

Vejledning i geologisk karakterisering af Istidssedimenter

Knud Erik Klint
GEUS

2011
Kompendium



Indhold

Vejledning i geologisk karakterisering af Istidssedimenter	3
Geologisk karakterisering	6
Fremgangsmåde	6
Det geologiske kort.....	7
Det geomorfologiske kort	8
Glaciale landskabsformer.....	8
Postglaciale landskabsformer	9
Feltarbejde og indsamling af data	11
Blotningstyper.....	11
Udgravning	11
Hovedbetegnelser for prøvebeskrivelse	13
Præsentation af data	13
Opmåling af geologisk tværprofil	14
Systematisk beskrivelse af sedimenter og strukturer	16
Opmåling af glaciale sedimenter	16
Det kinetostratigrafiske princip.....	16
Klastfabrikanalyse og skurestriber	17
Glaciale deformationsstrukturer	3
Geotekniske egenskaber	4
Opmåling og beskrivelse af sprækker	5
1. Blotlæggelse af sprækker	5
2. Beskrivelse af sprækker og andre makropore.....	5
Kemiske og biologiske data:	7
Opmåling af sprækkesporsfrekvens	11
Opmåling af sprækkesporsdensitet	11
Dataanalyse	12
Sedimentanalyse.....	12
Fingrusanalyse og kornstørrelsesanalyse	12
Glødetab	13
Geotekniske parametre	13
Sprækkeanalyse.....	15
Beregning af kvantitative sprækkeparametre	15
Tolkning af data	17
Till klassifikation	17
Referencer	20

Appendix 1 dataark til logbeskrivelse i felten.....	21
Appendix 2: Sprækketyper i dansk moræner.....	24

Geologisk karakterisering

Opstilling af en geologisk model for et givet område omfatter dels en indledende dataindsamling og opstilling af foreløbig geologisk model på baggrund af eksisterende data. Typisk baseret på data fra forskellige geologiske og geografiske databaser (JUPITER, GERDA). På baggrund af denne model planlægges supplerende feltundersøgelser med indsamling af yderligere data. Den praktiske feltdel omfatter indsamling af geologiske, geofysiske og geotekniske data. Derefter gennemføres en analysedel hvor de indsamlede data analyseres og organiseres. Til slut sammenstilles analyseresultaterne med de eksisterende data og en geologisk model opstilles.

Fremgangsmåde

Enhver geologisk karakterisering af et område bør tilpasses opgavens formål hvad enten det drejer sig om forureningsundersøgelser, hydrogeologiske undersøgelser eller opstilling af stratigrafiske modeller. En komplet geologisk karakterisering af et glacialt dannet område omfatter typisk følgende rækkefølge.

1. Indledende undersøgelser baseret på eksisterende data for opstilling af regional geologisk model

- Udtræk af eksisterende geologisk kortafsnit fra GIS-databasen.
- Geomorfologisk landskabsanalyse, herunder konstruktion af geomorfologisk kort fra højdemodel eller udtræk fra eksisterende geomorfologisk kort fra GIS databasen.
- Sammenstilling af kort temaer.
- Udtræk af kort med boreplaceringer fra Jupiterdatabasen.
- Opstilling af foreløbig geologisk model, herunder placering og konstruktion af tværprofiler og på baggrund af eksisterende boredata/geofysiske data fra Jupiter og Gerda databasen.

2. Supplerende feltundersøgelser for opstilling af detaljeret lokal geologisk model

- Geologisk detailkortlægning i feltet (spydartering eller geofysiske opmålinger)
- Indsamling af 3-D feltdata fra eksisterende blotninger i området og/eller udførelse af udgravninger og borer på udvalgte steder, samt indsamling af prøver til laboratorie analyser. Heraf både til teksturelle, strukturelle, og kemiske analyser.
- Beskrivelse af de glaciale aflejringer, herunder optegning af geologisk log og tværprofiler, samt opmåling af klastefabrik, skurestriber på sten, folder, sprækker og forkastninger m.m.

3. Analyse af feltdata og opstilling af geologisk model.

- Plotning af strukturelle data i stereografiske projektioner
- Laboratorie analyse af kornstørrelses fordeling, kalkindhold, Beskrivelse og plot af resultater.
- Konstruktion af geologisk log og geologisk tværprofil.

- Tolkning og beskrivelse af den geologiske historie.

Det geologiske kort.

Det geologiske kort (fig. 1) er det vigtigste kortgrundlag for opstilling af geologisk model i et område, suppleret med geomorfologiske data vil det i de fleste tilfælde være muligt at opstille en regionalgeologisk forståelsesmodel for områdets dannelseshistorie.

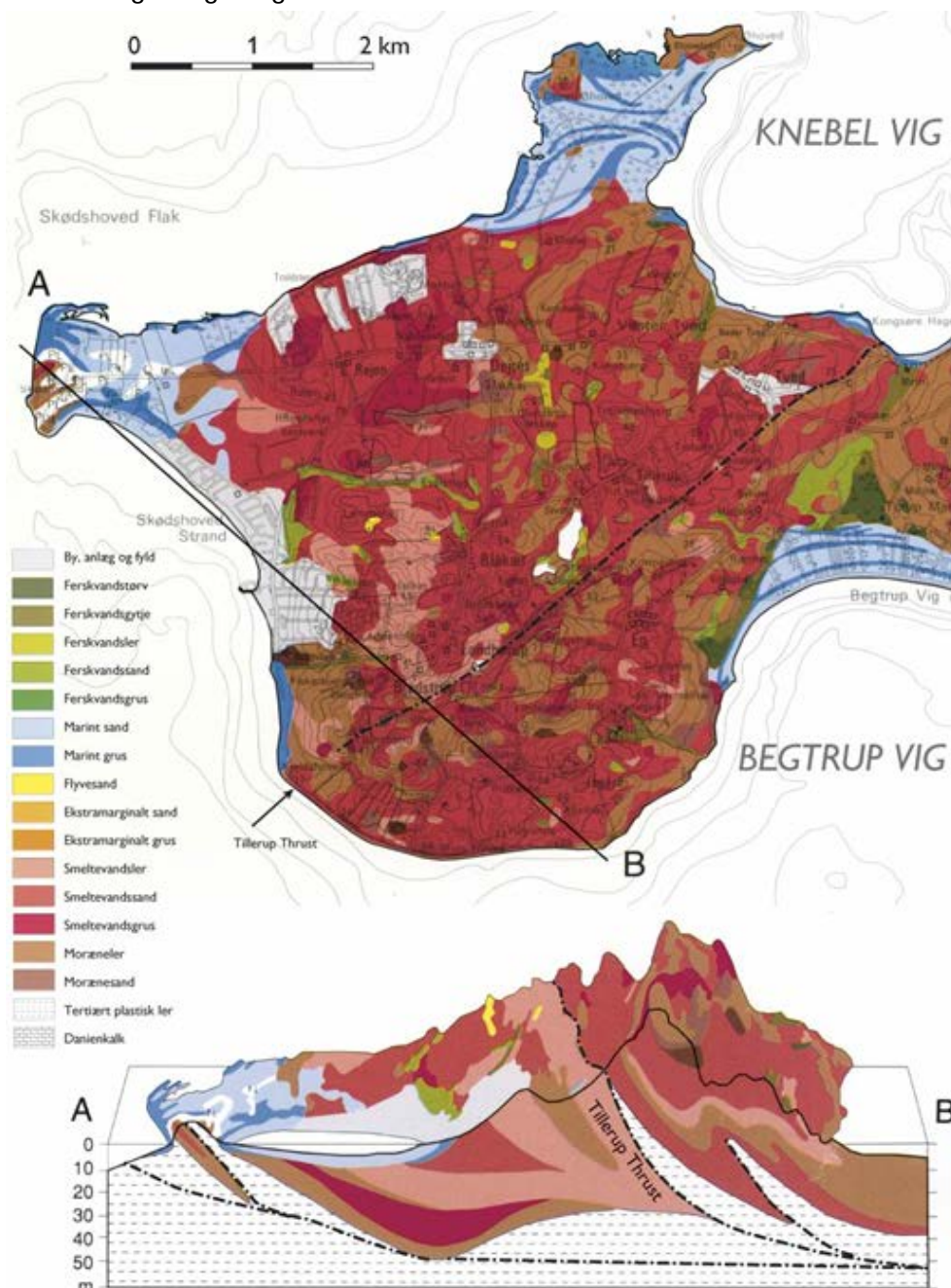


Fig. 1. Geologisk kort med fordeling af sedimenttyper samt boredata indgår i konstruktionen af 3D geologiske modeller, der angiver dels tykkelse af de enkelte lerenheder, men også sammensætningen af de underliggende lag.

Ved hjælp af boredata og geofysiske opmålinger kan den tredje dimension (dybden) indtages til konstruktion 3D-geologiske modeller. Det geologiske kort vil således altid udgøre grundlaget for opstilling af en geologisk model for et givet område. Det meste af Danmark er kortlagt i skalaen 1:25.000 og publiceret i 1:50.000 og 1:200.000. Kortlægningen er udført med et såkaldt karteringsspyd, hvorfra der indsamles en prøve fra ca 1 meters dybde. Prøverne er indsamlet med ca. 200 meters mellemrum.

Det geomorfologiske kort

På baggrund af en detaljeret analyse af især de topografiske forhold sammenholdt med det geologiske kort kan et geomorfologisk kort konstrueres Fig. 2.

Det geomorfologiske kort kan opdeles i glacialmorfolologiske landskabselementer og post-glaciale landkabselementer.

Glaciale landskabsformer

De primære glaciale landskabformer i det danske istidslandskab er bundmorænelandskaber dannet under en aktiv gletscher, randmoræner dannet foran gletscheren, dødislandskaber dannet under nedsmeltning af en stagneret gletscher og og smeltevandssletter dannet foran den aktive gletscher. Inden for disse hovedområder findes en række markante landskabselementer der er tæt sammenknyttet med det glaciale miljø de er afsat i.

Disse landskabstyper har alle forskellige dannelsesmekanismer og er associeret med bestemte sedimenttyper. Det er derfor vigtigt at inddrage landskabsanalyse i tolkningen af glaciale sedimenters aflejringshistorie og udbredelse.

Bundmorænelandskab

Bundmorænelandskab er landskabet dannet "under" en fremrykkende gletscher. Landskabet er generelt udglattet og fremtræder med en mere eller mindre småbølget topografi afhængig af underlaget isen har overskredet. Subglaciale smeltevandsløb vil stedvis efterlade åse oven på morænefladen eller tunneldale eroderet dybt ned i morænefladen under isen. Landskabet er mere eller mindre strømlinet i isbevægelsesretningen og strømlinede bundformer såsom mega liniationer, og drumlins er vigtige isbevægelsesindikatorer.

- Bølget moræneflade. Undulating moraines
- Drumlins
- Tunnel dale, Tunnel valleys
- Åse, Eskers
- Bundstribninger, mega lineations
- Mindre bundstribninger Flutes

Dødislandskab

I situationer hvor dele af en gletscher går i stå (stagnerer) opstår småbakked landskab med mange små afløbsløse lavninger og stærk variation i sedimenttyper. Dødislandskab vil ofte draperer sig henover et underliggende bundmorænelandskab eller evt. en randmo-

ræne, hvis form kan anes igennem dødislandskabet. De primære landformer der dominerer i dette landskab er følgende:

- Småbakket moræne Hilly moraine
- Smeltevandssdale Meltwater valleys
- Dødishuller, Dead ice holes
- Hatformede bakker Cupular hills
- Kame bakker, Kames

Randmoræner

Randmoræner er store eller mindre ofte lobate bakkesystemer der markerer en stilstands-linie under en gletscherfremrykning. Randmoræner varierer i størrelse fra over 100 meter høje komplekse systemer til ganske små rande der er afsat et enkelt år.

