afsnit 4.2.8 altid associeret med organisk materiale, primært i form af rødder. Når gråfarvningen næsten konsekvent er knyttet til sprækker og makroporer i den oxiderede moræneler skyldes det, at rødderne næsten udelukkende er begrænset hertil, se afsnit 4.2.6.

4.3.2 Pseudogleyprocessen

Procesforløbet

Farvezonering omkring sprækker i oxideret moræneler er et veldokumenteret fænomen i selve jordbunden i pseudogleyjorde. Her forklares zoneringsen ved, at der under temporær vandmætning (primært i vinterhalvåret) udvikles reducerende betingelser i jordbundens makroporesystem, mens der stadig er aerobe forhold i lermatrixen mellem sprækkerne. Under de reducerende betingelser bliver de sekundære jernforbindelser reduceret og opløst som ferrojern, der trænger ind i matrixen og genudfældes som ferrijernforbindelser. Ved denne proces gråfarves (afbleges) sprækkerne, mens det genudfældede jern danner en rustrød brømme i randen af den grå zone omkring sprækken /4/.

Danske morænejorde
og pseudogleying

En stor del af de danske morænejorde har pseudogleypræg under en eller anden form /4/. Fra Munkeskov nær Køge, ses nedenfor et eksempel på en pseudogleyjord, hvor fordelingen af sekundært jern og aluminium er analyseret fra en sprække og ind i lermatriksen i jordens Btg-horisont (ca. 0.5 m's dybde), /4/.

Sekundært jern og aluminium	Fe o/oo	Al o/oo	ler o/o	Fe/ler	Al/ler
Grå sprækkezone	0,22	0,07	15	0,015	0,005
Rødbrun brønne	1,95	0,12	28	0,069	0,004
Gulbrun matrix	0,70	0,11	28	0,025	0,004

Sammenlignes eksemplet med resultaterne fra den oxiderede zone i Fredsvang, fig. 23, ses fordelingerne at være identiske. Der er således sket jernberigelse i den rustrøde brønne på bekostning af jernindholdet i den afblegede grå zone. Herudover er der sandsynligvis ikke sket berigelse af aluminium udover det bidrag, der som tidligere nævnt må forventes ved co-udfældning/opløsning af aluminium under mobilisering af de sekundære jernforbindelserne. Den selektive mobilisering af jernet viser således, at opløsningen er redoxbetinget og ikke betinget af f.eks. Fe/Al-komplexering med humussyre, idet sidstnævnte proces ville have mobiliseret jern og aluminium i samme grad /4/.

Redoxmiljøer i
moræneleren

Sammenfattende viser resultaterne, at der under grundvandsinfiltrationen (vandmætning i sprækker og makroporer i vintersæsonen) i sprækkerne, i den oxiderede zone, udvikles reducerende forhold med så lavt redoxpoten-



Fig. 24 Frigravet grå sprækkeflade med rodrester t.v. i billedet i den oxiderede zone (2 m.u.t.). Gråfarvningen (jernreduktionen) omkring sprækkerne i moræneleren er altid associeret med rødder og rodrester.

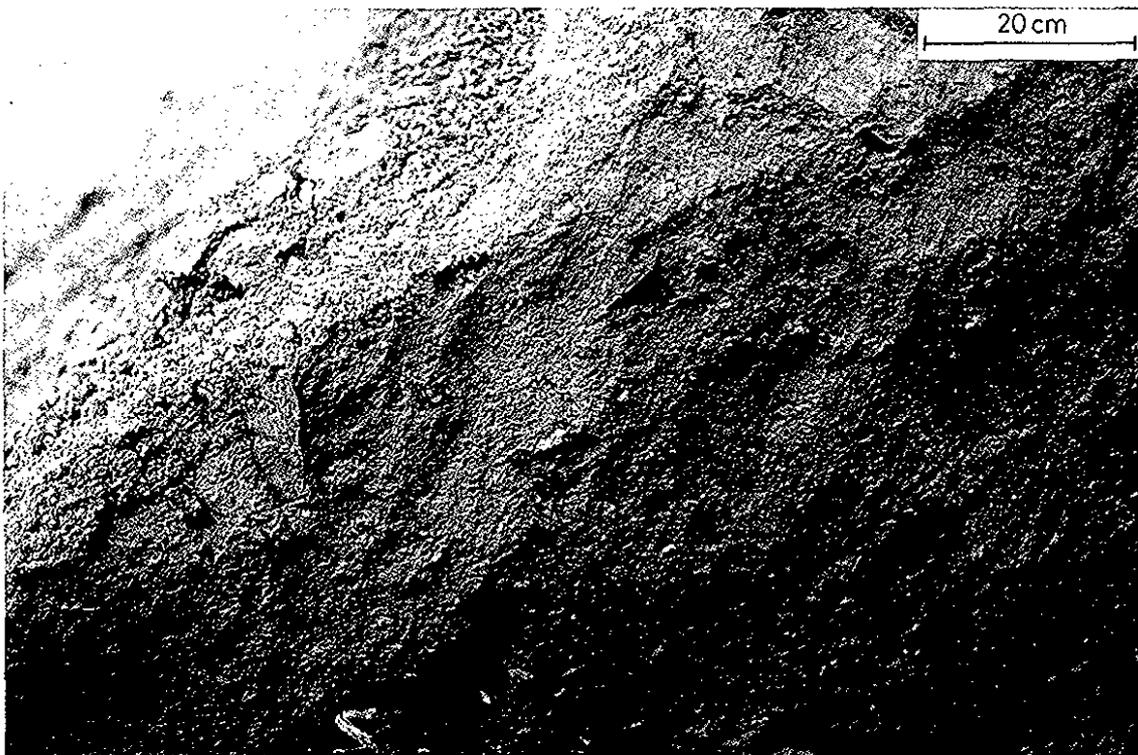


Fig. 25 Frigravet rustbelagt sprækkeflade i den reducerede zone (3,5 m.u.t.). Sammenhængen mellem reduktionen af de sekundære ferrijernminerale og nedbrydningen af rodrester (organisk materiale) fremgår af den lokale jernreduktion (gråfarvning) omkring de nedbrudte rodpartier på sprækkefladen.

tiale, at de sekundære jernforbindelser reduceres. Samtidig opretholdes sommerhalvårets aerobe forhold i lermatrixen mellem sprækkerne.

I den reducerede zone sker der som nævnt en kraftig akkumulation af sekundære Fe-forbindelser i sprækkerne, fig. 23. Umiddelbart virker dette modsætningsfyldt i forhold til, at de samme Fe-forbindelser reduceres og opløses i den oxiderede morænelerszone.

Jernreduktion og
rødder

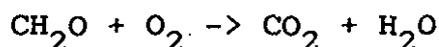
Årsagen er imidlertid som nævnt, at reduktionen og opløsningen af jernforbindelserne i den oxiderede zone, er betinget af rødder og rodrester, fig. 24, der kun undtagelsesvis forekommer i den reducerede zone. Røddernes afgørende betydning for procesforløbet demonstreres tydeligt ved den lokale gråfarvning, der konsekvent er udviklet omkring de enkelte rodpartier, der er trængt ned i de rustbelagte sprækker i den reducerede zone fig. 25.

4.3.3 Geobiokemisk redoxsekvens

Den geobiokemiske processekvens bag udviklingen i de gråfarvede sprækker og makroporer kan beskrives som følger /12/:

Sommerhalvårets
omsætning

I vækstsæsonen med uhindret luftskifte gennem sprækkesystemet og makroporer forbruger rødderne O_2 , mens mikroorganismer nedbryder rodrester under aerob omsætning efter den overordnede reaktion.



hvor CH_2O repræsenterer det organiske materiale.

Vinterhalvårets omsætning

I vinterhalvåret med vandmættede forhold i makroporer og sprækker opbruges O_2 -indholdet og den videre nedbrydning af rod materialet sker under mikrobiel omsætning af NO_3^- samt reduktion af sekundære Mn- og Fe-ilter (CBD-jern og mangan).

Redoxsekvensen

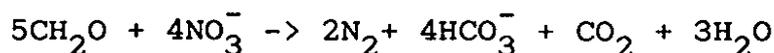
Forbruget af disse iltningmidler sker i en bestemt rækkefølge givet ved den energigevinst mikroorganismene vinder ved omsætning med de enkelte iltningmidler (tabel 3) /12/.

Reaktion	ΔG° (kJ mol ⁻¹ af CH_2O)
$CH_2O + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O$	-475
$5CH_2O + 4NO_3^- \rightarrow 2N_2 + 4HCO_3^- + CO_2 + 3H_2O$	-448
$CH_2O + 3CO_2 + H_2O + 2MnO_2 \rightarrow 2Mn^{++} + 4HCO_3^-$	-349
$CH_2O + 7CO_2 + 4Fe(OH)_3 \rightarrow 4Fe^{++} + 8HCO_3^- + 3H_2O$	-114

Tabel 3 Standard fri energiændringer (ΔG°) for de bakterielle reaktioner i redoxsekvensen. Data for CH_2O og MnO_2 , gælder for henholdsvis sukerose og finkornet birnessit /12/.

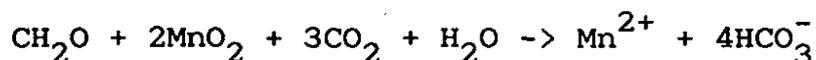
Denitrifikation

Når indholdet af opløst O_2 falder til ~5% af mætningsværdien fortsætter nedbrydningen således ved denitrifikation (mikrobiel omsætning med NO_3^-) efter ligningen:

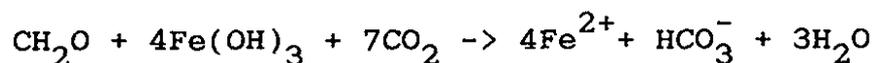


Reduktion af sekundære jern og manganforbindelser

Når både O_2 og NO_3^- er opbrugt bliver de egentlige anaerobe mikroorganismer vigtige. Disse udnytter den ilt, der findes i Mn- og Fe-forbindelserne henholdsvis efter ligningerne



og



Ved den sidste proces reduceres og opløses de sekundære jernforbindelser fra lerminerallernes overflade, og leren bliver grå (pseudogley-processen).

4.3.4 Sprækker og denitrifikation

Biogeokemiske
følgeslutninger

Betragtes gråfarvningen i lyset af ovenstående succession af redoxprocesser kan der drages følgende slutninger:

- de afblegede (grå) sprækker og makroporer repræsenterer et geobiokemisk miljø, hvor der i løbet af vinterperioden sker fuldstændigt forbrug af O_2 , NO_3^- , MnO_2 og $\text{Fe}(\text{OH})_3$ under nedbrydning af organisk stof,
- under forudsætning af kemisk ligevægt (hurtig reaktionskinetik) vil de grå makroporer og sprækker repræsentere et miljø, hvor både O_2 og NO_3^- er opbrugt i de perioder, hvor der sker reduktion og opløsning af de sekundære jernforbindelser. Det vurderes, at den væsentligste nitratreduktion, under nedsivningen, sker i dette miljø, hvor nitratreduktionskapaciteten regenereres i takt med, at sprækkernes rodindhold fornyes.
- den gulbrune lermatrix mellem de grå sprækker repræsenterer et kemisk miljø, hvor manglen på organisk stof (rødder), tillader både O_2 og NO_3^- at eksistere året rundt. Dette gælder formentlig også de

rustbelagte sprækker i den reducerede moræneler.

Redoxfasernes
varighed

CBD-jernets fordeling viser, hvor langt redoxsekvensen forløber i morænenes forskellige kemiske submiljøer, men fortæller intet om, i hvor stor en del af vandmætningsperioden (vinterperioden) makroporesystemet befinder sig i de forskellige redoxfaser, herunder i den denitrificerende fase. Det sandsynlige billede af stofomsætningen og konsekvenserne heraf for drænafstrømningen og grundvandskvaliteten kan dog beskrives som følgende:

Grundvandskvalite-
tens årstidsvaria-
tion

I begyndelsen af vinterhalvåret (indtil november/december måned), mens vandstanden endnu stiger (fig. 26) må der forventes at ske aerob omsætning i de grå sprækker og makroporer. I denne periode vil der være nitrat i porevandet i makroporer, og dermed i infiltrations- og drænvand.

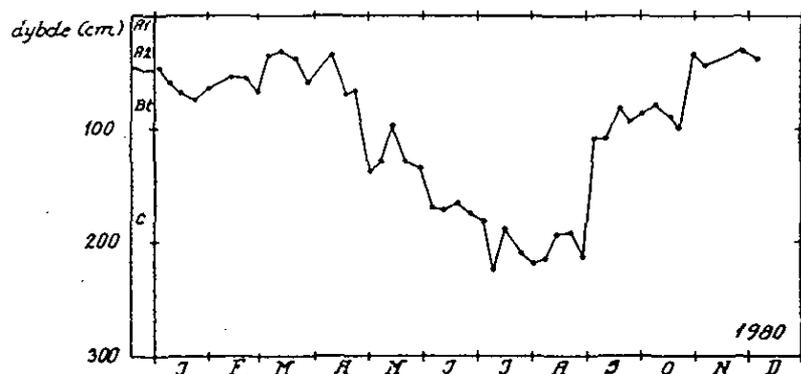


Fig. 26 Eksempel på grundvandsstandens variation i en pseudoglej jord på moræneler ved Glumsø, Midtsjælland, /4/.

Fordi porevandets iltindhold skal være meget lavt inden denitrifikationen påbegyndes vil dette trin i redoxsekvensen først blive aktivt nogen tid efter, at der er sket vandmætningen af makroporer og sprækker. Denitrifikationen og de efterfølgende anaerobe

trin forventes derfor fortrinsvis at ligge i den sidste halvdel af den vandmættede periode (januar/februar-marts/april), fig. 26.

