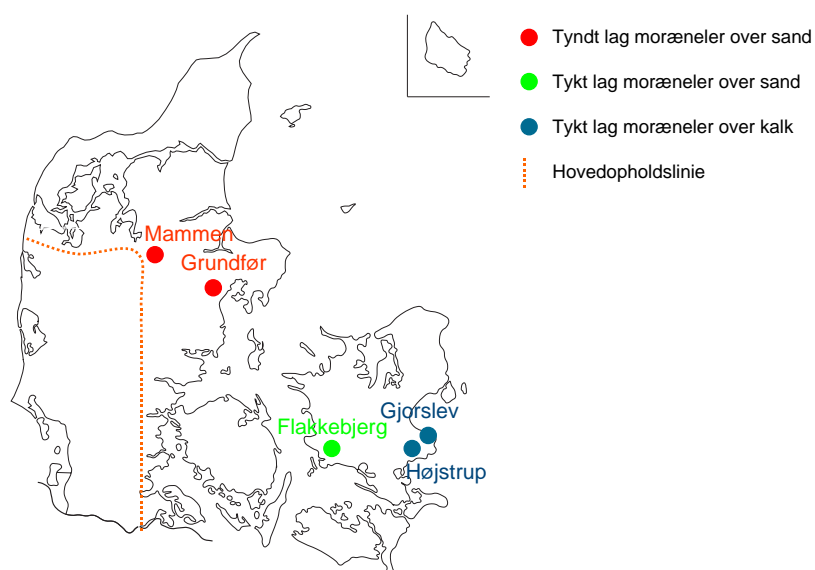


Sammendrag

Feltlokaliteter

Til brug for de planlagte undersøgelser blev fire feltlokaliteter valgt ud med henblik på forskellige undersøgelser. De to sjællandske lokaliteter, der er placeret ved henholdsvis Gjorslev og Højstrup på Stevns er karakteriseret ved forholdsvis tykke (ca. 10 meter) lag af moræneler over kalk, mens de to jyske lokaliteter ved Mammen og Grundfør, er karakteriseret ved forholdsvis tynde (< 5 meter) lag af moræneler over sand.

Ud over de fire lokaliteter er der anvendt måleresultater fra udstyr, der allerede var etableret ved Flakkebjerg, syd for Slagelse, i forbindelse med udviklingen og verifikationen af en metode til beskrivelse af morænelers hydrauliske egenskaber. Ved Flakkebjerg er morænelerslaget omkring 12 meter tykt og ligger her oven på et sekundært grundvandsmagasin bestående af smeltevandssand.



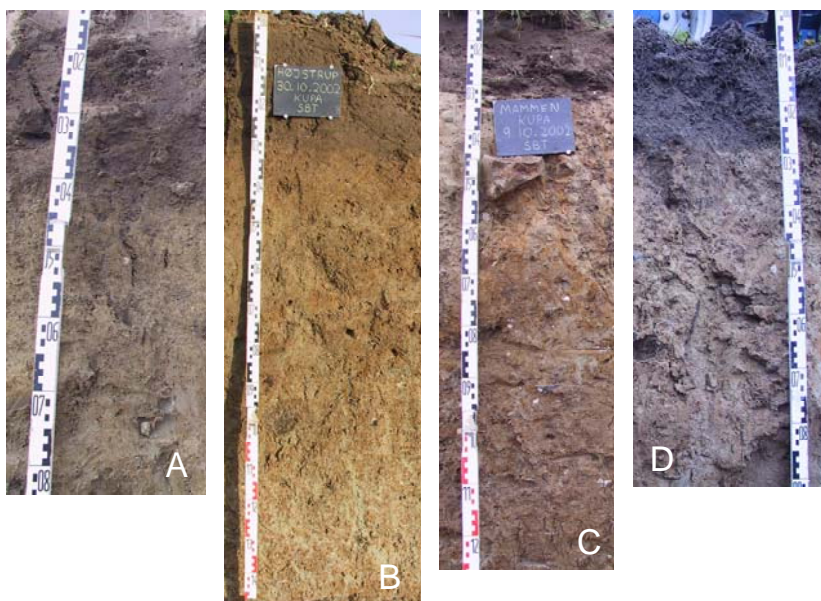
Figur 1. Feltundersøgelserne er gennemført på 5 lokaliteter, Mammen, Grundfør, Flakkebjerg, Gjorslev og Højstrup.

Pedologiske og geologiske forhold på feltlokaliteterne

Pedologiske forhold

Ved Gjorslev og Højstrup er jordbundsdannelsen domineret af tre hovedprocesser; kalkudvaskning, forbruning og landbrugsmæssig praksis ved tilførsel af kalk. Jordene her klassificeres efter det danske klassifikationssystem som Typibrunjorde, som følge af tilstedeværelse af en forbrunet horisont (Bv-horisont), der får sin farve fra bl.a. jernoxider der beindes

i metal-organiske komplekser med humusstoffer, figur 2. Denne horisont har nogenlunde samme udbredelse på de to lokaliteter og findes typisk udbredt i dybden 26 cm til 85 cm hvorefter C-horisonten følger. Det øverste lag ned til dybder fra 80 til 170 cm fremstår i dag kalkfrie og med lavere pH-værdier end de efterfølgende kalkrige horisonter. Hyppig tilførsel af kalk i forbindelse med opdyrkningen af arealet indebærer dog forhøjede pH-værdier i de overfladenære horisonter. Sammensætningen af baser betyder at basemætningen er målt til minimum 90%. Samtidig med dannelsen af kalkfrie forhold i de øverste jordlag på de to lokaliteter iagttages en begyndende mobilisering af kolloide partikler og dermed dannelsen af en lerberiget horisont (den såkaldte Bt-horisont). Ved Højstrup begynder de for pseudogleyen karakteristiske farvemønstre i Bv-horisonten og fortsætter ned i C-horisonten til bunden af profilet i 150 cm dybde. Ved Gjorslev findes farvemønstrene dybere og findes her beskrevet fra 115 og ned til bunden af profilet i 180 cm.



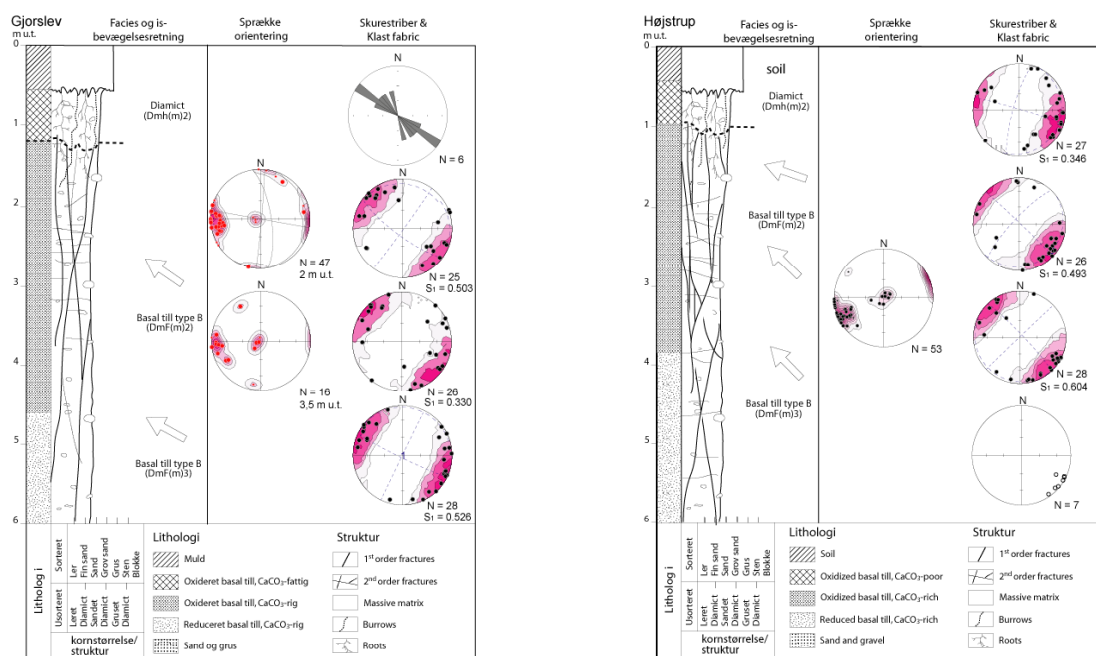
Figur 2. Jordbundsprofiler fra Gjorslev (A), Højstrup (B), Mammen (C) og Grundfør (D). Jordtypen på lokaliteterne er efter det danske klassifikationssystem bestemt til kalkholdig pseudogleyet Typibrunjord ved Gjorslev, pseudogleyet Typibrunjord ved Højstrup, pseudogleyet Typilessive ved Mammen og pseudogleyet Degralessive ved Grundfør. For en mere detaljeret beskrivelse, se bilag 1.

