

MARTS 2020
VEJDIREKTORATET

INDLEDENDE LINJEFØRINGSOVERVEJELSER FOR EN KATTEGATFORBINDELSE

GEOLOGISK OG GEOTEKNISK SCREENING

FAGNOTAT

INDHOLD

1	Indledning	5
1.1	Formål	5
1.2	Konklusion	6
2	Datagrundlag	9
2.1	Historiske borer	9
2.2	Temakort	10
3	Geologiske forhold	12
3.1	Geologisk historie	13
3.2	Prækvartæroverfladen	20
3.3	Geomorfologi	24
3.4	Terrænforhold	26
3.5	Historiske målebordsblade	27
3.6	Jordartskort	27
3.7	Havbundsforhold	28
3.8	Havbundssedimenter	28
3.9	Geologisk model	30
3.10	Simplificeret geologisk længdeprofil	47
4	Geotekniske forhold langs linjeføringskorridorer	51
4.1	Sjælland	52
4.2	Kyst til kyst øst	80
4.3	Samsø	80
4.4	Kyst til kyst vest	99
4.5	Jylland	99
5	Forslag til egentlige geotekniske undersøgelser	137
6	Referencer	139

BILAG

Bilag A Situationsplan med borer

Bilag B Danmarks undergrund med stratigrafi og forkastninger

- Bilag C Prækvartæreroverfladens højdeforhold
- Bilag D Geomorfologisk landskabskort
- Bilag E Terrænforhold
- Bilag F Historisk høje målebordsblade
- Bilag G Historisk lave målebordsblade
- Bilag H Jordartskort
- Bilag I Havbundsforhold
- Bilag J Havbundens overfladesedimenter
- Bilag K Boringsgrundlag i geologisk model
- Bilag L Mægtighed af fyld og postglaciale aflejringer
- Bilag M Dybde til overside af øvre ler
- Bilag N Prækvartære flager
- Bilag O Simplificeret geologisk længdeprofil – Øst
- Bilag P Simplificeret geologisk længdeprofil – Vest

1 Indledning

Som en del af de indledende linjeføringsovervejelser er der udført en geologisk og geoteknisk screening af et område, som dækker dele af Røsnæs og Asnæs, Samsø, det østligste Jylland samt de mellemliggende havområder i Kattegat. Screeningen er baseret på boringsinformationer, kortmateriale og litteraturstudier. Bearbejdningen af de indsamlede data har resulteret i en række kortbilag og beskrivelser af området, der danner basis for en indledende vurdering af fundningsforholdene for en Kattegatforbindelse.

1.1 Formål

Formålet med den geologiske og geotekniske screening er at undersøge fundingsforholdene for en Kattegatforbindelse fra Sjælland via Samsø til Jylland.

Den geologiske og geotekniske screening på land er begrænset til et bånd som på alle sider rækker 5 km uden for de korridorer, som blev skitseret i de tidlige undersøgelser. Herudover indgår nye bane- og motorvejskorridorer beskrevet under følgende tre korridoranalyser: motorveje på land, ny-anlæg af jernbane på land og opgradering af eksisterende jernbane på Sjælland.

Den geologiske og geotekniske screening til havs begrænses til et område, som strækker sig 5 km ud over de områder som identificeres under korridoranalysen for kyst til kyst anlæg. For nærværende betyder det at undersøgelsesområdet afgrænses af en lige linje fra 5 km nord for Hou til 5 km nord for nordkysten af Røsnæs, og mod syd afgrænses af en lige linje fra Gyllingnæs til 5 km syd for sydkysten af Asnæs. Dette vil dække et større område end korridorerne som i den tidlige undersøgelse benævntes Alternativ 1 samt en korridor syd om Samsø.

Den omtrentlige udbredelse af undersøgelsesområdet er angivet på Figur 1-1.



Figur 1-1 Den omrentlige udbredelse af undersøgelsesområdet er skraveret med rødt.

1.1.1 Linjeføringskorridor

Resultaterne af den geologiske og geotekniske screening omfatter blandt andet en række kortbilag. På de fleste af disse kortbilag vises en linjeføringskorridor. Denne linjeføringskorridor er orienteret fra umiddelbart nord for Hørning i Jylland via Samsø til Tømmerup syd for Spangsbro på den vestlige del af Røsnæs. Korridoren er tænkt illustrativ, men anses for repræsentativ for en realistisk linjeføringskorridor til en Kattegatforbindelse på tidspunktet for dette fagnotats udfærdigelse.

Der er i forbindelse med den geologiske og geotekniske screening udarbejdet en 3D geologisk model, der omfatter laginformationer fra tilgængelige borer. Modellen er brugt til udarbejdelse af diverse geologiske temakort, der er indeholdt i dette fagnotat, men også til optegning af to simplificerede geologiske længdeprofiler, langs den omrentlige centerlinje af den ovennævnte korridor. Den 3D geologiske model kan danne basis for optegning af geologiske længdeprofiler langs andre potentielle korridorer i senere faser af projektet. Modellen kan også udbygges med oplysninger fra kommende geologiske og geotekniske undersøgelser.

1.2 Konklusion

Resultaterne af den geologiske og geotekniske screening viser, at der kan forventes funderingsegne glacie aflejringer af moræneler og smeltevandsaflejringer under et vekslende dække af fyld og post- til senglaciale aflejringer. Tykkelsen af dette øvre lag af aflejringer, der er uhensigtsmæssige/problematiske til fundering, udviser betydelige variationer til lands og skyldes primært de

geomorfologiske forhold. Postglaciale blødbundsaflejringer træffes primært i de tidlige dødislandskaber og i de marine forlande.

Under de øvre lag af fyld, post- og senglaciale aflejringer eller direkte under et tyndt dæk af muld, findes glaciale aflejringer. De glaciale aflejringer omfatter generelt to moræneenheder bestående af moræneler og morænesand med mellemliggende smeltevandsaflejringer af grus, sand, silt og ler. De glaciale aflejringer træffes i vekslende tykkelse, og ligger tættest ved terræn i de tidlige randområder for gletsjeren under den sidste istid, dvs. på Røsnæs og Asnæs, de buiformede og langstrakte randbakker henover Samsø og på havbunden omkring samt i randmorænelandskaberne og de øvrige morænelandskaber i Jylland. I morænelandskaberne vil der typisk forventes terrænnære, funderingsegne aflejringer af velkonsoliderede glaciale aflejringer.

Erfaringsmæssigt kan de glaciale aflejringer, og særligt moræneaflejringerne, have et betydeligt indhold af sten og blokke, som kan medføre vanskeligheder i forbindelse med bore- og gravearbejder. Sten og blokke kan også forekomme på havbunden eller under et tyndt residuallag.

Mægtigheden af de glaciale og overliggende sen- til postglaciale lag, dvs. den samlede kvartære lagfølge, er styret af prækvartæreroverfladens højdeforhold, og spænder fra under 30 m ved den jyske østkyst til over 150 m i de dybere dele, bl.a. i Storebæltssrenden. En oversigt over den geologiske tidsskala er vist på Figur 3-1

Underlaget for de samlede kvartære aflejringer består af forskellige typer af plastisk ler og glimmerholdigt sand og ler med stærkt varierende geotekniske egenskaber. De geotekniske egenskaber afhænger af lerets vekslende plasticitet og dets kalkindhold. Det plastiske ler har en evne til at optage og afgive store mængder af vand, som kan medføre sætningsskader. Plastisk ler med højt kalkindhold har dog langt gunstigere egenskaber end de øvrige plastiske lere. Herudover er det plastiske ler ofte stærkt sprækket, med glideflader, der forringer leret geotekniske egenskaber betydeligt. Større flager af prækvartære aflejringer oparbejdet i de glaciale aflejringer kan medføre sætningsproblemer.

Den geologiske og geotekniske screening har ikke afsløret forhold som taler for at tilvælge eller fravælge bestemte korridorer. Der må i forskellige områder forventes udskiftning af blød bund i varierende tykkelse, og der vil også kunne være behov for pælefundering af bygværker nogle steder; men dette er på det foreliggende datagrundlag ikke fundet mere udtalt i nogle korridorer frem for andre. Prækvartære aflejringer kan forventes at blive truffet over det meste af linjeføringskorridoren. I nogle områder i meget stor dybde, i andre områder tæt på eksisterende terrænniveau. Prækvartære aflejringer må forventes at optræde i større eller mindre flager i de overliggende kvartære aflejringer, og disse lag kan have betydelig indflydelse på styrke- og deformationsegenskaber for de enkelte områder. Datagrundlaget er dog på nuværende tidspunkt ikke stort nok til at kunne udpege områder med prækvartære flager specifikt, hvilket kræver yderligere geotekniske – og evt. geofysiske – undersøgelser.

I den umiddelbart efterfølgende fase af Forundersøgelser af en Kattegatforbindelse kan det anbefales, at der udføres geotekniske borer i inkl. CPT-forsøg i følgende områder;

- > 1-2 onshore-borer på Sjælland
- > 1-2 offshore-borer mellem Sjælland og Samsø
- > 1 onshore-boring på Samsø
- > 1-2 offshore-borer mellem Samsø og Jylland
- > Evt. 1 boring i Jylland

med henblik på at fastslå stratigrafien af de forskellige jordlag i den linjeføringskorridor som til den tid er den foretrukne.

For egentlige geotekniske undersøgelser kan det anbefales at inkludere geofysiske undersøgelser, jf. afsnit 5 omhandlende forslag til egentlige geotekniske undersøgelser.

2 Datagrundlag

Beskrivelsen af de geologiske og geotekniske forhold baseres på kombinationen af geologiske, geomorfologiske, topografiske og batymetriske kort, litteraturstudier og boringsinformationer.

2.1 Historiske borer

Boringsinformationer stammer fra:

- Den nationale boringsdatabase, Jupiter
- COWIs boringsdatabase
- Region Sjælland og Region Midtjyllands databaser

Herudover indgår geologiske og geotekniske arkivrapporter fra jernbane- og vejprojekter, der omfatter Banedanmarks elektrificeringsprojekt, Nordvestbanen, Omfartsvej vest om Bregninge, Hallas Alle og Lerchenborg i Kalundborg på Sjælland. Fra Samsø indgår borer fra Ballen Lystbåde Havn, Kolby Kås Havn, Sælvig Havn, Vejforbindelse til Ballen Færgehavn, Halmfyret fjernvarmeværk i Tranegård samt Samsø Havvindmøllepark. Fra Jylland er også inddraget informationer fra blandt andre Gjesing Mejeri, borer udført for Stilling Landevej og ramper til E45 i Skanderborg, Herredsvej i Hørning, Tandervej og Hørretvej i Mårslet, Spøttrup Landevej i Spøttrup samt perroner til Aarhus Letbane. Boringsinformationer fra Hovedgaard-Hasselager projektet er forespurgt hos Banedanmark, men er ved dette fagnotats afslutning endnu ikke modtaget af COWI.

Bilag A viser situationsplan med historiske borer. Borerne stammer fra COWIs og GEUS' boringsdatabaser samt Region Sjællands og Region Midtjyllands databaser. Borerne er inddelt i geotekniske borer og borer, der indeholder geologiske lagfølgebeskrivelser med tolkning af aflejringsmiljø og alder. Borer der udelukkende indeholder en simpel lagbeskrivelse, uden tolkning af aflejringsmiljø og alder, eller helt uden beskrivelser, fremgår særskilt på kortet.

En stor del af de historiske borer til lands udgør vandforsyningsboringer af ældre dato, de fleste uden detaljerede ingeniørgeologiske prøve- eller lagbeskrivelser. Borer til vandforsyning eller miljøtekniske borer indeholder ikke resultater af geotekniske in-situ forsøg eller klassifikationsforsøg. Ofte er den geologiske beskrivelse udført af brøndborer eller miljøtilsyn med begrænset viden om ingeniørgeologisk prøvebeskrivelse.

Hovedparten af de historiske borer til søs er udført som råstofboringer og er relativt korte, ofte omkring 0,5 m og somme tider kortere. De korte råstofboringer kan bruges som en indikation af hvad de øvre havbundssedimenter kan forventes at bestå af, men en egentlig tykkelse af havbundssedimenterne kan ikke fastlægges ud fra disse korte borer.

Informationer fra borer med simple lagbeskrivelser uden tolkning af aflejringsmiljø og alder er medtaget i den geologiske model i områder, hvor borings-tætheden er ringe.

2.2 Temakort

På baggrund af de indhentede data er der udarbejdet temakort, der hver især dækker hele eller dele af de undersøgte korridorer på Sjælland, Samsø, Jylland samt havområderne kyst til kyst vest (KKV) og kyst til kyst øst (KKØ). Kortene omfatter:

- > Situationsplan med borer
- > Geomorfologisk landskabskort
- > Jordartskort
- > Historisk høje målebordsblade
- > Historisk lave målebordsblade
- > Terrænforhold
- > Havbundsforhold
- > Havbundens overfladesedimenter
- > Danmarks undergrundskort med stratigrafi og forkastninger
- > Prækvartæreoverfladens højdeforhold

Borer fra PC Jupiter er hentet fra (GEUS, 2018). Landskabskortene stammer fra (Smed P. , 1981) og (GEUS, Det geomorfologiske kort over Syd- og Østdanmark, version2, 2018, 1:200.000, u.d.). Jordartskortet er hentet fra (GEUS, GEUS, Jordartskort, 1:25.000, u.d.). Historiske høje og lave målebordsblade er indhentet fra (Kortforsyningen, Historiske høje målebordsblade, u.d.)

og (Kortforsyningen, Historiske lave målebordsblade, u.d.). Terrænet stammer fra COWIs digitale terrænmodel fra 2014. Batymetriske data er indhentet fra Farvandsvæsenet i form af søkort. Vanddybderne på søkortene er angivet i forhold til Mean Sea Level (MSL), og svarer til DVR90 indenfor nogle cm i de indre danske farvande. Prækartær stratigrafi og forkastninger stammer fra (VARV, 1994) mens prækartæreroverfladens højdeforhold er hentet fra (GEUS, Prækartæreroverfladens højdeforhold 1:250.000, 1994) og kombineret med boringssresultater af yngre dato end kortet.

