

Forelæsningsnotat vedrørende

Danske jordarter og deres egenskaber

AAU

Instituttet for Vand, Jord og Miljøteknik
September 1998

Grete Thorsen

INDHOLDSFORTEGNELSE

side

Jordartsklassifikation.....	2
De vigtigste jordartstyper	3
Rene mineraljordarter	3
Organiske jordarter	3
Jordarternes opbygning og karakteristiske egenskaber	
Grus- og sandjordarter.....	4
Siltjordarter.....	5
Lerjordarter	6
Morenejordarter - Till	9
Organiske jordarter	10
Fyld	11
Jordartsbeskrivelse	12
Oversigter	14
Kornfraktioner - velsorterede jordarter	14
Usorterede jordarter - Till	15
Organiske jordarter	15
Geologisk oversigt	16
Litteraturliste	17

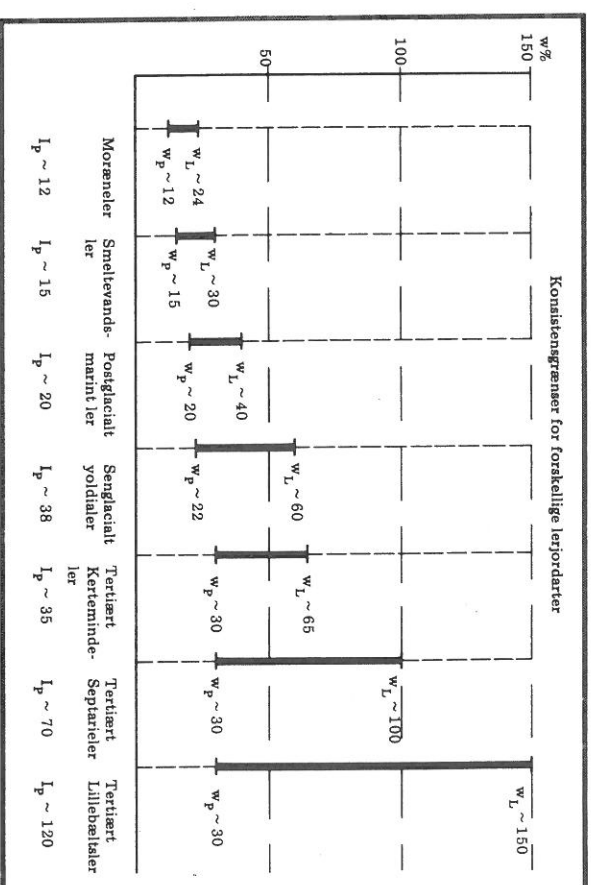
Jordartsklassifikation

En jordarts egenskaber er stærkt afhængig af kornstørrelsen. En kornstørrelse angives ved kornets diameter. For kornstørrelser over 0.06 mm defineres kornets diameter som maskevidden af den fineste sigte, kornet kan passere. For kornstørrelser under 0.06 mm anvendes sedimentation, og kornstørrelsen defineres som diameteren af en kugle med samme synkingshastighed. På grundlag heraf inddelles i kornfraktioner på følgende måde:

Sten og blokke	over 60 mm
Grusfraktion	60 - 2 mm
Sandfraktion	2 - 0.06 mm
Siltfraktion	0.06 - 0.002 mm
Ler fraktionen	under 0.002 mm

Det er meget vanskeligt at udføre sedimentation for materiale med kornstørrelse < 0.002 mm.

En lerarts egenskaber afhænger i meget høj grad af mineralsammensætningen. Bestemmelse af konsistensgrænser giver et indtryk af en lejordarts sammensætning og fysiske egenskaber.



Konsistensgrænser (efter P. Harremoës m. fl.)

De vigtigste jordartstyper

Rene mineraljordarter.

Sorterede jordarter:

Vand- eller vindaflejninger: Grus, sand, silt, ler

Egenskaberne afhænger af kornstørrelse, sorteringsgrad og mineralsammensætning. De velsorterede jordarter (stejl kornkurve) har samme egenskaber som de rene kornfraktioner.