Dræn og denitrifikation

Varigheden af perioden med vandmætning og porevandets opholdstid i de grå sprækker og makroporer, er bestemmende for, hvor langt i redoxsekvensen omsætningen når. Mindskes vandmætningsperioden og porevandets opholdstid, f.eks. ved traditionel dræning af jorden, vil den geobiokemiske omsætning over drænniveau, formentlig kun kortvarigt, nå længere end til det aerobe trin i redoxsekvensen. Konsekvensen vil være, at nitraten ikke, eller kun i mindre grad, når at blive reduceret inden den udvaskes til drænledningerne, der således både skaber og spreder nitratforurening. Under drænniveau vil der som følge af dræningen ske en grundvands-sænkning og dermed en reduktion af vandmætningsperioden, hvilket alt andet lige, vil forskyde redoxsekvensen i aerob retning og dermed udvide den nitratholdige zone nedefter.

Omvendt sker der i udrænedede eller svagt afvandede lerjorde en væsentlig denitrifikation under længere perioder med vandmætning /25/. Denitrifikationen bevirker, at nitratudvaskningen til grundvandet formentlig ikke er større på udrænedede jorde end på drænedede, selvom grundvandsdannelsen på de udrænedede er omkring 100 mm større /26/.

4.3.5 Sammenfatning

- Gråfarvede organiskholdige sprækker og makroporer i moræneler vurderes at udgøre det principielle miljø for nitratomsætning i moræneler med pseudogleypræg. En stor

del af de danske morænejorde har pseudo-gleypræg under en eller anden form. I Fredsvang er dette miljø udviklet i morænelerens hydraulisk aktive rodholdige sprækker gennem hele den oxiderede morænelerszone (ca. 3 m).

- Der vurderes således at være væsentligt sammenfald mellem morænenens primære vandledningssystem (sprækker og makroporer) og det denitrificerende miljø.

- Undersøgelsen af sprækkernes geobiokemi indikerer, at nitratomsætningen sker ved denitrifikation. Forudsætningen for sprækemiljøets effektivitet i forhold til reduktion af nitrat er:

* indhold af reaktivt organisk materiale (typisk roddele)

* permanent vandmætning under jord/grundvandsinfiltration i vintersæsonen.

- I relation til forudsætningen om vandmætning forventes denitrifikationen at være særlig følsom overfor kunstig dræning, idet dræning hæmmer udviklingen af denitrificerende forhold, og dermed både skaber og spreder nitratforurening.

- I den reducerede morænelerszone har der ikke kunne påvises indicier for geobiokemisk eller kemisk nitratomsætning i sprækker eller lermatrix. Nitratomsætningen i moræneleren forventes derfor overvejende at være knyttet til det gråfarvede sprækkesystem i den oxiderede zone af leren.

4.4 AREALANVENDELSE OG BELASTNINGSFORHOLD I FREDSVANG.

Arealanvendelse

Undersøgelsen dækker arealanvendelserne agerbrug, frugtplantagedrift samt forsøgsvirksomhed med sprøjtemidler.

Fordelingen af arealanvendelserne er kortlagt tilbage til 1930 ud fra arkivoplysninger og ved hjælp af flyvefotos, og fremgår sammen med placeringen af DIG's undersøgelsesboringer og gravninger, af fig. 27.

Indtil 1945-46 anvendtes hele undersøgelsesområdet til agerbrug. I 1946 opkøbte Ferrosan A/S området og beplantede i 1946-47 størstedelen af det med frugttræer. Frugtplantagen anvendtes herefter til demonstration af og forsøgsvirksomhed med sprøjtemidler. I 1965 ophørte forsøgsvirksomheden, og plantagen blev derefter drevet som almindelig frugtplantage indtil 1985, hvor en del blev omlagt til agerbrug. Den resterende del af plantagen bliver stadig drevet, fig. 27.

Forsøgsdriften i plantagen

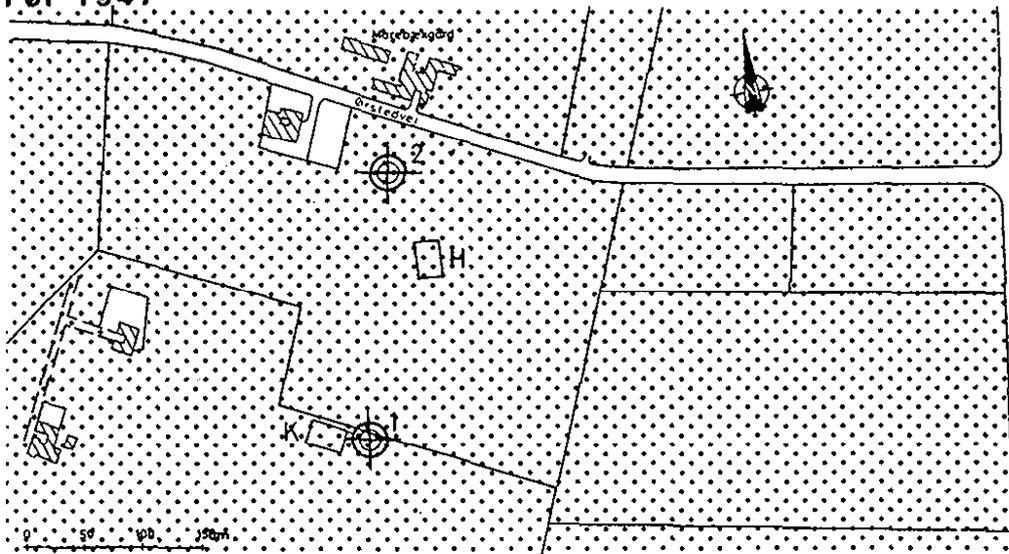
Fra perioden med forsøgsdrift, har Ferrosans årsberetninger om sprøjtningen kun kunne fremskaffes for perioden 1956-63 /13/. Ifølge årsberetningerne var formålet med forsøgsplantagen primært at afprøve nye præparater og sammenligne Ferrosans egne blandinger med blandinger af andre fabrikater.

Sprøjteplanerne

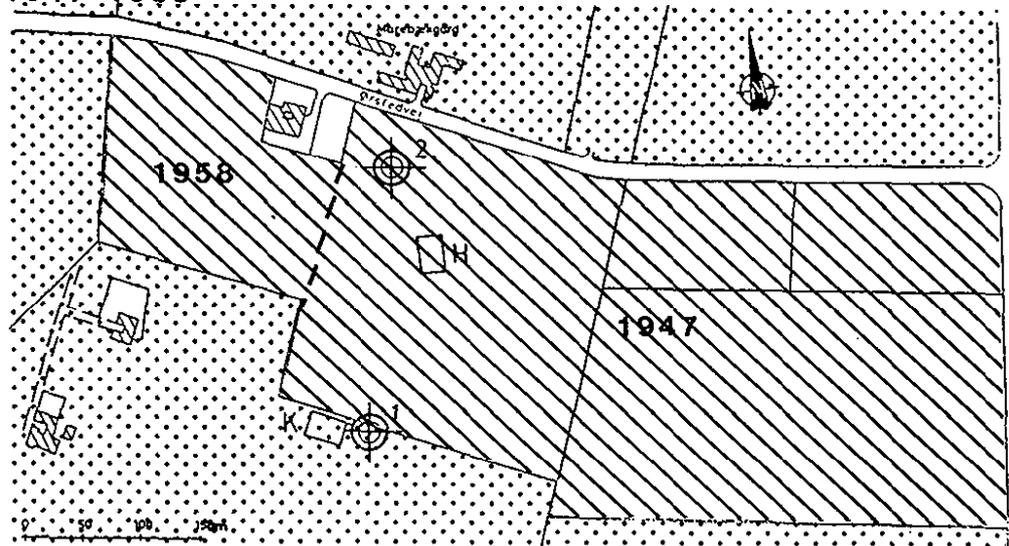
Det fremgår af årsberetningerne, at området var opdelt i en række forsøgsparceller. I alle forsøgsparcellerne blev der sprøjtet med:

- kobber- og kviksølvopløsninger

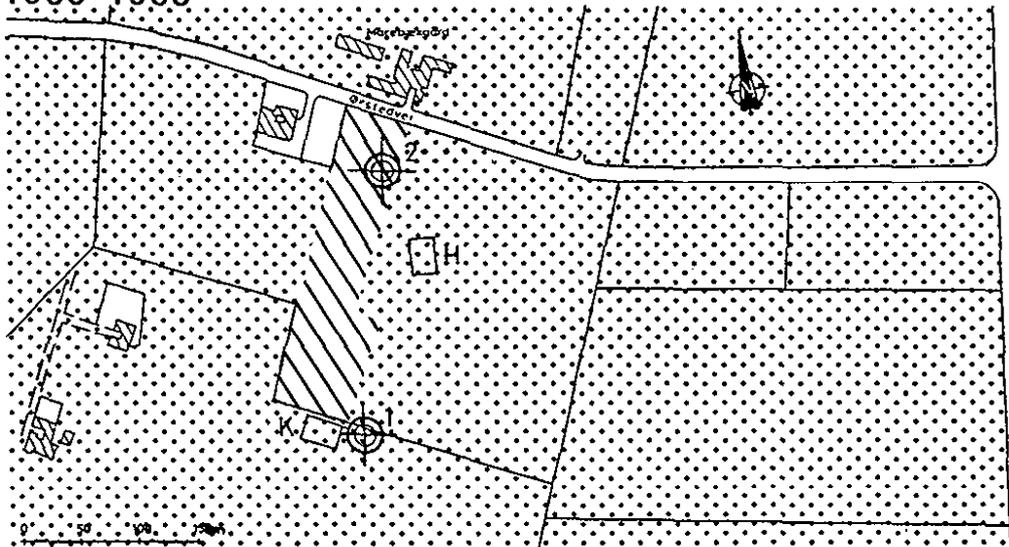
Før 1947



1947-1985



1985-1988



..... Ager \\\ Plantage

Fig. 27 Arealanvendelsen på Fredsvang fra 1930-88. Tillige er angivet placeringen af profiler og borer.

- DDT, lindan, tetradifon, lindasect og te-dion.

Udover denne ens grundbehandling blev der sprøjtet med forskellige pesticider fra parcel til parcel. Disse pesticider omfattede:

- thiram, tiuram, ziram, orthocid, Bis(dimethyl dithiocaebamyl)-ethylen-bis-thiocarbamat, organisk arsenforbindelse og TMTD.

Ud fra de foreliggende noget usikre oplysninger om parcellernes beliggenhed er det mest sandsynligt, at plantageprofilen H dækker to parceller, hvor der fra den sidstnævnte gruppe af sprøjtemidler har været anvendt tiuram, thiram, ziram gennem hele perioden og den organiske arsenforbindelse et enkelt år. Under forsøgsdriften har der kun været anvendt kunstgødning i plantagen.

Sprøjteteknik og dosering

Selve sprøjtningen gennemførtes med tågesprøjte med den normalt anbefalede styrke af præparaterne i sprøjtevæsken. Den tilførte kemikaliemængde har således svaret til almindelig praksis i frugtplantager, bortset fra en enkelt parcel, hvor der har været overdoseret med kviksølv. Denne parcel omfattes ikke af nærværende undersøgelse.

Sprøjtning efter forsøgsdriften

Efter forsøgsvirkomhedens ophør i 1965 er der indtil 1978 anvendt aminotriasol (amitrol) i ukendt mængde. Herefter er der skiftevis hvert andet år, indtil 1985, anvendt simazin og atrazin (2 kg aktivt stof/år). Efter 1978 er der udelukkende anvendt sprøjtemidlet "Round up" (1 kg aktivt stof/ha). Da oplysningen om anvendelse af amitrol er fremkommet under afrapporteringen af

foreliggende undersøgelse er denne pesticid ikke omfattet af de gennemførte specifikke analyser af vandprøver (afs. 4.5.3)

Belastningen på
markområdet

Den sydlige del af området (ved bor. 1 og profil K) har i hele den kortlagte periode været markområde. Vedrørende gødningsanvendelse på dette område er der indtil 1978 anvendt kunst- og husdyrgødning efter normal gødningspraksis. I perioden 1978-81 blev der drevet svinefabrik på Fredsvang og i den forbindelse blev markområdet kraftigt overgødsket med gylle /7/. Siden 1981 er markarealet ikke blevet tilført husdyrgødning, og der er først anvendt kunstgødning efter 1984.

4.5 MILJØKEMI OG FORURENINGSSPREDNING I FREDSVANG

I følgende afsnit redegøres for de specifikke forureningsforhold i frugtplantagen og markarealet på Fredsvang.

4.5.1 Næringssalte og klorid

Klorid øverst i lagserien

Som nævnt i afsnit 4.4 har markarealet, i perioden 1978-82, været udsat for kraftig belastning med grisegylle, hvilket er årsag til en væsentlig forhøjelse af kloridindholdet øverst i lagserien ved boring 1 og profil K, (afs. 4.2). Efter den kraftige gyllespredning er ophørt, er det forhøjede kloridindhold udvasket i sprækker og makroporer, mens det stadig er forhøjet i lerens matrix imellem sprækkerne, (se fig. 20, afs. 4.2).

Sprækker og forureningsspredning

Sammen med tritiumfordelingen i profilet (afs. 4.2) indikerer kloridudvaskningen i sprækkerne at disse udgør morænelerens primære vandledningssystem til det sekundære reservoir i 5-6 m's dybde, hvor grundvandet både har lav tritiumalder og lavt kloridindhold (afs. 4 og bilag VI, s. 121). På denne baggrund må sprækkesystemets udbredelse forventes at være bestemmende for forureningsspredningen i moræneleren.