Ved Mammen er jordbundsudviklingen i lerlaget mere fremskreden end ved Gjorslev og Højstrup. Placeringen tæt på hovedopholdslinien bevirker at de jordbundsdannende processer har virket gennem længere tid. Hertil kommer en formodentlig lavere naturlig bufferkapacitet (bl.a. kalk) samt en øget vandgennemstrømning gennem lerlaget sammenlignet med de sjællandske lokaliteter. Jordbunden her er klassificeret som en Typilessive, der foruden kalkudvaskning og forbruning også indebærer en lernedvaskning og dannelse af en veludviklet lerberiget Bt-horisont, figur 2. Udvasningen af kalk og forholdvis lave pH-værdier virker fremmede for denne proces. Desuden findes i dybden 27 cm til 65 cm en veludviklet hård horisont (en fragipan), der er fremkommet som følge af processer i forbindelse med frost-tø og fugt-udtørring under sidste del af istiden.

Ved Grundfør er jordbundsudviklingen ligeledes mere fremskreden end for de sjællandske lokaliteter og minder mere om den der allerede er beskrevet for Mammen. Jorden er klassificeret som en Degralessive med en usammenhængende fragipandannelse i dybdeintervallet fra 50 cm til 100 cm og en begyndende nedbrydning af den lerholdige horisont (beskrevet ved benævnelsen glossic), figur 2. Desuden viser farvemønstrene at lokaliteten er præget af pseudogley i dybden fra 40 cm og ned til bunden af profilen, svarende til 150 cm.

Geologiske forhold på lokal og markskala

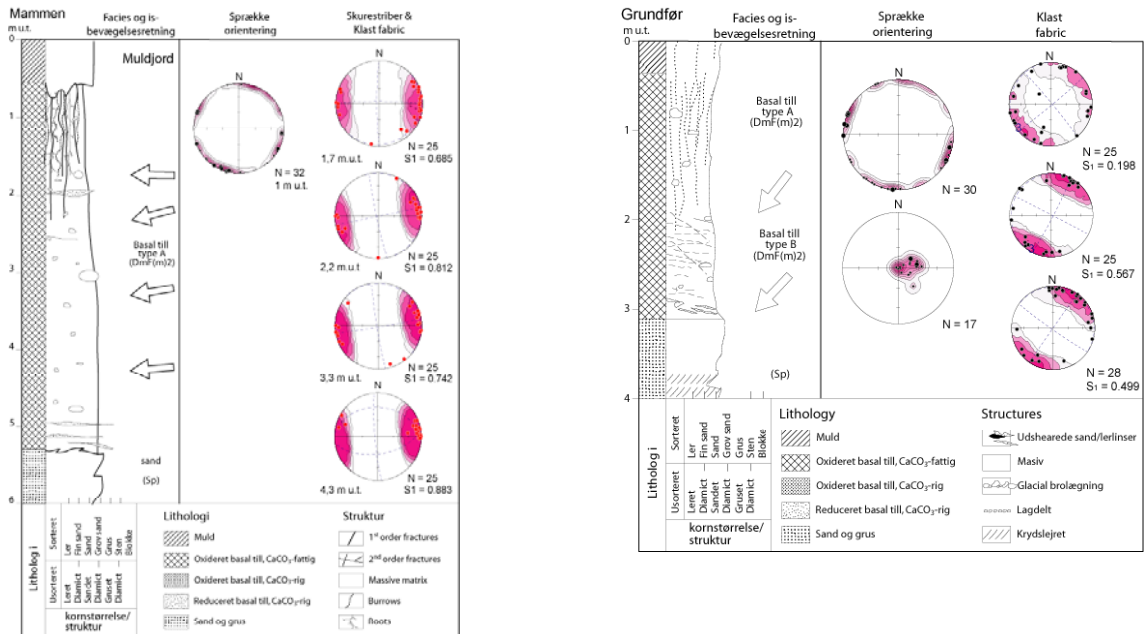
Lokaliteterne Gjorslev og Højstrup på Stevns, er beliggende i et område domineret af en udstrakt bølget moræneflade karakteriseret ved et 7 til 15 meter tykt lag moræneler direkte overlejrende primært opsprækket bryozokalk, figur 3. Denne type moræneflade er karakteristisk for det meste af det sydøstlige Sjælland. Morænelersfladen er meget ensartet og plan - stort set kun afbrudt af mindre lavninger ned imod Trykkevælde å - og udgør et klassisk bundmoræneområde. Moræneleren er begge steder klassificeret som en basal till (type B), der blev aflejret i forbindelse med det Ungbaltiske fremstød.



Figur 3. Lithologisk log med sprække og klast fabric data fra Gjorslev (til venstre) og Højstrup (til højre). For en mere detaljeret beskrivelse, se bilag 2.

Lokaliteterne ved Mammen og Grundfør er begge beliggende på en bølget morænelersflade og er karakteriseret ved tynde (< 5 meter) lerlag overlejrende smeltevandsand/-grus. Området ved Mammen er stærkt præget af store smeltevandsdale og tunneldale, der gennemskærer morænefladen ud mod Weichsel-isens hovedopholdslinje på den midtjyske højderyg. De højtliggende områder, der i dag ligger mellem de store dale og som fremstår som bakker, udgøres af erosionsrester fra den gamle overflade. Området ved Mammen er karakteristisk for det meste af Østjylland, op til Vendsyssel, men kendes ikke andre steder i Danmark. Moræneleren her består af en basal till (type A), der menes afsat af en aktiv gletcher med retning fra øst mod vest i den sidste del af hovedfremstødet i Weichsel, figur 4.

Ved Grundfør er moræneleren klassificeret som en basal till (type B), der menes afsat under en gletcher, der overskred området fra nordøst i forbindelse med hovedfremstødet i sen Weichsel, figur 4.



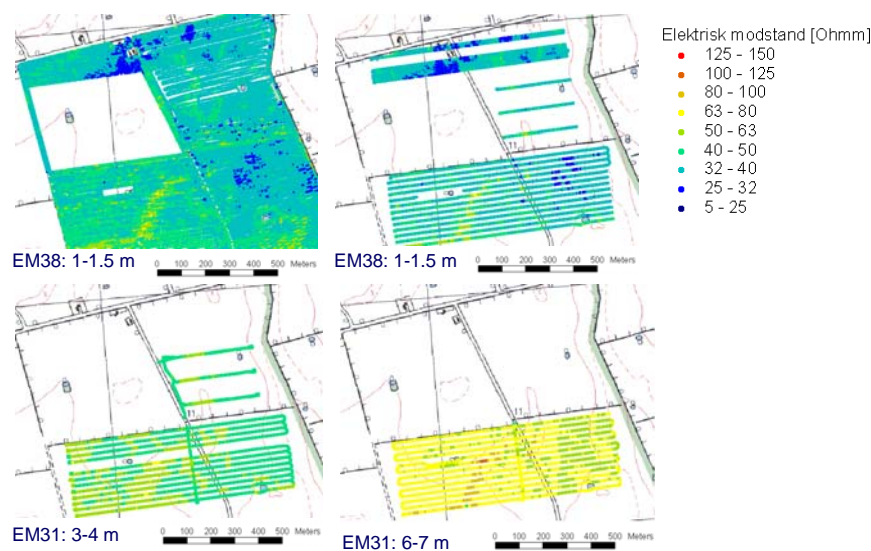
Figur 4. Lithologisk log med sprække og klast fabric data fra Mammen (til venstre) og Grundfør (til højre). For en mere detaljeret beskrivelse, se bilag 2.

Geofysiske opskaleringstenikker - EM 38, EM31 og slæbegeoelektrik

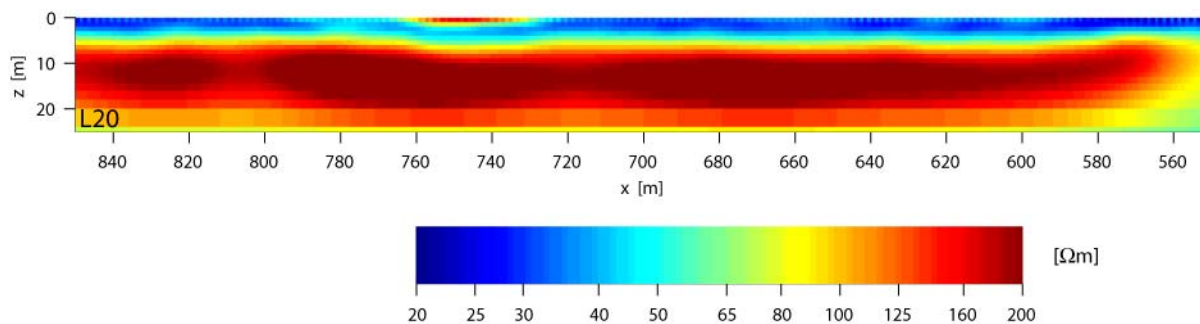
Resultaterne fra den enkelte lokalitet (punktobservation) lader sig brede ud til større arealer ved brug af geofysiske metoder. EM38 metoden med en indtrængningsdybde på 1-1,5 meter gør denne metode egnet til kortlægning af den horisontale udbredelse af inhomogeniteter der stort set har kontakt med jordoverfladen, figur 5 og 6. EM31 metoden vil, bestemt af den valgte opstilling, gøre det muligt at foretage en kortlægning af den horisontale udbredelse af inhomogeniteter ned til maksimalt 5-7 meters dybde, figur 6. Begge metoder bidrager kun i ringe omfang til en kortlægning af inhomogeniteternes vertikale udbredelse. En sådanne kortlægning kan opnås ved brug af slæbegeoelektrikmetoden, hvis det drejer sig om større inhomogeniteter med en betydelig tykkelse og udstrækning. Ligeledes vil den slæbegeoelektriske metode kunne anvendes i forbindelse med en kvantitativ bestemmelse af moræneaflejringens tykkelse i områder hvor den samlede tykkelse ikke overstiger 10-15 meter, figur 7.