På baggrund af de indsamlede data er der sammenstillet og samtolket en geologisk forståelsesmodel. Modellen er primært baseret på informationer fra boringer, der er tilgængelige i elektronisk format. I områder med ringe tæthed af boringer i elektronisk format, er laggrænsen fra enkelte boringer blevet digitaliseret, og inddraget i den rumlige geologiske model.

Det geotekniske datagrundlag er ligeledes, som det geologiske, primært baseret på elektronisk tilgængeligt data. Dog er informationer fra arkivrapporter og øvrige litteraturstudier inddraget i vurderingen af de geotekniske egenskaber.

Den prækartære overflade er digitaliseret på baggrund af prækartæreroverflade kortet udarbejdet af GEUS, hentet fra (GEUS, Prækartæreroverfladens højdeforhold 1:250.000, 1994). I den digitaliserede flade indgår ligeledes overside af prækartæreroverfladen tolket i boringer af nyere dato, der således ikke er indeholdt i kortet fra (GEUS, Prækartæreroverfladens højdeforhold 1:250.000, 1994).

Den rumlige geologiske model danner basis for en række kort med følgende tolkede laginformationer:

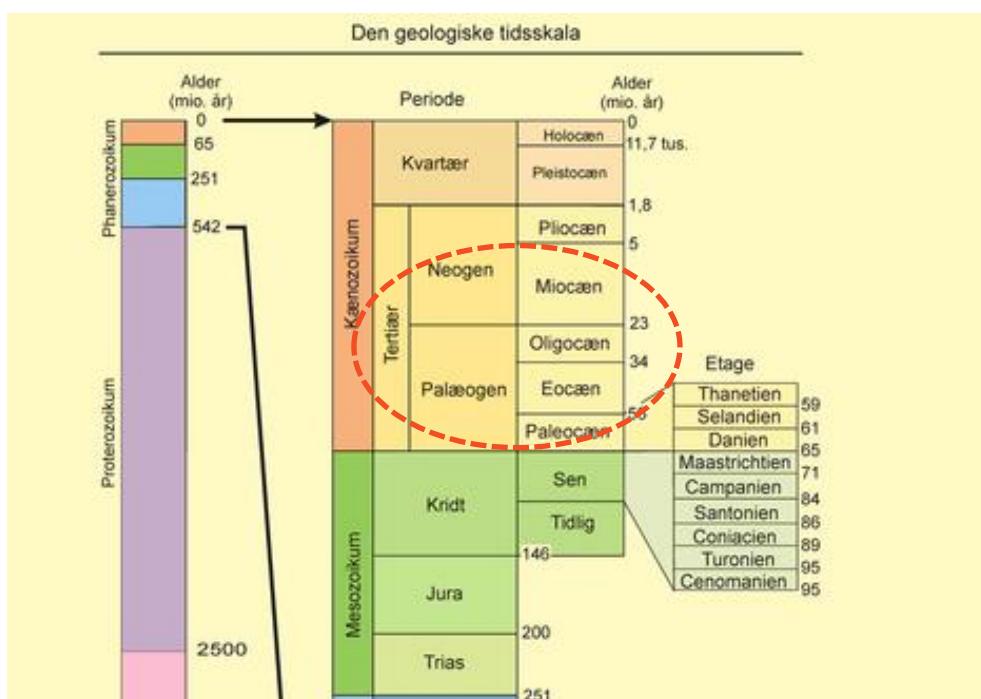
- > Mægtighed af fyld, postglaciale aflejringer og senglacialt ler
- > Dybde til tolket overside af øvre moræneler / smeltevandsler
- > Flager af prækartære aflejringer, beliggenhed og tolket tykkelse

Herudover er der på baggrund af 3D flader i den geologiske model udarbejdet to simplificerede geologiske længdeprofiler. Profilerne er optegnet centralt langs med linjeføringen KKØ-02-SJ01SØ01 fra Røsnæs til Samsø og KKV-02-SV01JY01 fra Samsø til nord for Hou i Jylland og videre mod Hørning. Denne linjeføring er anvendt og angivet på samtlige kortbilag.

3 Geologiske forhold

De geologiske og geotekniske forhold i projektområdet er i domineret af erosion og aflejring i Kvartæret. De underliggende prækvartære aflejringer er blevet oparbejdet i istidsaflejringerne, og kan findes både som dislocerede flager i moræneaflejringerne og opblandet i moræneaflejringerne grundmasse. Lokalt kan de prækvartære aflejringer derfor have en stor betydning for sammensætningen og de geotekniske egenskaber af istidsaflejringerne.

Den geologiske tidsskala er vist på Figur 3-1. Prækvartære tidsperioder, hvorfra aflejringer kan forventes i undersøgelsesområdet, er vist med stiplet cirkel.



Figur 3-1 Den geologiske tidsskala (Geologisk tidsskala, u.d.). De prækvartære tidsperioder, fra hvilke aflejringer kan forventes i undersøgelsesområdet, er markeret med stiplet cirkel.

Kvartærperioden omfatter alle istidsaflejringer; de såkaldte glaciale, senglaciale og postglaciale aflejringer. Prækvartærperioden indeholder bl.a. glimmersand og -ler samt høj-plastisk ler og mergel.

I de følgende afsnit opsummeres den geologiske historie i Sen Weichel (den sidste store nedisning i Danmark). Isfremstød og afsmelting af gletsjer is i løbet af denne periode, har haft størst indflydelse på de øvre glaciale aflejringer i projektområdet samt dets geomorfologi.

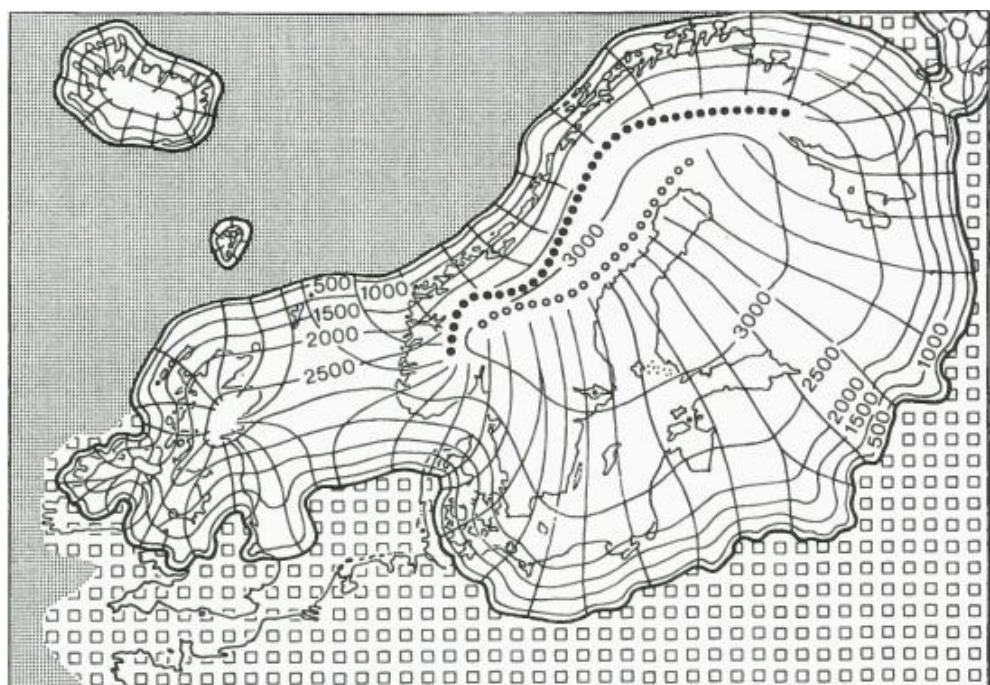
Få dybe borer fra andre dele af Kattegat syd samt de begravede prækvartære dalsystemer i Østjylland har dokumenteret forekomster af tidligere tiders moræneaflejringer, nemlig fra Elster og Saale istiderne, (Jensen, J.B., Borre, S., Nørregaard-Pedersen, N. & Leth, J.O.). Der er ligeledes lokalt truffet marine interglaciale aflejringer fra Eem over prækvartæroverfladen (Jensen, J.B., Borre, S., Nørregaard-Pedersen, N. & Leth, J.O.). Aflejringer fra disse istider og mellemtider er kun beskrevet i ganske få borer fra projektområdet, og de må forventes at kunne forekomme lokalt, både i form af flager og i de dybeste dele af den kvartære lagserie.

3.1 Geologisk historie

Projektområdet har i lange perioder af Sen Weichsel været dækket af en op mod 2 km tyk iskappe, det Skandinaviske Isskjold.

Det Skandinaviske Isskjold nåede sin største udbredelse under tre større isfremstød fra henholdsvis Sydnorge gennem Kattegat, Kattegat fremstødet (Norske Is), dernæst Hovedfremstødet fra Sverige (Nordøstisen), der nåede frem til den Midtjyske israndslinje og til sidst de Ungbaltiske isfremstød (Østjyske isfremstød), der nåede til den Østjyske israndslinje, efterfulgt af Bælthavsfremstødet fra sydøst gennem Østersølavningen, (Houmark-Nielsen, M., Krüger, J. & Kjær, K., 2005).

Isens maksimale udbredelse og tykkelse i den sene del af sidste istid, Sen Weichsel, er angivet på Figur 3-2.



Figur 3-2 Weichsel istidens isskjolds maksimale størrelse og tolket tykkelse i meter under Hovedfremstødet. Firkantssignatur angiver landområder. Figur fra (Smed P. , Sten i det danske landskab, 2016).

Det medbragte materiale er blevet aflejret i form af velgraderede moræneaflejringer af moræneler, -silt, -sand-, -grus og -sten, mens der i forbindelse med afsmelningen af isen er afsat smeltevandsdannelser af ler, silt, sand, grus, sten og blokke under og foran isranden.

3.1.1 Sen Weichsel

Det er de seneste tre store isfremstød i Sen Weichsel, Norske fremstød, Hovedfremstødet og Det Ungbaltiske isfremstød samt det efterfølgende Bælthavfremstød, som har haft den dominerende indflydelse på de geologiske og geomorfologiske forhold i det undersøgte område. Aflejringer fra tidligere nedisninger må forventes at forekomme lokalt, særligt i begravede prækuartære dalsystemer.

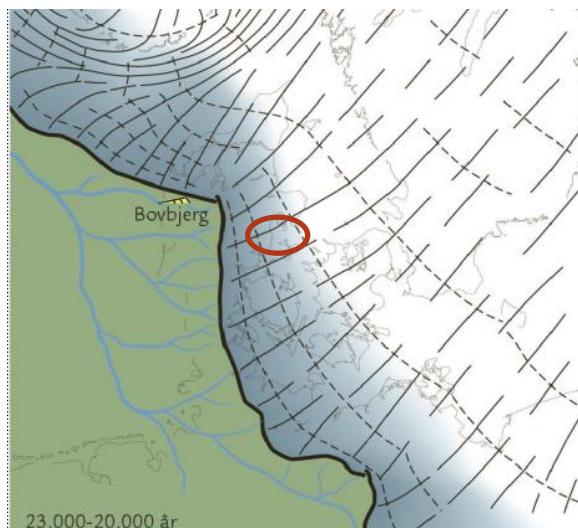
Norske Is

Det første isfremstød, der nåede Danmark i Sen Weichsel kom fra Sydnorge gennem Kattegat, den såkaldte Kattegat isstrøm eller Norske Is, /7/. Moræneaflejringer fra dette isfremstød ("Kattegat till"), er rigt på sten og blokke fra Oslofeltet som porfyrer, granitter og basalter.

Moræneenheden er ofte mørkegrå, fordi den kan indeholde opskrabet materiale fra Skærumhedelagene, (Smed P. , Weichsel istiden på Sjælland, 2013). Skærumhedelagene blev afsat i det artiske Skærumhededehav, der dækkede størstedelen af Kattegat, Nordjylland og Skagerrak forud for Kattegat isstrømmens udbredelse over området. Skærumhedelagenes mørke, ofte sorte farve skyldes fint fordelt organisk materiale, der sammen med arktiske skaller, ligeledes kan være oparbejdet i moræneaflejringerne, (Smed P. , Weichsel istiden på Sjælland, 2013).

Hovedfremstødet

Hovedfremstødet udbredte sig fra Sverige over Danmark og var flankeret af isstrømme gennem henholdsvis Norske Rende og en baltisk isstrøm på vej over det nordtyske-polske lavland, (Houmark-Nielsen, M., Krüger, J. & Kjær, K., 2005). Under Hovedfremstødet opnåede Weichsel istidens isskjold sin maksimale udbredelse, som vist på Figur 3-2. Nordøstisens aflejringer er særligt rige på sten og blokke fra Mellem og Sydsverige. Efter Nordøstisens afsmelting fra området, menes Danmark at have været frit for aktiv, sammenhængende is i en periode på 1000-2000 år, før et nyt isfremstød trængte sig ind over landet (Andersen, S., Erikstad, L., Ingólfsson, Ó, Lundqvist, J., Pedersen, S.S., Salonen, V.-P., Selonen, O. & Vilborg, L., 1998).