Klorid under det sekundære reservoir

Tolkningen af kloridprofilet under det sekundære reservoir besværliggøres af, at boring 2 kun er 6 m dyb, og at der således kun findes data for den dybere del af lagserien i boring 1, fig. 28. Her stiger kloridindholdet imidlertid igen med dybden under det sekundære reservoir, og de højeste kloridværdier i lagserien findes nederst i

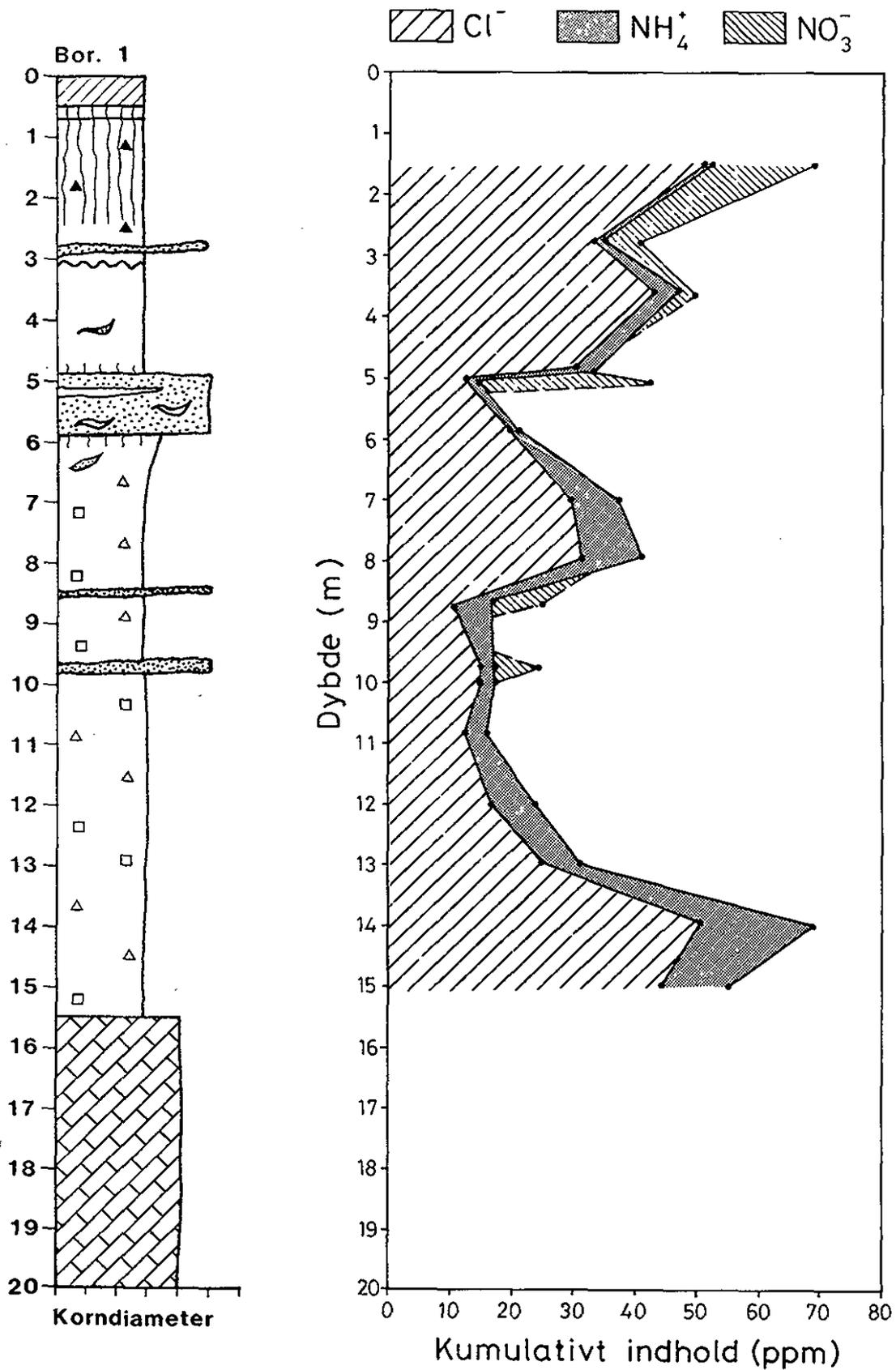


Fig. 28 Indholdet af klorid, nitrat og ammonium i sedimentprøver fra den glaciale lagserie i boring 1 (markareal). Endvidere er vist lagfølgen i boringen. Lagfølgesignaturene fremgår af fig. 6.

morænelersprofilen, hvor grundvandets alder er 30-35 år. Denne høje alder af grundvandet udelukker, at det høje kloridindhold i den dybe del af profilen har forbindelse med gyllebelastningen i 1978-81, og dermed at kloridindholdet i den øverste og underste del af profilen har fælles oprindelse.

Det Palæocene præg og indholdet af klorid og ammonium

Formentlig skal kloridprofilens forløb under det sekundære reservoir primært ses i sammenhæng med morænenes indhold af Palæocent materiale - lokalmorænepræget. Dette gælder også morænenes ammoniumindhold, der følger samme tendens som kloridindholdet. Sammenhængen mellem de to kemiske parametre og morænenes lithologi, markeres af kemiparametrenes parallelle forløb med morænenes indhold af Palæocent materiale.

Det Palæocene materiale træffes således fra ca. 7 m's dybde og med et stigende indhold nedefter, bortset fra i sandindslagene, der ikke har Palæocent præg. Ammoniumindholdets oprindelse i det Palæocene materiale sandsynliggøres yderligere af, at områdets faststående Palæocen (primære reservoir) har et højt ammoniumindhold (op til 28 mg/kg, /15/). Der foreligger ikke tilsvarende dokumentation for klorid.

Nitrat, ammonium og sprækker

I fig. 29 a ses fordelingen af nitrat omkring sprækker, i den oxiderede og reducerede zone i profil K. I den oxiderede zone ligger nitratindholdet omkring 5 mg/kg i både sprække og matrix, mens indholdet begge steder er under detektionsgrænsen i den reducerede zone. Når der er nitrat i den grå sprækkezone, hvor der i vinterhalvåret forventes at ske denitrifikation, skyldes det givetvis, at prøverne er udtaget i oktober

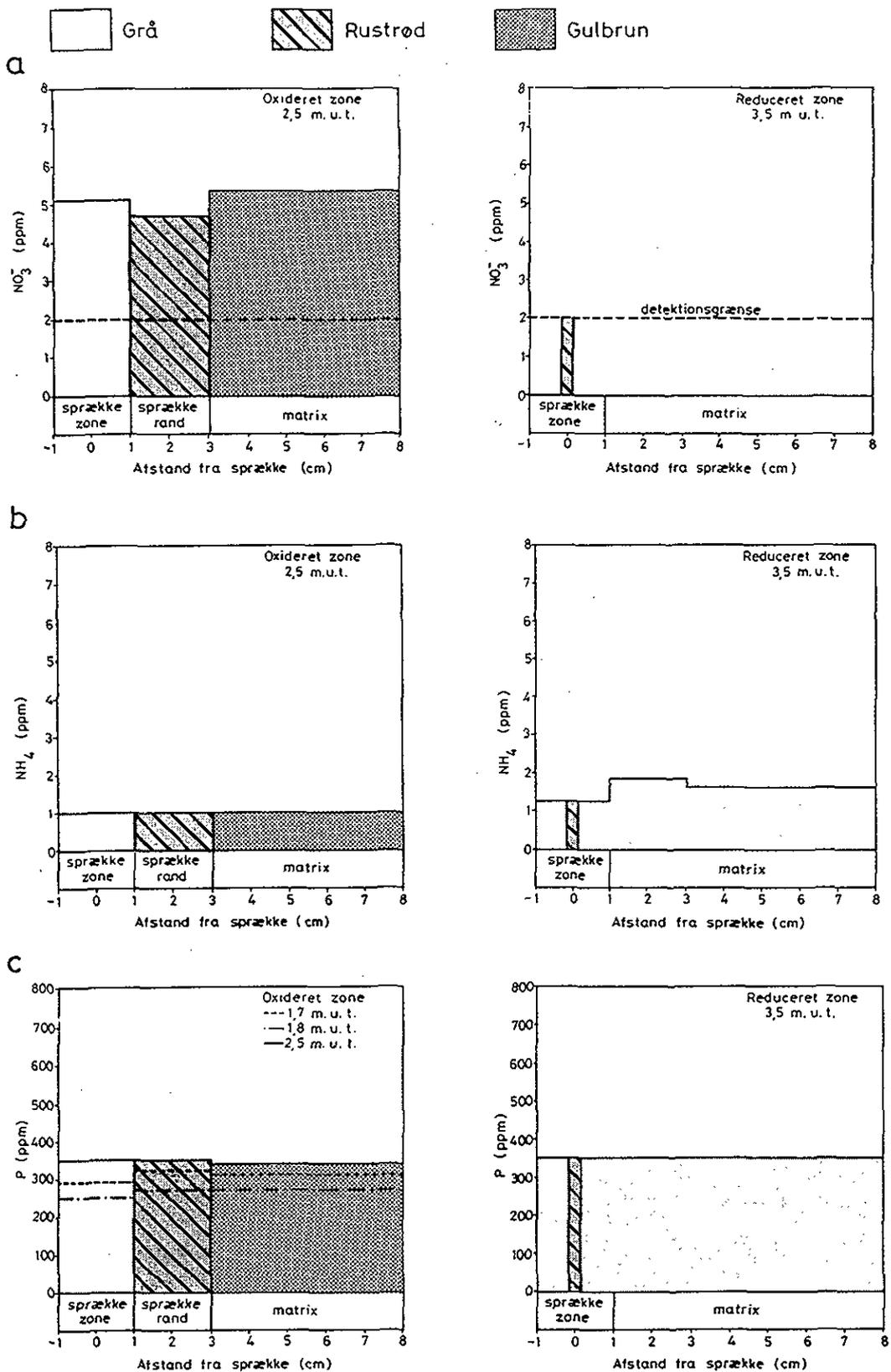


Fig. 29 Variationen af lerens indhold af kvælstof og fosfor fra sprække til matrix i den oxiderede og reducerede zone på markområdet.
a: Nitrat. b: Ammonium. c: Fosfat.

måned, mens der endnu har været aerobe forhold (og dermed nitrat) i sprækkesystemet. Af fig. 29 b fremgår det, at ammoniumindholdet hverken i den oxiderede eller reducerede zone varierer i forhold til sprækken.

Nitratprofilen i boring 1

I kerneprøver, fra boring 1, er der målt et relativt højt og nedefter aftagende nitratindhold i den oxiderede zone, fig. 28. Kerneprøverne er udtaget midt i november og ligger dermed et stykke inde i perioden med vandmætning og grundvandsdannelse gennem morænen. Prøvetagningstidspunktet svarer således til den forventede begyndelse af perioden med denitrificerende forhold i de grå sprækker og makroporer. Når der alligevel er målt nitrat i prøverne skyldes det, at de helt overvejende repræsenterer lermatrixen, der forventes at være nitratholdig året rundt, (jf. afs. 4.4).

Nitrat og det sekundære reservoir

Bortset fra morænelersprøven umiddelbart under forvittringsgrænsen i boring 1, er der ikke påvist nitrat i den reducerede moræneler. På overgangen til det sekundære reservoir er der i den periodevist umættede del af reservoiret målt et relativt højt nitratindhold, mens der hverken i sand- eller vandprøve er målt nitrat i den mættede del af reservoiret. Nitratindholdet i den umættede del af reservoiret skyldes formentlig lufttilførsel og deraf følgende nitrifikation af sedimentets ammoniumindhold.

Nitrat og tynde sandlag dybere i profilet

Der er endvidere målt nitratindhold i forbindelse med de tynde sandindslag i 8,5 og 9,5 m's dybde. Sandsynligvis har disse sandlag hydraulisk kontakt til det sekundære reservoir, og bedømt ud fra tritiumprofilet (afs. 4.2) kan nitratindholdet i sandlagene skyldes belastningsforholdene i perioden 1978-81, hvor markarealet blev tilført store mængder gylle (afs. 4.5). Når det sekundære reservoir ikke længere er påvirket af denne belastning skyldes det, at grundvandet heri er yngre end 1981, og at nitratindholdet dermed er udvasket.

Nitrat og det primære reservoir

Nitratbestemmelse i grundvandet fra det primære grundvandsreservoir i intervallet 15,5-20 m's dybde i boring 1 viser et lavt nitratindhold (1 mg/l). Signifikansen af dette resultat som belastningsbetinget er dog usikker, idet så lave indhold kan skyldes naturlige forhold i aflejringerne.

Fosfat og sprækker

Fordelingen af fosfat fra sprækker og ind i matrixen i morænen, i profil K, fremgår af fig. 29 c. Analyserne viser, at der ikke er nogen variation tværs over sprækkerne og at fosfatniveauet er det samme i den forvitrede og uforvitrede moræne. Supplerende undersøgelse af prøver fra 1,7 og 1,8 m's dybde viser heller ikke nogen signifikant variation tværs over sprækkerne.

Fosfat bindes under normale pH-forhold kraftigt i aflejringernes sekundære jernforbindelser og tilbageholdes derfor i udstrakt grad i de øverste jordlag. Herudover vil fosfat kunne bindes i kalciumfosfat mineraler. Da de sekundære jernforbindelser er kraftigt udvaskede i de gråfarvede sprækker

kan mobiliteten heri være større end i matrixen, hvor indholdet af sekundære jernforbindelser er stort. Den nærmere betydning af de grå sprækker i relation til fosfatfluxen er imidlertid ikke belyst i denne undersøgelse.