Figur 5. EM38 data fra Højstrup (til venstre) og Mammen (til højre). For en mere detaljeret beskrivelse, se bilag 4.



Figur 6. De to øverste figurer viser EM38 data og de to nederste figurer viser EM31 data indsamlet ved Højstrup. For en mere detaljeret beskrivelse, se bilag 4.



Figur 7. Udsnit af tolkningsresultat for slæbegeoelektrik ved Højstrup. De blå-turkise farver viser udbredelsen af moræneler og de rød-orange farver viser henholdsvis sand i overfladen og udbredelsen af den underliggende kalk. For en mere detaljeret beskrivelse, se bilag 4.

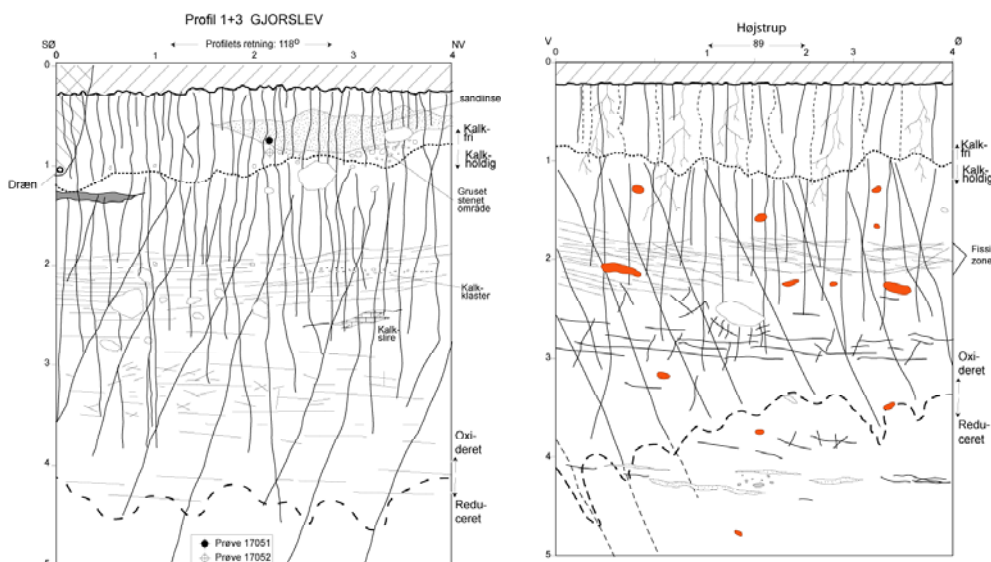
Resultater vedrørende de hydrauliske forhold i moræneler

Kortlægning af makroporer og inhomogeniteter

Som supplement til den generelle beskrivelse af de geologiske forhold blev der ligeledes foretaget en beskrivelse af fordelingen af makroporer (bl.a. biopore, tørke og tektoniske sprækker) på de fire feltlokaliteter.

Opmålinger ved Gjorslev og Højstrup viste at der indenfor den øverste meter fandtes mange rod og regnormegange, figur 8. I 75 cm dybde, i et antal svarende til 300-500 pr. m², og for dybdintervallet 1-1.4 meter i et stadig aftagende antal. I de øverste 2 meter forekommer desuden vertikale udtørningsprækker. Dertil kommer et system bestående af system 1 og system 2 sprækker. System 1 sprækker er systematisk orienterede og stejltstående der findes i to meters dybde med en indbyrdes afstand på ca. 10 cm, hvorefter afstanden stiger til ca. 50 cm i 4 meters dybde og 1.5 meters i 5 meters dybde. System 2 sprækker er subhorizontale sprækker med varierende afstand. Ved Gjorslev er der specielt mange subhorizontale sprækker i dybden 1.8-3.5 meter hvor de optræder med en afstand på 1-4 cm, hvorefter afstanden tiltager til 4-10 cm i 3.5-4 meters dybde hvorefter lerlaget bliver stort set massivt. Ved Højstrup er optræder de subhorizontale sprækker med 1-4 cm afstand i dybden 1.8-2.3 meter, hvorefter afstanden øges til 2-8 cm i 2.3-3.7 meter. Under denne dybde beskrives lerlaget som massivt.

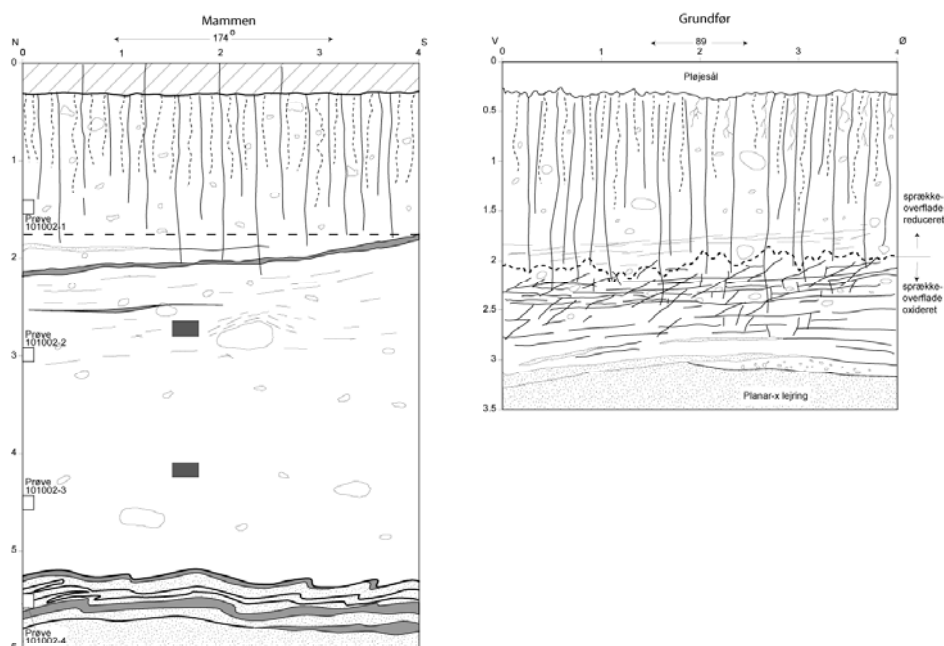
Ved Mammen findes talrige udtørningsprækker med til 2 meter under terræn, figur 9. Udtørningsprækkerne optræder i polygoner med typisk diameter på 15-20 cm, hvoraf nogle tolkes som værende dannet i perioder med permafrost. På overfladen af udtørningsprækkerne findes ned til ca. 1.5 meters dybde store regnormegange med en indbyrdes afstand på ca. 10 cm. Der er ikke beskrevet system 1 eller 2 sprækker på denne lokalitet og dette skydes antagelig et højt porevandttryk under isen på det tidspunkt da den stod helt fremme ved hovedopholdslinien.



Figur 8. Makroporefordeling i profil fra Gjorslev (til venstre) og Højstrup (til højre). For en mere detaljeret beskrivelse, se bilag 2.

Ved Grundfør findes et stort antal regnorme- og rodgange ned til 1.5 meters dybde, figur 9. Antallet i 75 cm dybde er bestemt til 100-300 pr. m², og er således lavere end i tilsvarende dybde på de to sjællandske lokaliteter. Dertil kommer et betydeligt antal udtørningsprækker, der optræder i polygoner, og som når ned til 2 meters dybde. Fra 2 meters dybde findes subhorizontale sprækker og glacialtektoniske lavthældende sprækker, hvor udbredelsen af sidstnævnte sprækketype begrænses af lerlagets tykkelse.

Sammenlignet med tidligere opmålinger, der primært er foretaget på Sjælland, Falster og Fyn, viser de nye data fra Mammen og Grundfør, at disse lokaliteter er karakteriseret ved en anderledes fordeling af makroporer, figur 10. Det er især manglen på dybe sprækker der antyder at de hydrauliske forhold her kan være væsentlig forskellige fra de der har været beskrevet fra andre lokaliteter.

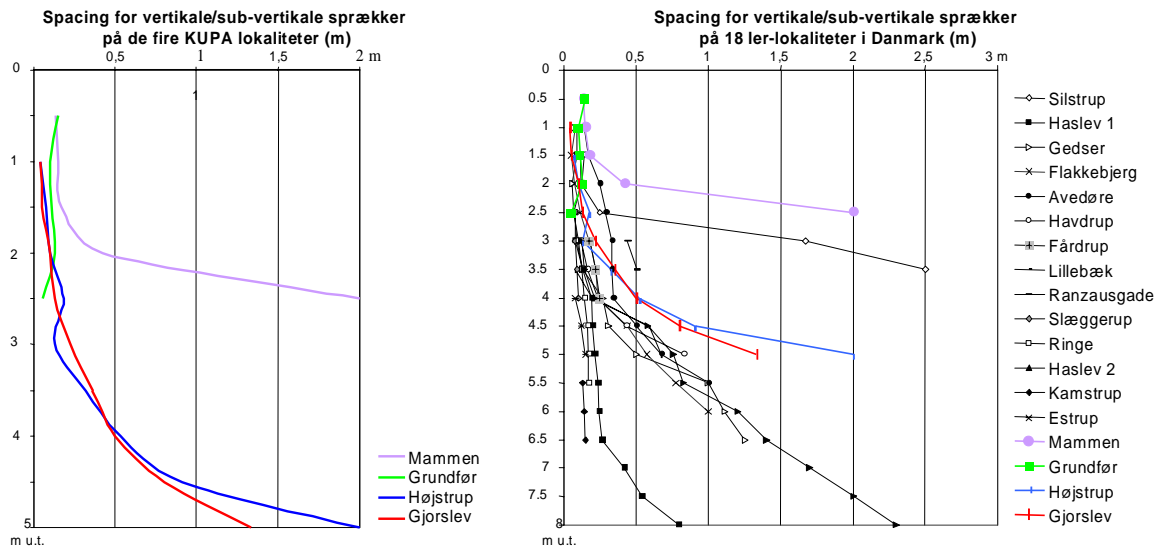


Figur 9. Makroporefordeling i profil fra Mammen (til venstre) og Grundfør (til højre). For en mere detaljeret beskrivelse, se bilag 2.