- Ablationsmoræner, mellemstørrelse moræner afsat ved længere tids stilstand af en gletscherand
- Opskudte randmoræner, Large composit hills
- Vintermoræner, Winter moraines

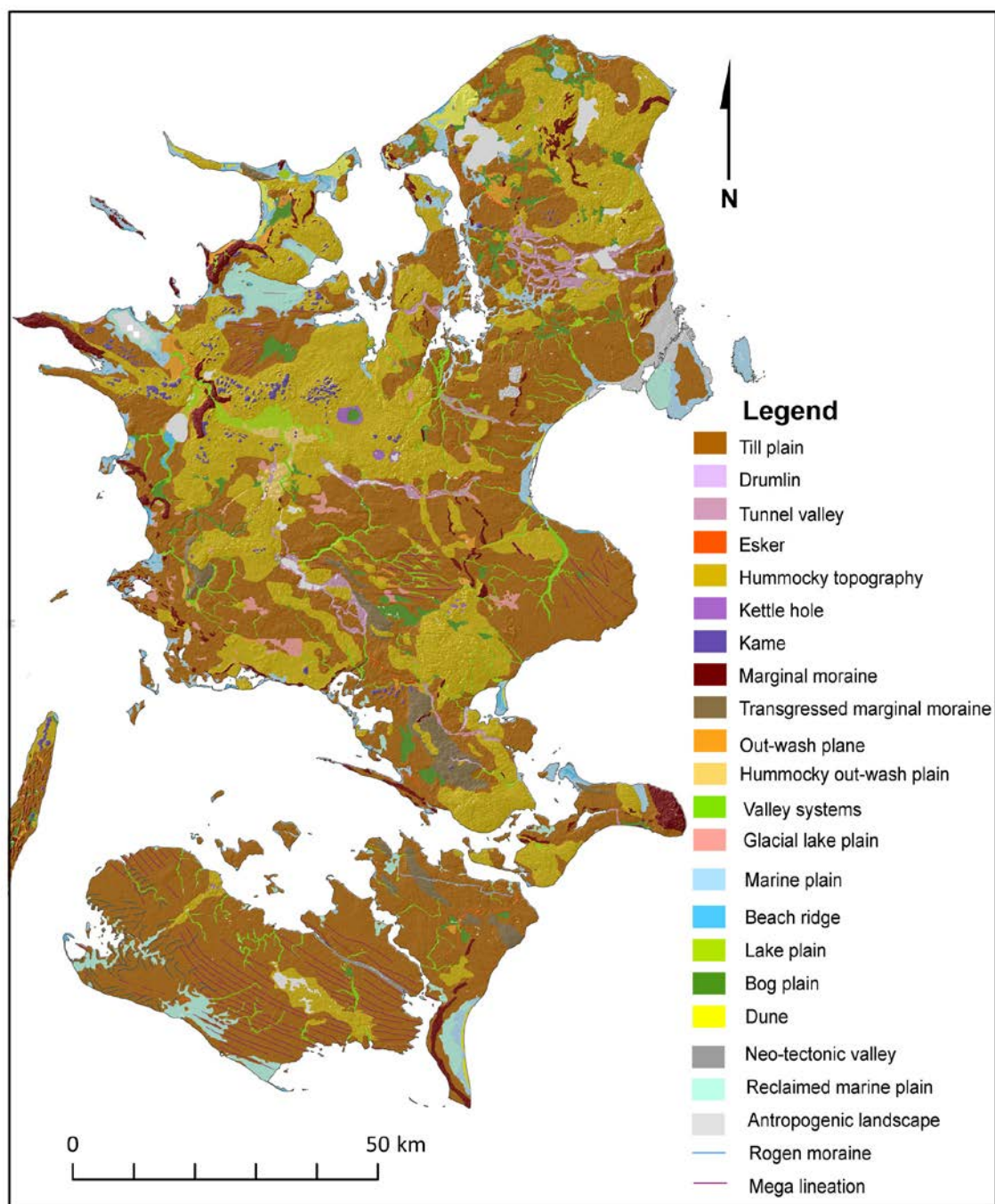
Smeltevandsslette

Smeltevandssletten er generelt afsat foran isranden som en udbredt sandurflade, men mindre lokale faner af smeltevandssedimenter kan også afsættes lokalt. Da smeltevandssedimenter ofte begraver foranliggende landskaber herunder dødisområder kan lokale områder med dødistopografi opstå under senere afsmeltning af begravet is.

- Hochsandur
- Sandur plain

Postglaciale landskabsformer

Omhandler de landskabselementer der er opstået siden isens afsmeltning. Her kan især terrestriske former nævnes herunder erosionsdale, å-dale, klit og flyvesandsområder, og landskabsformer dannet af havet: Klinter, barrierer-øer, strandvoldssystemer krumodder, laguner, hævet havbund. Endelig har neotektoniske bevægelser i undergrunden dannet karakteristiske lineamenter over forkastningszoner resulterende i bl.a. spaltedale og markante landskabslineamenter.



Figur 2. Digitalt geomorfologisk kort over Sjælland, Lolland, Falster og Møn. Oprindelig målestok 1:200.000.

Feltarbejde og indsamling af data

Blotningstyper

Langt størsteparten af geologiske undersøgelser foretages i dag på baggrund af boredata. Boringer kan imidlertid kun give begrænsede oplysninger om jordens sammensætning, dannelse og geologiske oprindelse. Hvis en geologisk undersøgelse f.eks. skal bruges til at vurdere f.eks. forureningsspredning i et givet område, er der brug for oplysninger om f.eks. sprækkefordelingen og fordelingen af eventuelle sandlinser.

Hvis man således ønsker at lave en fuld undersøgelse, er det vigtigt at finde lokaliteter med god blotningsgrad og helst lokaliteter med blotninger i flere retninger, da det ellers kan være svært at få f.eks. alle sprækkesystemer med. Kystklinter råstofgrave eller større udgravninger i forbindelse med anlægsopgaver kan bruges, men hvis der ingen blotninger findes, kan man med fordel konstruere sin egen udgravning.

Udgravning

En udgravning bør konstrueres så der er to profilvægge vinkelret på hinanden (fig. 3).

Det er af sikkerhedsmæssige årsager ikke tilladt at have lodrette vægge over 1,80 meter og en grav skal altid konstrueres så der ikke sker sammenskrivning. Derfor kan man med fordel lave en udgravning med trappetrin af 1,5 meters højde. Max. Grave dybde for en rendegraver er ca. 5 meter under terræn. Disse udgravninger har mange fordele idet man kan studere skurestriber på sten og foretage fabrikanalyse på horisontale flader samt opmåle sprækker i 3 dimensioner og dermed være sikker på at få alle repræsentative systemer med. Sprækkerne kan opmåles både på vertikale og horisontale flader. Det er vigtigt at udgravningen foretages med en skovl med en flad kant og på en måde så sedimentet forstyrres minimalt.



Laidlaw ned til 6 meter under terræn

FIGURE 2



Flakkebjerg ned til 5 meter under terræn

Fig. 3 eksempel på udgravning ved Højstrup på Stevns.

Hovedbetegnelser for prøvebeskrivelse

For hver skift i sedimenttypen beskrives en række parametre. Den systematiske beskrivelse af sedimenter følger vejledning i prøvebeskrivelse (Larsen et al 1988 side 21-48).

1. Hovedbetegnelse: De overordnede bjergarter nævnes først: f.eks. Moræneler (ML), Morænesand (MS) eller Smeltevands ler/sand/grus DL/DS/DG m.m.
2. Konsolidering: blød, svagt hærdnet, hærdnet, stærkt hærdnet meget stærkt hærdnet.
3. Kornstørrelse og sorteringsgrad med angivelse af de underordnede fraktioner i de usorterede sedimenter bagefter. (Ier-silt-sand-grus-sten fraktion).
4. Bikomponenter: som f.eks. fyld, slagger, plantedele, humusindhold m.m. angives.
5. Matrix struktur: sedimentstruktur som massiv, lagdelt, krydslejret eller tektoniske strukturer som folder, forkastninger, sprækker, mm nævnes.
6. Farve: olivengrå, olivenbrun etc. (Brug Mounsell evt. farvekode diagram)
7. Mineralogi: hvor der er særlige mineraler ud over de sædvanlige kvarts, feldspat, glimmer, kalk, flint, m.m.
8. Kalkindhold. (Kalkfri, svagt kalkholdig, kalkholdig. Stærk kalkholdig) (bedømmes ud fra hvor stærkt sedimentet bruser med 10%HCL)
9. Trivialbetegnelse som f.eks. grønsandskalk m.m. kan nævnes

Endelig afsluttes med en genetisk tolkning af aflejringsmiljøet samt en klassificering af enheden. Selv et kvalificeret gæt kan være vigtig information. Især hvis der er flere boringer, kan det være godt på stedet at inddele sedimenterne i enheder man kan genkende fra den ene boring til den anden.

Præsentation af data

Rent praktisk opmåles et profil ved at lave en systematisk opmåling og beskrivelse af lagfølgen på et repræsentativt sted og indtegne observationerne på en lithologisk log.

Lithologisk log

Den lithologiske log er grundelementet i enhver geologisk beskrivelse af et givet område.

Der findes mange måder at konstruere en log afhængig af behov og formål.

De fleste logs er baseret på beskrivelser af boreprøver, der kan have meget vekslende kvalitet, hvorimod beskrivelser af lagfølgen i blotninger kan udføres langt mere detaljeret.

Den geologiske log er typisk opdelt i en lithologisk og strukturel del (Fig. 4), hvor den overordnede lithologi som f.eks. moræneler angives yderst til venstre og ved siden af særlige strukturer i matrix såsom lagdelinger, sandslire, store sten, rødder, redoxgrænse, kalkgrænse og evt. sprækker (typisk klumper der knækker langs brudflader og nogle gange med røde overfladebelægninger). Glaciale brolægninger er særligt vigtige at få med da de ofte angiver grænse mellem to enheder, og i mange tilfælde har veludviklede skurestriber. Endelig kan man tilføje analyseresultater som isbevægelses retninger og markerer prøvetagningsdybder og fotos, m.m. Yderst til højre kan man tilføje det tolkede aflejringsmiljø eller sedimenttype.