4.5.2 Tungmetaller

Der er udført tungmetalanalyser i profil H i frugtplantagen, og på to referencelokaliteter, henholdsvis mark og skov, ved Risbyholm gods (fig. 1). Analyseresultater på tabelform og prøvetagningspunkter fremgår henholdsvis af bilag V s. 119 og VI s. 122.

Indledende tungmetalscreening

En orienterende "screeningsanalyse" (ekstraktion med saltpetersyre) af en blandprøve fra 0,1, 0,2, 0,4 og 1,0 m's dybde fra profil H viste muligvis et svagt forhøjet indhold af As, mens analysen hverken viste forhøjede indhold af Hg eller Cu, tabel 4.

Cr	Ni	Cu	Zn	Cd	Hg	Pb	As
ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
9.3	8.7	5.9	22	0.053	<0.06	5.9	1.151

Tabel 4. Tungmetalscreening af blandjordprøve (0.1, 0.2, 0.4 og 1.0 m u.t.) fra frugtplantagen. Analyserne er foretaget efter ekstraktion med saltpetersyre.

Specifikke tungmetaller

Tungmetallerne Hg, As og Cu blev derfor udvalgt til nærmere undersøgelse i muldlaget og i morænenes sprækkesystem. Analyserne er udført efter selektiv ekstraktion med en 0.3 M ammoniumcitrat-hydroxylaminehydroklorid opløsning (bilag VII, s.

133). I modsætning til totalekstraktionen (blandprøven) med salpetersyre, ekstraheres ved denne metode kun de tungmetaller, der sidder specifikt eller uspecifikt adsorberet i de sekundære mineraler. Metoden er valgt for at frasortere variationer i morærens naturlige tungmetalindhold fra eventuelle forureningsbetingede anormalier i forbindelse med sprækkesystemet. Valget af den selektive ekstraktionsmetode betyder dog samtidig, at der med hensyn til koncentrationerne ikke kan foretages direkte sammenligning til undersøgelser, hvor der er anvendt saltpetersyre ekstraktion.

Referencelokaliteter

Derfor er der udvalgt to referencelokaliteter ved Risbyholm gods ca. 1,5 km fra plantagen, fig. 1. Referencelokaliteterne omfatter et mark- og et skovområde, hvorfra der er analyseret 10 jordprøver (udviklet på moræneler) fordelt ligeligt på de to arealer og udtaget fra 0-0,25 m's dybde, tabel 5. Herudover er analyseret 4 morænelersprøver fra markarealet (profil K) i 2 m's dybde umiddelbart uden for plantagen.

Reference	Cu	As	Hg
skovjord	0,34	82	30
markjord	0,25	111	32

Tabel 5. Referenceværdier for tungmetalindholdet (middelværdier) i skov- og markjord (10 prøver fra 0-0,25 m u.t.) ved Risbyholm gods. Analyserne er foretaget efter selektiv ekstraktion (se afs. 3).

Reference-
niveauerne

I både skov- og markområdet ligger referencerne for Hg og Cu omkring detektionsgrænsen (henholdsvis 10-20 ppb og 0,4 ppm), mens As-indholdet ligger over detektionsgrænsen (60 ppb) og højest i markområdet. I skovområdet aftager både Cu og As-indholdet, til under detektionsgrænsen, fra terrænoverfladen til 0,25 m's dybde. De tre metaller er mest homogent fordelt i markjorden, hvilket formentlig skyldes pløjning, fig. 30.

Niveauerne i frugt-
plantagens muldlag

Sammenholdes resultaterne fra frugtplantagen og referencelokaliteterne, fig. 30, ses plantageværdierne for Hg og Cu i muldlaget at ligge væsentligt over referencerne, mens As-værdierne ligger omkring referencen fra skoven og under referencen fra marken. I plantagen har koncentrationsprofilen for Hg sit maximum øverst i muldlaget og aftager stejlt nedefter for at nå baggrundsniveauet i 0,15 og 0,20 m's dybde. Denne fordeling gælder også for Cu, omend knapt så markant. Som nævnt optræder As med værdier på niveau med eller under referencerne. Det bør dog bemærkes, at plantagens højeste As-værdier findes øverst i muldlaget.

Tungmetalindholdet
under muldlaget
i plantagen

Under muldlaget i plantagen ligger Hg-værdierne tæt på og Cu-værdierne lidt over referencerne fra skovjorden. Det tilsyneladende lidt forhøjede indhold af Cu genfindes i profil K (marklokalitet) umiddelbart uden for frugtplantagen. Det højere CU-indhold kan være antropogent betinget, men kan dog ikke udelukkes at være forårsaget af morænnens primære lithologiske variation. For As er indholdet, under muldlaget i plantagen, generelt det samme eller lavere end på referencelokaliteterne.

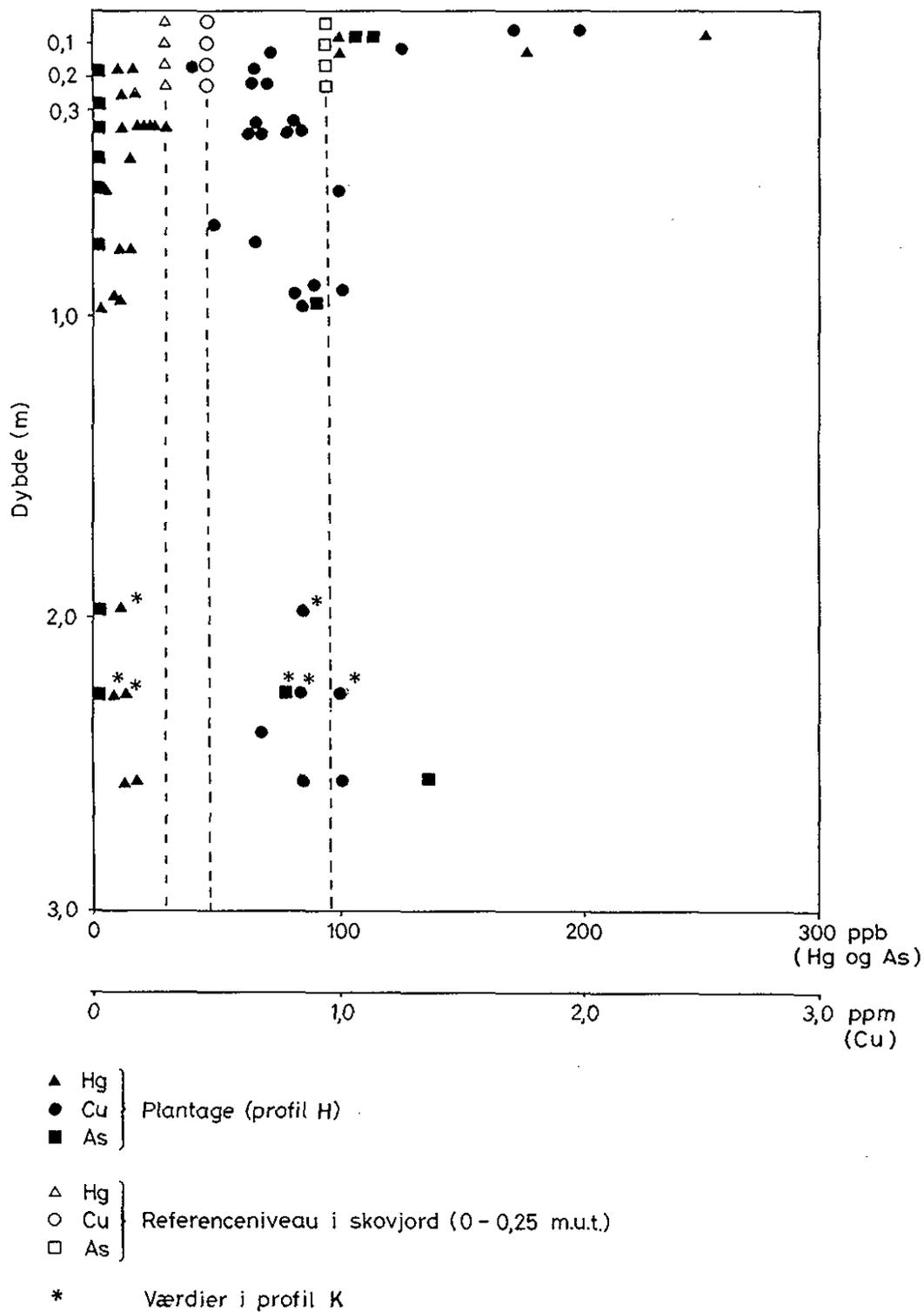


Fig. 30 Den vertikale fordeling af kviksølv (Hg), kobber (Cu) og arsen (As) i jorden i frugtplantagen, profil H. Referencerne er middelværdier bestemt udfra 10 prøver af skovjord ved Risbyholm.

Prøveudtagning i
sprækker

Med henblik på at undersøge om der sker foretrukken spredning af tungmetallerne i sprækker blev der udtaget prøver herfra. Prøverne fra morænen sprækker blev ligesom de foregående prøver udtaget i profil H. Prøvetagningen skete ved afskrab i selve overfladen (øverste mm) af de frigravede sprækkeplaner, mens de samhørende matrixprøver blev udtaget 5 cm herfra inde i matrixen.

Analyserne af prøverne fra sprækkesystemet i morænen viser ingen sikre forhøjede tungmetalværdier i sprækkerne sammenlignet med matrixen, tab. 6. Der er således ingen indikation for, at der sker foretrukken spredning af de undersøgte tungmetaller i morænerens sprækker.

Stof	Prøver i alt	Fordeling af prøver med højest koncentration i sprækker eller matrix		Eks koncentration i sprækker og matrix
		Sprække	Matrix	
Cu	7	3	3	1
Hg	7	2	3	2
As	2	1	1	

Tabel 6 Relativ koncentration af kviksølv (Hg), kobber (Cu) og arsen (As) i prøvepar fra morænen sprækker og matrix i frugtplantagen, profil H. I de enkelte prøvepar er matrixprøven udtaget i 5 cm afstand fra sprækkeprøven.

Bortset fra at en vis generel mobilitet af Cu ikke kan udelukkes svarer resultaterne af tungmetalundersøgelsen i Fredsvang svarer iøvrigt til undersøgelser af tungmetalforureninger i udenlandske frugtplantager. Disse undersøgelser viser, at Hg, Cu og As bindes kraftigt i muldlaget og kun udviser ringe mobilitet i jordmiljøet /16/.

4.5.3 Organiske pesticider

I frugtplantagen er der gennemført undersøgelse af organiske pesticider i vandprøver (bor. 2) og i prøver af jordbunden samt i prøver fra sprækker og matrix i morænen (profil H). For at dække et bredt spektrum af evt. tilstedeværende pesticider er undersøgelsen indledt med gaskromatografisk og massespektrometrisk (GC/MS) "screening"-analyse, efterflugt af udvalgte specifikke

Komponent	Estimeret koncentration (ppb)
Phenanthren	20-30
Fluoranthen	30-50
Pyren	30-50
DDE (MW 316)	200-400
DDD-isomer (MW 318)	20-50
DDD (MW 318)	50-150
DDT-isomer (MW 352)	20-40
DDT	20-50
Chrysen	20-50

Tabel 7 GC/MS-screenings analyse for organiske mikroforureninger i muldprøve fra frugtplantagen, profil H.

analyser. Ved undersøgelsen er anvendt flere forskellige ekstraktionsmetoder, (afs. 3).

Indledende pesticidescreening

Indledende "screening" blev udført på en blandjordprøve fra niveauerne 0,1, 0,2, 0,4 og 1,0 m's dybde i profil H. Da denne analyse ikke viste indhold af pesticider, blev der foretaget "screening" af en prøve fra

selve muldlaget. I muldprøven blev der påvist relativt store mængder af bl.a. DDT og DDT-nedbrydningsprodukterne DDE og DDD. De estimerede niveauer er angivet i tabel 7. Som det fremgår af tabellen er der tillige påvist lave niveauer af de tunge oliekomponenter triclorphenol, phenanthren, flouranthen, pyren og chrysen.

Med det høje DDE-niveau som udgangspunkt gennemførtes kvantitativ bestemmelse (GC/MS/SIR) af DDE i muldprøven samt i to sæt prøver fra sprækker og matrix i henholdsvis 0,5 og 1,1 m's dybde i morænen. Prøvetagningen fra sprækkesystemet er foretaget ved afskrab, som ved tungmetalprøverne (se afs. 4.6.2). Prøvetagningspunkterne fremgår af bilag V.

DDE i sprækker

Den kvantitative bestemmelse af DDE, tab. 8, fastslår det relativt høje indhold af DDE i muldprøven. I prøverne fra morænenes sprækker

Prøve	Dybde, m u.t.	DDE, ppb
muld	0,1	175
sprækkeplan	0,5	5,7
lermatrix	0,5	2,8
sprækkeplan	1,1	3,1
lermatrix	1,1	1,8

Tabel 8 Resultaterne af GC/MS/SIR analyse af DDE i jordprøver fra frugtplantagen i profil H.

og matrix er der i 0,5 og 1,1 m's dybde også påvist DDE dog i koncentrationer, der er en størrelsesorden lavere end i muldlaget. Koncentrationerne aftager nedefter i sprækkerne samt fra sprækkerne og ind i matrixen. Der

synes således at ske en vis nedtrængning af DDE i morænelerens sprækker.

Udenlandske DDT undersøgelser

Sammenlignes med udenlandske undersøgelser, er der i jordbundsprøver fra amerikanske frugtplantager målt indhold af DDT, der i gennemsnit ligger noget højere end de påviste niveauer i Fredsvang. De amerikanske værdier svarer dog til de danske værdier, hvis der tages hensyn til nedbrydningstiden siden den amerikanske undersøgelse blev foretaget i 1973 /17/. Vedrørende sprække-transport af pesticiderne er der hverken fundet danske eller udenlandske undersøgelser.