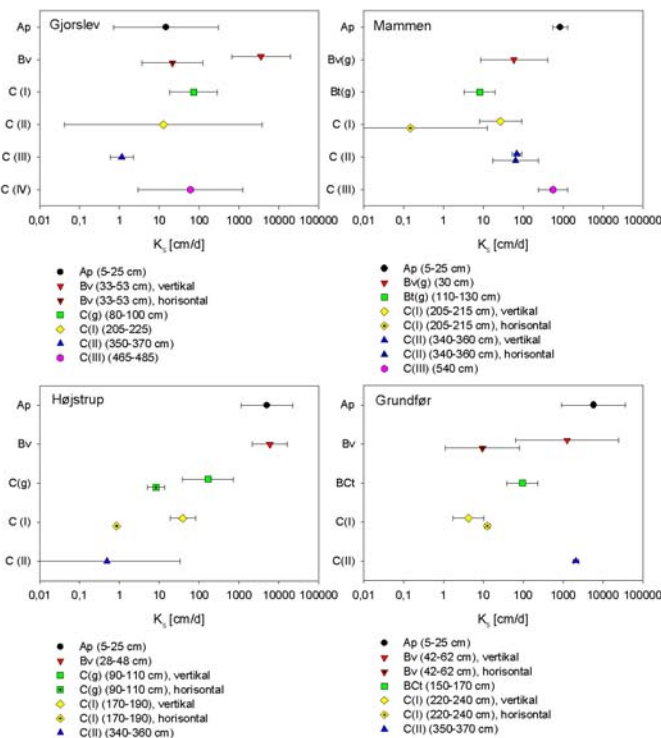
Supplerende målinger af den mættede hydrauliske ledningsevne lader sig i høj grad forklare ved den her beskrevne fordeling af sprækker. For prøver fra Mammen, hvor der kun findes få dybe sprækker er de målte værdier for vertikalt og horisontalt udtagne kolonneprøver meget ens, figur 11. For prøver udtaget ved Grundfør blev der målt en større mættet strømningshastighed for horisontale kolonneprøver end for vertikale kolonneprøver, der ligeledes var karakteriseret ved et stort antal horisontale sprækker, figur 11.

Foruden forekomsten af makroporer kan inhomogener bestående af mere grovkornede sedimenter (bl.a. sand og grus) ligeledes spille en væsentlig rolle for vandets strømningsmønster i moræneler. Med anvendelsen af Cone Penetration Testing (CPT) metoden til kortlægning af sandlinsers forekomst ned til en dybde af 8-10 meter viste det sig muligt at identificere ganske tynde sand- og grus, figur 12. Den efterfølgende tolkning og anvendelse af geostatistiske metoder af de indsamlede data fra et 50*100 meter stort område ved Højstrup viste, at det med metoden var muligt at beskrive sammenhængende strømnings-

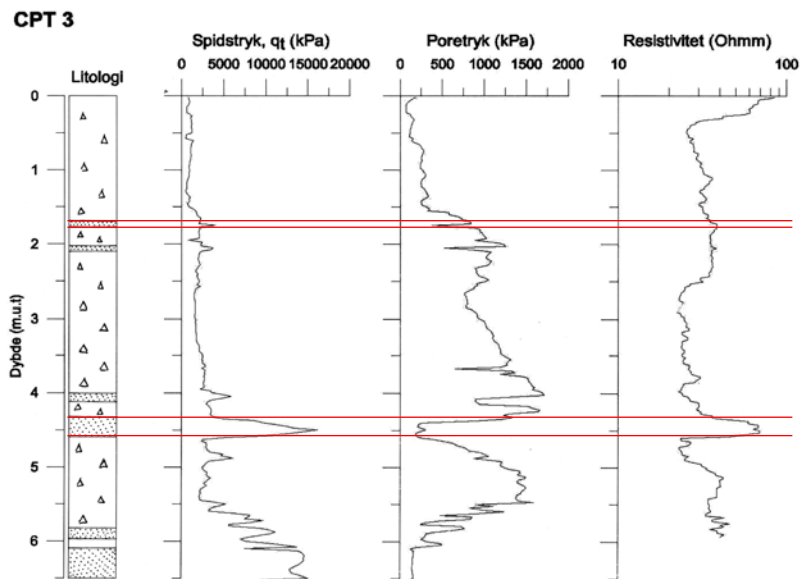
veje gennem morænelerslaget samt at beskrive fysiske heterogeniteter og geologisk variabilitet i dette lag, figur 13.



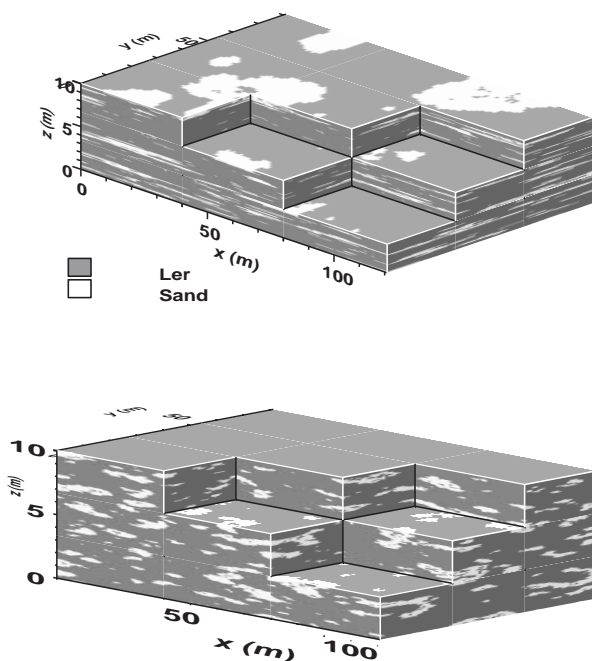
Figur 10. Variation af gennemsnitlig afstand imellem sprækker (spacing) i forskellig dybde på de fire målte feltlokaliteter samt på andre 18 danske ler-lokaliteter. For en mere detaljeret beskrivelse, se bilag 2.



Figur 11. Mættet hydraulisk ledningsevne (K_s) målt på store kolonner med undtagelse af Bv(g)- og C(III)-horisonten ved Mammen, hvor der blev målt på små retentionsringe. For en mere detaljeret beskrivelse, se bilag 5.



Figur 12. Et eksempel på logmønstre for de tre CPT parametre (spidstryk, poretryk og resistivitet), hvor sandlag (eksempler ses afgrænset ved røde streger) er tolket som indslag i en overvejende lerpræget litologisk profil. For en mere detaljeret beskrivelse, se bilag 4.

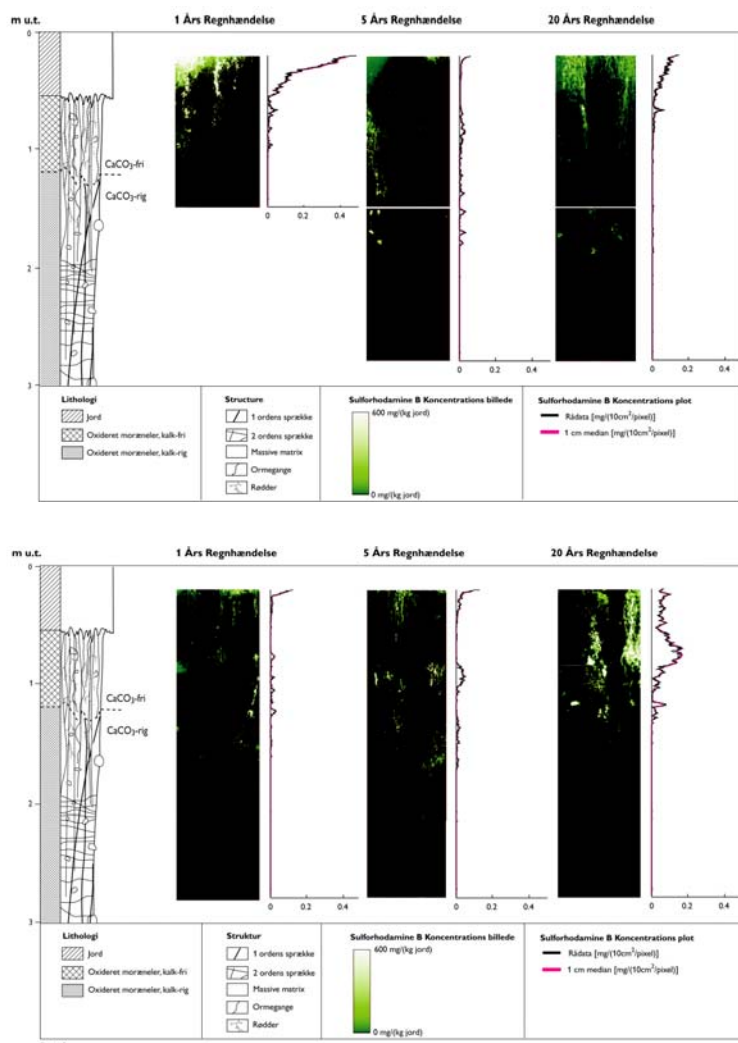


Figur 13. Konditioneret simulering af sandlinser i morænelersdække ved Højstrup. For en mere detaljeret beskrivelse, se bilag 4.