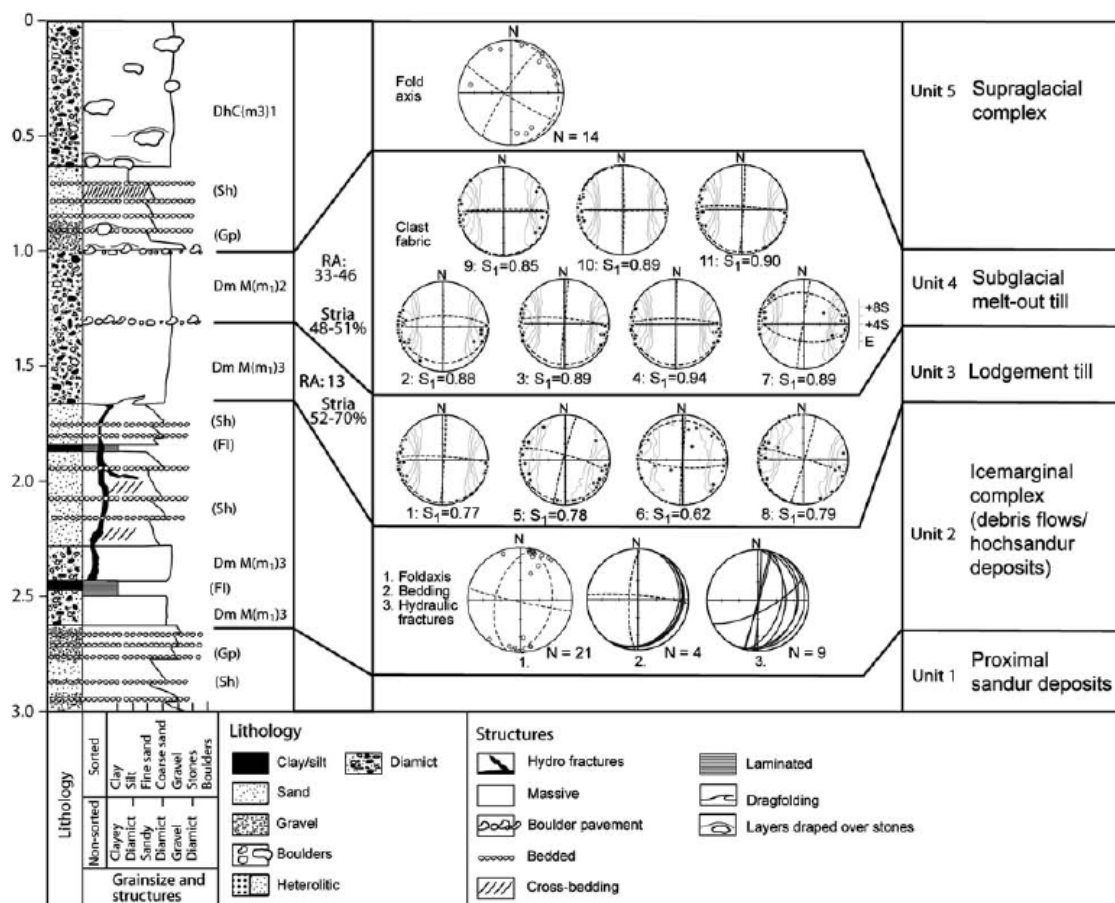


Fig. 4 Eksempel på komposit log fra Kötlujökull Island (Klint et al 2009)

Opmåling af geologisk tværprofil

En opmåling af lagfølgen i et område kan yderligere raffineres ved opmåling af de enkelte lithologiske enheders rumlige udbredelse og indbyrdes relationer. Optimalt opmåles og udtegnes et tværprofil. Et tværprofil skal altid indeholde en skala, angivelse af profilets retning, verdenshjørner, og en legende (Fig. 5). Profilets primære formål er at øge læserens forståelse ved at illustrerer de geologiske lags udbredelse, strukturer og indbyrdes kontakter imellem forskellige lag/enheder.

Opmålingsprocedure

1. Udvælgelse af repræsentativt profil
2. Afrensning af profil og relevante strukturer
3. Markering af profilinie (med målebånd og landmålerstokke)
4. Fotografering af profil.
5. Indmåling af profilets retning og højde.
6. Konstruktion af princip skitse af profilet med opdeling af umiddelbare forskellige lithologiske enheder.
7. Indmåling og optegning af vertikal log, beskrivelse af de enkelte enheder.

8. Detailbeskrivelse og opmåling på udvalgte strukturer (fabrik, skurestriber, sprækker folder forkastninger m.m.)
9. Indsamling af relevante prøver (typisk 2 kg pr prøve) til laboratorieanalyser (kornstørrelse og fingrusanalyse, kalkbestemmelse glødetab m.m.)

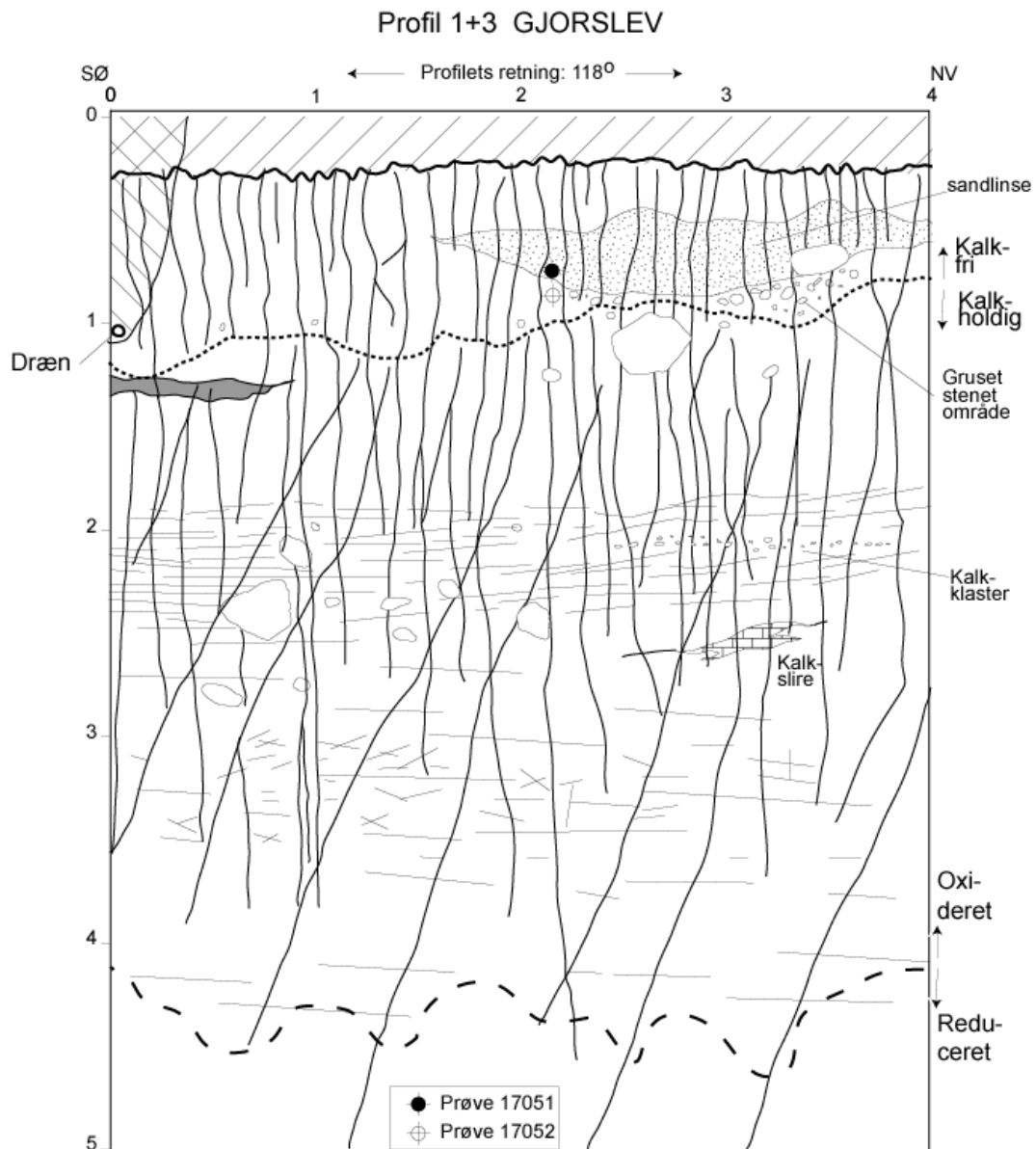


Fig. 5 Geologisk tværprofil opmålt i udgravning.

Systematisk beskrivelse af sedimenter og strukturer

Opmåling af glaciale sedimenter

Det kinetostratigrafiske princip

De fleste till-aflejringer kan henføres til bestemte gletscherfremstød i den sidste istid (Weichsel-istiden) der sluttede for ca. 10.000 år siden. Danmark blev i den periode overskredet af gletschere fra flere retninger, men specielt de sidste tre fremstød fra henholdsvis NØ (Hovedfremstødet ca. 20.000-15.000 år siden) og SØ (to Ungbaltiske fremstød ca. 15.000-13.500 år siden) præger de fleste områder i dag Fig. 6 (Houmark-Nielsen, 1987, 2007). Da det kan være meget vanskeligt at relatere en bestemt till enhed til et bestemt isfremstød er der udviklet forskellige metoder til at korrelerer till enheder med hinanden.

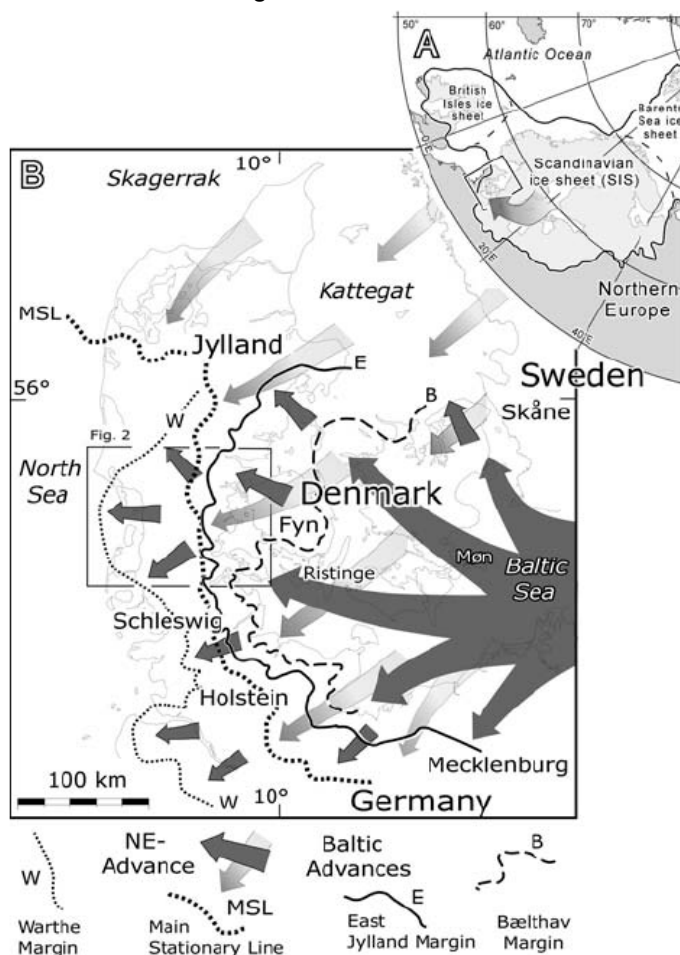


Fig 6. Isbevægelses retninger i Danmark er relateret til de overordnede isfremstød. (A) Regionale bevægelser i Nordeuropa under det baltiske fremstød. (B) Isbevægelser og prominente Sen Saale (W) og Sen Weichsel (MSL, E, B) israndslinier i Danmark (Houmark Nielsen 2007)

Det kinetostratigrafiske princip blev formuleret af Asger Bertelsen i 1978 og benyttes til at klassificere enkeltstående till-enheder i stratigrafiske enheder på baggrund af bevægelsesretningen på den is der afsatte till'en (Fig. 7). Studierne af deformationstrukturer og skurestriber er i dag den mest benyttede metode til at lave en stratigrafisk opdeling af tillenheder der stammer fra forskellige isfremstød..

Klastfabrikanalyse og skurestriber

Der foretages klastfabrikanalyse (Krüger 1994) ved at måle langakseorienteringen af 25 aflange klaster på en horisontal flade i samme niveau. Klasterne skal være minimum 1 cm lange og have et længde bredde forhold på min 1,5. Målinger kan gentages i flere dybdeintervaller eller hvor der ses tydelige lithologiske skift som f.eks. glaciale brolægninger (Boulderpavements). Skurestriber på sten og blokke måles og noteres.

Generelt kan fabrik benyttes til at bestemme isbevægelses retninger, og til en hvis grad også til at klassificere tillén. Bennett, et al 1999. konkluderer at det ikke er muligt på fabrik analyse alene (Woodcock, 1977) at skelne imellem forskellige former for basale tills (Lodgement, meltout og deformation tills), men overordnet kan metoden bruges til at skelne imellem basale tills, flow-tills og drop-tills.