DDT-nedbrydning

Biologisk nedbrydning anses for den væsentligste nedbrydningsmekanisme for DDT i jordmiljøet, og halveringstiden for nedbrydning i jorden angives som 2 - >15 år /17/. Nedbrydningsprodukterne, DDE og DDD, er særdeles stabile og deres indhold forventes derfor at stige i takt med DDT nedbrydningen /18/. Dette forhold afspejles i Fredsvang af de høje indhold af DDE og DDD i forhold til DDT.

Spredning af DDT, DDE og DDD

DDT, DDE og DDD er meget lidt vandopløselige og angives at bindes stærkt i organiskholdig jord /17/. Resultaterne fra Fredsvang indikerer dog som nævnt, at der er sket en vis nedtrængning af DDE i sprækkesystemet, og at der sker udveksling mellem sprækkerne og deres nærmeste matrixomgivelser formentlig under de sæsonvarierende vandmætningsforhold i sprækkerne. Den maximale nedtrængningsdybde af DDE i Fredsvang er ikke bestemt, men stoffet er ikke påvist i vandprøver hverken fra 4 eller 6 m's dybde. Over en længere årrække vil nedsivning af DDE dog muligvis

kunne påvirke kvaliteten af den dybere grundvandsressource i området.

Pesticider i vandprøver

For at sænke analysernes detektionsgrænse og samtidig opnå et mere integreret billede af pesticidnedsivningen gennem moræneleren i Fredsvang, er der foretaget analyse af vandprøver fra boring 2. Vandprøverne er udtaget fra morænen i 4 m's dybde og fra det sekundære reservoir i ca. 6 m's dybde. Nærmere beskrivelse af vandprøvetagningen og analyserne findes i afs. 3.

I ingen af vandprøverne er der som nævnt påvist DDT, DDE, DDD eller nogen anden af de pesticider, der findes angivet i sprøjteplanerne /13/ fra forsøgsplantagetiden ved en påvisningsgrænse på ca. 10 ng/l (afs. 4.5).

Dybde, m u.t.	Simazin, ng/l	Atrazin, ng/l
4	57	38
5,5	18	40

Tabel 9. Resultaterne af GC/MS/SIR analyse af vandprøver fra moræneler (4 m u.t.) og det sekundære grundvandsreservoir (5,5 m u.t.) i frugtplantagen (bor. 2)

Imidlertid er der i begge vandprøver påvist lave niveauer af pesticiderne atrazin og simazin, der har været anvendt i perioden 1978-85, tabel 9.

På grund af fortyndningen med vand fra lysimeterinstallationen i moræneleren i 4 m's

dybde (afs. 3), vil de påviste koncentrationer fra denne dybde være ca. 50% fortyndet i forhold til koncentrationen i porevandet.

Endvidere vil adsorption til selve lysimetrene også påvirke de målte niveauer i retning af lavere værdier. De målte koncentrationer bør derfor opfattes som minimumsværdier, der dog forventes at være signifikante på størrelsesordensniveau. Når der ikke er påvist atrazin eller simazin i muldprøverne fra profil H, skyldes det formentlig, at der er sket nedbrydning og udvaskning i muldlaget. Hertil kommer, at detektionsgrænsen ved den specifikke analyse i vandprøverne er væsentlig lavere end i jordprøverne.

Nedbrydning og binding af triaziner

Triazinerne atrazin og simazin er karakteriseret ved relativt lange nedbrydningstider (over 1 år), og de kan bindes ret effektivt i jordmiljøet. Alt andet lige er bindingen (Kd-værdierne) størst i lerjorde med højt humusindhold og nedbrydningen sker hurtigere i humusholdig jord, og muligvis ved tilførsel af gylle, end i humusfattig og ubehandlet jord /19/, /20/. I forbindelse med det reducerede matrixareal/væskevolumen forhold ved transport i sprækker, må den reelle binding dog forventes at være nedsat i forhold til bindingen ved matrixtransport.

Danske undersøgelser af atrazin

Ved undersøgelser af atrazins udvaskning på sure sandjorde i Jylland, er der i grundvandsprøver ned til 2,5 - 3 m u.t., påvist atrazinindhold mellem 10 - 60 nanogram/liter /20/, /21/, /22/.

Spredning af tria- De foreliggende resultater fra frugtplanta- zinerne i moræneler gen i Fredsvang viser en væsentlig mobilitet af triazinerne, der i løbet af en ti-årig pe- riode (1978-89), på trods af bindingen, er udvasket til det sekundære reservoir, gennem ca. 5 m morænelersdække. Sammenholdes den hurtige udvaskning med de hydrogeologiske resultater (afs. 4.2) vedrørende sprækkernes hydrauliske aktivitet, er det oplagt at mo- rænelerens sprækkesystem må have spillet en afgørende rolle i udvaskningen af atrazin og simazin. Udfra oplysningen om anvendelse af triazinerne første gang i 1978 og sprednin- gen til det sekundære reservoir, kan en mi- nimums spredningshastighed for atrazin og simazin i lagene over det sekunde reser- voir, vurderes til 0,5 m/år i Fredsvang.

4.5.4 Sammenfatning

Markområdet

- I overensstemmelse med belastningsforhol- dene er der på markområdet påvist forhøje- de nitrat- og kloridindhold i den oxide- rede morænelerszone samt forhøjede nitrat- indhold i forbindelse med tynde sandlag dybere i morænelersprofilets reducerede zone. Nitratindholdet i forbindelse med sandlagene vurderes at være betinget af den særligt kraftige NO_3^- -belastning i 1978-81.
- I den nitratholdige oxiderede morænelers- zone (i 2,5 m u.t.) er der ikke påvist no- gen signifikant forskel i nitratindhold mellem grå sprækker og lermatrixen. Dette er i overensstemmelse med at denitrifika- tionen i de grå sprækker først forventes at være aktiv senere i vintersæsonen end i oktober, hvor prøverne blev udtaget.

- Der er nitratfrit i den reducerede moræneler samt i grundvandet fra det sekundære reservoir over de tynde nitratførende sandlag. De nitratfrie forhold i grundvandet fra det sekundære reservoir er i overensstemmelse med, at dette vand har lave tritiumaldre og dermed er infiltreret efter den kraftige gyllebelastning i 1978-81.

Plantageområdet

- I plantageområdet er der påvist væsentligt forhøjede indhold af Hg og Cu ned til 0,25 m's dybde i muldlaget. Der er ikke påvist sikker tungmetalspredning i morænelerens sprækkesystem.
- Af de i frugtplantagen anvendte pesticider (afs. 4.5), er der ved GC/MS "screening-analyse" af muldlaget (0,1 m u.t.) påvist DDT og dets nedbrydningsprodukter DDD og DDE i ppb-ppm niveau.
- Der er i jordprøver fra morænens sprækker og matrix påvist DDE i koncentrationer, der er en størrelsesorden lavere end i muldlaget. Prøverne er udtaget i 0,5 og 1,1 m's dybde og koncentrationerne aftager nedefter samt fra sprækkerne og ind i matrixen. Selvom der ikke er påvist DDT, DDE eller DDD i vandprøver fra ca. 4 og 6 m's dybde, kan den påviste nedtrængning af DDE og evt. DDT og DDD over en længere årrække muligvis påvirke kvaliteten af grundvandet i området.
- Trazinerne atrazin og simazin er påvist i vandprøver fra moræneleren (4 m's dybde) og fra det sekundære reservoir (5-6 m's dybde). Indholdet af atrazin og simazin er

på nanogram-niveau og minimumsnedsivnings-
hastigheden for de to pesticider gennem
morænelersdækket, er vurderet til ca. 0,5
m/år. Trazinerne vurderes på dette grund-
lag at påvirke grundvandet i området.

5. KONKLUSION

På baggrund af den gennemførte undersøgelse af lithologiske inhomogeniteter i moræneler, konkluderes det, at sandslirer og i særdeleshed sprækker har væsentlig betydning for morænelers hydrauliske og grundvandsbeskyttende egenskaber. I Fredsvang udgør sprækker (og makroporer) således morænelerens primære vandledningssystem til det sekundære reservoir i cirka 6 m's dybde.

I den oxiderede zone af moræneleren repræsenterer sprækkerne yderligere et kemisk submiljø, hvori der i løbet af vintersæsonen sker denitrifikation af det nedsivende grundvand. Nitratreduktionskapaciteten er betinget af sprækkernes indhold af rodrester, og kapaciteten regenereres i takt med, at rodrester fortsat tilføres sprækkesystemet (ved bevoksning med f.eks. afgrøder). Bortset fra tilfælde med unormal høj kvælstofbelastning vurderes moræneler derfor i vid udstrækning at være grundvandsbeskyttende i forhold til nitratnedsivning.

Sprækkemiljøets naturlige denitrificerende egenskaber i selve jordbundszone hæmmes imidlertid af markdræn, der herved både skaber og spreder nitratforureningen (til vandløb o.s.v). Ud fra påvist spredning af pesticider i sprækker og i grundvand vurderes morænelers grundvandsbeskyttende egenskaber over for visse organiske pesticider (f.eks. triazinerne atrazin og simazin) at være væsentligt ringere end tidligere antaget. M. h.t. de undersøgte tungmetaller (Hg, Cu og As) er der ikke påvist foretrukket

spredning i sprækker, på trods af forhøjede indhold af disse stoffer i muldlaget.

I det følgende konkluderes for undersøgelsens enkelte delemner:

Sprækkers forekomst

Opmålingen af to 6 m dybe morænelersprofiler i Fredsvang og inspektion af talrige andre morænelersprofiler i Østdanmark viser, at sprækker udgør et væsentligt strukturelt element i danske morænelersaflejringer.

Sprækkernes dannelse

Sprækkerne i Fredsvang kan deles i to populationer med hver sin dannelsesmåde. Inden for den øverste meter dominerer frost/tø- og udtørringssprækker uden foretrukken orientering, mens de dybere sprækker følger to foretrukne retninger, svarende til et konjurerende forkastningssæt, der sandsynligvis har glacialtektonisk oprindelse.

Sprækkernes hydrauliske betydning

Klorid- og tritiumdata indikerer, at sprækker og sandslirer er hydraulisk aktive og udgør morænelerens primære vandledningssystem til det sekundære reservoir i ca. 6 m's dybde. I den mellemste del af morænelersprofilet træffes enkelte tynde hydraulisk aktive sandslirer og sandlag med relativt ungt grundvand.

I de nederste meter af morænelersprofilet er grundvandets alder 30-35 år, hvilket indikerer aftagende vertikal vandbevægelse gennem denne del af lagserien. Udfra tritiumfordelingen og områdets hydrogeologiske opbygning, vurderes en væsentlig del af vandudvekslingen til det primære reservoir at ske ved lateral strømning højere i profilets

sprækker, sandslirer og sandlag (herunder det sekundære reservoir) til områder med direkte hydraulisk kontakt til det primære reservoir (bl.a. ved Skensved å).

Sprækker og nitratreduktion

Fra 0,5 m's dybde og til undergrænsen af den oxiderede moræneler (ca. 3,0 m u.t.) er sprækkerne rodledende og omgivet af en smal grå zone, der markerer et geokemisk submiljø, hvori de sekundære jernforbindelser er blevet reduceret og udvasket ved lavt redox-potentiale (pseudogleying). Redoxsekvensen bag sprækkekemien er betinget af sprækkernes indhold af rodrester, der inden de sekundære jernforbindelser reduceres, nedbrydes mikrobielt under denitrificerende forhold - indtil nitraten er opbrugt i sprækkerne (vandledningssystemet). Det vurderes, at de denitrificerende forhold specielt udvikles i den sidste halvdel af vintersæsonen efter langvarig vandmætning af sprækker og makroporer.

Markdræningens indflydelse

Denitrifikationsprocessen hæmmes endvidere af markdræn, der tillige leder jordvandet ud i recipienten, inden denitrifikationen har nået at omsætte nitraten i de grå sprækker og makroporer.

Tungmetaller

Der er påvist høje koncentrationer af tungmetallerne Hg og Cu i frugtplantagens muldlag, mens der ikke har kunnet påvises spredning af tungmetaller i moræneleren i sprækker eller matrix under muldlaget.

DDT, DDE, DDD

Der er påvist høje koncentrationer af pesticidet DDT, og DDT-nedbrydningsprodukterne DDE og DDD i frugtplantagens muldlag. Der er endvidere påvist nedtrængning af DDE i 0,5 og 1,1 m's dybde i sprækker i moræneleren.

Den maximale nedtrængningsdybde er ikke bestemt, men hverken DDT, DDE eller DDD har kunnet påvises i vandprøver fra 4 og 6 m's dybde. På langt sigt vurderes DDE og DDD dog at kunne forringe grundvandskvaliteten i området.

Triaziner

Lave koncentrationer (nanogram/liter) af pesticiderne atrazin og simazin er i frugtplantagen i løbet af ca. 10 år udvasket til det sekundære reservoir i 6 m's dybde. Minimumsnedsivningshastigheden for de to pesticider gennem morænelersdækket er på dette grundlag bestemt til ca. 0,5 m/år. Begge pesticider forventes at påvirke grundvandet i området via spredning gennem sprækkesystemet i moræneleren.