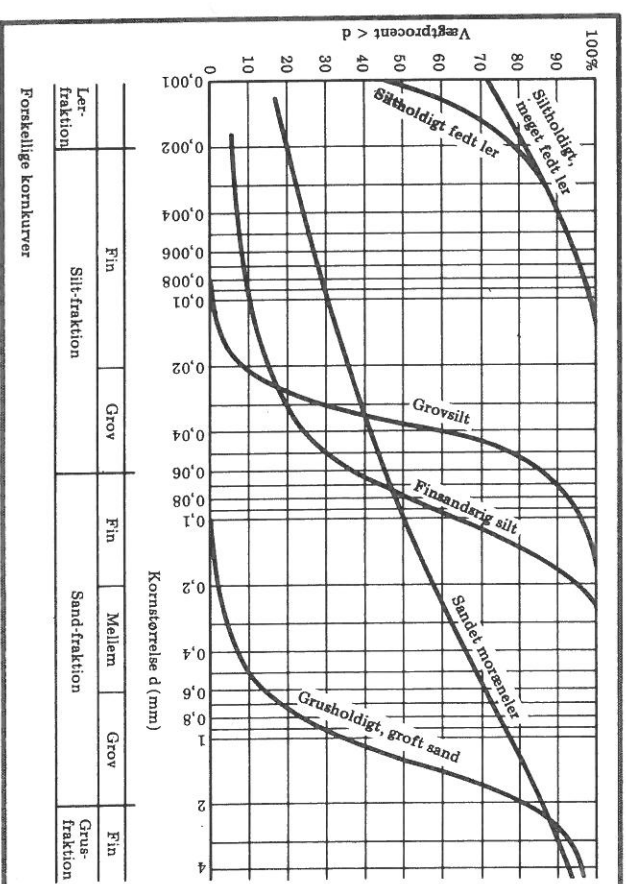
Usorterede jordarter:

Gletscheraflejninger: Morenejordarter - Till

Egenskaberne afhænger af indholdet af de forskellige kornfraktioner og af mineralsammensætningen. Egenskaberne af de fineste materialer har større betydning end det procentvis indhold angiver.

Organiske jordarter.

Selv et ringe indhold af organisk materiale har stor virkning på en jordarts egenskaber.



Forskellige kornkurver (efter E. L. Mertz)

Jordarternes opbygning og karakteristiske egenskaber

Jordarter består af en sammensætning af mineral Korn af forskellig størrelse. Det er de indgående materialer, der betinger jordartens egenskaber.

Et mineral er en ved naturens processer dannet kemisk forbindelse med en række karakteristiske egenskaber. De fleste mineraler er dannet ved, at atomer, ioner og evt. molekyler er knyttet sammen i et bestemt rumligt system, som kaldes mineralets krystalgitter.

Grus- og sandjordarter

Grus- og sandjordarter består af materiale, som ved erosion og forvitring er løsgjort fra faste bjergarter og derefter transporteret og aflejret af vand -eller vind. Grus- og sandjordarternes sammensætning er derfor afhængig af udgangsmaterialet, men er tillige præget af transportmåden og transportafstanden. Ved lang transportafstand slides grundmaterialet, de blødeste dele opløses eventuelt og de resterende hårdere dele af materialet får en afrundet kornform.

I grus- og sandjordarterne består de mindste korn som regel kun af et enkelt mineral, mens større korn kan være bjergartsfragmenter og derfor en sammensætning af flere mineraler.

Den relativt store kornstørrelse medfører et ret groft porennet og dermed mulighed for hurtig vandbevægelse i materialet. Ved belastning foregår vandudpresningen praktisk taget i takt med belastningsforøgelsen (hurtig konsolidering). Den hydrauliske ledningsevne (permeabiliteten) er stor og den kapillære stighøjde ringe. Rene grus- og sandjordarter er ikke opfrysningssfarlige.

Styrkeegenskaberne i grus- og sandjordarter er betinget af friktionen mellem de enkelte korn, de afhænger derfor af kornenes lejrings-tæthed, materialets enskornethed samt formen på de enkelte korn (skarpkantede, afrundede).