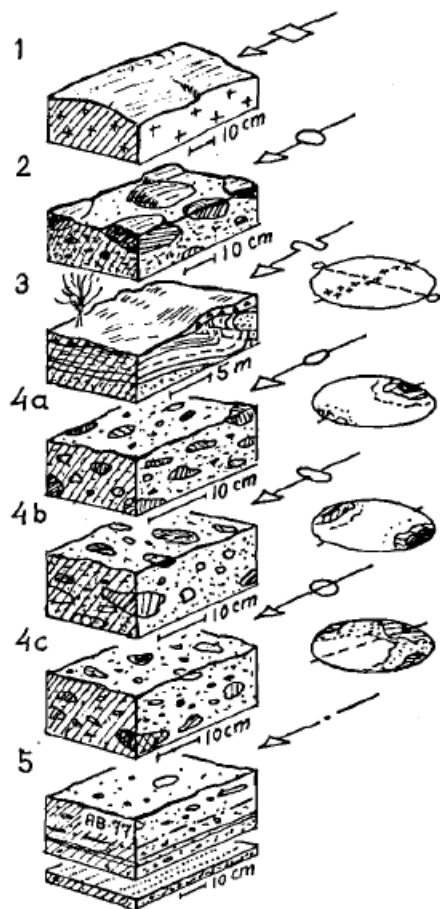


Fig. 7. Isbevægelses indikatorer i glaciale aflejringer kan afbilledes på stereografiske projektioner. Følgende typer kan opmåles. **1:** Glaciale striationer på grundfjeld. **2:** Glaciale striationer på store sten (brolægninger) **3:** Storskala glacialtektoniske komplekser med overskydninger, folder, o.s.v. **4:** Tillfabrik, langakseorienteringen er målt på aflange sten med en længde breddeforhold på minimum 1,5. Orienteringen af aflange sten indikerer isbevægelsesretningen og kan orienteres på følgende måder: a: parallel fabrik (orientering parallel med isbevægelsesretning) b: tranvers fabric (orientering vinkelret på isbevægelsesretning) c: Blandet orientering hvor der både er en dominerende retning parallel og vinkelret på isbevægelsesretningen. **5:** Striationer på mylonitiske tillsåler. Især i lerrige tills vill tynde sandstriber vise retninger parallelt med isens bevægelsesretning. (Berthelsen 1978)

Glaciale deformationsstrukturer

Glaciale deformationsstrukturer såsom folder, forkastninger, sprækker og udshearede linser afspejler ofte isbevægelsesretninger. Ved at måle disse strukturers orientering og sammenholde dem med andre isbevægelsesindikatorer, kan isens bevægelsesretning estimeres Fig. Det er vigtigt at bemærke at yngre deformationer kan overpræge ældre sedimenter der oprindeligt ikke er relateret til det deformerende isfremstød. Hvis en deformation strækker sig under den till der evt. er afsat i forbindelse med et givet isfremstød taler vi om ekstradomænale eller overprægede deformationer, hvorimod deformationer indlejret i det samme isfremstøds aflejringer kaldes domænale deformationer (se fig.8). Til slut skal det nævnes at småskala deformationer også kan sammenholdes storskala deformationer på landformskala såsom store dislocerede overskydningskomplekser som f.eks. Møns Klint og Lønstrup Klint, eller markante randmoræner, drumlins, og megastriationer. Alt i alt er disse strukturer vigtigt isbevægelses indikatorer og generelt tæller de for mere end småskala strukturer som f.eks. klast fabrik og skurestriber.

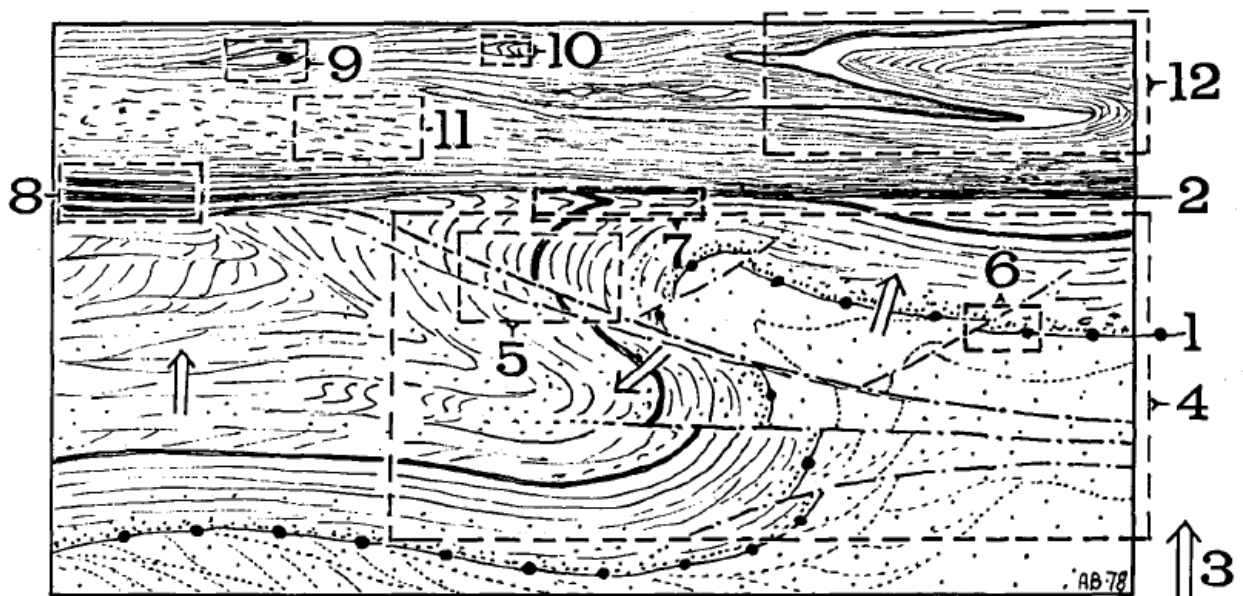


Fig. 8. Diagrammet viser vigtige typer af glaciale strukturer og deres relative betydning som isbevægelsesindikatorer (isbevægelsen er fra højre imod venstre). (Indikeret ved størrelsen på den stiplede ramme). 1: Grænse mellem øvre kinostratigrafiske enhed med domænal deformation og underliggende lag med ekstra domænal deformation. 2: Base af overliggende basal til. 3: Stratigrafisk op i smeltevandssedimenter. 4: Område med kombinerede glacialtektoniske strukturer. 5: Overskydning. 6: Konjugerede forkastninger (back thrusts). 7: Slæbefolder. 8: Striationer i mylonitisk till. 9: Torpedo strukturer. 10: Mikrofolder i cm størrelse. 11: Till fabric analyser. 12: Glacialdynamiske makrostrukturer i m størrelse. (Berthelsen 1978)

Geotekniske egenskaber

Specielt de belastningsmæssige forhold anses for at have stor betydning for dannelsen af sprækker. Velkonsolideret moræneler er som oftest kraftigere opsprækket end dårlig konsolideret moræneler.

I borer kan udføres en række geotekniske undersøgelser, Generelt måler man intakt forskydningsstyrke og omrørt forskydningsstyrke samt udtager volumetriske prøver til beregning af forskellige jordfysiske parametre.

I særlige tilfælde måles intakte stressforhold/retninger, men dette kræver specielt udstyr.

Til bedømmelse af styrkeforhold i udgravninger og på blotninger kan der udføres simple CPT-test (cone penetration test) ved hjælp af et såkaldt håndpenetrometer for hver 10 cm fra overfladen til bunden af udgravningerne. For en mere præcis angivelse af styrkeparametre kan anvendes et såkaldt vingeudstyr.

Anvendelse af eksisterende geotekniske boredata kan med fordel benyttes til en generel vurdering af den geologiske variabilitet i et område.

Geoteknisk parameter: De geotekniske undersøgelser omfatter opmåling af; 1) Vandindhold $W\%$ og vandmætning $S_r\%$; 2) mættet rumvægt ρ og tørrumvægt ρ_d g/cm^3 ; 3) porete e og porøsitet n ; 4) mættede korn rumvægt γ , tørt kornrumvægt γ_d og den effektive kornrumvægt γ' kN/m^3 ; 5) *in-situ* vertikalt spænding σ_v kN/m^2 ; 6) den effektive *in-situ* vertikale spænding σ_v' kN/m^2 ; 7) overkonsolidering ratioen OCR og 8) porevand trykket U kN/m^2 .

Forskydningsstyrke: Til bedømmelsen af stressforholdet *in-situ* udrænet forskydningsstyrke, målt maksimal forskydningsspænding i to tilstande; 1) Intakt forskydningsstyrke C_v og 2) omrørt forskydningsstyrke C_v'

CPT-forsøg: Til bedømmelsen af kompression styrken i udgravningernes jordprofiler *in-situ* Pocket Penetrometer opmålinger foretages.

Opmåling og beskrivelse af sprækker

Når udgravningen er færdig kan opmålingen begynde. Som oftest kan sprækkerne ikke ses ved første øjekast. Det skyldes at skovlen fra gravkøen smører et tyndt lerlag ud overalt. På kystklinter eller på gamle vægge i udgravninger er der derimod alt for mange sprækker idet udtørring af overfladen har frembragt et utal af nye sprækker. Derfor skal de originale sprækker først blotlægges.

1. Blotlæggelse af sprækker

Profilvæggene skrubes rene med skrabejern (et almindeligt hakkejern er fortrinligt). Alle større sprækker frigraves ved hjælp af kniv og murske så en lille del af sprækkeoverfladen er blottet. Dette gøres for at kunne måle sprækken orientering ved hjælp af et kompas. På særligt hårde overflader kan det være nødvendigt at benytte hammer og koben for at blotlægge sprækkeoverfladen. For at undgå sprækker dannet i forbindelse med udgravningsarbejdet, skal kun sprækker der angiveligt har været hydraulisk aktive beskrevet, d.v.s. sprækker der har en eller anden form for overfladebelægning eller spor efter biologisk aktivitet. (rustfarve, lerdrapering, rodgange, gravegange etc.).

Inden sprækkerne beskrives monteres et målebånd vandret på profilet i den dybde man ønsker at opmåle. Dette er referencelinien. Liniens længde dybde og orientering noteres (evt. GPS position måles). Landmålerstokke placeres med passende mellemrum og hele profilet fotograferes omhyggeligt.

Det kan være nødvendigt at bortgrave nogle sprækker for at blotte nogle andre under opmålingsproceduren, derfor bør man opmåle sprækkerne systematisk fra en ende af.

2. Beskrivelse af sprækker og andre makropore

Sprækkerne opmåles i forhold til deres skæringspunkt på referencelinien (fig. 9) og følgende data nedfældes på vedlagte sprækkebeskrivelsesdiagram Anneks 1:



Fig. 9 Sprækkernes position (placing beskrives i forhold til en skæringspunktet på en referencelinie (her et målebånd). Spacing beregnes denne dybde. Man gentager derefter proceduren i typisk 3 dybde intervaller 2-3,5 og 5 meter under terræn.

Fysiske data:

- *Sprække position (placing)*: Benyttes til at rekonstruere sprækkerne på et geologisk profil for beregning af sprække frekvens og spacing (gennemsnitsafstand imellem parallelle sprækker).
- *Sprækkkesystem/orden*: Det har vist sig praktisk at dele sprækker op i 1^{ste} ordens sprækker der skære alle andre sprækker (typisk >1meter), 2^{nden} ordens sprækker der ofte ender i 1^{ste} ordens sprækker men ellers skære alle andre sprækker (typisk 0,5 – 1meter) og 3^{die} ordens sprækker der som oftest er for små og irregulære til at opmåle (typisk < 0,5 meter) (fig. 6). Skalaen er imidlertid relativ afhængig af bjergarten kan 1^{ste} ordens sprækker være fra få meter til km skala og de andre ordens sprækker tilsvarende store. Normalt opmåles kun orienteringen af 1^{ste} og 2^{nden} ordens sprækker hvorimod frekvensen af sprækkespor optælles for alle sprækker incl. 3^{die} ordens sprækker.