Tracerforsøg til kortlægning af det nedsivende vands transportveje

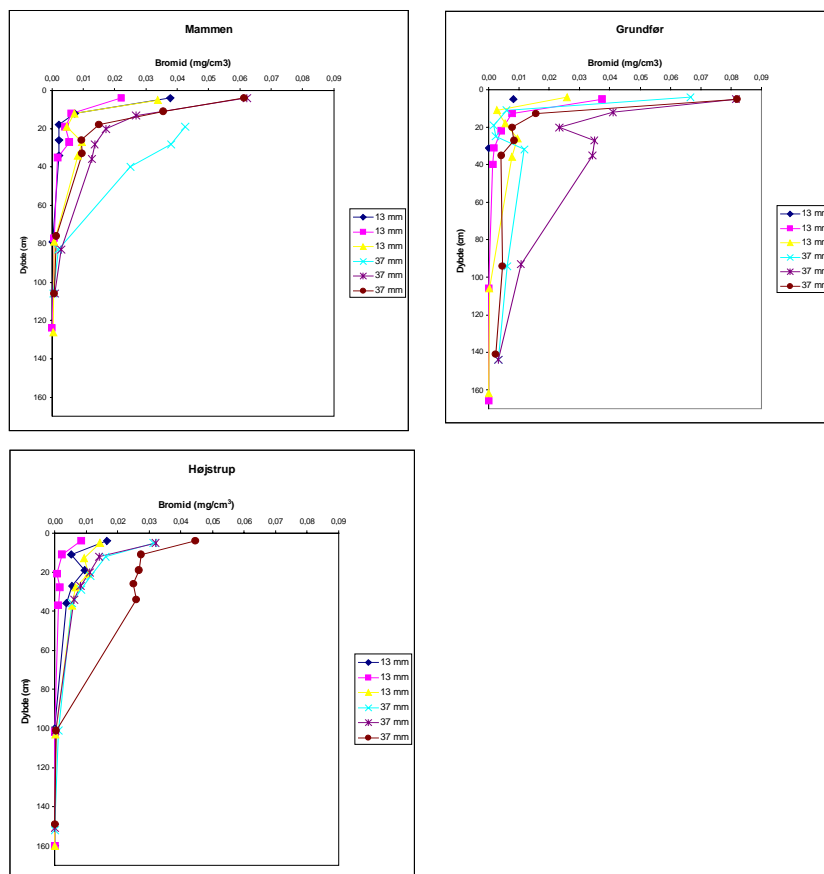
Ved Gjorslev gennemførtes tracerforsøg på to forskellige tider af året, hvor undersøgelserne i august/september repræsenterede det tidspunkt af året hvor jorden regnes for mest udtørret og oktober/november det tidspunkt hvor jorden forventes at være mere vandmættet. I forsøgene blev der, over 100 minutter, tilført en vandig opløsning med en blanding af

to tracere (Acid Yellow 7 og Sulforhodamin B) til parceller hvorfra topjorden (Ap-horisonten) var nænsomt blevet fjernet. Tracerblandingen blev tilført med forskellig intensiteter svarende til én 1 års-, 5 års- og 20 årshændelse. Hovedresultaterne af opmålingen af de to tracere ved en avanceret fototeknik og med efterfølgende billedbehandling viste, at samtlige ormegange bidrager til udbredelsen af tracer i den tørre jord, mens det i den våde jord kun er de ormegange, der føres videre i en sprække, der bidrager til transporten af tracer, figur 14. I sommersituationen ophobes tracer i bunden af de ormegange, der ikke har kontakt til en sprække. Desuden viste resultaterne, at det primært er ormegangene, der er afgørende for vandtransporten i de øverste 1.2 meter. De to valgte tracers egenskaber viste sig i øvrigt også afgørende for hvorledes det blev transporteret og udbredt. Acid Yellow 7 blev registreret til større dybde (>2.8 meter) end for Sulforhodamin B (<1.5 meter) og transporten af Acid Yellow 7 ses ligeledes i højere grad følger en stempel strømning, en tendens der øges med stigende intensitet.



Figur 14. Koncentrationsprofiler for Sulforhodamine B for 1, 5 og 20 års hændelser tilfor våd jord (øverste figur) og tør jord (nederste figur). For en mere detaljeret beskrivelse, se bilag 7.

Ved de resterende tre feltlokaliteter blev der gennemført tracerforsøg en gang (oktober) i løbet af året. Tilførslen skete under brug af det ved Gjorslev anvendte doseringsudstyr og med en tracerblandingen bestående af Sulforhodamin B og kaliumbromid, der blev tilført parceller uden topjord, ved intensiteter svarende til én 1 års- og 20 årshændelse. Den visuelle kortlægning af farvetraceren viste sig at være endog meget vanskelig og blev derfor ikke fundet egnet til at kvantificere mængden af aktive strømningsveje i de undersøgte profiler. Fordelingen af bromid viste en maksimums-nedtrængningsdybde på omkring 40 cm for Mammen og Højstrup og omkring 100 cm ved Grundfør, figur 15. Ved Grundfør svarer nedtrængningsdybden for bromid nogenlunde til den maksimale dybde for udbredelsen af bioporer, hvilket ikke er tilfældet for Mammen og Højstrup. Det vil derfor være nødvendigt at frembringe supplerende data for at vurdere bioporernes rolle for transporten af bromid på disse lokaliteter. En stigende intensitet syntes ikke at påvirke nedtrængningsdybden, hvorimod der spores en tendens til at koncentrationen af bromid i den aktive del af profilen øges ved stigende intensitet.

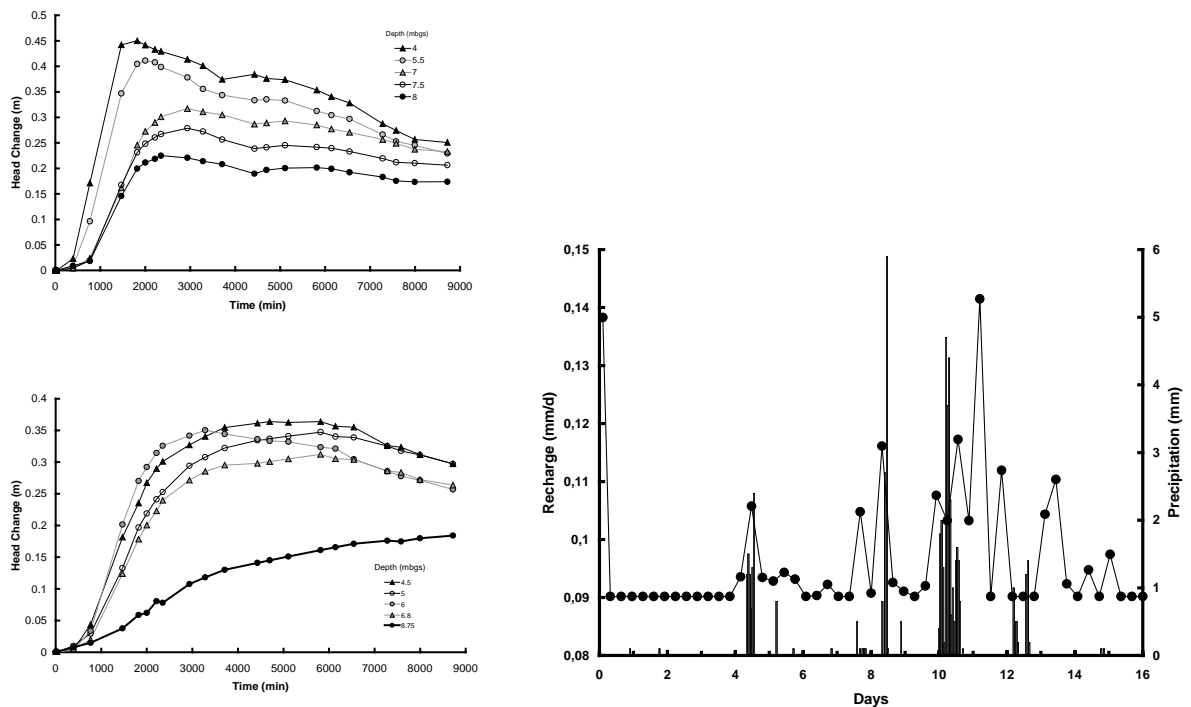


Figur 15. Indhold af bromid i forskellige dybder i tre profilvægge efter vanding med henholdsvis 13 mm og 37 mm bromidopløsning over 100 minutter. For en mere detaljeret beskrivelse, se bilag 8.