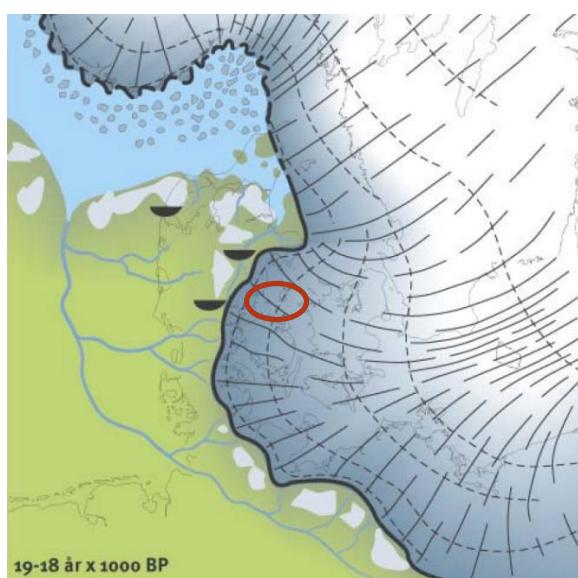


Figur 3-3 Isens maksimale udbredelse i Sen Weichsel under Hovedfremstødet. Figur fra (Houmark-Nielsen, M., Krüger, J. & Kjær, K., 2005). Projektområdet angivet med rød oval.

Det Ungbaltiske Isfremstød

Efter at isranden fra nordøst var smeltet tilbage til den svenske kyst, trængte et arkisk præget hav ind over Vendsyssel. Et nyt isfremstød nåede Danmark fra en østlig retning gennem Østersøens lavning og Sydsverige. På sin vej mod Danmark havde isen passeret den østlige Østersø og medtaget materiale herfra, i form af palæozoiske (silure) kalksten, sandsten og østersøporfyryer (Andersen, S., Erikstad, L., Ingólfsson, Ó, Lundqvist, J., Pedersen, S.S., Salonen, V.-P., Selonen, O. & Vilborg, L., 1998).

Under isens ophold ved den østjyske israndslinje dannedes både israndsparallelle smeltevandsafløb og afløb vinkelret på isranden. I disse områder blev afsat mægtige lag af groft sand, grus og sten. Hele det undersøgte område var dækket af is under det Ungbaltiske isfremstød.



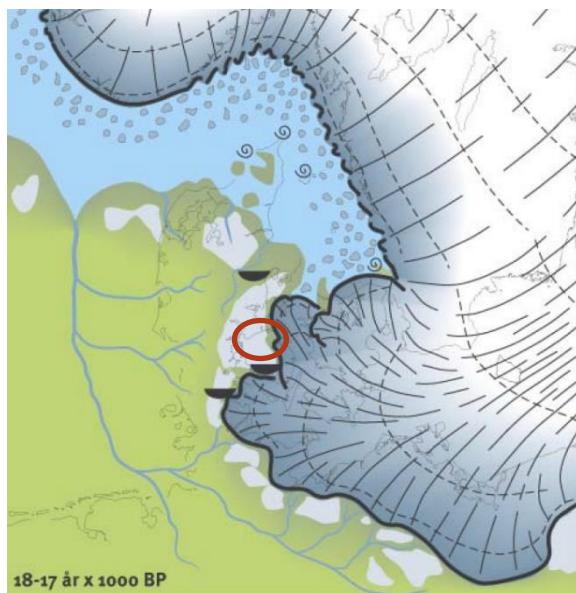
Figur 3-4 Isens udbredelse under det Ungbaltiske Isfremstød i Sen Weichsel. Figur fra (Houmark-Nielsen, M., Krüger, J. & Kjær, K., 2005). Projektområdet angivet med rød oval.

Bælthavsfremstødet

Tilbagesmeltingen af den Ungbaltiske is blev afbrudt af en række genfremstød af isranden, hvoraf en islobe gennem Storebæltsslavningen var det vigtigste genfremstød, benævnt Bælthavsfremstødet, Figur 3-5.

Aflejringer fra Bælthavsfremstødet forventes at udgøre den øverste moræneenhed i store dele af projektområdet, med undtagelse af de vestligste dele af Jylland, hvortil Bælthavsfremstødet ikke nåede. Lokalt, hvor aflejringer fra Bælthavsfremstødet er borteroderet af smeltevandsstrømme, er det Ungbaltens aflejringer, som udgør de øvre moræneaflejringer.

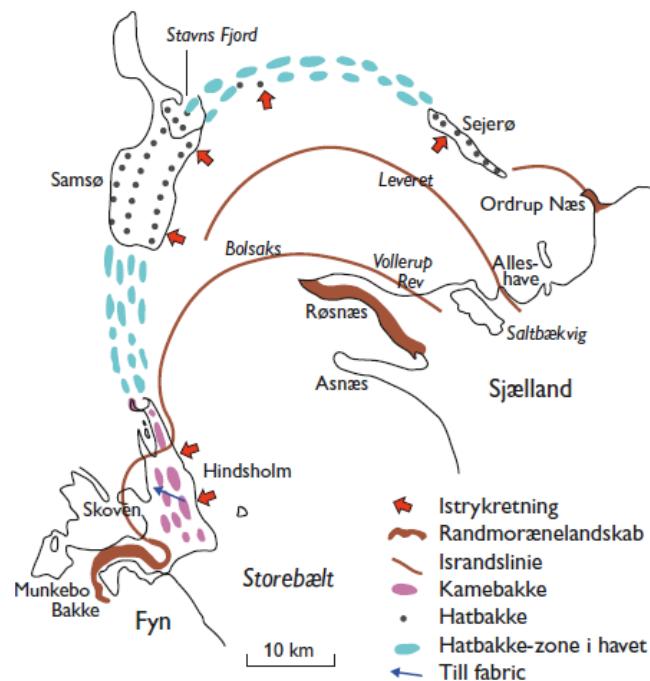
Udover indholdet af fjerntransporterede klaster, vil der også indgå løsrevne flager og klaster fra højtliggende prækvartere aflejringer i Danmarks undergrund, som f.eks. Paleocæn og Eocæn plastisk ler.



Figur 3-5 Isens udbredelse under Bælthavsfremstødet i Sen Weichsel. Figur fra (Houmark-Nielsen, M., Krüger, J. & Kjær, K., 2005). Projektområdet angivet med rød oval.

Isranden dækkede Sjælland, den østlige del af Kattegat syd og gik centralt gennem Samsø, jf. Figur 3-6.

Røsnæs er en del af en randmoræne afsat sydfra i forbindelse med Bælthavsfremstødet. Søkort viser at der findes en halvcirkelformet bakkezone, der strækker sig fra Stavns Fjord på Samsø til Ordrup Næs i Odsherred og den modsatte vej fra Samsø til Hindsholm på Fyn. Bakkezonen menes at være ydergrænsen for Bælthavsfremstødet (Smed P. , Weichsel istiden på Sjælland, 2013).



Figur 3-6 Israndszoner over Sjælland og Samsø, figuren stammer fra (Smed P. , Weichsel istiden på Sjælland, 2013).

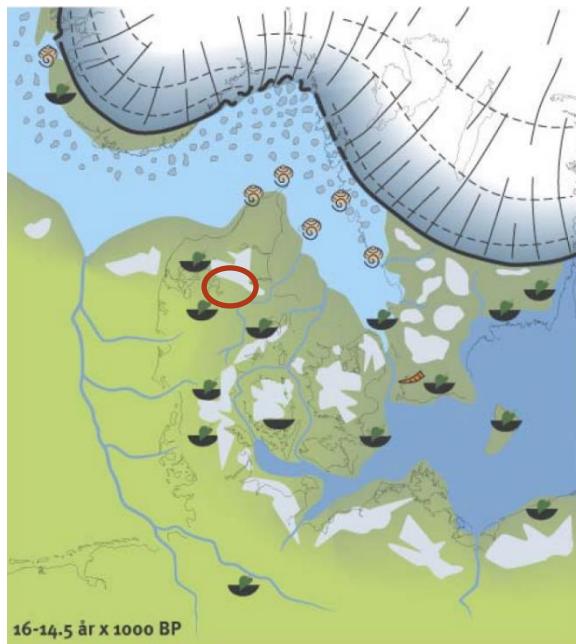
Området Bolsaks, der ses på Figur 3-6 i farvandet mellem Røsnæs og Samsø, består af moræneknlde. Umiddelbart nord for Bolsaks, i området Bolsaks nord, findes op til 15 m tykke smeltevandsaflejringer af sand, grus og sten med indslag af mere finkornet materiale. Smeltevandsaflejringerne er formentlig aflejret i dale, omkranset af dødis, da de i dag ligger 5-7 m højere end den omgivende havbund (Jensen, J.B., Borre, S., Nørregaard-Pedersen, N. & Leth, J.O.). Bolsaks nord er en kendt råstofressource.

Smeltevandsfloder fra øst og vest har udmundet i Storebæltsrenden, der løber omtrent syd-nord umiddelbart vest for Røsnæs. Storebæltsrenden er senere hen eroderet betydeligt dybere ned i havbunden, Larsen 2000 *in* (Jensen, J.B., Borre, S., Nørregaard-Pedersen, N. & Leth, J.O.).

3.1.2 Senglacial

Den aktive is var borte fra det danske område i senglacialtiden. Isen var på daværende tidspunkt smeltet tilbage til de norske fjelde og Mellemsteinerne. I det daværende Østersøen lå en stor issø der modtog smeltevandet fra gletsjerne, den Baltiske Issø. Afvandingen fra issøen foregik gennem smeltevandsfloder i Øresund samt Storebælt og det sydlige Kattegat til et ishav, der dækkede det nordlige Kattegat, hvor der lokalt blev afsat op mod 60 m senglacialt marint ler (Nielsen, B., Nejrup, L., Macnaughton, M., Nicolaisen, M.L., Jensen, J.B., Al-Hamdan, Z., Nørgaard, N., Addington, L.G., Christensen, L. & Lomholt, S., 2011), (Jensen, J.B., Borre, S., Nørregaard-Pedersen, N. & Leth, J.O.).

Den større smeltevandsflod gennem det sydlige Kattegat har formentlig haft sin orientering gennem og eroderet langs med den nuværende Storebæltsrende, mens andre flodsystemer kan være orienteret vest for Samsø.

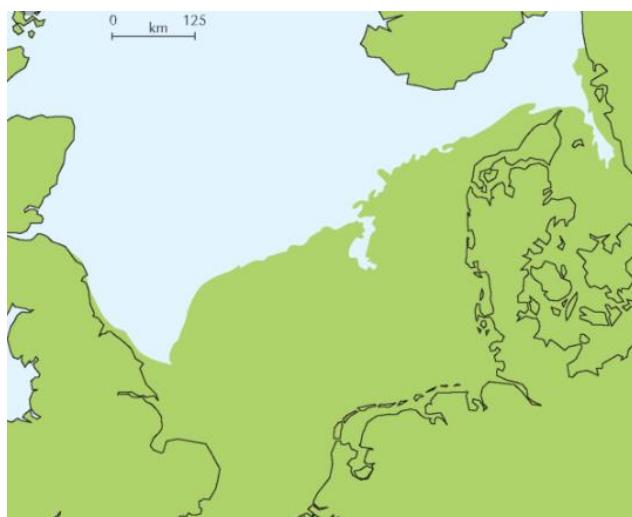


Figur 3-7 Isens beliggenhed i Senglacial. Figur fra (Houmark-Nielsen, M., Krüger, J. & Kjær, K., 2005). Projektområdet angivet med rød oval.

3.1.3 Postglacial

Fastlandstiden

I en periode på omkring 7000 år henlå store dele af havbunden i projektområdet som landområde, den såkaldte fastlandstid. Området havde hævet sig efter isens bortsmelting fra området, og Danmark var landfast med Sydsverige og Sydengland, Figur 3-8.



Figur 3-8 Fordelingen af land og hav i Præboreal under Fastlandstiden, fra (Binderup, M., Buchardt, B., Gravesen, P., Heilmann-Clausen, C., Knudsen, K.L., Korstgård, J., Krüger, J., Larsen, G., Noe-Nygaard, N., Odgaard, B., Skovbjerg Rasmussen, E., Surlyk, F. & Vejbæk, O.V., 2012).

Forvitningsprocesser medførte kalkopløsning og iltning af jernholdige mineraler i jordbundens øvre 1-5 m. Forbruning og kalkopløsning har kun medført ringe eller ingen forringelse af de øverste (0,5-1 m) jordlags geotekniske egenskaber.

Lokalt har der været floder, mindre vandløb og søer, og området har muligvis lokalt været dækket af vegetation. Der er fundet træstammer på 35 m dybde i Storebælt og ligeledes ud for kysten ved Køge, som vidner om tidligere trævækst på havbunden i Fastlandstiden. Rester fra denne periode i form af træstammer m.m. findes sandsynligvis også indenfor undersøgelsesområdet, blandt andet er rester fra pile- og elletræer på havbunden syd for Samsø dateret til fastlandstiden (Lomholt, S., Mikkelsen, D.M., Nørgaard-Pedersen, N., Olesen, M., Leth, J.O., Kristensen, M.B., Jensen, J.B., Skar, S. & Paradeisis-Stathis, S., 2016).

Littorinahavet (Stenalderhavet)

Ved havstigningen, der fulgte efter den sidste is afsmelting, overstrømmede kystzonen gradvist fastlandstidens landområder, og dele af de nuværende landområder blev også havdækket som det fremgår af Figur 3-9.



Figur 3-9 Havets udbredelse under Littorinahavet i Stenalderen, (Binderup, M., Buchardt, B., Gravesen, P., Heilmann-Clausen, C., Knudsen, K.L., Korstgård, J., Krüger, J., Larsen, G., Noe-Nygard, N., Odgaard, B., Skovbjerg Rasmussen, E., Surlyk, F. & Vejbæk, O.V., 2012).

Kystprocesserne eroderede og transporterede det øverste finere og løsnede materiale. Det medførte blandet andet en koncentration af sten og blokke, fra glaci ale aflejringer, som et residuallag på havbunden og i kystområder. Den

efterfølgende landhævning, har medført blotlægning af sådanne stenrige overfladeresidualer langs kyststrækningerne, som på Figur 3-10, men tilsvarende forekomster af fritliggende sten og blokke på havbunden findes også i projektområdet, de såkaldte stenrev.