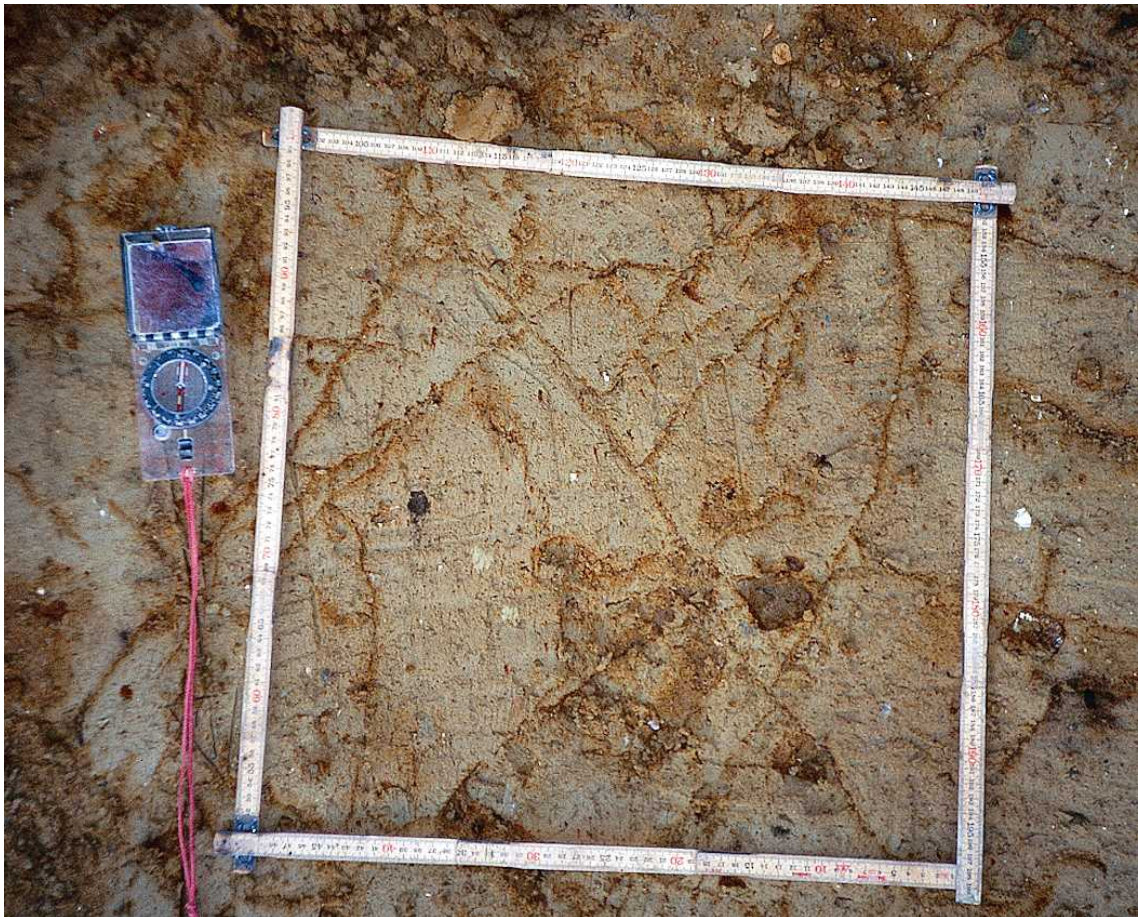


Fig.10 Store gennemgående sprække er 1'ste ordens sprækker hvorimod mindre sprækker der ender i 1'ste ordens sprækker betegnes som 2'nden ordens sprækker, og de mindste irregulære sprækker er 3'die ordens sprækker.

- *Sprækkeorientering:* Sprækkeplanets strygning og hældning måles med et kompas og benyttes til beregning af sprækkeintensitet, sprækkespacing og sprækkefrekvens samt til opdeling af sprækkerne i systemer af sprækker med samme oprindelse eller genese.
- *Sprækkestørrelse:* Den "synlige" minimums størrelse af sprækkerne kan måles (sprækkesporslængde), dette gøres typisk med en tommestok, men det er også muligt at benytte digital billedanalyse af gode fotografier til at bedømme sprækkernes størrelse.
- *Sprækkeform:* Beskrives som planar, undulating, irregular, listric (buet) eller sigmoidal (konkav-konveks-buet). Formen benyttes til at karakterisere og klassificere sprækker.
- *Sprækkeruhed:* Beskrives som rough, smooth eller slickenside (striation på overfladen der indikere forkastningsbevægelse).

Kemiske og biologiske data:

Beskrivelse af kemiske og biologiske parametre, der kan have indflydelse på eller afspejle den hydrauliske ledningsevne er vigtige, og derfor beskrives flg. parametre:

- *Overfladeudfældninger på sprækker:* Afspejler sandsynligvis kemiske forhold og hydraulisk aktivitet i sprækkerne. Der opdeles i: 1. grå overfladebelægning i den øvre del.

Denne grå farve skyldes normalt lerdrapering med reduceret jern. 2. rød rustfarvet overfladebelægning af jernoxider (fig. 11). 3. sort belægning af Manganoxider ofte sammen med jernoxider (fig. 12). 4. Endelig ses dybest en gråblå drapering på sprækkeoverfladen der skyldes udfældning af kalk.



Fig. 11. Overflade udfældning på sprække. Her jernoxider (rust)



Fig. 12 Mangan og jernudfældninger på sprækkeoverflade.

- *Regnormehuller og andre grave gange:* Har stor betydning særligt i den øverste meter af profilerne. I denne dybde sker praktisk taget alt flow i disse biopore. Antallet varierer en del afhængig af konsolidering og kalkindhold. Der findes ligeledes forskellige arter med forskellig tykkelse i forskellige dele af landet. Regnormehuller tælles på en vandret flade ved at placere tændstikker i alle huller inden for et fastsat areal (typisk 50 X 50 cm) og til slut tælle tændstikkerne (fig. 13). Opmålingen gentages i flere dybdeintervaller typisk for hver 25 eller 50 cm.



Fig. 13 Regnormehuller optælles på vandret flade ved at placere en tændstik i alle huller og optælle dem til sidst.

Rødder på sprækkeoverflader: Er normalt et tegn på hydraulisk aktive sprækker (fig. 14). Farvetracerforsøg har påvist at de mest hydraulisk aktive sprækker ofte er dem med rødder på overfladen. Da kun en fraktion af sprækkerne normalt gennemsætter hele lagpakken og dermed transportere stoffer igennem moræneleret er dette en vigtig parameter at opmåle. Større rodhuller kan påvirke den hydrauliske ledningsevne i jorden ved at virke som kanaler på sprækkeoverfladen.



Fig. 14 Rødder på sprækkeoverflade domineret af grå reduceret jern belægning.

Opmåling af sprækkesporsfrekvens

Sprækkesporsfrekvensen er antallet af sprækkespor/m. Denne værdi kan hurtigt opmåles ved at tælle antal sprækkespor langs enten en vertikal eller horisontal referencelinie. Da de fleste sprækker er enten subvertikale eller subhorisontale opmåles frekvensen både på lodrette og vandrette referencelinier (f.eks. en tommestok). På denne måde kan selv de mindste sprækker registreres og lange profiler opmåles hurtigt. Sprækkesporsfrekvensen kan derfor benyttes til at kalibrere ens sprækkemodel og udfylde hullerne imellem de tidskrævende opmålinger af sprækkeorienteringer. Man kan også lave hurtige opmålinger og beskrive laterale variationer på meget lange profiler i råstofgrave og på kystklinter med denne metode. Metoden kan ikke direkte benyttes til at beregne spacing, men kender man forholdet imellem den kumulative spacing og sprækkesporsfrekvensen på et eller flere dybdeintervaller kan sprækkesporsfrekvensen omregnes til spacing for de resterende områder.

Man måler typisk antallet af de subhorisontale sprækker langs et lodret udspændt målebånd eller en tommestok i 20 cm intervaller fra overfladen til bunden af udgravningen.

Dernæst placeres en tommestok vandret og alle subvertikale sprækker tælles på 1 m i 20 cm intervaller fra overfladen og ned.

Proceduren gentages 2-3 gange på forskellige steder for at få variationen bestemt.

Opmåling af sprækkesporsdensitet

Sprækkesporsdensitet: Specielt med udtørringssprækker kan det være svært at opmåle en sprækkespacing da sprækkerne ikke er parallelle. Her kan man med fordel beregne den kumulative sprækkesporslængde ved at opmåle den samlede længde af sprækkespor inden for et kendt areal (fig. 15).

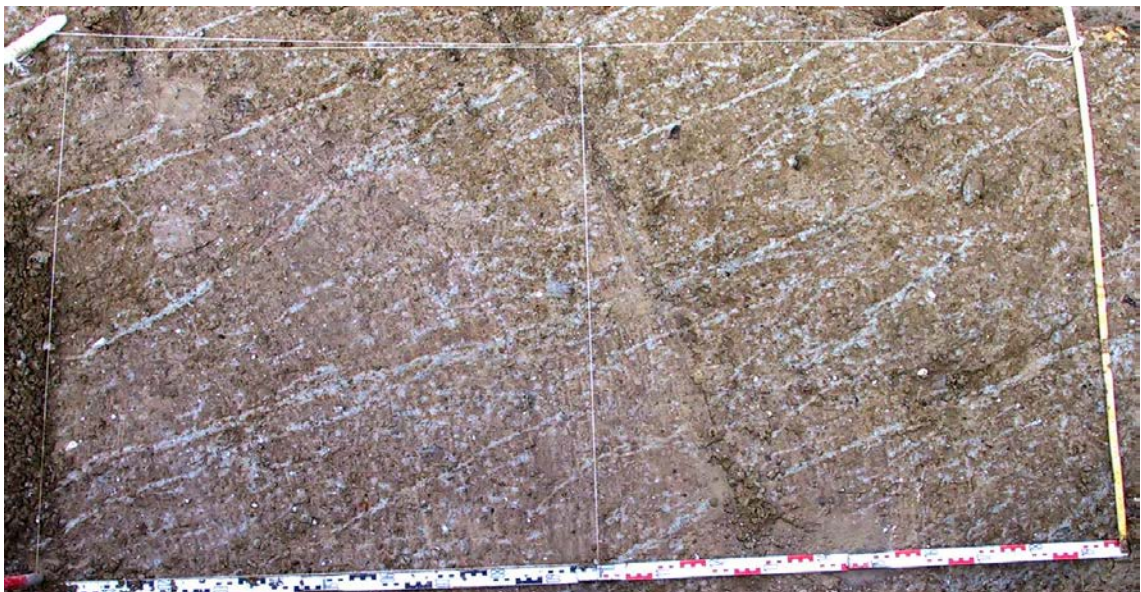


Fig. 15. Sprækkesporsdensitet kan måles ved at måle den samlede sprækkesporslængde pr areal enhed.

Dataanalyse

Dataanalyse omfatter henholdsvis Sedimentanalyse og sprækkeanalyse

Sedimentanalyse

Sedimentanalyse omfatter plotning af fabric data, skurestribedata og foldeakser der afspejler isbevægelsesretninge i stereografisk projektion. Til belysning af morænelerens petrologiske sammensætning kan foretages fingrusanalyse ellers udtages prøver til kornstørrelsesanalyse for at karakterisere moræneleren, ligesom kalkindholdet bestemmes.