6. REFERENCER

- /1/ Geologiske forhold under Køgebugtbanen og strækningens blødbundsområder - behandling og resultater. J. Frederiksen, O.S. Larsen. DSB tekniske medd. fra ba-neafdelingen, 1985, nr. 2.
- /2/ Fredericia, J.
Sprækker og permeabilitet i moræneler. I forskningsprojekter vedr. grundvandsforurening. ATV - Akademiet for de tekniske videnskaber, 1987.
- /3/ Vejledning i ingeniørgeologisk prøvebeskrivelse. G. Larsen et al. Dansk Geoteknisk Forening, 1989.
- /4/ Madsen, H. B:
Himmerlands jordbundsforhold. Et regionalt studie omhandlende jordbundsudvikling, -klassifikation, afgrøders rodudvikling og jordens plantetilgængelige vandmængder. Landbrugsministeriet Arealdatakontoret, 1983.
- /5/ Vandindvindingsplan. Hovedstadsrådet, 1989.
- /6/ Analyse af historiske pejledata. I. Krüger A/S. 1989.
- /7/ H. Jessen (ejer af Fredsvang): Pers. medd., 1989.

- /8/ Environmental Radioactivity in Denmark, 1978-88. A. Aakrog, S. Boelskifte, L. Bøtter-Jensen, H. Dahlsgård, H. Hansen and S. P. Nielsen. Risø National Laboratory, 1989.
- /9/ Nedsivning. T. Sevel, N. Kelstrup, Suså undersøgelsen, rapport Suså H, nr. 6. Dansk kommite for hydrologi, 1981.
- /10/ Depth of Fractures and active Groundwaterflow in weathered Clay Till in Lambton County, Ontario, submitted to Groundwater. W.W. Roland, J. A Cherry, S Feenstra. 1989.
- /11/ Hydrology and fractures in Clay Till. D.L. Mckay, J. Fredericia, ATV - Akademiet for de Tekniske Videnskaber. 1989.
- /12/ Berner, R. A.
Early Diagenesis. A Theoretical Approach. Princeton University Press. Princeton, New Jersey, 1980.
- /13/ Beretning fra Fredsvang, Ferrosans forsøgsplantage i Havdrup. Ferrosan A/S, Afdelingen for plantebeskyttelse, 1953-63.
- /14/ Groundwater Contamination. UNESCO, 1985.
- /15/ Vibeke Ernstsén (videnskabelig assistent, DGU): Pers. medd., 1989.

- /16/ Spatial Distribution of Pesticide Residues in a former Appel Orchard. P.L.M Veneman, J.R. Murray, J.H. Baker. Journal of Environmental quality, 1983.
- /17/ Environmental Pollution by pesticides. C. A. Edwards et al. Ed. C. A. Edwards. Plenum Press, London and New York, 1973.
- /18/ DDT and its Derivatives - Environmental Aspects. IPCS International Programme on Chemical Safety. Environmental Safety Criteria 83. WHO. Geneva, 1989.
- /19/ Helweg, A.
Beskrivelse af pesticid nedvaskning i jord. Statens planteværnscenter, Flakkebjerg. 1984.
- /20/ Måling af atrazin i grundvand under en majsmark. G. Felding, A. Helweg. Dansk Planteværnskonference, Pesticider og Miljø, 1987.
- /21/ Kemiske stoffer i landjordsmiljøer. A. Helweg et al. Teknisk forlag, 1988.
- /22/ Felding, G.
Risici for forurening af drikke- og grundvand med pesticider. Danske og udenlandske undersøgelser. Danske Planteværnskonference, Pesticider og miljø, 1988.
- /23/ Fobian, A.
Jordbundskortlægning og areal klassificering. Institutet for teknisk Geologi. Afhandling nr. 2, 131 p. 1984.

/24/ Hansen, Bent.

Geoteknik og Fundering. Forelæsningsnotater til Kursus 5811 - Geoteknik 1. Bind 1-2. DTH, 1987.

/25/ Aslyng, H. C.

Afvanding i jordbruget. DVL, 1970.

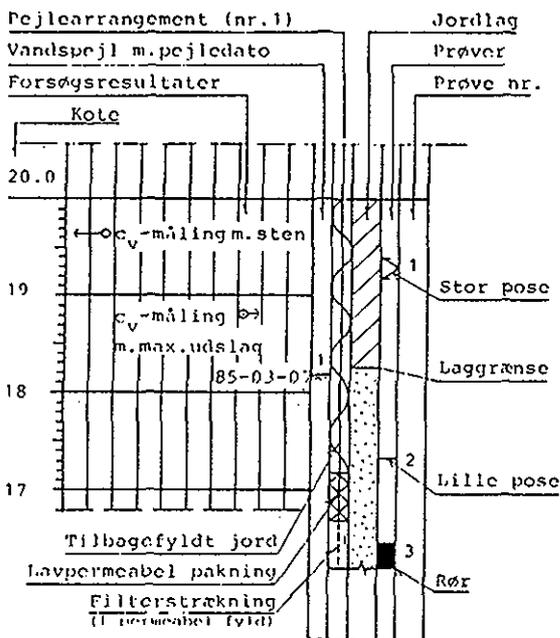
/26/ Suså undersøgelsen, Det hydrologiske Susåprojekt. Samlerapporter: Suså HA1 og Suså HA2. Dansk komite for Hydrologi, 1981.

BILAG

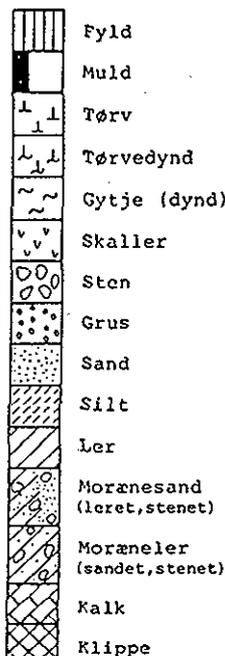
SIGNATURER PÅ SITUATIONSPLAN:

 Boring	 Drejesondering	 Belastningsforsøg
 Boring m. prøveoptagning	 Rammesondering	 Målelinje for geoelektrisk linieomstandsmåling
 Gravning m. prøveoptagning	 Vingeforsøg	 Geoelektrisk punktprofil (pile angiver måleretning)

BOREPROFIL:



JORDARTSSIGNATURER:



GEOLOGISKE FORKORTELSER:

MILJØ:	Fe: Ferskvand
	Fl: Flydejord
	Fy: Fyld
	Gl: Gletscheraflejring
	Ma: Marin aflejring
	Ne: Nedsylsaflejring
	Ov: Overjord
	Sk: Skredjord
	Sm: Smeltevandsaflejring
	Vi: Vindaflejring
	: Henvisning til rapport
	I MORENE-jordarter må der forventes et varierende indhold af sten og blokke
Alder:	R : Recent
	P : Postglacial
	S : Senglacial
	G : Glacial
	I : Interglacial
	T : Tertiær
	K : Kridt
	J : Jura
	* : Henvisning til rapport

DEFINITIONER:

Vandindhold	w	= Vandvægten i procent af tørstofvægten.
	w _L	= Vandindhold ved overgangen fra flydende til plastisk tilstand.
	w _P	= Vandindhold ved overgangen fra plastisk til halvfast tilstand.
Plasticitetsindeks	I _P	= w _L - w _P .
Poretal	e	= Forholdet mellem porevolumen og tørstofvolumen.
	e _{max}	= Poretal i løseste standardlejring i laboratoriet.
	e _{min}	= Poretal i fasteste standardlejring i laboratoriet.
Tæthedindeks	I _D	= Relativ lejrings-tæthed = (e _{max} - e)/(e _{max} - e _{min}).
Rumvægt (kN/m ³)	γ	= Forholdet mellem totalvægt og totalvolumen.
Kornrumvægt (kN/m ³)	γ _s	= Middelværdien af tørstoffets rumvægt.
Glødetab (reduceret)	gl _r	= Vægttabet ved langvarig glødning i procent af tørstofvægten. (reduceret for eventuelt indhold af CaCO ₃).
Kalkindhold	ka	= Vægten af CaCO ₃ i procent af tørstofvægten.
Vingestyrke (kN/m ²)	c _v	= Forskydningsstyrke målt ved vingeforsøg i intakt jord.
	c _{vr}	= Forskydningsstyrke målt ved vingeforsøg i omrørt jord (1 x 360°).
Standard penetra-tionsmodstand	SPT	= Antal slag pr. 0,3 m nedsynkning af Ø51 mm SPT-sonde med ramme-energi h x G = 0,76 m x 0,635 kN.
Vægtsonderings-modstand	WST	= Antal halve omdrejninger pr. 0,2 m nedtrængning af spidsbor med last 1 kN.
Photoionisations detektormåling	PID	= Måling af totalt indhold af ioniserbare organiske flygtige komponenter i luft umiddelbart over prøve. Niveauer i forhold til baggrundsniveau (den relative forureningsgrad) er angivet ved: +++ Udslag > 200 ++ 20 < udslag < 200 + 3 < udslag < 20 • Baggrund-udslag på 3

If. i øvrigt Dansk Ingeniørforenings Norm for fundering, DS415, samt Dansk Geoteknisk forening: Vejledning i in-
geniørgeologisk prøvebeskrivelse (1988).



Geoteknisk Institut

Sag: 270 00283 Havdrup

Udført : LTE

Dato: 1989-11-24

Emne:

SIGNATURER - DEFINITIONER

Kontrol : ZLS

Dato: 1989-11-24

Godkendt: [Signature]

Dato: 89-11-24

Rapportnr.

1

Bilag nr.

I

BODATA.DO. 102.00		DGIDAT.TK>PROFILDATA		BOC		TUE, 24 APR 1990		11:35:13			
KOTE (m)	FORSØGSRESULTATER				SIGNATURFORKLARING OG DEFINITIONER: SE 8ILAG 1						
					BORING UDFØRT AF : PEN 1989-30-11						
					GEOLOGI BEDØMT AF: PRJ						
					KOTESYSTEM : ABSOLUT						
				FILTERRØRSØIH. : 50MM PROPMATERIALE : OS							
		VS-MÅLINGER		JORDLAG / LAGGRÆNSER		JORDART		KARAKTERISERING		GEOLOGI	
25.1				KOTE : 25.1		BORING NR. 1				HILJØ ALDER	
24				1		LERMULD, sandet, rødder, brun		Ov		R	
23				2		MORÆNELER, sv. sandet, siltet, gulbrun (10YR 4/6)		GL		G	
22		88-02-18		4		MORÆNELER, sandet, gruset, brun (10 YR 4/6), grå partier, lysegrå (5Y 6/1)		GL		G	
21		88-01-12		6		MORÆNELER, sandet, gruset, brun (10 YR 4/6), grå partier, lysegrå (5Y 6/1)		GL		G	
20		88-09-23 88-10-11		8		* SAND iflg. boreleder					
19		88-02-18		10		MORÆNELER, sandet, sv. gruset, kalkh., gulbrun (10 YR 4/6)		GL		G	
18		89-01-12 88-09-23 88-10-11		12A		MORÆNELER, sandet, sv. gruset, kalkh., grå (5Y 4/1)		GL		G	
17				12A		MORÆNELER, sandet, sv. gruset, kalkh., grå (5Y 4/1)		GL		G	
(Boringen fortsættes)											
Geoteknisk Institut						Sag: 270 00283 HAVDRUP					
UDFØRT : BOC				DATO: 1990-04-24				EMNE: BOREPROFIL - BORING NR. 1			
KONTROL : PRJ				DATO: 400501				RAPPORT NR. 1			
GODKENDT: CANN/2LS				DATO: 900505				BILAG NR. II			

BODATA_D0.102.00		DGIDAT.TK>PROFILDATA		BOC		TUE, 24 APR 1990		11:45:02				
FORSØGSRESULTATER				SIGNATURFORKLARING OG DEFINITIONER: SE BILAG 1								
KOTE (m)	v 10 20 30 40				VS-MÅLINGER VS-PEJLEARRANGEMENT JORDLAG / LAGGRANSER UDTAGNE PRØVER	LABORATORIETS PRØVE NR.	BORING UDFØRT AF : PEN 1989-30-11		GEOLOGI BEDØMT AF: PRJ			
	7 14 18 22 26 kNm ³						KOTESYSTEM : ABSOLUT		FILTRERØRSDI. : 50MM		PROPMATERIALE : OS	
	C _u C _v 100 200 300 400 kN/m ²						JORDART		KARAKTERISERING		GEOLOGI	
BORING NR. 1 (fortsat)												
17.7												
17					13A	MORÆNELER, sv. sandet, paleocent mergelgrus, oltvengrø(SY 4/2)	GL	G				
						MORÆNELER, sv. sandet, paleocent mergelgrus, oltvengrø(SY 4/2)	GL	G				
16					14A	MORÆNELER, sandet, stillet, kalkh., paleocent mergelgrus, oltvengrø(SY 4/2)	GL	G				
						MORÆNELER, sandet, stillet, kalkh., paleocent mergelgrus, ol. grø(SY 4/2), sandstør, ol. grø(SY 5/4)	GL	G				
15					15A	MORÆNELER, sandet, kalkh., paleocent mergelgrus oltvengrø(SY 4/2)	GL	G				
						SAND, mellem-grøft, oltvengrø(SY 5/3-S/4)	Sm	G				
14					16A	MORÆNELER, sandet, gruset, paleocent mergelgrus oltvengrø(SY 4/2)	GL	G				
						MORÆNELER, sandet, gruset, paleocent mergelgrus oltvengrø(SY 4/2)	GL	G				
13					18	MORÆNELER, sandet, sv. gruset, megel, stort ind. af paleocent mergelgrus, oltvengrø(SY 4/2)	GL	G				
						MORÆNELER, sandet, sv. gruset, megel, stort ind. af paleocent mergelgrus, oltvengrø(SY 4/2)	GL	G				
12					20	MORÆNELER, sv. sandet, megel stort ind. af paleocent mergelgrus, oltvengrø(SY 4/2)	GL	G				
						MORÆNELER, sv. sandet, megel stort ind. af paleocent mergelgrus, oltvengrø(SY 4/2)	GL	G				
11					22	MORÆNELER, sv. sandet, paleocent mergelgrus, oltvengrø(SY 4/2)	GL	G				
						MORÆNELER, sv. sandet, paleocent mergelgrus, oltvengrø(SY 4/2)	GL	G				
(Boringen fortsættes)												
10												
9												
Geoteknisk Institut					Sag: 270 00283 HAVDRUP							
UDFØRT : BOC		DATO: 1990-04-24		EMNE: BOREPROFIL - BORING NR. 1								
KONTROL : PRJ		DATO: 900501		RAPPORT NR. 1		BILAG NR. II						
GODKENDT: CHW/ALS		DATO: 900508										