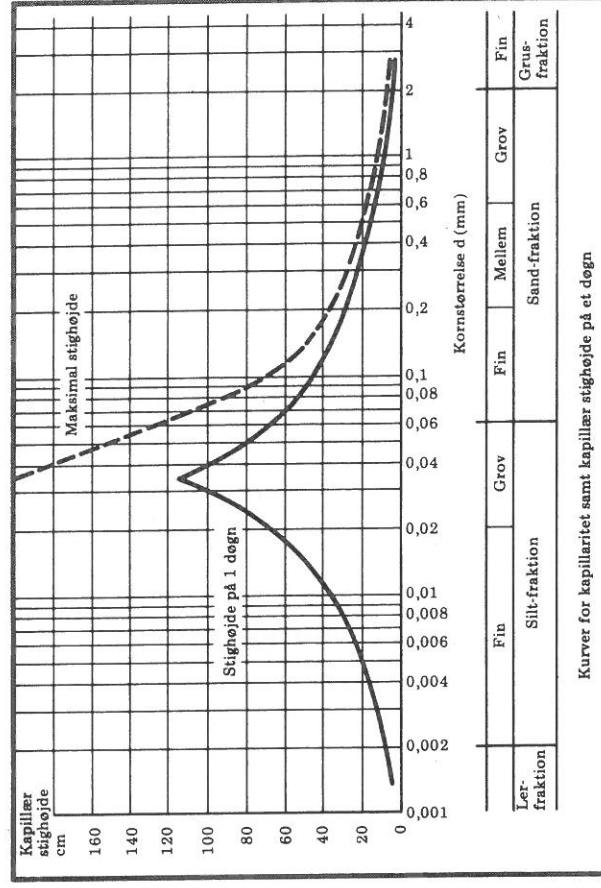
Siltjordarter

Siltjordarter består af materiale, der stammer dels fra fysisk forvitring, dels fra kemisk forvitring. Materialet er transporteret og aflejret af vand eller vind. Transportafstanden har været lang.

Porennet i silt er finere end i sand og grus. Den mulige vandbevægelse i materialet er derfor langsommere, men den kapillære stighøjde er relativt stor og den hydrauliske ledningsevne (permeabiliteten) er tilstrækkelig til, at vandopsugning kan foregå relativt hurtigt. Siltjordarterne er derfor særdeles opfrysningssfarlige.

De finkornede, kohæsionsløse siltjordarter er meget påvirkelige for vandbevægelser i materialet og danner let flydejord.

Styrkeegenskaberne i siltjordarter er væsentligst betinget af friktionen mellem de enkelte korn, men den fineste del af siltfraktionen danner en naturlig overgang til lerjordarterne.



Kurver for kapillær stighøjde (efter E. L. Mertz)

Lerjordarter

Alle lerjordarter har et vist indhold af lernmineraller. Lernminerallindholdet har en afgørende indflydelse på lerjordartens egenskaber, selvom det ikke udgør en procentmæssig dominerende del af jordarten.

Lernmineraleme dannes ved kemisk forviting af faste bjergarter. Lernmineraleme kan være pladeformede eller kædeformede. De pladeformede lernmineraller er langt de hyppigst forekommende. Partikkelstørrelsen er ganske ringe, nogle få μ i største dimension og nogle hundrede ångstrøm i tykkelse. Krystalgitteret er opbygget af elementarlag, der kan opdeles i følgende:

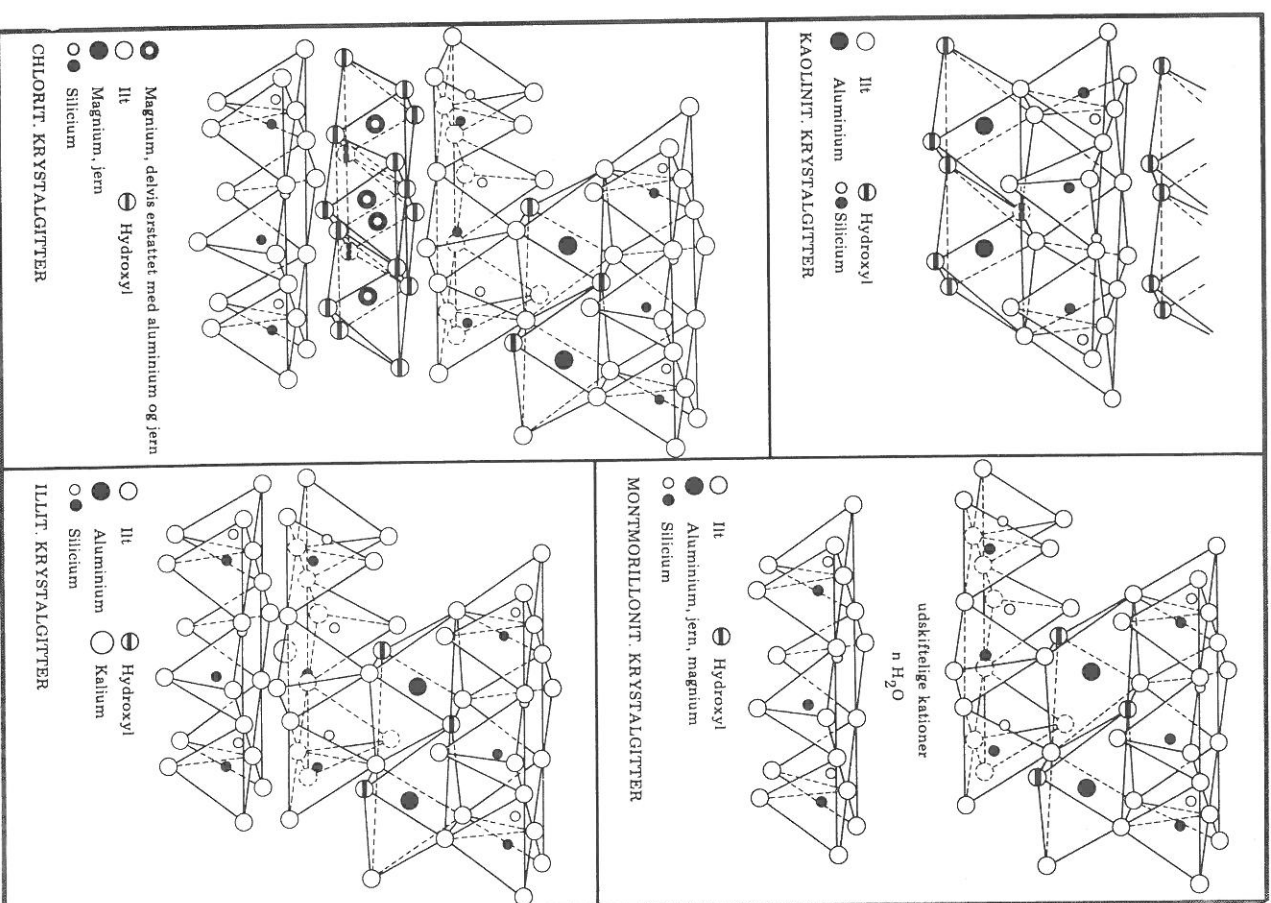
Tetraederlag, der består af et siliciumatom omgivet af 4 iltatomer.

Octaederlag, der består af et aluminiumatom omgivet af 6 iltatomer og/eller hydroxylgrupper.

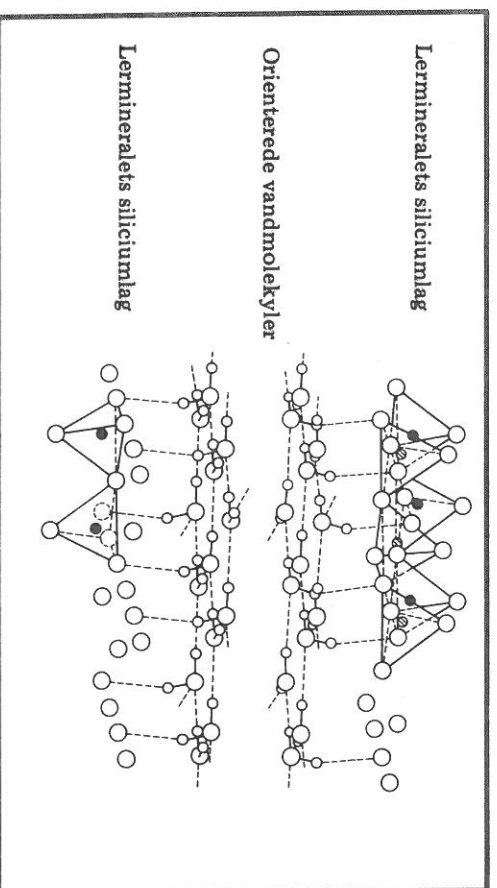
De enkelte lernmineraller består af forskellige kombinationer af disse elementarlag. De pladeformede lernmineraller kan opdeles i 4 grupper:

- 1) Kaolinitgruppen
- 2) Smectitgruppen
- 3) Illitgruppen
- 4) Chloritgruppen

I elementarlagene kan en del af siliciumatomerne, Si^{4+} , og aluminiumatomerne, Al^{3+} , erstattes med henholdsvis Al^{3+} og Mg^{2+} eller Fe^{2+} . Derved opstår et ladningsunderskud, som kompenseres ved en ionadsorption f.eks. Ca^{2+} , Na^+ , K^+ . Ændres de ydre omstændigheder, kan allerede adsorberede ioner udskiftes med andre ioner (ionbytning). Den kemiske sammensætning af et lernmineral kan således variere en hel del, og de fysiske egenskaber afhænger ret meget af den kemiske sammensætning. De adsorberede ioner er ofte hydrerede, dvs. der er tilknyttet vandmolekyler, der virker som dipoler. Alle lernmineraller kan adsorbere vandmolekyler på mineraloverfladen. Det adsorberede vandlag er af nogle molekyllags tykkelse, og



Skitse visende lernminerallers opbygning (efter R.E. Grim).



Skitse visende binding af vandmolekyler til et lermneral (efter R.E.Grim)

det må antages, at de inderste vandmolekylar er bundet med absolut regelmæssighed, mens regelmæssigheden aftager udefter mod det frie vand. Specielt smectitgruppen (montmorillonit) er i stand til at adsorbere store vandmængder, idet disse foruden på lermneral-overfladen er i stand til at optage vandmolekylar mellem de enkelte elementarlag i lermneralgitret. Denne egenskab betyder et stort plasticitetsindeks, samt at lermneralarterne sveller voldsomt ved vandtilsætning og skrumpet ved udtørring.

I lermneralarter vil de enkelte lermneralpartikler på grund af de mere eller mindre fast bundne vandhinder ikke røre hinanden, men være adskilt af vandmolekylar. Er afstanden mellem de enkelte lermneralpartikler ringe, vil der opstå en polarisation af de på mineralerne adsorbere ioner og dermed tiltrækningskræfter (van der Waalske kræfter), der vil søge at holde partiklerne sammen og på den måde give jordarten styrke. Ved en omrøring af lermneralarten, uden ændring af vandindhold, brydes disse tiltrækningskræfter mellem de enkelte korn, og jordartens styrke formindskes. Efter nogen tid genvinder lermneralarten en del af denne styrke (regeneration).

Bentonit

Bentonit er en lermneral, der er dannet af vulkansk aske og støv. Den består hovedsageligt af lermneralet montmorillonit ($1.67 \text{ Al}, 0.33 \text{ Na}, 0.33 \text{ Mg}, \text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$). I montmorillonit er Na-ionerne løst tilknyttede og er let udskiftelige med andre ioner (H-Ca-K-Mg).

Den Na-holdige bentonit er i stand til at adsorbere store vandmængder, og opløsningen får kolloidal karakter. Udskiftes Na-ionerne med andre ioner opnås ikke samme adsorption af vand og opløsningen mister den kolloidale karakter.

Den Na-holdige bentonits egenskaber udnyttes i ingenopraksis til stabilisering af udgravninger og boringer. Bentonitopløsningen danner en film med meget ringe permeabilitet langs udgravningens og/eller boringens sider, således at afstivning og/eller casing kan undgås.

Morenejordarter - Till

Morenejordarter - Till er sammenblandinger af alle mulige kornstørrelser. De er transporteret af en gletscher og aflejret ved isens afsmeltning uden nogen form for sortering. Morenejordarter kan indeholde fraktioner fra sten og blokke til det fineste ler. De kan tillige indeholde store partier (løse flager) af det materiale, gletscheren har passeret henover. Materialsammensætningen i morenejordarter vil ofte være præget af de prækvartære aflejringer på stedet e.g. de aflejringer, der danner direkte underlag for istidens aflejringer. I egne, hvor de prækvartære aflejringer består af kalk og kridt kan moreneaflejringerne på steder indeholde så store mængder kalkslam, at de betegnes kalkmorene.

Morenejordarternes egenskaber afhænger af jordartssammensætningen, dog har egenskaberne af det fineste materiale væsentlig større betydning end den procentvise andel angiver. En morenejordart har egenskaber som en kohæsionsjord (moreneler) selv om indholdet af lermneral kun udgør 15-20% af samtlige fraktioner. Er lermneralindholdet væsentlig lavere, vil materialet have egenskaber som en friktionsjord (morenegrus, -sand eller -silt).