Fingrusanalyse og kornstørrelsesanalyse

Ved hjælp af petrografiske studier (Ehlers 1979) kan man opdele glaciale aflejringer efter deres indhold af forskellige bjergarter. Bjergarterne opdeles typisk i stabile korn der ikke opløses og ustabile korn som kalksten og opal flint der typisk opløses af nedsivende surt regnvand. Glaciale aflejringers indhold af stabile korn i størrelsen 2-4 mm eller 3-5 mm opdeles således i flint, quartz, krystallinske bjergarter og sedimentære bjergarter, og de ustabile korn: forskellige typer kalksten og opal flint (Fig. 12). Sammensætningen varierer stærkt afhængig af det underlag isen er skredet hen over og har opsamlet materiale. Ved at sigte en prøve og sorterer minimum 300 korn i denne størrelsesorden kan en typisk sammensætning for en givet till-enhed bestemmes. Metoden har den svaghed at det er vanskeligt at korrelerer over længere afstande, men metoden er effektiv til for eksempel at opdele en succession af flere forskellige till-enheder, der er aflejret oven på hinanden i individuelle enheder der kan relateres til separate isfremstød.

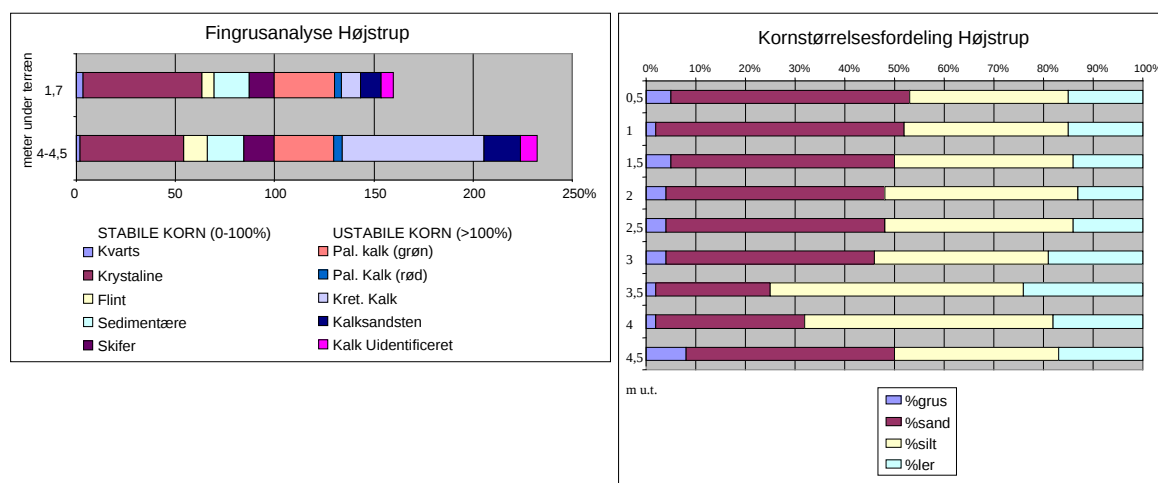


Fig. 16 Fingrusanalyse samt kornstørrelsesvariation for hver 50 cm med dybden ved Højstrup på Stevns, bemærk hvorledes der sker en markant ændring omkring 3,5 meter under terræn. Grænsen afspejler sandsynligvis en kontakt imellem to forskellige till-enheder.

Glødetab

Indholdet af organisk materiale i sedimentet kan måles i laboratoriet ved at lave glødetab. D.v.s. at prøven opvarmes så kraftigt at det organiske materiale afbrændes og vægtforskellen før og efter angiver mængden af organisk materiale i udgangsprøven.

Geotekniske parametre

CPT-test (cone penetration test) plottes typisk som funktion af dybden og kan indsættes direkte i en lithologisk log eller præsenteres i et særskilt diagram (Fig. 17). For en mere præcis angivelse af styrkeparametre kan anvendes et såkaldt vingeudstyr. Anvendelse af eksisterende geotekniske boredata kan med fordel benyttes til en generel vurdering af den geologiske variabilitet i et område.

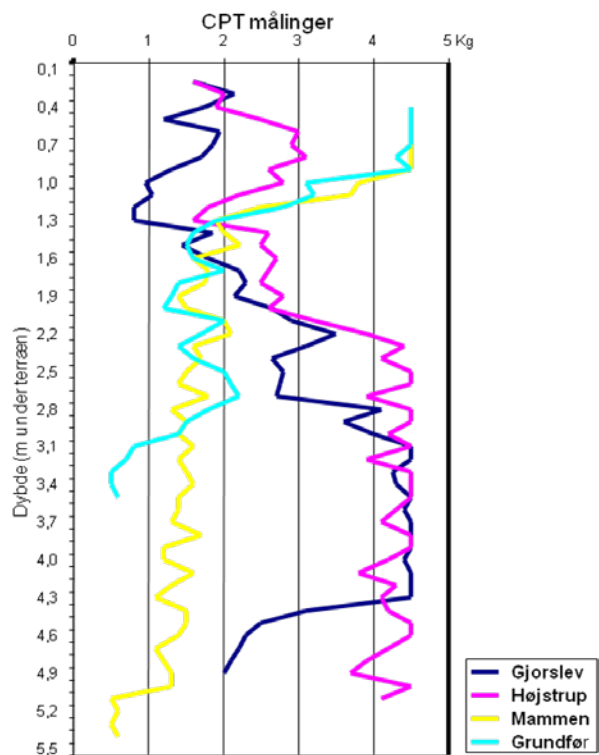


Fig. 17. Eksempel på CPT-test med håndpenetrometer ved 4 lokaliteter i Danmark.

Till fabrik

Tillfabrik plottes i stereografisk projektion (typisk arealtro Schmidt net). Ved hjælp af en såkaldt Kamb statistisk analyse kan Eigenvalue S_1 bestemmes for langakseorienteringen og styrken af fabrik kan beregnes (Se Fig. 18)

Den stereografiske projektion indsættes om muligt i loggen ellers indsættes tolket isbevægelsesretning.

Skurestribe målinger

Plottes på samme måde som fabrik data, blot kan man også anvende et Rosediagram til at illustrerer isbevægels

esretninger.

FIGURE 3

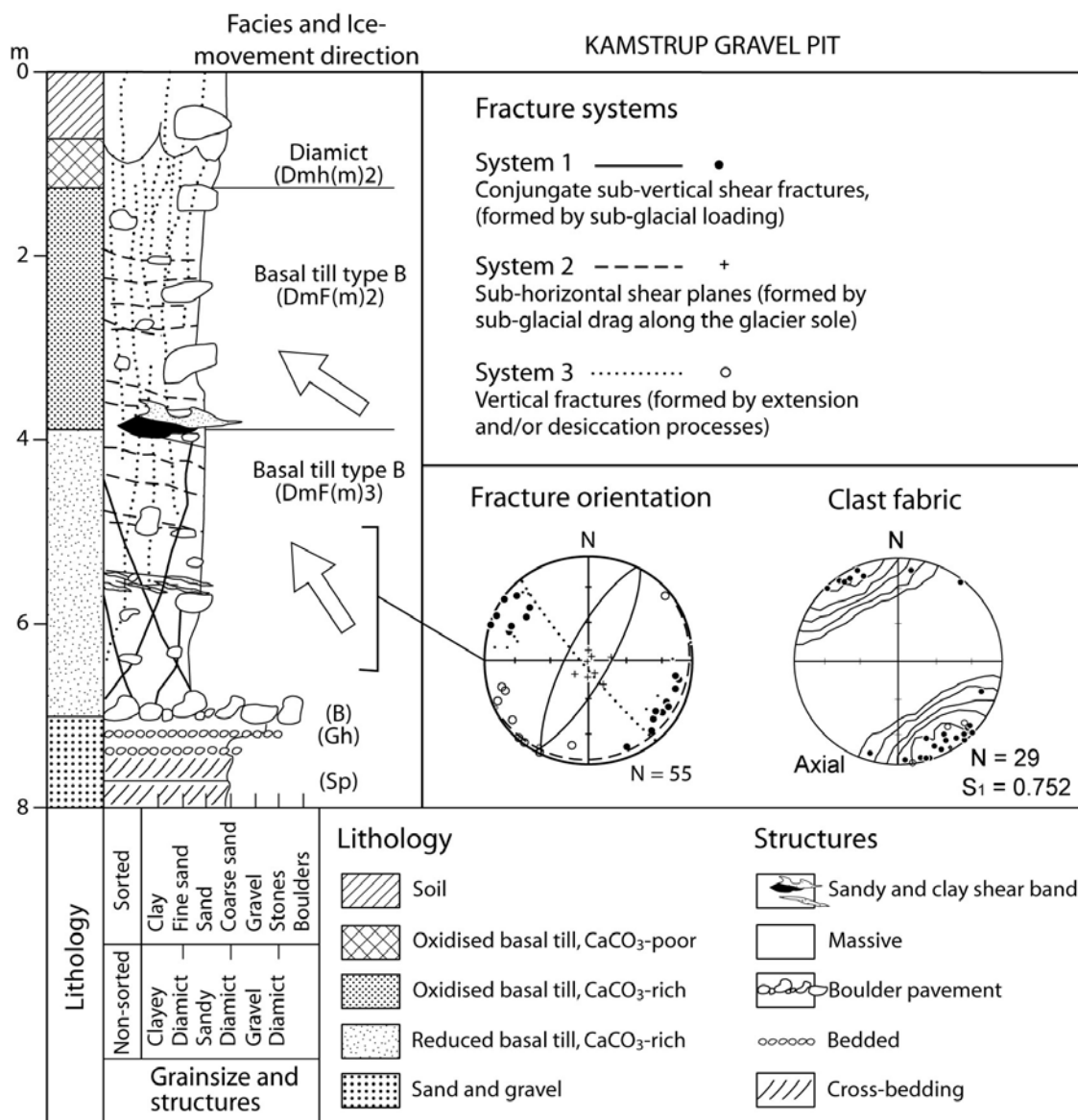


Fig. 18 Eksempel på tolkning af isbevægelsesretninger på baggrund af sprække orientering og klast fabrik målinger og skurestribe målinger (facies og beskrivelseskode efter Krüger og Kjær 1999).

Folde akser

Foldeakser kan beregnes ved at måle flankeorienteringer (Strygning/hældning) og konstruerer et såkaldt β -diagram, eller plotte foldeaksen direkte som retning/dyk på et stereonet.

Sprækkeanalyse

Når hver sprækkes orden, position, orientering, minimumsstørrelse, form, overfladekarakter samt overfladebelægning er blevet opmålt og beskrevet, efter ovenstående metoder kan sprækkerne plottes i en såkaldt stereografisk projektion, der giver et godt visuelt billede af sprækkernes orientering. Derved kan sprækkerne opdeles i familier af sprækker med ensartet udseende, størrelse og orientering. Systematiske parallelle sæt af sprækker kan identificeres som et culotter på stereonettet og sæt der har en naturlig forbindelse, f.eks. to konjugerede sæt af shearsprækker, klassificeres de i systemer hvorimod tilfældigt orienterede, uregelmæssige sprækker behandles i en gruppe for sig.

Antallet af sprækker pr. m (sprækkeintensiteten) samt den gennemsnitlige afstand imellem sprækkerne (*spacing*) kan dernæst beregnes for hvert enkelt sprækkesystem. Sprækkeintensiteten er den kumulative inverse værdi af *spacing* i de opmålte niveauer under overfladen, d.v.s. antallet af sprækker pr meter i et system af parallelle sprækker. Summen af alle sprække systemers intensitet angives som *bulk intensiteten*, og gennemsnitsafstanden imellem alle sprækkerne hvis de blev arrangeret parallelt med hinanden angives som den kumulative *spacing*.

De mindre 3'die ordens sprækker kan ikke opmåles med denne metode og de er derfor groft inddelt i vertikale/subvertikale og horisontale/subhorisontale sprækker. Det totale antal sprækkespor angives typisk i 20 cm intervaller fra overfladen til bunden af udgravningen. Denne værdi angives som *sprækkespors frekvensen*, og vil typisk være mindre end sprækkeintensiteten, da værdien ikke er målt vinkelret på sprækkernes orientering.