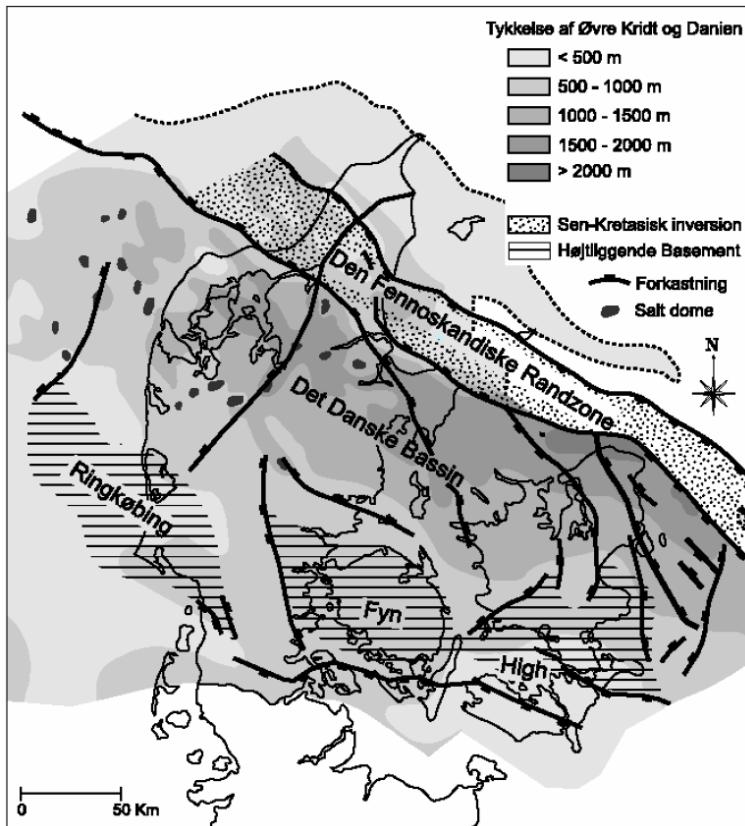


*Figur 3-10 Stenstrøning ved Jyllinge Holme i Roskilde Fjord fra (Hansen E. , 2017).
Tilsvarende overfladeresidualer af sten og blokke kan findes på havbunden
i Kattegat.*

Da havet stod højest, var den nordlige og sydlige del af Samsø adskilt fra hinanden af et 7-8 km bredt farvand med mindre øer og holme (Larsen, G. og Kronborg, C., 1994). Den senere landhævning har medført tillanding af området.

3.2 Prækvartæreroverfladen

Fordelingen af prækvartære aflejringer i Danmark er domineret af tektonisk aktivitet i den Fennoskandiske Randzone, en NNV-SSØ orienteret forkastningszone. Udstrækningen af forkastningszonen er angivet i Figur 3-11.

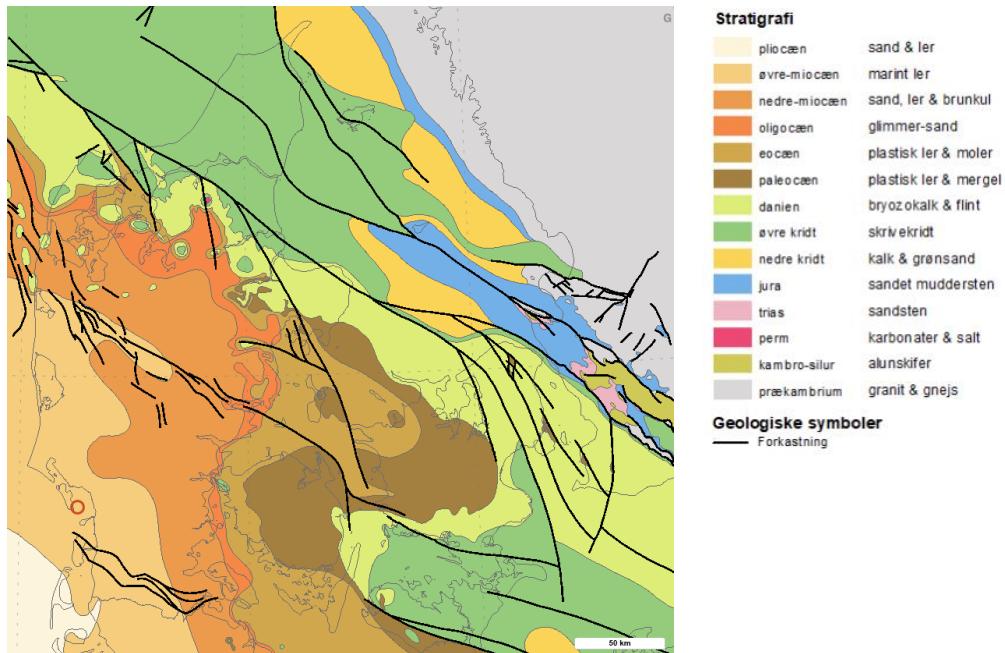


Figur 3-11 Generelle strukturelle elementer i Danmark fra (Jakobsen, P.R, Rosenbom, A., 2002).

I den seneste periode med større aktivitet i den Fennoskandiske Randzone, Sen Kridt til Palæogen, skete der en sammenpressning og hævning af det begravede grundfjeld og de overliggende sedimentlag, langs et sydøst-nordvest orienteret højdedrag. Bevægelserne i forkastningszonen var et resultat af sideværtsforkastninger i en større, 30-50 km bred, tektonisk brudzone under Skåne og det nordvestlige Danmark.

Udviklingen i den Fennoskandiske Randzone har resulteret i at aflejrerne i prækvarteroverfladen bliver successivt yngre fra øst i retningen mod vest, som det fremgår af Figur 3-12.

Kortet over prækvarteroverfladens stratigrafi viser, at der på Røsnæs, Asnæs og det meste af kyst til kyst strækningerne samt på hovedparten af Samsø, kan forventes plastisk ler fra Eocæn under de kvartære aflejrerne. På Røsnæs findes aflejrerne fra Øvre Paleocæn og Nedre Eocæn skubbet op af isen sammen med istidslag. Faststående plastisk ler findes først under havniveau i borer (Gravesen, P., Binderup, M., Houmark-Nielsen, M. & Krüger, J., 2017).



Figur 3-12 Geologisk kort over den Danske undergrund. Kartet viser stratigrafi og forkastninger og stammer fra (VARV, 1994). Alderen på aflejrerne i legenden for stratigrafien stiger nedeften.

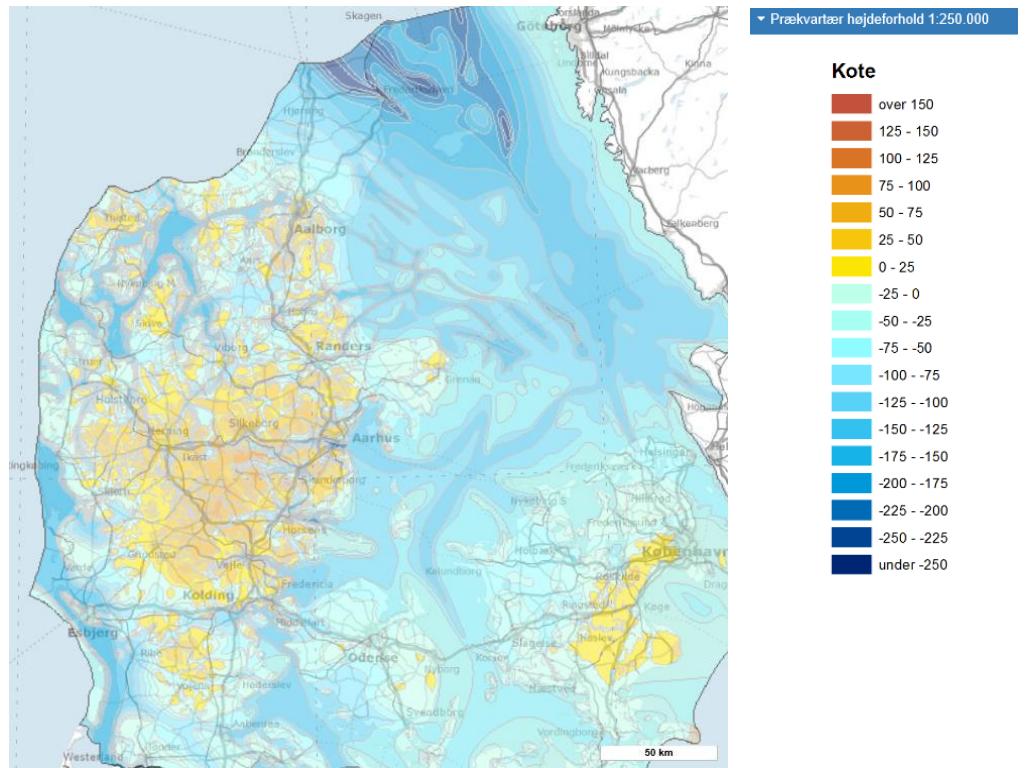
På den centrale, østlige del af Samsø vil der kunne træffes paleocæne aflejrerne af plastisk ler og mergel, mens der i den østlige del af Jylland, kan forventes oligocænt glimmerler og miocænt glimmersand, ler og brunkul.

En beskrivelse af de pågældende prækvartære jordarter kan findes i afsnit 3.9.9 til 3.9.12.

Mere detaljerede kort med angivelse af den foretrukne korridor, er indeholdt i Bilag B. Kartet viser, at der løber en gren af en forkastning fra den vestlige del af Røsnæs umiddelbart øst om Samsø og videre mod nord, den såkaldte "Storebæltsforkastning". Forkastningszonerne er stadig aktive, men har gennem de seneste 75 år kun givet anledning til mindre jordskælv, generelt mellem 2 og 3, og op til 4,7 på Richterskalaen (Glendrup, M., Gregersen, S. & Voss, P., 2004), (Gregersen, S., Leth, J., Lind, G. & Lykke-Andersen, H., 1996).

Prækvartæroverfladens nuværende højdeforhold er resultatet af jordskørpebevægelser, tektoniske forstyrrelser samt erosion fra vand, is og vinden i løbet af palæogen- og kvartærtiden. Processerne foregår stadig, særligt i de områder hvor de prækvartære aflejrerne er blottede eller i områder med bevægelseszoner (Binzer, K. og Stockmar, J., 1994).

Dybden til de prækvartære aflejrerne er kortlagt på basis af borer og oplysninger fra seismiske undersøgelser og er behæftet med usikkerhed, der afhænger af boringsoplysningernes troværdighed og tætheden af borer. Prækvartæroverfladens højdeforhold optegnet i 1994 fremgår af Figur 3-13. Mere detaljerede kort over prækvartæroverfladens højdeforhold, hvor informationer fra borer yngre end 1994 er inddarbejdet, sammen med den foretrukne korridor, fremgår af Bilag C.



Figur 3-13 Prækvartæroverfladens topografi fra (GEUS, Prækvartæroverfladens højdeforhold 1:250.000, 1994). Datasamlingen består af polygoner i 25 meters intervaller, konturlinjer, et 500 m grid og en afgrænsning. Kortet er baseret på håndtegnet kort i målestoksforholdet 1:250.000. Kortet er beskrevet i (Binzer, K. og Stockmar, J., 1994).

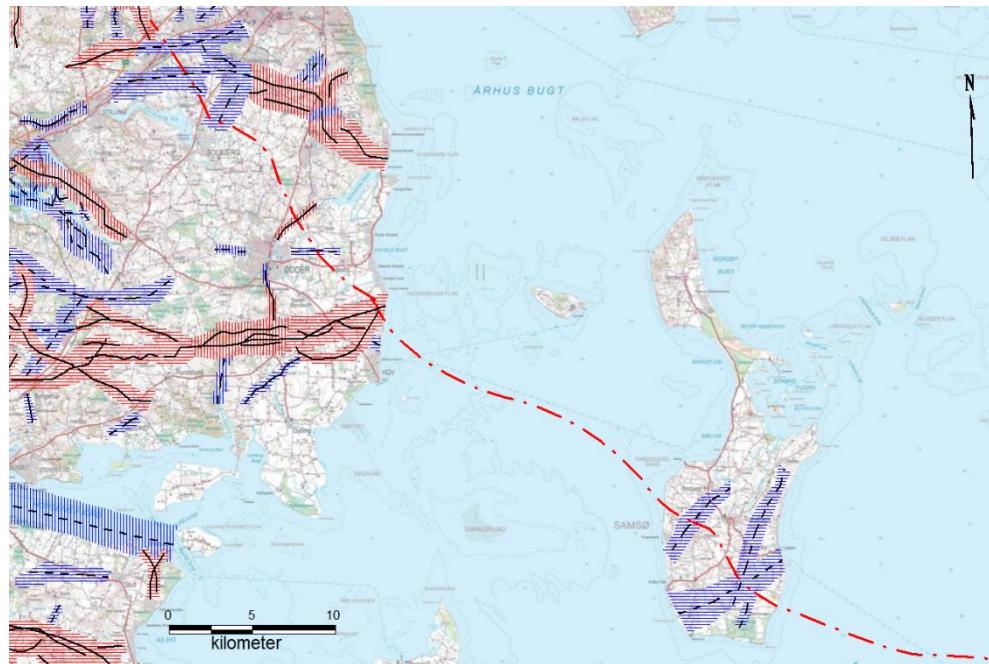
Det ses på Figur 3-13 og Bilag C, at der findes en NNØ-SSV orienteret dalstruktur gennem Storebælt og Kattegat, der nord for Samsø forgrener sig i tre dele, mod vest, nord og NNØ. Lavningen i prækvartæroverfladen er en erosionsdal, hvor der tidligere har løbet et flodssystem. Dalen er efterfølgende blevet eroderet dybere af gletsjertunger, der har haft sin orientering gennem Storbæltlavningen. En del af lavningen blev senere udnyttet som smeltevandsfloddal i forbindelse med afsmeltningen af isen fra Bælthavsfremstødet, (Jensen, J.B., Borre, S., Nørregaard-Pedersen, N. & Leth, J.O.).