BODATA_D0.102.00		DGIDAT.TK>PROFILDATA		BOC		THU, 26 APR 1990		10:17:00			
KOTE (m)	FORSØGSRESULTATER				SIGNATURFORKLARING OG DEFINITIONER: SE BILAG 1						
	v 10 20 30 40 % γ 14 18 22 26 kN/m ³ C_{v100} 200 300 400 kN/m ²				VS-MÅLINGER	VS-PEJLEARRANGEMENT	JORDLAG / LAGGRÆNSER	UDTAGNE PRØVER	BORING UDFØRT AF : PEN 1989-30-11		
									GEOLOGI BEDØMT AF: PRJ		
					LABORATORIETS PRØVE NR.	KOTESYSTEM : ABSOLUT		FILTRERRØRSDI. : 50MM			
				JORDART		KARAKTERISERING		GEOLOGI			
				BORING NR. 2		HILJØ		ALDER			
25.1	NOTE : 25.1 1 2 KOTE				25.1						
35					35	LERMULD, sandet, rødder, brun				0v	R
36					36	MORÆNELER, sandet, kalkh., enk. muldstrejf, grø partier, gulbrun				GL	G
37					37	MORÆNELER, sandet, kalkh., muldstrejf, grø og rustbrune partier, gulbrun				GL	G
38					38	MORÆNELER, sandet, kalkh., enk. muldstrejf, enk. grø og rustbrune partier, gulbrun				GL	G
39					39	MORÆNELER, sv. sandet, kalkh., enk. muldstrejf, gulbrun				GL	G
40					40	MORÆNELER, sv. sandet, kalkh., grøbrun				GL	G
41					41	MORÆNELER, sv. sandet, kalkh., grø				GL	G
42					42	MORÆNELER, sv. sandet, kalkh., grø				GL	G
43					43	MORÆNELER, sv. sandet, kalkh., grø				GL	G
44					44	MORÆNELER, sv. sandet, kalkh., grø				GL	G
45					45	MORÆNELER, sv. sandet, kalkh., grø				GL	G
46					46	LER, siltet, kalkh., grø og SAND, fint, sv. leret				GL	G
47					47	SILT, sv. sandet, sv. leret og LER, siltet, sv. sandet, grø				Sm	G
48					48	SAND, st. leret, siltet, gruskorn, grø				Sm	G
49					49	MORÆNELER, sandet, kalkh., lys grø				GL	G
* BEMÆRKNINGER : Terrænkote niveauet end i forhold til boring 1											
Geoteknisk Institut					Sag: 270 00283 HAVDRUP						
UDFØRT : BOC			DATO: 1990-04-26			EMNE: BOREPROFIL - BORING NR. 2					
KONTROL : PRJ			DATO:			RAPPORT NR. 1			BILAG NR. III		
GODKENDT: CWJ/LS			DATO: 900509								

Forskydningsstyrker

Profil H dybde (m)	Forskydningsstyrke kN/m ²
-----------------------	---

0.5 - 1.5	88 - >365
2.5 - 3.2	262 - >365
4.5 - 5.0	233 - >365
6.2 - 6.4	>365

Profil K dybde (m)	kN/m ²
-----------------------	-------------------

0.5 - 1.2	44 - 175
2.5 - 3.2	117 - 233
4.5 - 4.8	>365
6.2 - 6.4	>365

Geoteknisk Institut



Sag: 270 00283 Havdrup

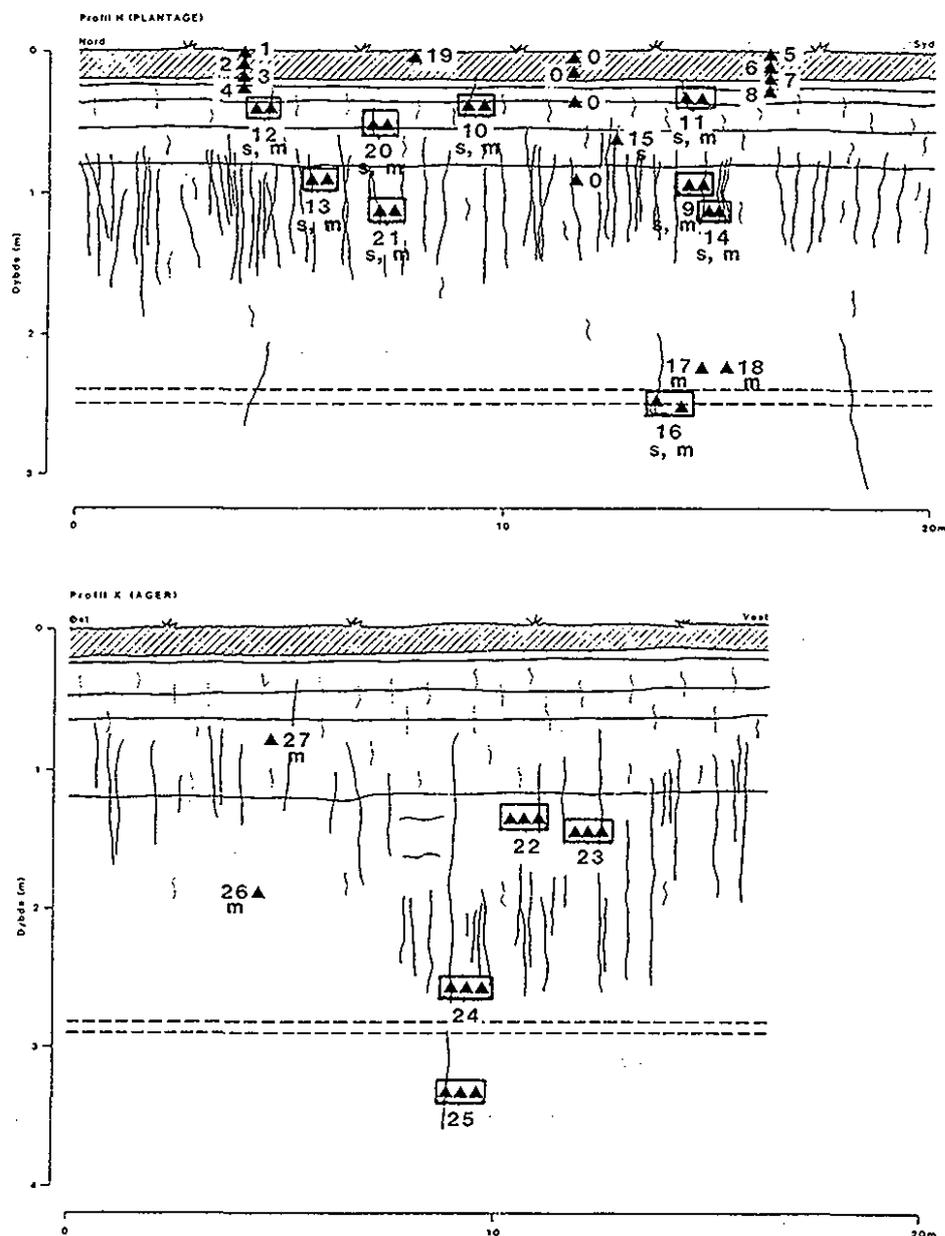
Udført : *PRT* Dato: *20 05 01*

Emne: VINGEFORSØGSRESULTATER

Kontrol : *PRJ* Dato: *10 05 01*Godkendt: *CNN* Dato: *9 00 508*

Rapport nr. 1

Bilag nr. IV



Sedimentprøvetagning i profilerne H og K.

Prøvenumrene refererer til de kemiske analyser i bilag VI

Geoteknisk Institut



Sag: 270 00283 Havdrup

Udført : PRJ

Dato:

Emne: Prøvens placering i profilet

Kontrol : PRJ

Dato: 700501

Godkendt: CMM

Dato: 900508

Rapport nr. 1

Bilag nr. V

SEDIMENTKEMISKE ANALYSER I MARKPROFILET (K)

Geokemiske parametre

Prøvesæt nr.	Dybde	Analyseparametre
22	1.7	CaCO ₃ , fosforsyre
23	1.8	CaCO ₃ , fosforsyre
24	2.5	CaCO ₃ , fosforsyre, NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁻ ,
25	3.5	CBD-Fe og -Al, tot.-Fe, -Al og -Mn, Mössbauer Fe ²⁺ /Fe ³⁺ , Cl ⁻ , vandind- hold

RESULTATER:

Kalciumkarbonat (CaCO₃), vægt %

Dybde, m u.t.	1.7	1.8	2.5	3.5
Sprække	23	24	19	19
Sprækkerand	18	18	19	19
Matrix	18	17	19	20

Nitrat (NO₃⁻) og Ammonium (NH₄⁺), ppm

Dybde, m u.t.	2.5		3.5	
	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺
Sprække	5.1	1.1	<2	1.3
Sprækkerand	4.7	1.0	<2	1.7
Matrix	5.3	1.1	<2	1.6

Geoteknisk Institut



Sag: 270 00283 Havdrup

Udført : P.R.J. Dato: 200501
 Kontrol : Dato: 900808
 Godkendt: C.M. Dato: 900808

Emne: Kemiske analyser

Rapport nr. 1 Bilag nr. VI

Fosfor, ppm P

Dybde, m u.t.	1.7	1.8	2.5	3.5
Sprække	290	250	360	360
Sprækkerand	320	270	360	350
Matrix	310	270	360	358

Klorid, ppm

Dybde, m u.t.	2.5	3.5
Sprække	13	23
Sprækkerand	57	28
Matrix	59	39

CBD-ekstraherbart jern (Fe) og aluminium (Al), ppm

Dybde, m u.t.	2.5		3.5	
	Fe	Al	Fe	Al
Sprække	525	165	4080	290
Sprækkerand	5895	385	1330	200
Matrix	3580	310	790	160

Geoteknisk Institut



Sag: 270 00283 Havdrup

Udført :

Dato:

Emne: Kemiske analyser

Kontrol : P.R.J.

Dato: 200501

Godkendt: CMU

Dato: 900808

Rapport nr. 1

Bilag nr. VI

Mössbauer spektroskopi

Dybde	Fe ²⁺	Fe ³⁺	Fe ³⁺
2,5 m u.t.	(1er) %	(1er) %	(jernoxider) %
Sprække	27	73	0
Sprækkerand	14	45	40
Matrix	28	72	0

Dybde	Fe ²⁺	Fe ³⁺	Fe ³⁺
3,5 m u.t.	(1er) %	(1er) %	(jernoxider) %
Sprække	24	76	0
Sprækkerand	49	51	0
Matrix	56	44	0

Totaloplukning, jern, aluminium og mangan, ppm x 10⁴

Dybde 2.5 m u.t.	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MnO
Sprække	2.0	6.0	0.03
Sprækkerand	2.9	5.7	0.03
Matix	2.7	5.7	0.03

Geoteknisk Institut



Sag: 270 00283 Havdrup

Udført : PRJ

Dato:

Emne: Kemiske analyser

Kontrol : PRJ

Dato: 200501

Godkendt: CMW

Dato: 900808

Rapport nr.

1

Bilag nr.

VI

Dybde 3.5 m u.t.	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MnO
Sprække	3.3	6.2	0.04
Sprækkerand	2.4	6.2	0.04
Matrix	2.7	6.1	0.04

Vandindhold

Dybde, m u.t.	2.5	3.5
	Oxideret zone vægt-%	Reduceret zone vægt-%
Sprække	18	14
Sprækkerand	15	14
Matrix	12	14

Tekstur

Dybde, m u.t.	2.5				3.5			
	Grus %	Sand %	Silt %	Ler %	Grus %	Sand %	Silt %	Ler %
Sprække	2	41	37	20	2	40	36	22
Sprækkerand	3	41	38	18	4	40	38	18
Matrix	3	43	35	19	4	41	34	21

Geoteknisk Institut



Sag: 270 00283 Havdrup

Udført : *PRJ*

Dato:

Emne: Kemiske analyser

Kontrol : *PRJ*Dato: *200501*Godkendt: *CAN*Dato: *900808*

Rapport nr. 1

Bilag nr. VI

Røntgendiffraktometrisk bestemmelse af lermineralfraktioner <2µm

Lermineral%	Kaolinit	Illit	Vermiculit	Smectit	Chlorit	Veksellag mineraler
-------------	----------	-------	------------	---------	---------	------------------------

Oxiderede zone (2,5 m u.t.)

Grå sprække	14	19	25	15	0	27
Rustrød spræk- kerand	13	16	29	18	0	23
Gulbrun matrix	14	21	27	14	0	25

Reducerede zone (3,5 m u.t.)