Beregning af kvantitative sprækkeparametre

De væsentligste sprækkeparametre i flowmodeller er sprækkeapertur (åbningsdiameteren) og sprækkespacing, der begge indgår i den såkaldte kubiske lov. Derudover benyttes orientering, spacing, frekvens og densitet af sprækker (se fig. 19).

- *Sprække orientering* har betydning for foretrukne flowretning. Orienteringen illustreres ved hjælp af stereografiske projektioner (Fig. 18).
- *Sprække spacing (S)* er den gennemsnitlige afstand imellem sprækker i et sprækkesæt. I områder med tilfældig orientering af sprækker er det vanskeligt at måle en decideret spacing.
- *Sprækkeintensitet (I)*: $1/S$ (antal sprækker pr m) Spacing omregnes normalt til sin reciprokke værdi sprækkeintensiteten ($1/S$), der lettere kan illustreres i f.eks. rosedia-grammer eller indgå i beregninger. Intensiteten angives normalt som antal sprækker pr/m for et sprækkesæt, men en samlet sprækkeintensitet for et givet jordvolumen kan angives ved at lægge alle intensiteter fra hvert enkelt sprækkesæt sammen og derved angive det totale antal sprækker pr m^3 .
- *Sprækkespors frekvens (N/Lw)* beskriver antal sprækkespor pr m i et bestemt dybde niveau. Metoden er hurtig og derfor velegnet til at beskrive den generelle *variation* af opsprækning.
- *Sprækkesporsdensitet*: Specielt med udtørringssprækker kan det være svært at opmåle en sprækkespacing da sprækkerne ikke er parallelle. Her kan man med fordel beregne den kumulative sprækkesporslængde ved at opmåle den samlede længde af sprækkespor inden for et kendt areal (fig. 11).

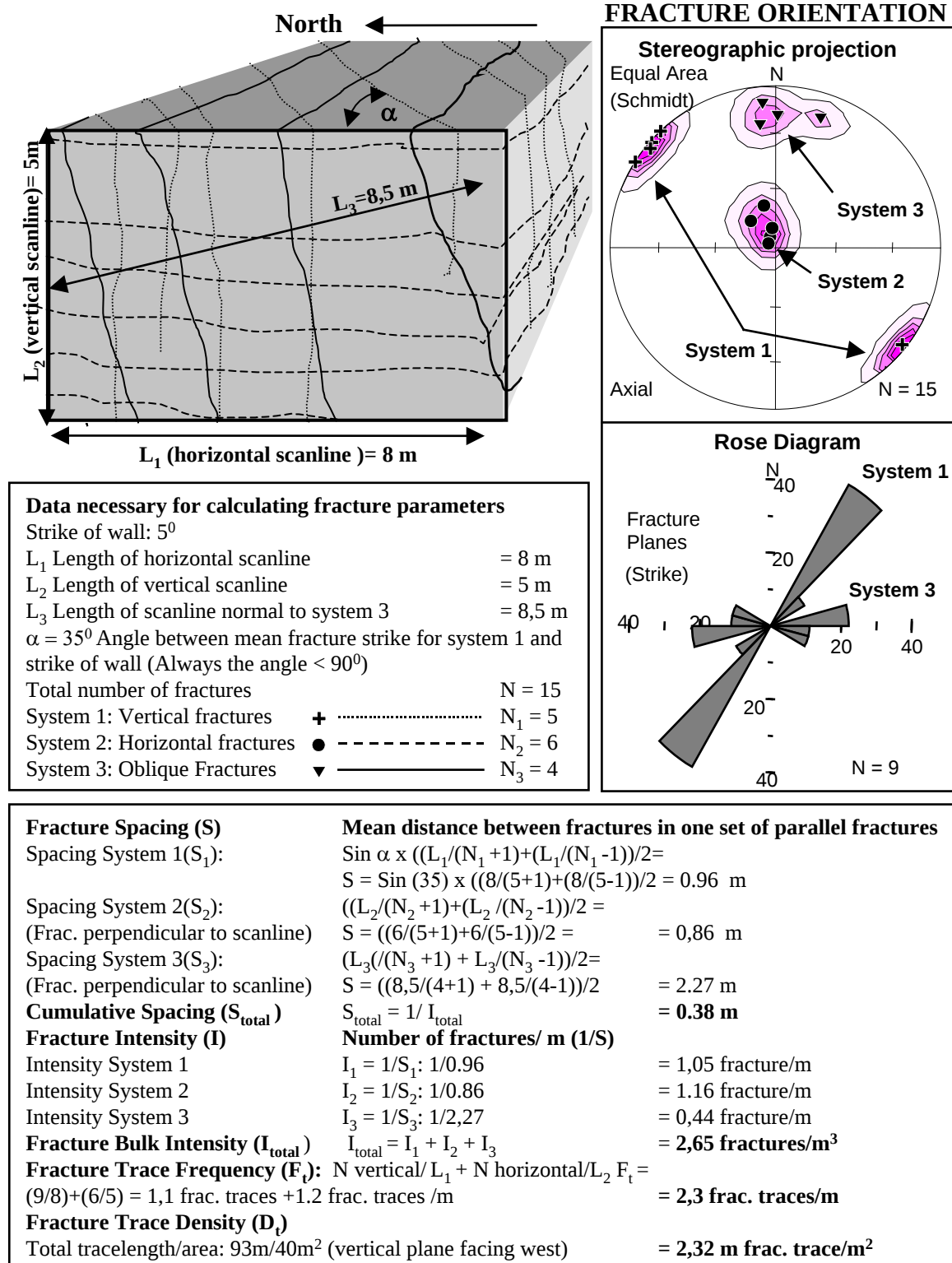


Fig. 19. Beskrivelse af metode til beregning af sprækkeparametre der kan indgå som input parametre i numeriske hydrauliske modeller.

Tolkning af data

Till klassifikation

Termen moræner benyttes bredt om lerede dårligt sorterede sedimenter, der er aflejret i et glacialt miljø. Der findes imidlertid mange forskellige glacial miljøer hvorunder moræner kan aflejres. Det er derfor nødvendigt at lave en detaljeret analyse af moræneret og klassificere det.

For at kunne lave en yderligere opdeling i specielle aflejrmiljøer og processer relateret til bestemte isfremstød benyttes her den engelske procesrelaterede term "till" i stedet for moræner. Till er sedimenter direkte afsat fra en gletscher (iskontaktsediment), enten gletscheren som basal till der kan opdeles i *deformation till*, *lodgement-till* eller "*subglacial melt-out-till*" (bundmoræne), eller oven på isen (supraglacialt), ved udsmeltning og nedglidning fra selve isen som *meltout* eller *flow-till* (flydemoræne).

Classification of Fine-grained Diamict Deposits		
Till type	Deposition process	Special characteristics
Basal till Type-A Type-B	Basal tills are formed as a result of two processes: by plastering and deformation of glacial debris from the sliding base of a moving glacier (lodgement process), and as a result of incorporation into the till of the substratum under the sliding base of a moving glacier (pure deformation). Most basal tills are formed by a combination of these two processes. They may be separated by the mode of deformation as: A-type (ductile) and B-type (brittle) basal tills.	Generally massive, ice scoured stoss-lee side blocks. Boulder pavements. Consist of exotic material mixed with locally derived sediment. A-type (ductile deformation). Generally low to medium strength till, massive matrix with occasional water-escape structures and intrusion of hydro-fractures into the subsurface. Medium/strong fabric. Often drag folding or slump structures along base. (Poorly drained till) B-type (brittle deformation): High strength till, massive matrix, generally strong clast fabric. Often low dipping fissile shear zones, systematic fractured or faulted. (well-drained till)
Glacitectonite	A glacitectonite is a glacial breccia formed as a result of basal squeezing and crushing of the substratum by a moving glacier.	Medium-high strength, highly deformed (brecciated) transition towards underlying substratum primarily consisting of the still recognisable basement material mixed with till.
Subglacial melt-out till	Melt-out till is deposited by a slow release of glacial debris from the sole of a stagnant glacier by subglacial melting.	Low strength. Very strong clast fabric, layers draped over clasts. Clasts are less rounded than in the lodgement till. Often embedded rafts of substratum. Occasional isoclinal folds of sandy/silty bands.
Supraglacial Flow till	Flow-tills derived from any glacial material that is released from glacier ice or from freshly deposited till and which is redeposited by gravitational processes.	Low strength. Varied clast fabric, sometimes layered with inclusions of glaciofluvial sediments. Random orientation of fold-axes fractures and faults. Sometimes stacked sequences of debris-flows.
Supraglacial melt-out till	Derived from any glacial material that is slowly released from glacier-ice without being redeposited	Low strength. Sorted and unsorted sediments. Small basins with primary sedimentary structures, sometimes with small-scale faulting from collapse after melting of buried ice.
Waterlain diamicts (drop-till)	Glaciers and icebergs floating in lakes or oceans will release drop material to the sea or lake-floor sediments, and sometimes deform them directly by grounding. Occasional turbidites occur.	Glaciolacustrine, usually clay-rich, thick, sometimes laminated matrix mixed with drop material. Random fabric, occasional randomly deformed sand bodies/lenses. Glacio-marine: as above but with marine fauna, foraminifer, shells etc.

Tabel 1 Genetisk klassifikation af moræner/sand i forhold til aflejrmiljø, strukturelle, teksturelle og geotekniske egenskaber (Klint 2001).

Moræneler/sand opdeles i:

- Flydemoræne: (Flow-till) generelt blød med mange sandslirer og indslag af smeltevandssedimenter
- Bundmoræne: (Basal-till type B (hård opsprækket) og type A (blød uden tektoniske sprækker) Typisk massiv moræneler, ofte opsprækket med få eller ingen sandlinser. Ofte med brolægninger i kontakten til underliggende enheder.
- Udsmeltningsmoræne (melt-out till): massiv/lagdelt, blød,
- Vandaflejret moræne (drop-till). Lagdelt fed ler-silt matrix, med enkelte sten (drop-sten). Normalt velsorteret.

Generelt skelnes der i ikke imellem de forskellige typer basale tills, men deres interne deformationsmekanisme er afgørende for dannelse af f.eks .sprækker og der skelnes derfor imellem deformationsmekanismerne i to typer basale tills: A-type der er deformeret blødt "Ductile" og B-type der er deformeret sprødt "Brittle" (se tabel 1).

Forkastninger og Sprækker

Forkastninger og sprækker plottes som strygning hældning i et stereonet. Ved at plote data som punkter (poler til storcirkler) i stedet for storcirkler kan de opdeles i systematiske eller tilfældigt orienterede sprækker, idet systematiske sæt af parallelle sprækker vil danne et cluster, der kan bruges til at beregne retningen på de principielle stressakser der er et resultat af den deformationsreting till'en har været udsat for. Især ved basale tills er der en klar sammenhæng imellem sprækkeorientering og isbevægelsesretninger (Fig. 20). I Appendix 2 er sammenstillet en generel oversigt over sprækketyper i tills.