Prækvartæroverfladen stiger mod både Sjælland og Jylland, mest markant i vestlig retning, hvor overfladen har form som et uregelmæssigt bølget skjold under store dele af det centrale og østlige Jylland.

3.2.1 Begravede dale

Lokalt findes der prækvartære dalsystemer i prækvartæroverfladen. I disse dale har der tidligere løbet større flodssystemer, men under istiden blev de fyldt op af yngre aflejringer som moræne- og smeltevandsaflejringer. Linjeføringskorridoren løber gennem flere af sådanne dalsystemer, hvoraf nogle er veldokumenterede mens andre kun er svagt dokumenterede af borer og seismiske data.

Et kort over begravede dalsystemer fremgår af Figur 3-14. Der er ikke tolket begravede dalsystemer i den østlige del af projektområdet.



Figur 3-14 Kortlagte begravede dalsystemer efter (Sanderson, P.B.E. & Jørgensen, F., 2015). Røde linjer angiver veldokumenterede dale, mens blå linjer angiver svagt dokumenterede dale. Vandret signatur er helt begravede dale, mens lodret signatur angiver delvist begravede dale.

Der er et veldokumenteret VSV-ØNØ orienteret begravet dalsystem umiddelbart nord for Hou samt lige øst for Kolt i korridorens nordlige del. Herudover er det et veldokumenteret, delvist begravet dalsystem i den indre del af Norsminde Fjord, vest for Assedrup. Der findes herudover en række svagt dokumenterede dalsystemer, bl.a tre helt begravede dale på Samsø.

I de prækuartære dalsystemer kan findes glaciale aflejringer fra tidligere istider, som Elster og Saale, (Sanderson, P.B.E. & Jørgensen, F., 2015), (Sørensen J. , 2005).

3.3 Geomorfologi

Landskabets dominerende geomorfologiske elementer er skabt gennem de sidste nedisninger fremstød med tilhørende erosion og aflejring i forbindelse med afsmeltningsafgletsjere og dødis. Geomorfologien i det undersøgte område fremgår af Bilag D.

3.3.1 Røsnæs og Asnæs

På Røsnæs, Asnæs og områderne øst for, ses et NNV-SSØ orienteret randmorænestrøg langs med den sydlige del af Røsnæs. Randmorænestrøget blev dannet i forbindelse med Bælthavsfremstødet som det beskrives i afsnit 3.1.1. Randmorænestrøget markerer et området, hvor isen har haft sin rand gennem en længere periode. Ved gletsjerfronten efterlades typisk sten og blokke i tilknytning til randmoræner, eller ved vigtige israndslinjer, i forbindelse med stagnation og isafsmeltningsafgletsjere.

Sten og blokke er dermed ofte koncentreret ved isens opholdslinjer, da isen kan transportere store blokke, men de bliver ofte liggende langs isranden, fordi smeltevand ikke kan transportere dem videre.

Israndene har ofte fluktueret lidt frem og tilbage, og kan både have efterladt store mængder af udsmeltet sten og blokke, men der kan også forventes flager af materiale opskudt fra undergrunden. De geotekniske egenskaber af moræneaflejringerne kan veksle betydeligt indenfor korte afstand i dette område.

De største højder – op til 64 m – findes ved bakketoppene langs den sydlige del af Røsnæs. Bakketoppene adskilles af lavninger, med indbyrdes højdeforskelle på op til 20 m mellem bakketoppe og lavninger (Milthers, 1943). I de mellemliggende lavninger findes i dag moser og småsøer.

På den centrale nordlige del af Røsnæs er landskabet derimod mere jævnt og består af en jævn bølget bundmoræneflade. Der forventes ikke flager af præ-kwartære aflejringen i samme omfang her, som på den sydlige del af halvøen.

På den sydvestlige del af Asnæs findes også en randmoræne, denne er beliggende i et dødislandskab, samme geomorfologi som træffes umiddelbart øst for Røsnæs. I dødislandskabet har der tidligere ligget blokke af inaktiv is, der blev efterladt af isen under afsmeltingen. Isblokkene har dannet irregulære, afløbsløse lavninger i terrænet, som i sen- og postglaciatiden er blevet fyldt med bløde og ofte organiske lag af tørv og gytje vekslende med ler- og sandlag.

Halvøerne Røsnæs og Asnæs adskilles af Kalundborg fjord. Kalundborg fjord antages at være gravet ud som en inderlavning i forbindelse med Bælthavsfremstødet. Da isen rykkede frem, skubbede den permafrosne flager sammen fra fjordens bund og dannede højdedraget på Sydrøsnæs (Berthelsen, 1975).

I den indre del af Kalundborg Fjord, findes en marin flade, den har tidligere været havdækket, men som nu er hævet over havniveau. Der kan forventes mægtige, op mod 45-50 m tykke, lag af organiske blødbundsaflejringen i dette område (Mertz, 1972), som det også fremgår af Bilag L.

3.3.2 Kyst til kyst øst

Det vigtigste morfologiske element på havbunden mellem Sjælland og Samsø er den omtrent syd-nordgående Storebæltssrenden, eller Storebælt kanalen. Vanddybden i Storebæltssrenden når op til over 45-50 m. Rester af bueformede randmorænestrøg fra Bælthavsfremstødet, som omtalt i 3.1.1, udgør de højere liggende områder af havbunden.

3.3.3 Samsø

Det sydlige Samsø er præget af lave, indbyrdes parallelle bakkerygge, der opfattes som randmoræner dannet under Bælthavsfremstødet (Smed P. , Weichsel istiden på Sjælland, 2013). Bakkeretningen ændres fra omtrent nord-syd i den sydligste del af Samsø til gradvis nordøst-sydvest mod nord.

Randbakkerne ligger i et morænelandskab der overvejende består af lerbund, og boringerne i området viser moræneler under et relativt tyndt dække af overjord. Den nordlige del af Samsø har tidligere været adskilt fra den sydlige del, som omtalt i afsnit 3.1.3. I de områder, der var havdækkede under Littorinahavet, findes i dag et marine forland, som er dannet ved tillanding ved en kombination af landhævning og kystprocesser, hvorfor der findes marine dannelser her.

3.3.4 Jylland

Korridoren nær den østjyske kyst omkring Dyngby Strand nord for Hou. Strækningen fra den østlige kyst til Norsminde Fjord ved Assedrup, udgør et morænelandskab fra sidste istid med overvejende lerbund. Norsminde Fjord er en tidligere smeltevandsfloddal, der formentlig har løbet parallelt med isranden i forbindelse med det Undgaltiske isfremstød. I smeltevandsdalen kan forventes smeltevandssand og -grus, overlejret af yngre postglaciale marine aflejringer.

Nord for fjorden ligger et bueformet bælte af israndsbakker i et svagt bølget morænelandskab med lerbund. Mellem Malling i øst og Solbjerg i vest findes et forholdsvis kuperet dødismorænelandskab, præget af afløbsløse lavninger der danner småsøer eller sump- og moseområder imellem relativt flade issø plateaubakker. Umiddelbart øst for Stilling sø løber korridoren langs med Århus Å i et let bølget moræneflade og ender lige syd for en tidligere vestsydvest-østnordøst gående tunneldal der løber ud i Århus Bugt.

Umiddelbart vest herfor skærer en dalstrækning sig ned i den omgivende let bølgede moræneflade på begge sider. I tunneldalen findes i dag den østlige del af langsøen Stilling-Solbjerg Sø, hvorfor dalen betegnes en sødal. Bunden i tunneldale er erfaringsmæssigt ujævn med dybe lavninger og uregelmæssigt bølgede tærskler der normalt består af smeltevandssand.

3.4 Terrænforhold

Terrænforhold stammer fra COWIs digitale terrænmodel og er angivet i Bilag E med 2,5 m kurveækvidistance. Koterne angives i højdesystemet DVR90.

Terrænet på Røsnæs viser det stærkt kuperede randmorænelandskab på halvøens sydlige og nordvestlige dele, med stejle bakker og mellemliggende lavninger. Terrænet bliver mere jævnt bølget på den nordlige og østlige del.

På Samsø vidner de spredte lukkede kurver om de syd-nordgående rækker af hatbakker, der markerer isens rand under Bælthavsfremstødet. Lavningerne udgør tidligere dødishuller.

På den østlige del af den jyske kyst nord for Hou er landskabet jævnt bølget indtil Norsminde Fjord. Den sydlige skrånning mod fjorden og den nordlige side af fjorden er mere kuperet, med bakkedrag og mellemliggende lavninger. Den mest markante lavning er den ØSØ-VNV-orienterede Pilbrodal, som slynger sig 4-5 km gennem landskabet og munder ud i Stilling Sø og Solbjerg Sø, umiddelbart sydvest for korridoren.

3.5 Historiske målebordsblade

Historisk høje målebordsblade en angivet i Bilag F. Historisk lave målebordsblade er angivet i Bilag G.

De historiske målebordskort viser landskabets topografi i perioderne 1842-1899 (høje målebordsblade) og 1926-1941 (lave målebordsblade) og de kan derfor give nyttige informationer om tidligere blødbundsområder, der senere er blevet fyldt op, og derfor ikke fremgår af de nyere topografiske kort.

På Røsnæs fremgår både nuværende men også flere tidligere sø- og moseområder. Blandt andet har Tranemosen, syd for Brokkebjerg, tidligere haft en betydeligt større udbredelse end den har nu. Flere andre moseområder, der fremgår af de ældre historisk høje målebordsblade, Bilag F, findes ikke på de nyere lave målebordsblade, Bilag G. De er derfor blevet opfyldt i den mellemliggende periode, og der må forventes blødbundsaflæjringer under fyldtag i disse områder.

Både på Samsø og i Østjylland viser Bilag F også en del moseområder, som ikke fremgår af Bilag G eller nyere topografiske kort, men disse områder vil typisk fremgå af jordartskortene, Bilag H, hvor der angives postglaciale organiske aflæringer som tørv og gytje. Tykkelsen af organiske aflæringer i sådanne områder kan variere betydeligt.

3.6 Jordartskort

Jordartskortet på Bilag H viser tolkede geologiske jordlag i dybden 1 m under terræn. Kortet er et resultat af en systematisk geologisk kortlægning, indsamlet ved feltarbejde, hvor jordprøver er taget med 100-200 meters mellemrum med et håndspyd i 1 meters dybde. Det vil sige lige under pløjelag og jordbundsudviklingen.

3.6.1 Røsnæs og Asnæs

Jordartskortet viser en dominans af overfladenære aflæringer bestående af moræneler. Dog findes mindre, spredte områder bestående af ferskvandstørv.

Blødbundslag som tørv og gytje kan forventes i de tidligere dødishuller, søger og moseområder, der fremgår af historiske målebordsblade og det geomorfologiske kort. Tykkelsen af blødbundslagene kan variere betydeligt, og kan ikke vurderes ud fra jordartskortet.

I de sydlige og vestlige dele af Røsnæs domineres de overfladenære lag af smeltevandssand med lokale forekomster af smeltevandsgrus. Længere mod øst, sydvest for Saltbæk Vig, findes et større, sammenhængende område af ferskvandstørv med indslag af saltvandsgrus. Langs den nordlige og sydlige kyststrækning af Røsnæs findes strandvolde af saltvandsgrus og -sten.

På Asnæs kan der forventes moræneler som overfladenær jordart over det meste af halvøen. Dette gælder med undtagelse af de vestligste dele, hvor smeltevandssand også træffes terrænnært.

3.6.2 Samsø

Korridoren over Samsø domineres af overfladenære aflejringer af moræneler langs den østligste halvdel. Lokalt findes områder med postglacial ferskvands-gytje og tørv. I de østligste, kystnære områder kan der også findes postglacialt saltvandsler og ferskvandstørv.

Langs korridorens vestlige halvdel over Samsø kan forventes vekslende overfladenære aflejringer af senglacialt smeltevandssand og postglacial ferskvandstørv- og -gytje. Lokalt træffes der også glacial moræneler og smeltevandssand. Den vestligste og kystnære strækning på Samsø ligger i et større område af postglacial ferskvandstørv.

3.6.3 Jylland

I størstedelen af området kan der forventes terrænnære aflejringer af moræneler. Lokalt findes terrænnært smeltevandssand og i tidlige dødisområder findes en del spredte forekomster af særligt postglacial gytje og tørv. De øvre dele af den tidlige smeltevandsdal, som går i en bue fra Norsminde (tidlige Kysing) Fjord og ind mod Odder, er opfyldt med marine og ferskvandsaflejringer af tørv, gytje, ler og sand. Blødbundsaflejringer træffes også langs et langstrakt område af Århus Ådal ved Hørning i den nordlige del af korridoren.

3.7 Havbundsforhold

Det batymetriske kort i Bilag I er interpoleret på basis af data i et 50 m grid. Data stammer fra Farvandsvæsenet, og viser den højeste kote indenfor hver 50 m grid.

Havbundkortet domineres af en syd-nord orienteret dalstruktur, Storebæltssrenden, der løber umiddelbart vest for Røsnæs, mellem Røsnæs og Samsøs vestkyst. Storebæltssrenden er ca. 1300 m bred og op til 55 m dyb mellem Røsnæs og det centrale Samsø. Rendens østlige bred findes ca. 6,3 km fra nordsiden af Røsnæs. Vest for Storebæltssrenden og indtil østkysten af Samsø, er havbunden relativt jævn i kote -16 m til -23 m.