Det er ikke alene mængden af lermneral, men også arten af lermneral, der er afgørende for morenejordartens egenskaber. Det kan derfor undertiden være vanskeligt at afgøre, om en morenejordart har egenskaber som en kohæsionsjord eller en friktionsjord, hvorfor der undertiden benyttes betegnelsen morene(ler => sand).

For alle morenejordarter gælder, at kornstørrelsesfordelingen kan veksle helt usystematisk inden for ganske små afstande, såvel horisontalt som vertikalt.

Morenejordarter vil normalt have gode styrke- og deformations-egenskaber og hører i funderingsmæssig henseende til de bedste danske jordarter.

Organiske jordarter.

Organisk indhold i jordarter er rester fra tidligere plante- og dyreliv i området. De fysiske egenskaber er stærkt afhængige af de organiske bestanddeles art.

Organiske aflejringer af *tørv*, *gytje* og *tørvedynd* opstår i moser og søer, i kystnære områder, bugter og fjorde, samt på landjorden på strandenge eller lignende flade arealer, der til tider er vanddækket.

Tørveaflejringer er dannet i moser og består af mere eller mindre omdannede planterester.

Gytieaflejringer er dannet i søer eller på havbunden og er i den typiske form dannet ved bundlevende dyrs bearbejdning af tilført organisk materiale.

Dynd er en ældre betegnelse for en finkornet organiskholdig substans som dels kunne være en gytje, dels en meget omdannet tørveaflejring, men derudover også er blevet anvendt for specielt udseende organiske sedimentter.

Tørvedynd er betegnelsen for en en finkornet humøs substans, med mørk eller sort farve og dermed visuelt har fælles træk med såvel tørve- som gytjegruppen.

Tørve- og gytieaflejringer, der ikke tidligere er konsolideret under stort tryk, kan have vandindhold på flere hundrede procent. De er derfor stærkt sætningssgivende.

Kalk- og Kridtaflejringer består dels af rester efter organisk liv, koralter, kokkosterer, kiselsvampe etc. dels af kemisk udskilt kalk og kisel. Aflejringerne indeholder oftest korn indenfor ler- og siltfraktionen og de er mere eller mindre hærtnet, idet det kemisk udskilt kalk og/eller kisel har forårsaget en sammenklumpning af de enkelte korn i de oprindelige aflejringer. Kisel findes udskilt i lag af anseelig størrelse (flint).

Fyld

Betegnelsen fyld omfatter alt materiale placeret af mennesker. Fyld er derfor ingen bestemt jordart, men kan omfatte alt fra rene mineraljordarter til tilfældigt affald.

Det er væsentligt at erkende fyldområder, dels fordi fylden ofte er tilfældig udlagt og kan indeholde materialer af enhver art, dels fordi fylden kan dække over naturlige aflejringer med ringe styrke- og deformationsegenskaber.

Bygeologi

I og omkring de gamle danske byområder er der gennem tidene udført terræneguleringer, opført og nedrevet bygningværker, udgravet og senere tilkastet voldgravssystemer, kloakrender, brønde etc.. Det kan derfor være meget vanskeligt at erkende landskabets oprindelige relief på stedet.

Der findes en række ingeniergeologiske beskrivelser af jordbundsforholdene i og omkring danske byer, udarbejdet af afdelingsgeolog fru E. L. Mertz., Danmarks Geologiske Undersøgelse.

DGU Rapport nr. 2	Bygeologi nr. 1	Helsingør
- 3	- 2	Hillerød
- 4	- 3	Vejle
- 6	- 4	Sønderborg
- 8	- 5	Kalundborg
- 9	- 6	Odense
- 10	- 7	Hjørring
- 11	- 8	Ribe
- 12	- 9	Randers
- 13	- 10	Korsør

Rapporterne indeholder en oversigt over det aktuelle byområdes geologiske opbygning og de vigtigste jordarter i området samt en gennemgang af tidligere aktiviteter i det naturlige landskab i og omkring byområdet.

Jordartsbeskrivelse

Beskrivelsen af en jordart danner det første grundlag for en vurdering af jordartens egenskaber. De geotekniske egenskaber vurderes i første omgang ud fra jordartens sammensætning og de spændingsvariationer, jordarten har været udsat for gennem den geologiske historie.