Beregninger af hydrauliske parametre på basis af målinger af vandspejlets beliggenhed

Analyser af målinger af vandspejlets naturlige fluktuationer i forskellige niveauer i morænelerslaget ved Flakkebjerg viste det muligt at beregne dybden af sprækkesystemerne samt at fremskaffe oplysninger for morænelerslaget egenskaber, herunder sprækketrans-

missiviteten og de hydrauliske matrixegenskaber, figur 16. Sidstnævnte to parametre er vigtige input i forbindelsen med modelleringen af vandets strømningsveje ned til det underliggende grundvandsmagasin, figur 16.



Figur 16. Figuren til venstre viser trykvariationer i moræneler ved Flakkebjerg. Den øverste del af figuren til venstre viser hurtige respons i piezometre med kontakt til sprækker og den nederste del af figuren til venstre viser ændringer i piezometre installeret i matrix. Figuren til højre viser simuleret infiltration til den øverste del af grundvandsmagasinet og den målte nedbør. For en mere detaljeret beskrivelse, se bilag 6.

Resultater vedrørende mineralisering af pesticider i moræneler

Mikrobiologisk potentiale

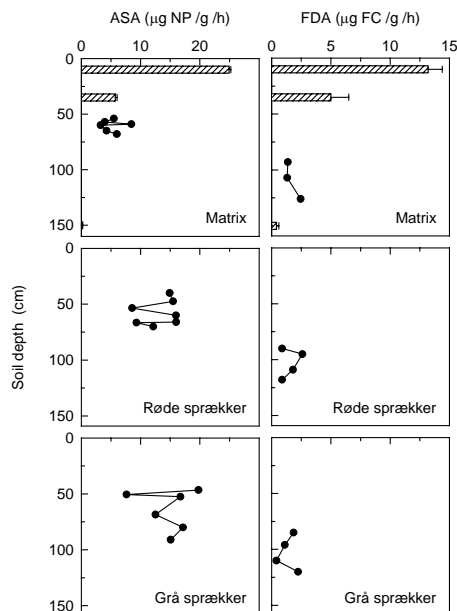
Det mikrobiologisk potentiale samt mineraliseringsforsøg blev gennemført på dels bulkprøver, udtaget i og under pløjelaget ned til 1,55 m dybde, dels på intakte sedimentprøver.

Antallet af bakterier, bestemt på to rige medier (R2Agar og Petrifilm), er omkring 10^7 CFU g^{-1} i pløjelaget og aftager til omkring 10^3 CFU g^{-1} i 1.55 meters dybde, tabel 1. Samtidig ses den mikrobielle aktivitet, bestemt ved henholdsvis arylsulfatase aktivitet (ASA) og fluorescein diacetat hydrolyse (FDA), at aftage med dybden og udgør i 1,55 meter kun 3 % af den aktivitet, der blev målt i pløjelaget. Den mikrobielle biomasse aftager ligeledes markant med dybden. Den er ved substrat-induceret respiration bestemt til $312 \mu g C g^{-1}$ i pløjelaget hvorefter den aftager til $< 50 \mu g C g^{-1}$ i prøverne fra 35-45 cm og 150-155 cm. Analyserne viste endvidere at den mikrobielle diversitet, og dermed den potentielle mikrobielle substratudnyttelse, er uændret i alle tre dybder, med et Shannon-Weaver index på omkring 3, tabel 1.

Tabel 1. Data om mikrobiologi (R2A-agar og Petrifilm), mikrobiel aktivitet (ASA og FDA), biomasse og mikrobiel diversitet ved Shannon-Weaver indexet (H') i bulkprøver fra Højstrup. For en mere detaljeret beskrivelse, se bilag 12.

Dybde (cm)	R2A-agar (CFU g ⁻¹)	Petrifilm (CFU g ⁻¹)	ASA (μg NP g ⁻¹ h ⁻¹)	FDA (μg FC g ⁻¹ h ⁻¹)	Biomasse (μg C g ⁻¹)	Diversitet (H')
10	6.5 10 ⁶	2.1 10 ⁷	24.9 ± 0.3	13.6 ± 1.2	312 ± 30	3.1 ± 0.1
35	2.1 10 ⁴	7.2 10 ⁴	5.7 ± 0.3	5.0 ± 1.5	<50	2.6 ± 0.2
150	2.5 10 ³	4.6 10 ³	<0.5	<0.5	<50	2.8 ± 0.1

Supplerende undersøgelser af den mikrobielle aktivitet (ASA) i sprækkemateriale udtaget i dybdeintervallet 40-100 cm viste en generelt højere mikrobiel aktivitet i sprækkematerialet (7-20 μg NP g⁻¹ time⁻¹) sammenlignet med materiale fra matrix (2-10 NP g⁻¹ time⁻¹), figur 17. En tilsvarende forskel kunne ikke erkendes ved måling af FDA, figur 17.



Figur 17. Mikrobiel aktivitet i prøver af matrix-jord og makropore-jord fra Højstrup. Skraverede søjler viser aktiviteten i bulk-prøver fra 0, 35 og 150 cm's dybde. ASA, arylsulfatase aktivitet; FDA, fluorescein diacetat hydrolyse; NP, nitrophenol; FC, fluorescein. For en mere detaljeret beskrivelse, se bilag 12.

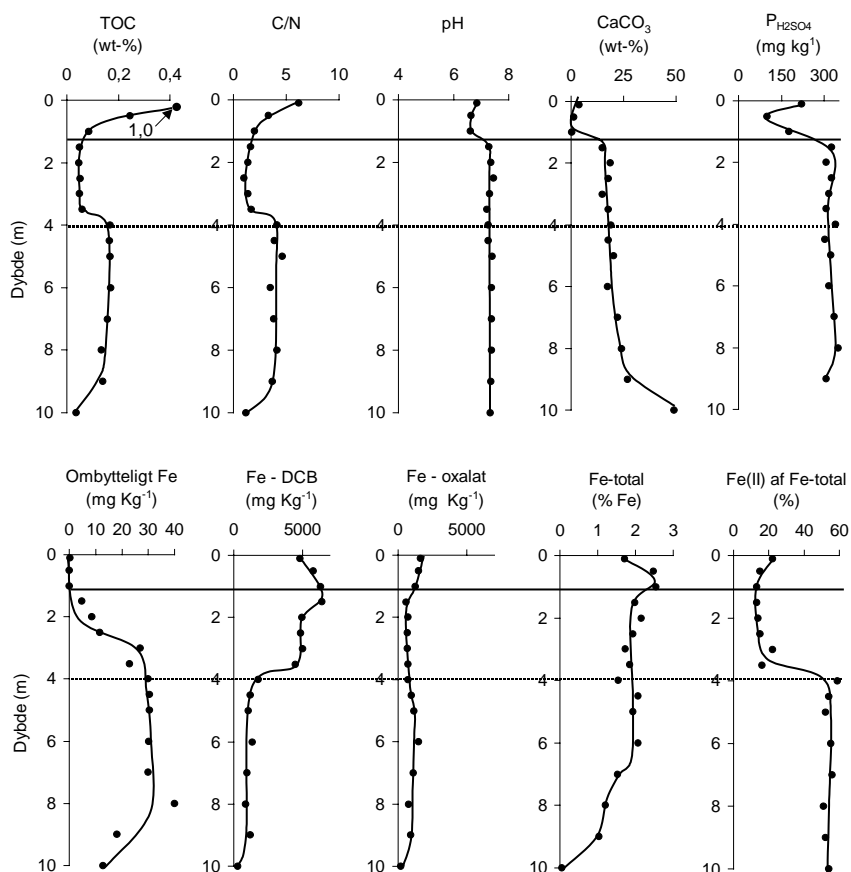
Mineraliseringsforsøg

Mineraliseringsforsøg blev gennemført over 60 dage med bulkprøver fra pløjelaget, 35-45 cm og 150-155 cm og 9 forskellige stoffer (bentazon, glyphosat, isoproturon, linuron, MCPA, mecoprop, metamitron, metribuzin, og MTA), figur 18. Disse forsøg viste den største mineralisering for phenoxysyrerne (mecoprop og MCPA) i de to øverste dybder, mens mineraliseringspotentialet stort set ikke var tilstede i den dybeste prøve. Mineraliseringspotentialet for isoproturon er mindre end for phenoxysyrerne, men følger den samme fordeling med dybden. Mineraliseringspotentialet for metamitron svarer i alle tre dybder nogenlunde til det der blev målt i de to øverste dybder for isoproturon. Mineraliseringspotentialet for bentazon, metribuzin, linuron og MTA er ikke tilstede i nogen af de undersøgte dybder.