Vest for Samsø findes endnu en syd-nord orienteret dal i havbunden. Dalen er ca. 10 m dyb i forhold til den omgivende havbund, hvor den rammer korridoren. Renden er dog dybere i sydlig retning, ud for den sydvestlige del af Samsøs kyst, hvor renden når ned i kote -37 m. Vest for lavningen, stiger havbunden og danner et lavvandet område på kote -10 m til -2 m indtil kysten af Østjylland.

3.8 Havbundssedimenter

Havbundens overfladesedimenter er angivet på Bilag J. Kartene viser fordelingen af havbundssedimenter, der hovedsageligt er baseret på seismiske og akustiske baggrundssdata kalibreret ud fra sedimentprøver. Klassifikationerne på kortet er et udtryk for et gennemsnit af havbundens sedimenter i de øverste ca. 0,50 m.

Inden for projektområdet er der truffet fire overordnede sedimenttyper: dynd, sandet dynd, sand og residualbund på moræne. Sedimenttyperne beskrives efter (Leth, J.O., Larsen, B., 2014) og (GEUS, Havbundens overfladesedimenter i Danmark , 2014) som følger:

- Dynd/marint lergytje. Blødt, finkornet sediment med mere end ca. 10 % findelt organisk stof. Dynd findes i akkumulations- og bassinområder i indre danske farvande.
- Sandet dynd/dyndet sand. Blandingssediment, meget variabelt forhold mellem sand og dynd, der aflejres på kanten af bassinområder, og som et tyndt dække på dele af erosionsområderne.
- Sand. Ensartet bund af løst sand, de øverste 5-20 cm omlejres jævnligt af bundstrømme. Meget velsorteret, fremstår ofte med strømribber.
- Moræneler helt/delvist dækket af under 0,5 m restsedimenter af sten, grus, groft sand og/eller sandet mudder.

Bilag J viser at der forventes større sammenhængende områder med sandet dynd på strækningen KKV, mens der kun i ringe grad kan forventes sandet dynd på strækningen KKØ. Mægtigheden af det sandede dynd er meget usikker, og baseres på få spredte borer.

Egentlige organiske dyndlæg findes ifølge Bilag J uden for Samsøs centrale østlige kyst.

Residualsediment på moræne dominerer i de lavvandede (lavere end 22-25 m) og kystnære områder. I disse områder af havbunden, hvor moræneaflejringer er blottet, er de øverste dele af sedimentet ofte eroderet og løsnet af borende og gravende organismer, som det fremgår af Figur 3-15. Sand og grus kan skyldes væk fra de øvre dele af moræneaflejringerne ved bølgeaktivitet og transporteret til sandområder.



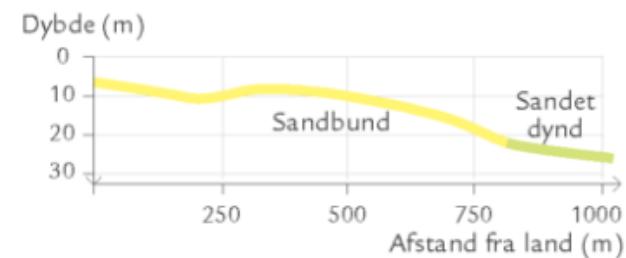
Figur 3-15 Residualbund på moræne fra Tetens grund i Storebælt på 5 meters dybde.
Foto: Gunnar Larsen i (Larsen, 2006).

Korridoren fra Røsnæs til Samsø domineres af sandbund og residualbund på moræne. Restsedimenter fra moræneaflejringer træffes ved havbunden rundt om spidsen af Røsnæs og den nordlige del af Røsnæs samt tæt ved kysten omkring Samsøs sydlige dele. Sandbund findes på transportområder, hvor sandet flyttes i banker. Transportområder er typisk områder, der ligger på vanddybder under 20-22 m.



Figur 3-16 Sandbølger i transportområdet som tegn på lejlighedsvis kraftig bundstrøm, nordlige Øresund ved Kullen. Foto: Ingemar Cato, SGU i (Larsen, 2006)

Under 20-22 m dybde kan bølger ikke nå bunden, hvorfor sandet dynd og dynd ofte sedimenteres i disse områder. Grænsen mellem sand og sandet dynd ligger tæt ved 20 m grænsen i åbne farvande, mens grænsen ligger lavere i beskyttede områder som Lillebælt og fjordene



*Figur 3-17 Et profil af havbunden ud for Hornbæk fra B. Larsen, 1979 i (Larsen, 2006).
På dybder større end 20-25 m går sand over i sandet dynd.*

3.9 Geologisk model

Der er opstillet en geologisk forståelsesmodel for området. Modellen baseres på:

- Kortmateriale (jordartskort, landskabs- og geomorfologiske kort, terrænforhold, prækvarteroverfladens højde og stratigrafi, palæogeografiske kort, begravede dale, forkastninger, israndslinjer, historiske kort, ortofoto, m.m.)
- Boringer (lagserie, grundvandsforhold)
- Rapporter (geoteknik, geologi)

- › Litteratur
- › Anden viden fra området (intern viden og erfaring fra tidligere projekter i området eller i samme aflejringstyper, arkiver m.m.)

Den geologiske forståelsesmodel giver et indledende og overordnet geologisk og stratigrafisk overblik. Modellen er dog behæftet med en vis usikkerhed, der er relateret til såvel troværdigheden af lagbeskrivelserne som boringstætheden.

Den geologiske forståelsesmodel for området omfatter 8 overordnede lag:

Tabel 3-1 *Stratigrafisk nomenklatur.*

Nomenklatur	Alder	Lag i den geologiske forståelsesmodel	
L1a	K v a r t æ r e ----- PG2/SS	K v a r t æ r e ----- PG2/SS	Recente aflejninger Fyld: - muld, tørv, gytje - uorganisk ler, sand og grus - slagter, asfalt, byggemateriale m.m.
L1b		Holocæne aflejninger (post- og senglacial)	Post og senglaciale aflejninger Marine og ferskvandsaflejninger af organisk materiale og ler ----- Marine og ferskvandsafejringer af sand og grus
L2		Pleistocæne aflejninger	Øvre smeltevandssand /-grus
L3			Øvre moræneler og øvre smeltevandsler / -silt
L4			Mellem smeltevandssand / -grus, morænesand, morænegrus
L5			Nedre moræneler og mellem/nedre smeltevandsler / -silt
L6a			Nedre smeltevandssand / -grus
L6b			Nedre moræneler og mellem/nedre smeltevandsler / -silt
L7	P a l æ o g e n e	Miocæne aflejninger Oligocæne aflejninger Eocæne aflejninger Palæocæne aflejninger	Glimmersand Glimmerler, glimmersilt Røsnæs ler, Lillebælt ler, Søvind mergdel Holmehus ler/mergel

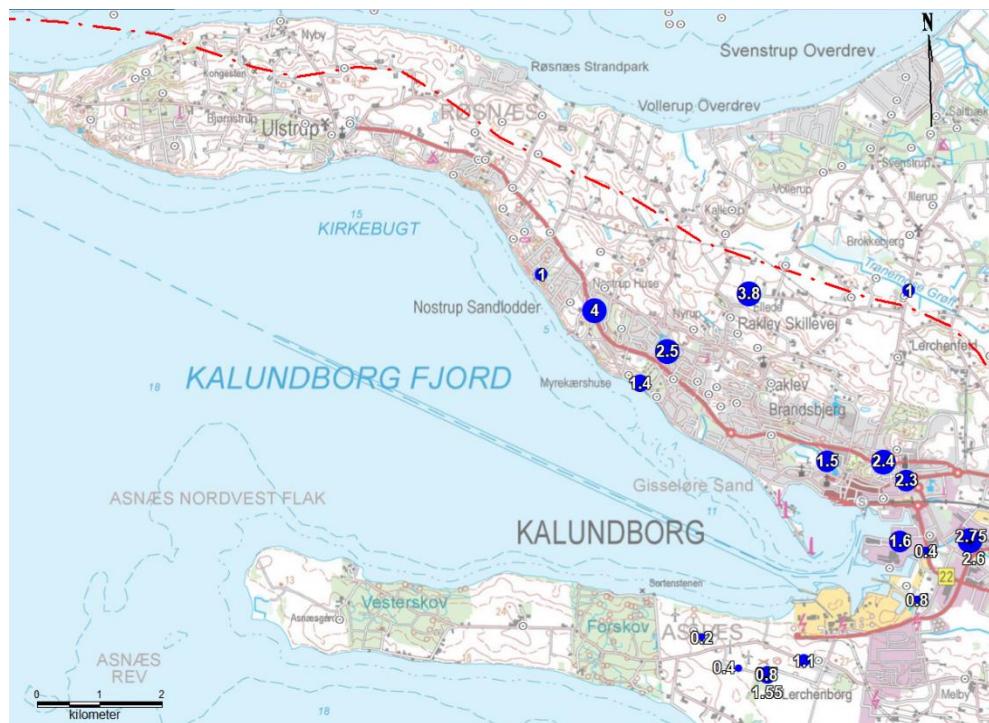
Grundlaget for modellen omfatter borer fra Jupiter databasen, COWIs boringsdatabase samt borer fra Region Sjælland og Region Midtjylland. Boringsgrundslaget er angivet i Bilag K.

Lagenes litologi og forekomst beskrives i det følgende.

3.9.1 Fyld

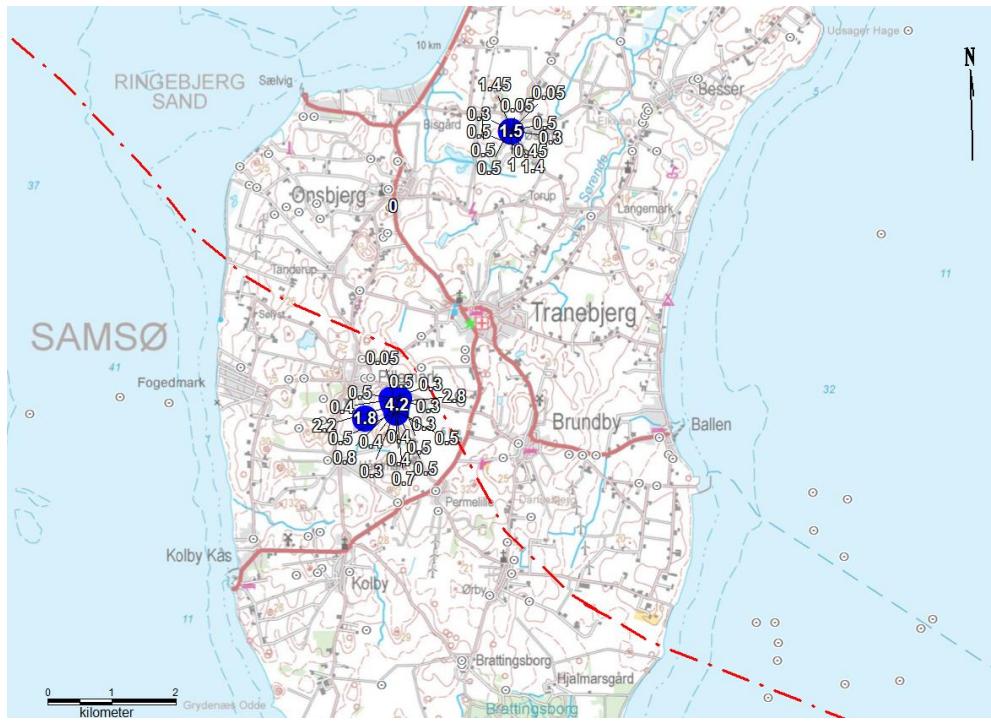
Fyld træffes lokalt i de øverste dele af boreprofilerne. Fyld kan have meget vekslende sammensætning og egenskaber, og det træffes primært ved byområder, kunstig inddæmmede områder eller i opfyldte lavninger i terrænet. Figur 3-18 til Figur 3-21 viser borer med tolket fyldlag identificeret i borer langs undersøgelseskorriderne. Borer med beskrevet fyld vises med blå prik. Tallene i de blå prikker angiver tolkede tykkelse af fyldlaget i meter i de pågældende borer. Grå cirkler med prik i midten angiver borer uden fyldlag. Rød stiplet linje angiver linjeføringskorridorerne KKØ-02-SJ01SØ01 - KKV-02-SV01JY01.

Tykkelsen af fyld beskrevet i borer fra den østlige del af Røsnæs og Asnæs fremgår af Figur 3-18. Der er truffet op til 4 m fyld på den sydlige del af Røsnæs, og det er primært i dette område, samt i de østlige dele at der er truffet fyld. Fylden beskrives typisk som sandblandet ler eller muldblandet sand.