Rustrød sprække	17	19	21	14	7	22
Grå matrix	22	22	24	6	7	19
Grå matrix	25	23	22	3	10	18

Geoteknisk Institut

 Sag: 270 00283 Havdrup

Udført : Dato: Emne: Kemiske analyser

Kontrol : *PRJ* Dato: *200501*

Godkendt: *CAN* Dato: *900808*

Rapport nr. 1 Bilag nr. VI

SEDIMENTKEMISKE ANALYSER AF INTAKTPRØVER, BORING 1

Tritiumbestemmelse

Dybde, m u.t.	Sediment	Tritium, TU	Standard- afvigelse
1,8 - 2,0	ML	49	+ 5
2,5 - 3,0	ML	71	+ 6
3,6 - 4,0	ML	90	+ 7
4,5 - 5,0	ML	76	+ 6
5,8 - 6,0	ML	58	+ 5
6,5 - 7,0	ML	60	+ 5
7,8 - 8,0	ML	79	+ 6
8,5 - 9,0	ML	89	+ 7
9,6 - 9,8	ML	100	+ 7
10,6 - 11,0	ML	61	+ 5
11,7 - 12,0	ML	55	+ 5
12,8 - 13,0	ML	44	+ 5
13,7 - 14,8	ML	16	+ 2
14,8 - 15,0	ML	5	+ 5

ML : moræneler

 NO_3^- , NH_4^+ og klorid bestemmelse

Dybde, m u.t.	Sediment	Cl^- , ppm	NH_4^+ , ppm	NO_3^- , ppm
1,6 - 1,8	ML	52	0,6	18
2,7 - 3,0	ML	32	0,7	6
3,5 - 3,6	ML	43	3,8	1,7
4,7 - 4,8	ML	31	5,5	0
5,0 - 5,1	S	13	1,9	9,6
5,8 - 6,0	S	21	1,4	0
6,8 - 7,0	ML	30	7,4	0
7,8 - 8,0	ML	33	8,2	0
8,8 - 9,0	ML	10	7,8	6,6
9,9	S	9	6,2	7,8
10	ML	15	2,6	0
10,9 - 11,0	ML	12	3,0	0
11,9 - 12,0	ML	17	7,1	0
12,9 - 13,0	ML	26	11,3	0
13,9 - 14,0	ML	51	18,6	0
14,9 - 15,0	ML	45	10,1	0

Geoteknisk Institut



Sag: 270 00283 Havdrup

Udført :

Dato:

Emne: Kemiske analyser

Kontrol :

Dato: 200501

Godkendt: *CAN*

Dato: 900808

Rapport nr.

1

Bilag nr.

VI

SEDIMENTKEMISK ANALYSE, BORING 2 (OMRØRTE PRØVER)

Dybde, m u.t.	Sediment	Cl ⁻ , ppm
2	ML	14
4	ML	19
6	ML	20

ML : moræneler
S : sand

Geoteknisk Institut



Sag: 270 00283 Havdrup

Udført :

Dato:

Emne: Kemiske analyser

Kontrol : *P.R.J.*Dato: *200501*Godkendt: *CAN*Dato: *900808*

Rapport nr. 1

Bilag nr.

VI

SEDIMENTKEMISKE ANALYSER I PLANTAGEPROFILET (H)Tungmetaller

Tungmetalscreening af blandjordprøve (saltpetersyreoplukning).

Prøve nr.	Cr (ppm)	Ni (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Cd (ppm)	Hg (ppm)	Pb (ppm)	As (ppm)
0	9,3	8,7	5,9	22	0,053	<0,06	5,9	1,151

Specifik analyse (selektiv ekstraktion).

Prøve nr.	Dybde (m u.t.)	As (ppb)	Cu (ppm)	Hg (ppb)	Fe (ppm)	Mn (ppm)
1	0,10	100	2,0	100	420	27
2	0,15	<60	0,8	106	176	8
3	0,20	<60	0,4	8	200	3
4	0,25	<60	0,8	10	100	2
5	0,10	100	1,8	250	360	31
6	0,15	<60	1,2	170	320	30
7	0,20	<60	0,6	14	220	3
8	0,25	<60	0,6	8	90	19
9sp	0,95	<60	0,8	6	64	194
9m	0,95	<60	1,0	6	100	336
10s	0,40	<60	0,6	14	74	208
10m	0,40	<60	0,8	30	219	200
11s	0,40	<60	0,6	16	30	74
11m	0,40	<60	0,8	28	98	120
12s	0,40	<60	0,8	18	72	100
12m	0,40	<60	0,6	8	74	130
13s	0,80	<60	0,6	30	28	4
13m	0,80	<60	0,4	6	32	6
14s	1,0	80	0,8	0	58	114
14m	1,0	<60	0,8	0	44	21
15s	2,6	<60	1,0	14		
16m	2,6	130	0,8	12		
17m	2,3	70	0,8	8		
18m	2,3	70	1,0	6,0		
26m	2,0*	<60	0,8	8,0		
27m	0,8*	<60	0,6	12,0		

s : sprækkeprøve
 m : matrixprøve
 * : markprofilet (K)

Geoteknisk Institut



Sag: 270 00283 Havdrup

Udført :

Dato:

Emne: Kemiske analyser

Kontrol : P.R.J

Dato: 200501

Godkendt: C.M.V

Dato: 200808

Rapport nr.

1

Bilag nr.

VI

REFERENCE TUNGMETALANALYSER, RISBYHOLM

Dybde, m u.t.	område	Cu ppm	As ppb	Hg ppb
0,00		0,5	154	34
0,10		0,6	60	38
0,15	skov	0,3	118	28
0,20		u.d.	60	28
0,25		u.d.	u.d.	20
Middelværdi		0,46	98	29,6
0,10		0,3	116	30
0,15	mark	u.d.	142	34
0,20		0,3	183	36
0,25		u.d.	125	30
Middelværdi		0,3	141,5	32,5

u.d.: under detektionsgrænsen.

Geoteknisk Institut



Sag: 270 00283 Havdrup

Udført : PRJ

Dato:

Emne: Kemiske analyser

Kontrol : PRJ

Dato: 200501

Godkendt: CMN

Dato: 200808

Rapportnr. 1

Bilag nr. VI

SEDIMENTKEMISK ANALYSE I PLANTAGEN (H)

Pesticider:

GC/MS-screenings analyse for organiske mikroforureninger i muld-
prøve nr. 19

Komponent	Estimeret koncentration (ppb)
Phenanthren	20-30
Fluoranthen	30-50
Pyren	30-50
DDE (MW 316)	200-400
DDD-isomer (MW 318)	20-50
DDD (MW 318)	50-150
DDT-isomer (MW 352)	20-40
DDT	20-50
Chrysen	20-50

Resultater af GC/MS/SIR analyse af DDE

Prøve nr.		Dybde, m u.t.	DDE, ppb
19	muld	0,1	175
20 m	lermatrix	0,5	2,8
20 s	sprækkeplan	0,5	5,7
21 m	lermatrix	1,1	1,8
21 s	sprækkeplan	1,1	3,1

Geoteknisk Institut



Sag: 270 00283 Havdrup

Udført :

Dato:

Emne: Kemiske analyser

Kontrol : *P.R.J.*Dato: *200501*Godkendt: *CAN*Dato: *900808*

Rapport nr. 1

Bilag nr. VI

KEMISKE VANDANALYSER, BORING 1 OG 2

Vandprøver, boring nr. 1

Filterdybde m u.t.	Cl ⁻ ppm	NO ₃ ppm	Tritium t
4.5 - 6	41	0	45
15.4 - 20	39	1	6

Vandprøver, boring nr. 2

Filterdybde m u.t.	Cl ⁻ ppm	Atrazin ng/l	Simazin ng/l
4.0	41	38	57
5.5	38	40	18

Geoteknisk Institut



Sag: 270 00283 Havdrup

Udført :

Dato:

Emne: Kemiske analyser

Kontrol : *P.R.J.*Dato: *200501*Godkendt: *CAN*Dato: *900808*

Rapport nr. 1

Bilag nr. VI

Ekstraktion af overfladecoatings

Overfladebehandling af den oprindelige sigtede prøve (<250 μm).

Oplukning af overfladebelægning med:

0,3 M ammoniumcitrat i 2% hydroxylaminehydrochlorid.

67,86 g $\text{C}_6\text{H}_{14}\text{N}_2\text{O}_7$ i 1 liter H_2O med 20 g HONH_3Cl , pH indstilles til 6-7 med NH_4OH .

0,5 g analyse i centrifugeglas tilsættes 5 ml oplukningsvæske og henstår i rysteapparat 1/2 time med jævnlige omrystninger i hånden. Derefter tilsættes 5 ml vand og prøven centrifugeres og dekanteres straks.

Standarder fortyndes med 1/4 oplukningsvæske og 3/4 H_2O .

Det er meget vigtigt for reproducerbarheden, at rystetiden overholdes, samt at analyserne centrifugeres og dekanteres umiddelbart efter rystningen.

Der må ikke anvendes gummipropper i centrifugeglassene på grund af evt. højt tungmetallindhold i gummi.

Ref.: Whitney, P. R.

Relationship of Manganese-iron upsides and Associated Heavy Metals to Grain-size in Stream Sediments, J. Geochem. Explor, p. 251-264. 1975.

Geoteknisk Institut

 Sag: 270 00283 Havdrup

Udført :	Dato:	Emne: Ekstraktionsmetode
Kontrol : <i>PRT</i>	Dato: <i>200501</i>	
Godkendt: <i>CW</i>	Dato: <i>900508</i>	Rapport nr. 1
		Bilag nr. VII

Registreringsblad

Udgiver: Miljøstyrelsen, Strandgade 29, 1401 København K

Serietitel, nr.: Miljøprojekt, 155

Udgivelsesår: 1990

Titel: Spredning af forurening i moræneler

Undertitel:

Forfatter(e): Jørgensen, Peter R.

Udførende institution(er):

Miljøstyrelsen (spons); Hovedstadsrådet (spons);

Geoteknisk Institut

Resumé:

Rapporten omhandler sprækket morænelers grundvandsbeskyttende egenskaber. Der redegøres for sprækkesystemernes dannelse og forekomst, for deres hydrauliske funktion og deres kemiske potentiale. Det fremgår, at sprækkers og makroporers rolle ved omsætning og spredning af nitrat kan være af større betydning end hidtil erkendt. Samtidig påvises det, at der sker en spredning til grundvandet ved tilførsel af organiske pesticider og tungmetaller til jordbunden

Emneord:

ler; grundvand; nedsvivning; pesticider; analysemetoder; profiler; boringer; nitrogen CAS 7727-37-9

ISBN: 87-503-8713-8

ISSN: 0105-3094

Pris: 130,- (inkl. 22% moms)

Format: A4

Sideantal: 132 s.

Md./år for redaktionens afslutning: august 1990

Oplag: 400

Andre oplysninger:

Tryk: Luna Tryk ApS

Trykt på miljøpapir

Miljøprojekt

- Nr. 117 : Dioxinmission ved affaldsforbrænding
- Nr. 118 : Klor-kilders betydning for dioxindannelse ved forbrænding
- Nr. 119 : Okkerrensning i forbindelse med landbrugsmæssig dræning
- Nr. 120 : Kontrol af køretøjer med katalysator
- Nr. 121 : Forurenede industrigrunde
- Nr. 122 : Indsamling af papir og pap fra erhvervsvirksomheder
- Nr. 123 : Risikovurdering af forurenede grunde
- Nr. 124 : Vedligeholdelse af køle-smøremidler
- Nr. 125 : Fugleføde i kornmarker – insekter og vilde planter
- Nr. 126 : Miljøvenlige malematerialer i jernindustrien
- Nr. 127 : Miljøfremmede, organiske stoffer i kommunalt spildevand
- Nr. 128 : Nedsivning fra byggeaffald
- Nr. 129 : Genanvendelse af bygge- og anlægsaffald – del 1
- Nr. 130 : Forureningsfri galvanomaskiner til værkstedsbrug
- Nr. 131 : Miljøvurdering af PVC og udvalgte alternative materialer
- Nr. 132 : PVC i kontorartikler, sundhedssektor, m.v.
- Nr. 133 : PVC i byggeri og anlæg
- Nr. 134 : PVC i emballage
- Nr. 135 : Hjemmekompostering
- Nr. 136 : Bearbejdning af danske måledata af regn og afstrømning
- Nr. 137 : Regulering af forurening fra afløbssystemer under regn
- Nr. 138 : Renere teknologi på energiområdet
- Nr. 139 : Afvask af trykpresser med sojaolie
- Nr. 140 : Vandige malematerialer til korrosionsbeskyttelse
- Nr. 141 : Det grønne affaldssystem i AFAV
- Nr. 142 : Det grønne affaldssystem i Høng
- Nr. 143 : Katodisk elektrodyppemaling
- Nr. 144 : Reparationsmaling af automobiler
- Nr. 145 : Genanvendelse af nedknust tegl
- Nr. 146 : Restprodukter fra røggasrensning ved affaldsforbrænding 1
- Nr. 147 : Blæserensningsmetoder
- Nr. 148 : Storskraldsordninger med genanvendelse
- Nr. 149 : Emissionsundersøgelse for pejse og brændeovne
- Nr. 150 : Prognose for bygge- og anlægsaffald – hovedrapport
- Nr. 151 : Prognose for bygge- og anlægsaffald – bilagsdel
- Nr. 152 : Kemikalier i husholdningen
- Nr. 153 : Danmarks udledning af industrielt spildevand
- Nr. 154 : Miljømærkning af produkter
- Nr. 155 : Spredning af forurening i moræner

Spredning af forurening i moræneler

Rapporten omhandler sprækket morænelers grundvandsbeskyttende egenskaber. Der redegøres for sprækkesystemernes dannelse og forekomst, for deres hydrauliske funktion og deres kemiske potentiale. Det fremgår, at sprækkers og makroporers rolle ved omsætning og spredning af nitrat kan være af større betydning end hidtil erkendt. Samtidig påvises det, at der sker en spredning til grundvandet ved tilførsel af organiske pesticider og tungmetaller til jordbunden.

Miljøministeriet

Miljøstyrelsen

Strandgade 29, 1401 København K, tlf. 31 57 83 10

Pris kr. 130.- inkl. 22% moms

ISSN nr. 0105-3094

ISBN nr. 87-503-8713-8