Resultater vedrørende sorption af pesticider i moræneler

Geokemiske og mineralogiske forhold

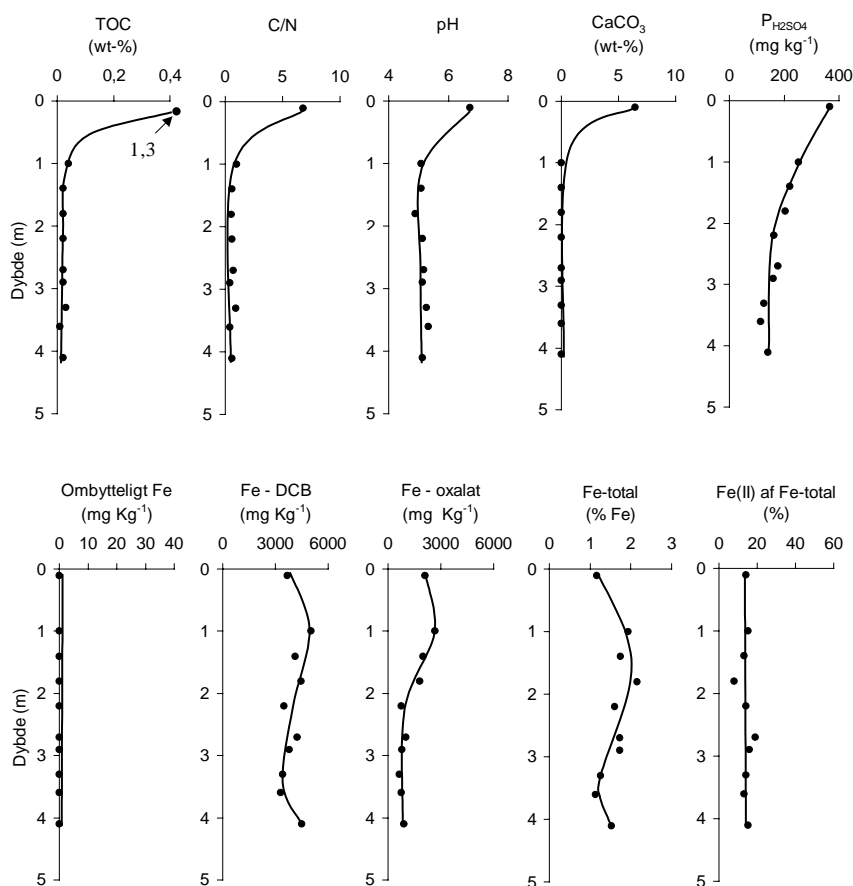
På hver af de sjællandske lokaliteter, Gjorslev og Højstrup, findes tre overordnede geokemiske miljøer, figur 20. Den første zone fremstår iltet og kalkfri, den næste zone er iltet og kalkholdig og den tredje zone, der findes umiddelbart under redoxgrænsen, er kalkholdig og reduceret. På begge lokaliteter er den første zone omkring 1 meter dyb og den næste zone når ned til 4 meter ved Gjorslev og 3.5 meter ved Højstrup. Supplerende boringer ved Højstrup langs et 700 meter langt profil, viste at udbredelsen af den iltede og kalkrige zone varierede med en meter, med tykkelser ned til mellem 2.6 meter og 3.5 meter under terræn. Disse variationer på morænelersfladen afspejler bl.a. forskellige i det oprindelige indhold af reducerende stoffer og mængden af nedsivende vand efter istiden på det pågældende sted. Udbredelsen af de to øvre zoner ligner meget den, der kendes fra andre sjællandske og fynske lokaliteter. Ved Gjorslev indeholder den nedre del af den reducerede zone et stadig stigende mængde kalk, hvorfor mange af de målte egenskaber i stigende grad kommer til at ligne dem for den underliggende kalk, figur 20.



Figur 20. Geokemiske parametre med TOC, C/N, pH_{CaCl₂}, CaCO₃, P_{H₂SO₄} (øverst) og forskellige former af jern (nederst) bestemt på bulkprøver fra Gjorslev. Udbredelsen af den kalkfrie zone (1,5 meter) og redoxgrænsen (4 meter) er markeret. For en mere detaljeret beskrivelse, se bilag 11.

Den begyndende iltning af det oprindelige reducerede moræneler har bl.a. konsekvenser for fordelingen af forskellige former af jern idet iltningen bevirker at ferrojern omdannes til forskellige former af ferrijern, figur 20.

På de jyske lokaliteter, Mammen og Grundfør, findes kun en geokemisk zone, svarende til den øverste iltede og kalkfrie zone på de to sjællandske lokaliteter, figur 21. Til sammenligning med de sjællandske lokaliteter, betyder 1) bedre dræningsmuligheder grundet det underliggende sandlag, 2) en længere isfri periode samt 3) et lavere oprindeligt indhold af kalk på disse jyske lokaliteter, at zonen er dybere her og er udbredt til hele det øvre lerlag. En effektiv udnyttelse af det oprindelige indhold af reducerende stoffer ses ved bl.a. et lavt indhold af ombytteligt ferrojern samt ved det lave forhold mellem Fe(II) og Fe-total. Forbruget i bufferkapacitet kan erkendes ved markant lavere pH-værdier under pløjelaget ($\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$: ca. 5) end det oprindelige hvilket ville svare til det der typisk måles på de sjællandske lokaliteter ($\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$: ca. 7).



Figur 21. Geokemiske parametre med TOC, C/N, $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$, CaCO_3 , $\text{P}_{\text{H}_2\text{SO}_4}$ (øverst) og forskellige former af jern (nederst) bestemt på bulkprøver fra Mammen. For en mere detaljeret beskrivelse, se bilag 11.

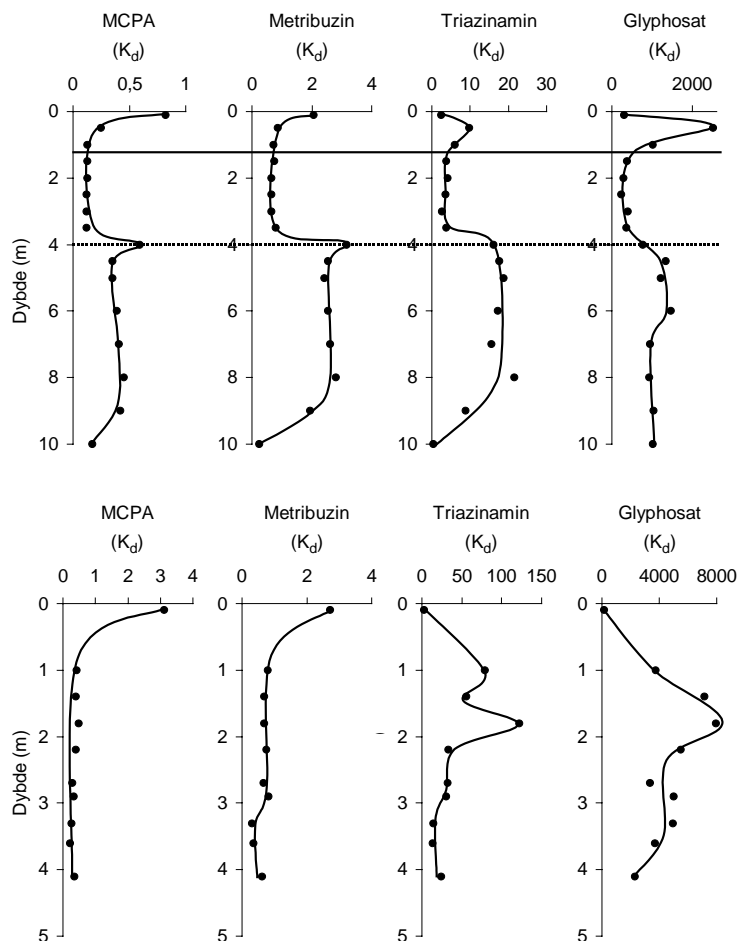
Sorption af pesticider

Sorptionen af de tre pesticider MCPA, metribuzin og glyphosat samt et omdannelsesproduktet methyltriazinamin afspejler i høj grad fordelingen af pløjelag samt forskellige geokemiske miljøer med forskellige egenskaber, figur 22. For MCPA er sorptionen forholdsvis høj i pløjelaget, hvor den ved Gjorslev er bestemt ved en k_d -værdi på 0.8 og på de to jyske

lokaliteter ved en K_d -værdi på omkring 3. På alle lokaliteter varierer sorptionen i den iltede zonen mellem 0.1 og 0.4, hvor den i den reducerede zone er bestemt til mellem 0.4 og 0.7.

Sorptionen for metribuzin viser ligeledes høje værdier for pløjelaget med k_d -værdier på 2.1-2.7, hvorefter sorptionen aftager i resten af den iltede zone til k_d -værdier mellem 0.2 og 0.8. Under redoxgrænsen stiger k_d -værdien til mellem 2.5 og 3.2 ved Gjorslev, hvor den ved Højstrup varierer mellem 0.6 og 1.2.

Sorptionen af glyphosat er forholdsvis lav i pløjelaget (k_d -værdier: 153-345) hvorefter sorptionen på de sjællandske lokaliteter stiger markant indenfor den øverste halve meter til en k_d -værdi på omkring 2500. I resten af den iltede zone er k_d -værdien på disse lokaliteter omkring 300, hvorefter sorptionen stiger i den reducerede zone til en k_d -værdi på 1000-1400, bl.a. bestemt ved indholdet af kalk. På de jyske lokaliteter stiger sorptionen ligeledes markant under pløjelaget, til typiske k_d -værdier på omkring 5000, for størstedelen af lerlaget. I de diatomé-holdige prøver ved Mammen var sorptionen endog højere.