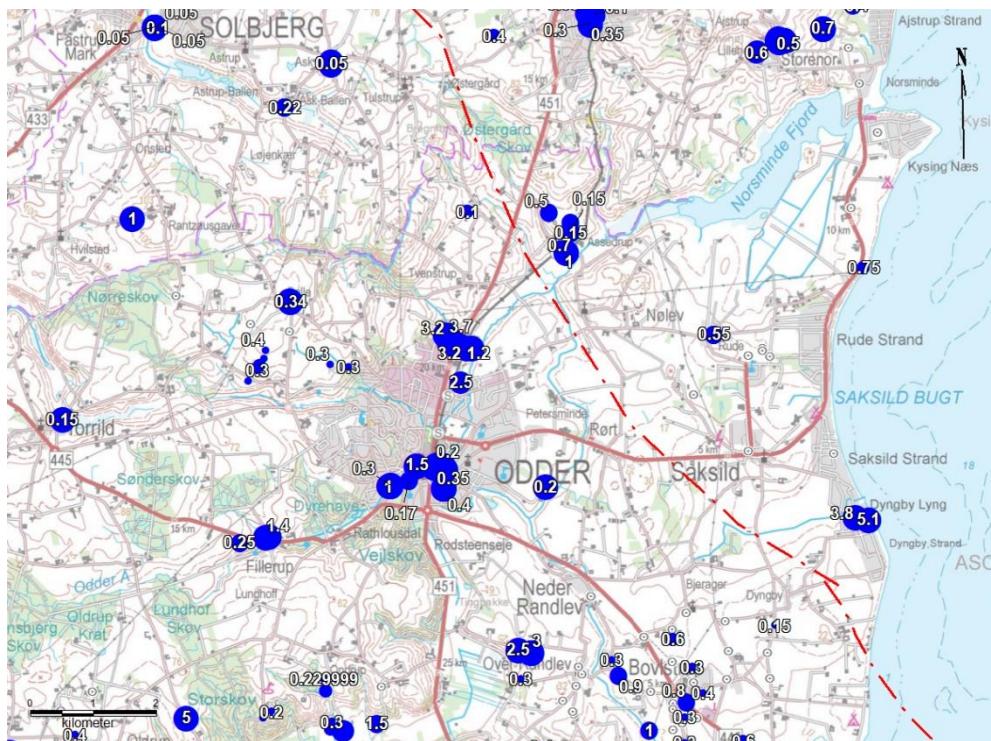
Figur 3-18 Borer (markeret med blåt) med fyldlag på Røsnæs, Asnæs og i Kalundborg. Tallet angiver den tolkede tykkelse i meter af fyldlaget.

De borer, hvori er beskrevet fyld på Samsø, samt den tolkede tykkelse af fyldlaget ses på Figur 3-19. Fylden er primært fundet ved Pillemark, umiddelbart syd for korridoren og er typisk sandet eller består af muldblandet ler.

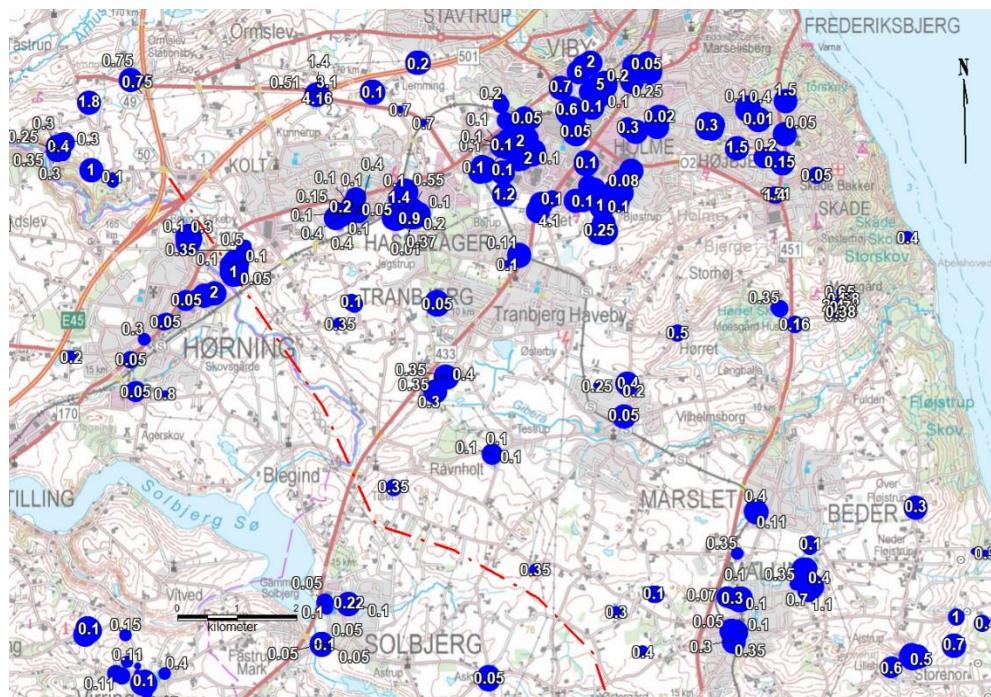


Figur 3-19 Boringe (markeret med blåt) med fyldlag på den sydlige og centrale del af Samsø. Tallet angiver den tolkede tykkelse i meter af fyldlaget.

Der er ikke beskrevet fyld i borer fra farvandet mellem Samsø og Jylland. I borer fra den østlige del af Jylland, er der beskrevet fyldlag i borer som angivet på Figur 3-20.



Figur 3-20 Boringe (markeret med blåt) med fyldlag fra det østlige Jylland. Tallet angiver den tolkede tykkelse i meter af fyldlaget.



Figur 3-21 Boringer (markeret med blåt) med fyldlag fra den vestlige del af området i Jylland. Tallet angiver den tolkede tykkelse i meter af fyldlaget.

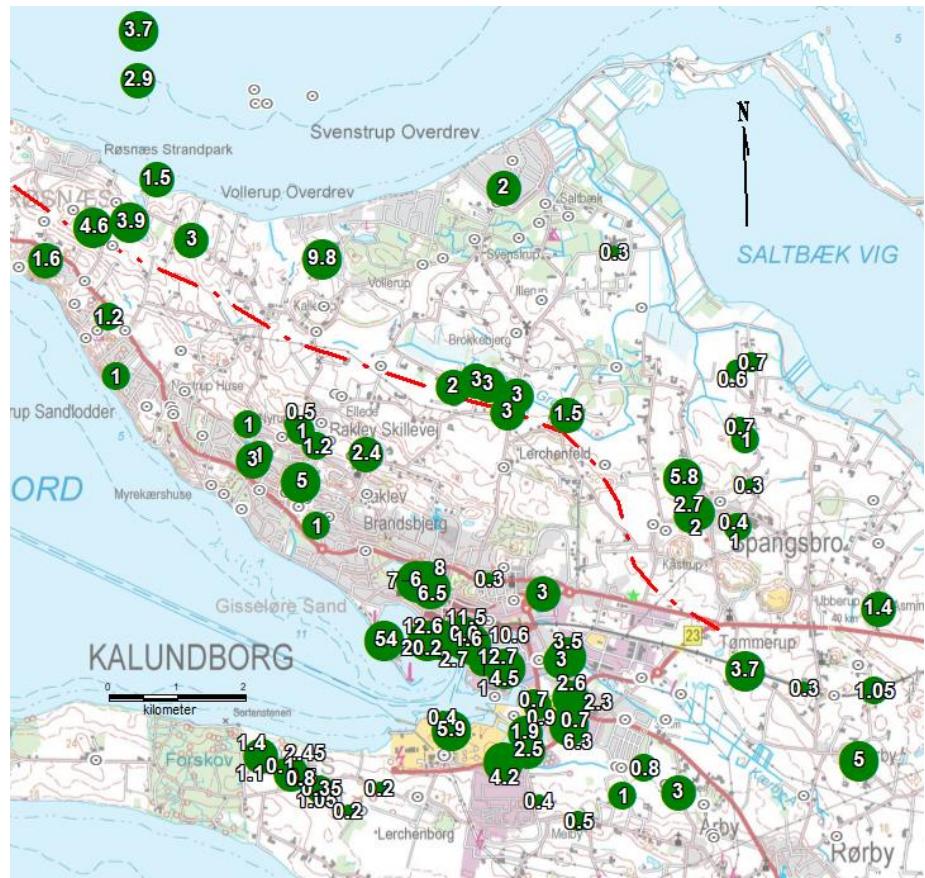
3.9.2 Postglaciale aflejringer og senglacialt ler

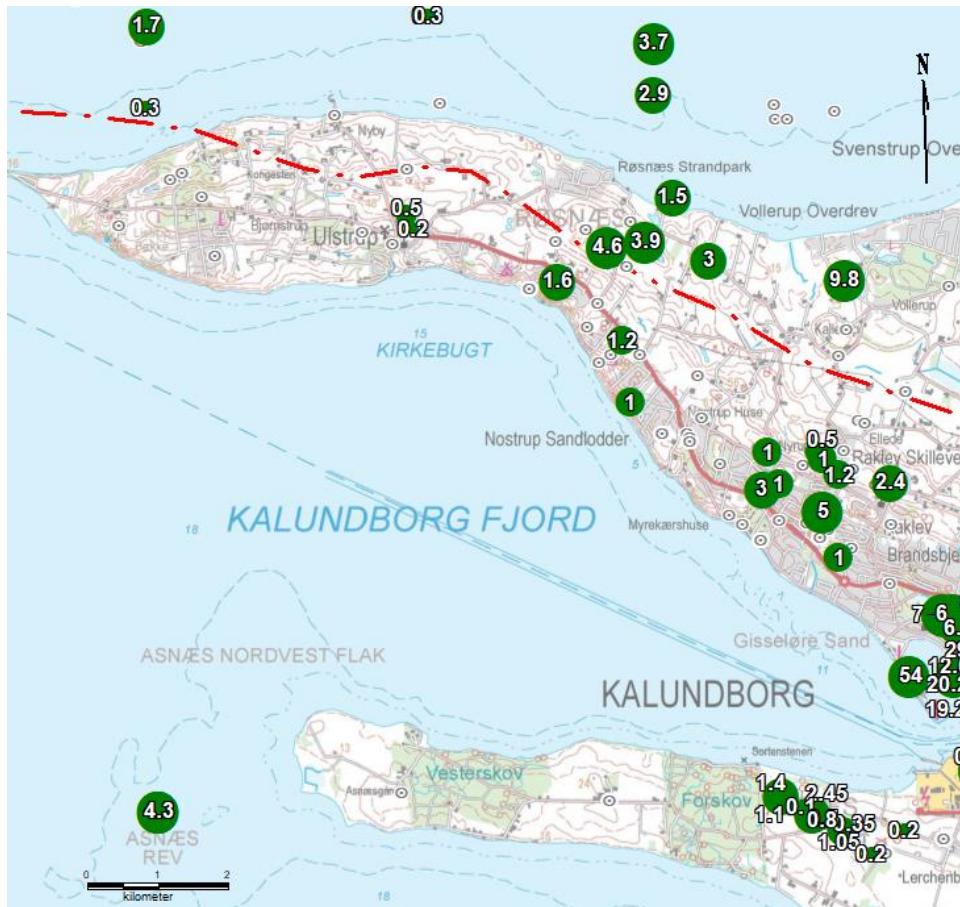
Post- og/eller senglaciale aflejringer træffes lokalt under fyld eller fra toppen af borerne. De postglaciale ferskvandsaflejringer består ofte af tørv eller gytje, og findes primært i tidligere sø- og moseområder, særligt i dødislandskaberne der træffes både på Sjællandssiden og i Jylland, men også i lavninger mellem bakkedragene på sydsiden af Røsnæs. Postglaciale ferskvandssand og ferskvandsler optræder også hyppigt nær tidligere og nuværende åer, som Århus Å.

De marine postglaciale aflejringer kan også bestå af både tørv og gytje, lokalt beskrevet som dynd, men også såkaldt dyndblandet sand eller sand kan forekomme som både post- eller senglacial.

Tykkelsen af lag, beskrevet som postglaciale aflejringer, samt de borerne, hvor aflejringen er beskrevet i, fremgår af Figur 3-22 til Figur 3-28. Postglaciale aflejringer indeholder i denne inddeling også lag beskrevet som muld.

Borerne med postglaciale aflejringer vises med grøn prik. Tallene i de grønne prikker angiver tolket tykkelse af de postglaciale aflejringer i meter i de pågældende borerne. Grå cirkler med prik i midten angiver borerne uden postglaciale aflejringer. Rød stiplet linje angiver linjeføringskorridorerne KKØ-02-SJ01SØ01 - KKV-02-SV01JY01.