FIGURE 12

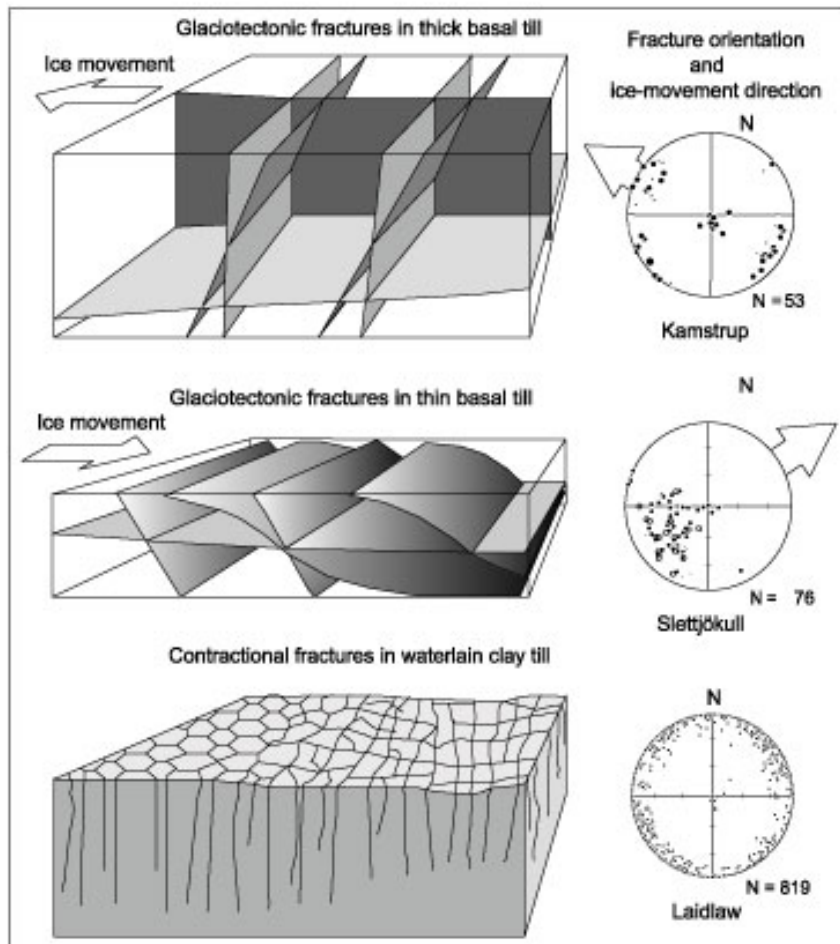


Fig. 20 Typisk orientering af sprækker i forskellige typer till.

Referencer

Bennett, M. R., Waller, R. I., Glasser, N. F., Hambrey, M. J. and Huddart, D. 1999. Glacigenic clast fabrics: genetic fingerprint or wishful thinking? *J. Quaternary Sci.*, Vol. 14, pp. 125–135. ISSN 0267-8179.

Berthelsen, A., 1978. The methodology of kineto-stratigraphy as applied to glacial geology. *Bulletin of the Geological Society of Denmark*, 27, Special Issue, 25-38.

Ehlers, J. 1979: Fine gravel analysis after the Dutch method as tested out on Ristinge Klint, Denmark. *Bulletin of the geological Society of Denmark* 27, 157–165.

Houmark-Nielsen M., 1987. Pleistocene Stratigraphy and Glacial History of the Central Part of Denmark. *Bulletin of the Geological Society Denmark*, Vol. 36, part 1-2, 1-189.

Houmark-Nielsen, M. 2007: Extent and age of Middle and Late Pleistocene glaciations and periglacial episodes in southern Jylland, Denmark. *Bulletin of the Geological Society of Denmark*. Volume 55, pp. 9–35. ISSN 0011–6297.

Klint, KES., Abildtrup, CA., Gravesen, P., Jakobsen, PR., Vosgerau, H. 2001. Sprækkers oprindelse og udbredelse i moræner i Danmark. *Vand og Jord* 8, 3, 111-119.

Krüger, J., 1994. Glacial Processes, Sediments, Landforms, and Stratigraphy in the Terminus Region of Myrdalsjökull, Iceland. (Two Interdisciplinary case studies). *Folia Geographica Danica* TOM.XXI. 233 p.

Krüger, J., Kjær K.H., 1999. A data chart for field description and genetic interpretation of glacial diamict and associated sediments - with examples from Greenland, Iceland and Denmark. *Boreas*, 28, 386-402.

Larsen G., Frederiksen A., Willumsen J., Fredericia J., Gravesen P., Fged N., Knudsen J. og Baumann J. 1988: Vejledning i Ingeniørgeologisk prøvebeskrivelse. DGF Bulletin 1 pp. 1-50.

Woodcock, N. H. 1977. Specification of fabric shapes using an eigenvalue method. *Geological Society of America Bulletin*, **88**, 1231–2136.

Appendix 1 dataark til logbeskrivelse i felten

Beskrivelse										Tolkning	
Hovedbetegnelse (skrives med stort)	Kornstørrelse	Sortering	Bikomponenter		Strukturer (udvalgte)	Mineraler	Kalkindhold	Trivalbetegnelser (udvalgte)	Dannelses- miljø	Alder	
			Underordnede komponenter	Andre bi- komponenter							
LER (SKIFFER LERSTEN)	meget fedt fedt ret fedt silts/sandet st. silts/st. sandet			Plantet dele: planter, alger planter plantedykker	lamination lagdeling			Glimmer Lignit Opalsider Yodasider Blanke Ler Pælskifer			
SILT (SILTSTEN)	levelt til st. levelt sandet til st. sandet			Muld muldt muldtubor muldklumper	graderet lagdeling			Glimmersilt			
SAND (SANDSTEN)	finst (f) finst-mellem (f-m) mellem (m) mellem-groft (m-g) groft (g)	Velsorteret (velsort.) Sorteret (sort.)	levelt silts sandet (f,m,g) gruset (f,g) stenet	Omsækket indhold: organiskholdigt humusstoffer tørveholdigt grydeholdigt	partier, liner og stier af sandet mellem bioturbation	Mineraler glimmer, pyrit, glaukosit mangan, dikker, mum	Kalkindhold kalk (f.k.), (kode: 0) svagt kalkholdigt (sv.khl.), (kode: 1) kalkholdigt (khl.), (kode: 2) stærkt kalkholdigt (st.khl.), (kode: 3)	Glimmersand Kvartsand Tøpssand Saxicava Sand Hvide Sand	Marin (Ma) Bakvand (B) Ferskvand (Fo) Smeltvand (Sm) Vind (vi)	Postglacial (Pg) Senglacial (Sg) Glacial (Gc) Interglacial (Ig) Interglacial (Is) Neogen (Ne) Pleistocen (Pa)	
GRUS (KONGLOMERAT BRECCIE)	finst (f) groft (g)	Ringe sorteret (ringe sort.)	Som mængde angivelse benyttes:	Slakker: slakker slakkestykker slakkefragmenter	gitterflader			Kvartagrus	Flydede (F) Støvsand (Ss) Nedsigt (Ns)		
STEN (KONGLOMERAT BRECCIE)	angiv størrelsen	Usorteret (usort.)	svagt (sv.) stærkt (st.) enkelt (enk.)	Andet: brunkul, tungsten, lignit, lignit, klumper af ler og slit,	spækker brækket fissiler	(ofte som konkretioner)			Overjord (O)	Kridt (Kt) Pleistocen (Pl) Eocen (Eo) Oligocen (Ol) Miocen (Mi)	
MORÆNER	meget fedt fedt ret fedt silts/sandet st. silts/st. sandet								Gletscher (Gl)		
MORÆNESILT	levelt til st. levelt sandet til st. sandet							Lokalmørene Kalkmørene			
MORÆNESAND	finst (f) mellem (m) groft (g)										
MORÆNEGRUS	finst (f) groft (g)										

Appendix 2: Sprækketyper i dansk moræneler

Aflejringsmiljø og Landskabsystemer	Deformationsmekanismer og tilhørende sprækketyper	Associerede sedimenttyper
Subglacialt landskab (dannet under en gletscher) Indbefatter alle de landkabstyper der formes under en gletscher. Morænefladen er den mest udbredte landskabstype, og består primært af moræneler/sand imens andre subglaciale landskabs-former såsom åse og drumlins ofte er domineret af sandede grusede sedimenter.	Sprække typer samt andre deformations strukturer: Slæbefolder, reverse og normal forkastninger. Intrusive sedimentfyldte sprækker, konjugerende stejltstående shearsprækker, sub-vertikale ekstensions sprækker, lavvinklede shear-planer, breccier, og udshearede sandlinser. Processer: <u>Glacialteknik</u> . Direkte tektonisk belastning hidrørende fra gletscherens tyngde og bevægelse hen over underlaget skaber en mængde deformationer. Ved lav vandmætning dominerer forkastninger og sprækker, imens folder og hydrosprækker (intrusioner) dominere ved høj vandmætning.	Subglaciale sedimenter Moræneler/sand (Lodgement-till). Basal udsmeltnings moræne ler/sand (sub-glacial melt-out till). Glacial breccie (glacitecto-nite) er en knust bjergart ved overgang fra moræneler/sand til underliggende sediment f.eks. kalk)
Rand og supraglacialt landskab (Umiddelbart langs og foran gletscherranden). Her dominere moræneflader med dødis-relief samt <u>randmoræne-landskabet</u> , der består af materiale skubbet op eller udsmettet direkte fra en gletscher. Derudover dominere smeltevands-aflejringer af forskellig type.	Sprækketyper samt andre deformations strukturer: Konjugerende lav/stejlt-hældende shear sprækker og forkastninger. Reverse forkastninger, overskydninger, folder og intrusioner i form af sand/mudder diapire og hydrosprækker i de sub-glaciale sedimenter. Tilfældigt orienterede forkastninger og folder i de proglaciale sedimenter. Processer: <u>Proglacial opskydning</u> af flager i specielle tilfælde. <u>Nedsmeltning af dødis</u> . (down-backwasting) med indsynkning og udbredt jordflydning.	Supraglacial sedimenter Udsmeltnings moræne-ler/sand (supra-glacial melt-out till). Flydemoræneler/sand (flow-till). Smeltevandsler/silt/sand og grus.
Proglacialt landskab Her dominerer smeltevandsletten ofte med opragende partier af det ældre landskab (Bakkeøer). De områder der ikke har været dækket af is under sidste istid har været kraftigere påvirket af permafrost og heraf følgende udglatning af landskabet som følge af jordflydning.	Sprækketyper samt andre deformations strukturer: Frost sprækker, sand/iskiler, evt. vand og sediment intrusioner samt flydestrukture. Normalforkastninger og sprækker optræder over ældre forkastningszoner. Processer: <u>Fryse-tø processer</u> og permafrost skaber iskiler, og såkaldt "grydejord" (cryoturbation) samt jordflydning af typisk de øverste 2 meter sediment på hældende flader. <u>Neotektonik</u> , typisk på grund af isostatisk landhævning ved tilbagesmeltning af gletschere (glacial rebound)	Proglaciale sedimenter Smeltevandsler silt/sand /grus Ferskvands ler/silt Marin ler/silt/sand (hævet havbund) Flydejord
Interglacialt landskab Det interglaciale landskab er det landskab vi ser i dag. Som følge af isens smeltning er vandstanden i verdenshavene steget, men dele af landet har siden hen hævet sig, og marine aflejringer ses specielt i den nordlige del af landet, der har hævet sig mest. Landskabet er ydermere stærkt præget af menneskelig påvirkning såsom dræning og intensivt landbrug samt byer og større anlægsarbejder. Under tidligere interglacialer var Danmark primært dækket af skov.	Sprække/forkastningstyper: Udtørringssprækker samt frostsprækker. Neotektoniske sprækker er typisk stejltstående parallelt med større forkastninger (primært normalforkastninger). Processer: <u>Neotektonik</u> , som følge af mindre jordskælv, kendes fra områder over forkastningszoner eller saltstrukture. <u>Lokal trykafastning</u> som følge af erosion af f.eks. kystklinter kan danne sprækker. <u>Udtørring</u> i sommerhalvåret skaber sprækker i den umættede zone. <u>Menneskelig påvirkning</u> (traktose ved brug af tunge maskiner eller kunstig sænkning af grundvandsspejl m.m). <u>Kemisk og biologisk påvirkning</u> af sprækker. (kemisk forvitring, rodhuller, gravende organismer som orme påvirker sprækkers hydrauliske egenskaber)	Interglacial sedimenter Ferskvands ler/silt/sand Marin ler/silt/sand (Hævet eller inddæmmet havbund)