En jordartsbeskrivelse bør omfatte følgende:

- 1. Hovedjordart: GRUS, SAND, SILT, LER, GYTJE,
- 2. Beskrivelse: Kornstørrelse, sorteringsgrad, farve, hærdningsgrad, sprækker etc. samt indhold af andre bestanddele f.eks. skaller, plantedele el lign.
- 3. Aflejningsmiljø: Ferskvand, marint, smeltvand, gletscher,
- 4. Geologisk alder: Postglacial, seneglacial, glacial

Hærdningsgrad
Symbol Betegnelse (efter dgf-bulletin 1)
Beskrivelse

H1 uhardnet
Materialet kan uden stort besvær bearbejdes med fingrene. For kornede materialer gælder, at kornene falder fra hinanden i tør tilstand.

H2 svagt hærnet
Materialet kan nemt bearbejdes med en kniv, og det kan ridges med en negl. Ved kornede materialer kan de enkelte korn pilles ud med fingrene

H3 hærnet
Materialet kan bearbejdes med en kniv, men ikke ridges med en negl. Ved kornede materialer kan de enkelte korn pilles ud med kniv.

H4 stærkt hærnet
Materialet kan ridges med en kniv, men de enkelte korn lader sig ikke løsne med en kniv. Dog vil en brudflade følge korngrænserne.

H5 meget stærkt hærnet, forkislet
Materialet lader sig ikke ride med en kniv. Sprækker og brudflader går gennem de enkelte korn i kornede materialer.

Dybde	Beskrivelse	Miljø	Alder
0 m	MULD, uhardnet, ret fedt, m. teglstykk-ker, kalkfrit	Marin	Post-glacial
5 m	SAND, uhardnet, finkornet, sorteret med skalspykker, lagdelt m. siltlag, lysegråt, sv. kalkholdig.	Marin	
10 m	LER, uhardnet, ret fedt, sandet, m. enkelte gruskorn, lamineret, gulbrunt, svagt kalkholdig.	Smelte-vand	Glacialt
15 m	LER, sv. hærnet (H2), ret fedt, sandet, m. skalfragmenter, bioturberet, m. konkretioner, grønsort, st. glauconitholdigt, sv. glimmerholdigt, "Cilleborg ler".	Marin	Oligocæn
20 m			
25 m	LER, uhardnet, meget fedt, sv. siltet, utydelig lagdeling, bioturberet, m. gravgange udfyldt med "Cilleborg ler", hvidgult, m. spredte glauconitkorn, st. kalkholdigt, "Søvind mergel".	Marin	Eocæn
30 m			
35 m	KALK, hærnet (H3), st. sandet, sv. slammeth, bryozoholdigt, m. spredte flintkonkretioner som følger lagplanerne, hvidt, m. tyndt lerpræget lag, "Bryozokalk".	Marin	Danien
40 m			

Eksempel på prøvebeskrivelse (efter dgf-bulletin 1)

Scala for sprækkethed (efter dgf-bulletin 1)	
Svagt sprækket	Sprækkeafstand større end 10 cm. Ingen lodrette sprækker
Sprækket	Sprækkeafstand mellem 6 og 10 cm
Stærkt sprækket	Sprækkeafstand mellem 2 og 6 cm
Knust	Sprækkeafstand mindre end 2 cm

Oversigt			Kornfraktioner	-	velsorterede jordarter	
Kornstørrelse	Jordart	Karakterisering				
60 mm ----	Sten og blokke ----- -----	Friktionsjord Stor permeabilitet Hurtig konsolidering Ringe kapillær stighøjde Ikke opfrysningssfarlig Kendetegn: De enkelte korn kan skelnes med det blotte øje og føles i hånden				
6 mm ----	Grus ----- fin					
2 mm ----	----- grov					
0.6 mm ----	----- Sand mellem					
0.2 mm ----	----- fin					
0.06 mm ----	----- grov	Friktionsjord Ringere permeabilitet end for sand Relativ hurtig konsolidering Relativ stor kapillær stighøjde Opfrysningssfarlig Lille plasticitetsindeks-stor sensitivitet Kendetegn: Harmonikastruktur i fugtig tilstand - melet konsistens i tør tilstand				
0.02 mm ----	----- Silt					
0.002 mm ----	Ler -----					