Figur 22.. Sorption (K_d) af MCPA, metribuzin, methyltriazinamin og glyphosat bestemt på bulkprøver fra Gjorslev (øverst) og Mammen (nederst). For Gjorslev er udbredelsen af den kalkfrie zone (1,5 meter) og redoxgrænsen (4 meter) er markeret. For en mere detaljeret beskrivelse samt K_d værdier for Højstrup og Grunddfør, se bilag 11.

For methyltriazin var sorptionen ligeledes lavere i pløjelaget end i resten af den iltede zone. På de sjællandske lokaliteter betød det en stigning fra en k_d -værdi på 2 i pløjelaget til mellem 3 og 9 i den iltede zone og 11-17 i den reducerede zone. På de jyske lokaliteter varierede k_d -værdien mellem 3 og 11 i pløjelaget og typisk mellem 14 og 59 i den følgende del af den iltede zone. En højere sorption blev målt i de diatome-holdige sedimenter ved Mammen (k_d -værdi: 56-122) og lidt lavere sorption i bunden af morænelerslaget ved Grundfør (k_d -værdi: 9).

En multivariat korrelationsanalyse af data fra Gjorslev og Mammen blev brugt for en beskrivelse af de parametre, der er afgørende for sorptionen af de her nævnte fire stoffer, tabel 2. På baggrund af det foreliggende datamateriale viste sig muligt at relatere sorptionen af glyphosat til i alt 11 parametre som tilsammen forklare 89 % af den fundne variation i K_d . Sorptionen af glyphosat viste sig stærkt knyttet til indholdet af finsand, frie jernoxider (Fe_{oxalat}) samt det specifikke overfladeareal, der alle ved stigende indhold virker til en øget sorption. Derimod tyder korrelationsanalysen på at stigende pH-værdi i jordlagene samt stigende indholdet af frie manganoxider (Mn_{CBD}) og phosphor ($P_{H_2SO_4}$) virker til en mindsket sorption af glyphosat.

Tabel 2. Parametre af betydning for sorption (K_d) af glyphosat, MCPA, methribuzin og methyltriazinamin samt forklarings-% bestemt ved korrelationsanalyse. Værdien af parameteren er følgende: +:0-0,1; ++:0,1-0,2; +++:>0,2; -: 0; --: -0,1- -0,2 og - -:>0,2. For en mere detaljeret beskrivelse, se bilag 11.

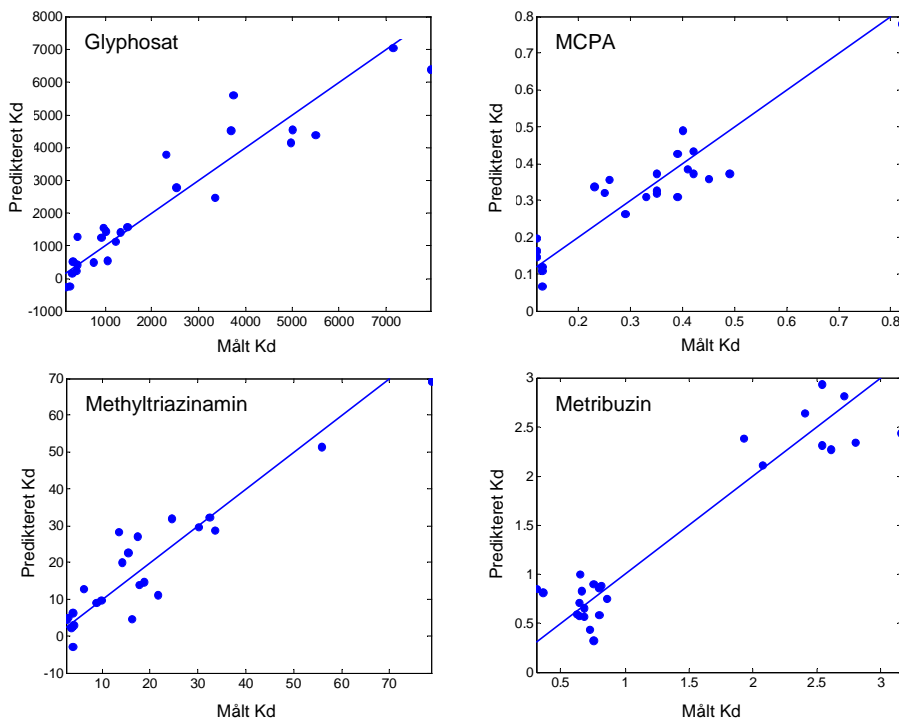
Parameter	Glyphosat	MCPA	Metribuzin	Methyltriazinamin
Specifikt overfladeareal	++	--		+++
Finsand	+++	++		
TOC	--	+++	+++	
N_{total}	-	+++		
$P_{H_2SO_4}$	--			
PH_{CaCl_2}	---	--		---
Fe_{oxalat}	+++	+++		+++
Fe_{CBD}			---	
$Fe(II)$	+	+++	+++	
Fe_{total}	-	--		
Mn_{oxalat}		---		
Mn_{CBD}	---			
CEC	-	--		---
Variation forklaret ved de her viste parametre (%)	89	86	87	89

Sorptionen af MCPA kan forklares med 86 % ved inddragelse af i alt 10 parametre. Det er især organisk stof (TOC), N_{total} , Fe_{oxalat} , $Fe(II)$ samt i lidt mindre grad også finsand der bidrager til en stigende sorption af MCPA ved stigende indhold mens stigende pH-værdi, stigende indhold af manganoxid (Mn_{oxalat}) og stigende specifikt overfladeareal bidrager til aftagende sorption. Den negative korrelation til overfladearealet er i god overensstemmelse

med den positive korrelation til TOC, idet det organiske indhold bedrager til dannelse af aggregater, hvorved det samlede ydre overfladeareal – som her målt – aftager.

Sorptionen af methribuzin synes knyttet til langt færre parametre, idet der ved blot 3 parametre opnås en forklaring i den målte sorption på 87 %. Her er det indholdet af organisk stof samt indholdet af ferrojern, der er ved øgede indhold bidrager til en sorption af methribuzin mens stigende indhold af jernoxider (Fe_{CBD}) bidrager til aftagende sorption af methribuzin. Sorptionen af methyltriazinamin lader sig beskrive for 89 % ved i alt fire parametre, hvor det specifikke overfladeareal samt indholdet af frie jernoxider (Fe_{oxalat}) bidrager til øget sorption, hvorimod stigende pH-værdi i jordlagene samt stigende CEC-værdier mindsker sorptionen af methyltriazinamin.

Ved korrelationsanalysen er den målte sorption (K_d) for de fire stoffer sammenholdt med den predikterede værdi, figur 23. For samtlige stoffer viste der sig en god overensstemmelse mellem målte og predikterede værdier. Således var der for glyphosat en god spredning indenfor de målte værdier, hvilke også viste sig at være tilfældet for methyltriazinamin, hvor dog en enkelt værdi på over 100 blev taget ud af datasættet. Denne værdi var repræsentativ for en prøve med høj indhold af diatomé-jord. Datasættet for MCPA har en tendens til at være opdelt i tre grupper, repræsenterende meget lave, mellem og høje K_d værdier, hvor antallet af observationer er markant større for de to første grupper end for den sidste gruppe. Udbredelsesretningen for den midterste gruppe viste imidlertid at regressionsmodellen, overordnet set, er generelt gældende indenfor det viste variationsområde. Datasættet for metribuzin viser samme tendens til gruppering, med forholdsvis lave og høje værdier, men til trods for dette repræsenterer datasættet en god overensstemmelse mellem de målt og predikterede værdier.



Figur 23. Måle og predikterede K_d værdier for glyphosat, MCPA, methyltriazinamin og metribuzin. For en mere detaljeret beskrivelse, se bilag 11.

Konklusion

I projektet er der afprøvet en række metoder til fremskaffelse af data, som er relevante for vurderingen af lerjordens følsomhed overfor udvaskning af pesticid gennem den umættede zone til grundvandet. Resultaterne demonstrerer at der kan skaffes data, som er egnede til at indgå i en analyse af omsætning (mineralisering), tilbageholdelse (sorption) og transport af pesticider i tilknytning til de to domæner (matrix og makroporer) der karakteriserer lerjorde. Det har desuden vist sig at nogle datatyper der er indsamlet på et begrænset areal, med kendte og afprøvede metoder, kan udbredes til at repræsentere større geografiske områder. Resultaterne af de hidtidige undersøgelser viser imidlertid også, at det kan være væsentlig at fremskaffe sammenhørende værdier for de to domæner, makroporer og matrix, for at kunne vurdere lerjordens samlede følsomhed, idet der normalt er betydelige forskelle på de to domæners egenskaber vedrørende transport, omsætning og tilbageholdelse af pesticider, og dermed i risikoen for belastning af det dybereliggende grundvand. For de undersøgte geologiske lerjorde har den geografiske placering vist sig af betydning for ikke blot udviklingen i makroporer, men også for de pedologiske, mineralogiske og geokemiske forhold i lerlaget.

Samlet vurderes det således muligt at tilvejebringe det nødvendige grundlag for at udvikle et zoneringskoncept for særligt pesticidfølsomme lerjorde. Det skal dog bemærkes at arbejdet ikke er afsluttet, og der er behov for at arbejde videre med problematikkerne omkring danske lerjorde.