Kohæsionsjord
Lille permeabilitet
Langsom konsolidering
Meget stor kapillær stighøjde
Normalt ikke opfrysningssfarlig under danske forhold
Plasticitetsindeks mellem 10 og 100 %
Lille sensitivitet
Kendetegn: Formbarhed og blankt skærebud i fugtig tilstand
Hård konsistens i tør tilstand

Oversigt			Usorterede jordarter - Till
Jordart	Karakterisering		
Morænegrus og -sand	Friktionsjord Lerholdige blandinger af sten, grus og silt. Grus- og sandfraktionen dominerer såvel i henseende til vægt som til fysiske egenskaber.		
Morænesilt	Friktionsjord Lerholdig blanding af sten, grus, sand og silt. Siltfraktionen udgør så stor en del, at de fysiske egenskaber er væsentligt præget heraf.		
Moræne (ler => sand)	Friktionsjord eller kohæsionsjord Lerholdig blanding af sten, grus, sand og silt. Lerfraktionen udgør netop en sådan procentdel, at det er vanskeligt at afgøre, om ler- eller sandfraktionen har størst indflydelse på de fysiske egenskaber.		
Morener	Kohæsionsjord Blanding af sten, grus, sand, silt og ler. Fysiske egenskaber som ler, selv om lerfraktionen kun udgør 15 - 20 % af samtlige fraktioner.		
Oversigt			Organiske jordarter
Jordart	Karakterisering		
Tørv, Gytje og Tørvedynd	Ofte lag med stort vandindhold og lille rumvægt. Det er ofte stærkt sætningssyvende jordarter. De fysiske egenskaber er meget afhængige af de organiske bestanddeles art.		
Kridt og kalk	Ofte hærtnede og delvis hærtnede jordarter. De fysiske egenskaber er afhængige af hærtningsgrad og sprækkeintensitet.		

Ar	Geologisk tidsperiode	Aflejningsart	Aflejningsmåde. Forekomst
~ 10 000	Kvartær	Postglacialtiden	Mosealejninger Stenalderhavets alejninger
~ 15 000		Senglacialtiden	Nedskylsalejninger Mosealejninger fra sen glacial varmeperioder (Allerød, Bølling)
			Smeltevandsalejninger Marine alejninger (Voldia)
	Glacialtiden		Morænealejninger Smeltevandsalejninger Interglacial alejninger
~ 3 mill.			Gletscheralejninger (ler, sand, grus, sten) varierende usystematisk med smeltevandalejninger. Evt. indhold af løse flager af ældre alejninger. Interglacial havalejninger. og søalejninger
	Tertiær	Pliocæn Miocæn Oligocæn Eocæn Paleocæn Danien	Vandaalejninger (ler, sand, grus, sten) varierende usystematisk med smeltevandalejninger. Evt. indhold af løse flager af ældre alejninger. Interglacial havalejninger. og søalejninger
70 mill.			Vandaalejninger (ler, sand, grus, sten) varierende usystematisk med smeltevandalejninger. Evt. indhold af løse flager af ældre alejninger. Interglacial havalejninger. og søalejninger
			Vandaalejninger (ler, sand, grus, sten) varierende usystematisk med smeltevandalejninger. Evt. indhold af løse flager af ældre alejninger. Interglacial havalejninger. og søalejninger
			Vandaalejninger (ler, sand, grus, sten) varierende usystematisk med smeltevandalejninger. Evt. indhold af løse flager af ældre alejninger. Interglacial havalejninger. og søalejninger
135 mill.	Kridt	Ældre kridt	Skivekridt, mergel
	Jura		Ler, sand, kul

Litteraturliste

- Grim, R.E. (1962): *Applied Clay Mineralogy*. McGraw-Hill Book Company, Inc., New York - Toronto - London.
- Harremöes, P., N. Krebs Ovesen og H. Moust Jacobsen (1978): *Lærebog i Geoteknik 1*, Polyteknisk forlag.
- Larsen, G., J. Frederiksen. A. Villumsen, J. Fredericia, P. Gravesen. N. Foged, B. Knudsen og J. Baumann (1988): *Vejledning i ingeniørgeologisk prøvebeskrivelse*. Dansk Geoteknisk Forening dgf-Bulletin 1.
- Mertz, E. L. (1959): *Bidrag til Danmarks Ingeniørgeologi*. Geoteknisk Institut, Bulletin no. 5.