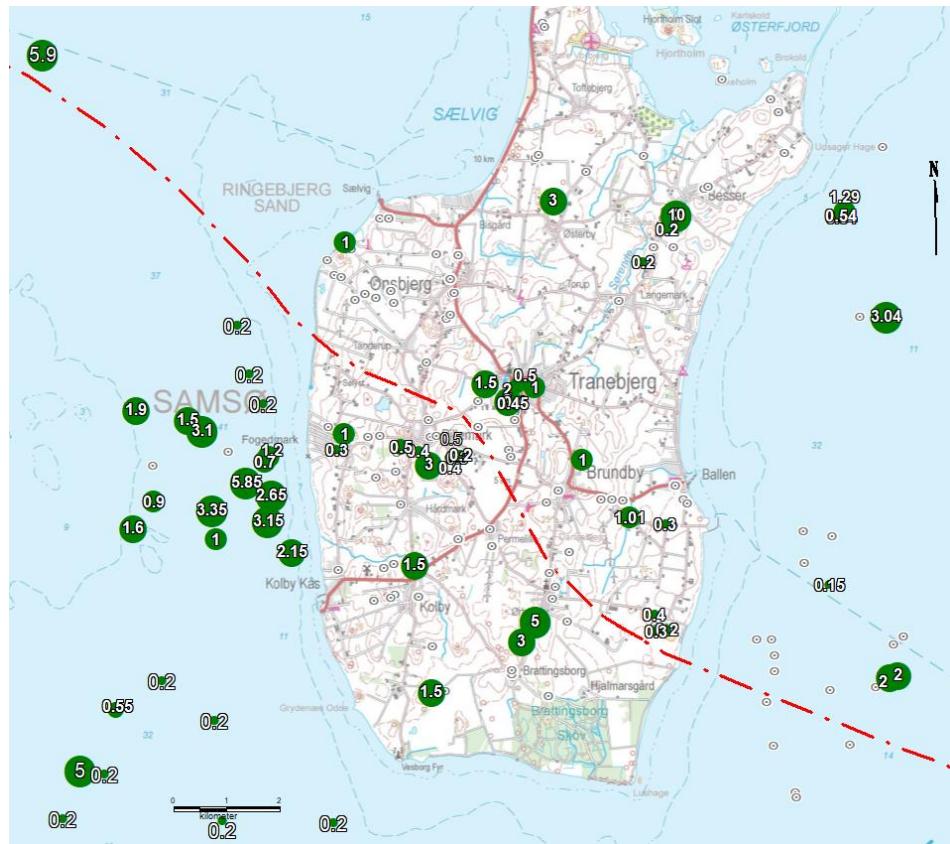




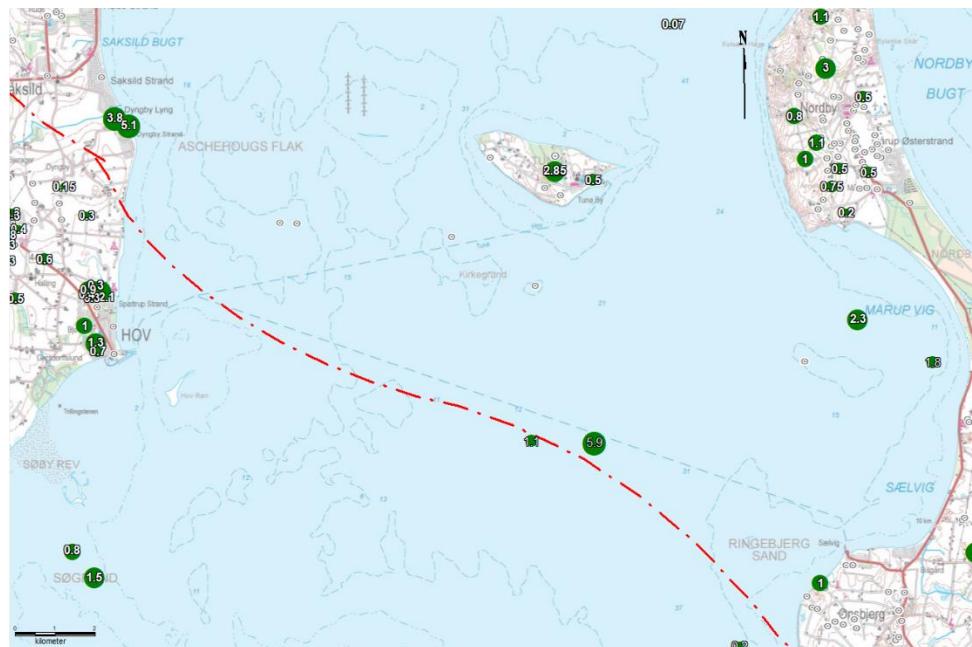
Figur 3-23 Boringer (markeret med grønt) med postglaciale aflejringer på den vestlige del af Røsnæs og på Asnæs. Tallet angivet den tolkede tykkelse i meter af de postglaciale aflejringer.



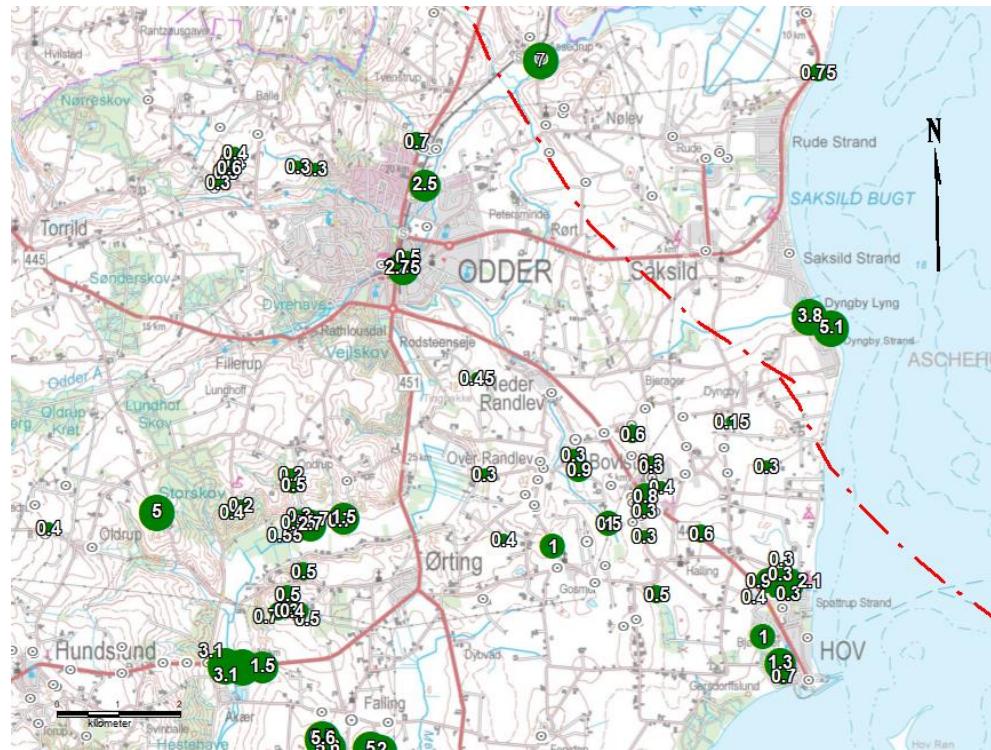
Figur 3-24 Boringer (markeret med grønt) med postglaciale aflejringer i farvandet mellem Sjælland og Samsø, Kattegat Øst. Tallet angiver den tolkede tykkelse i meter af fylde laget.



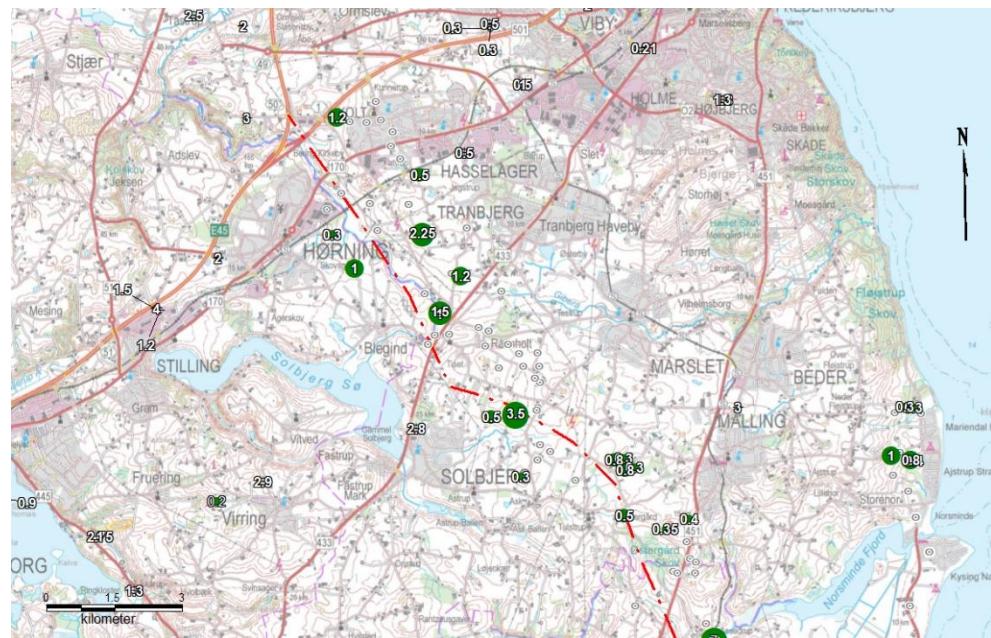
Figur 3-25 Boringe (markeret med grønt) med postglaciale aflejringer på den sydlige og centrale del af Samsø. Tallet angiver den tolkede tykkelse i meter af de postglaciale aflejringer.



Figur 3-26 Boringe (markeret med grønt) med postglaciale aflejringer i farvandet mellem Samsø og Østjylland. Tallet angiver tolket tykkelse i meter af de postglaciale aflejringer.



Figur 3-27 Boringer (markeret med grønt) med postglaciale aflejringer i den østlige del af Jylland. Tallet angiver tolket tykkelse i meter af de postglaciale aflejrer.



Figur 3-28 Boringer (markeret med grønt) med postglaciale aflejringer i den vestlige del af linjeføringskorridoren. Tallet angiver tolket tykkelse i meter af de postglaciale aflejrer.

Den tolkede mægtighed af fyld og postglaciale aflejringer fremgår af Bilag L. Kortet er fremstillet på den måde, at tolket underside af fyld og postglaciale aflejringer er interpoleret ved Kriging interpolation med 200 m celleafstand. I områder uden boringsinformationer, kan man ikke regne med at mægtighederne af

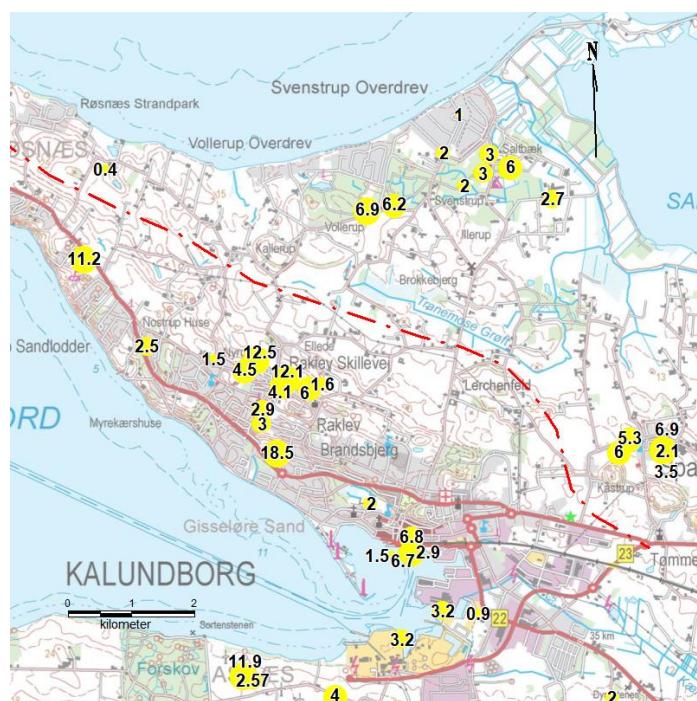
fylde og postglaciale aflejringer der angives i Bilag L er troværdige. På kyst til kyst strækningerne er borerne ofte så korte, at det ikke vides om de er boret igennem de postglaciale aflejringer. De informationer, der vises på Figur 3-24 og Figur 3-26, viser ikke den samlede mægtighed af postglaciale aflejringer, kun den mægtighed, der ved hver enkelt boring er tolket som postglacial og som ofte ikke er gennemboret. Hvor laget udelukkende er beskrevet som f.eks. "SAND", kan det være både postglacialt og senglacialt, og der kan træffes organiske aflejringer under. Der er derfor valgt ikke at lave bilag for disse områder, da grundlaget er for usikkert.

3.9.3 Øvre sand

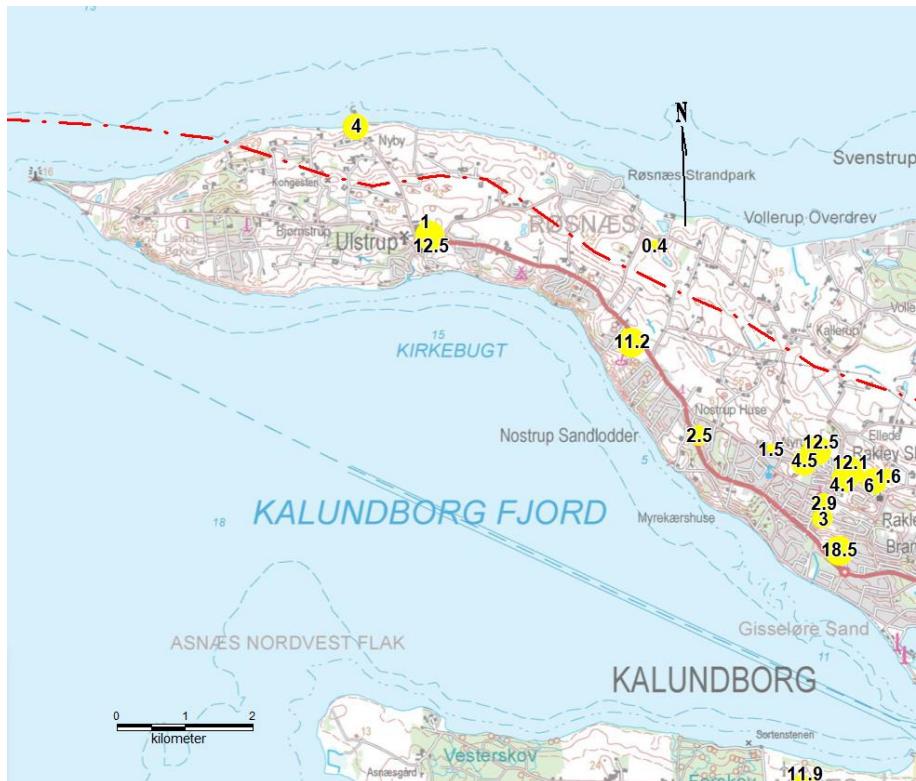
Den øverste sandenhed træffes jævnligt under fylde, post- eller senglaciale leraflejringer eller lokalt fra boringsoversiden. Den øvre glaciale enhed, der ofte også er senglacial, består af sandede og lokalt grusede smeltevandsaflejringer, der er aflejret af floder på smeltevandssletter, relateret til den sidste afsmeltningsfase af indlandsisen.

I en del borer med simpel lagbeskrivelse, er dette overfladenære sandlag blot beskrevet som sand. Det øvre sandlag kan i sådanne tilfælde både være aflejret af smeltevand, men kan også være f.eks. marint, ferskvandssand eller endda vindaflejret sand. Da alderen af det øvre sand dermed ikke altid er entydig, kan det ikke vides om det er funderingsegnet. Lokalt, på sydsiden af Røsnæs og ved enkelte lokaliteter i Jylland er der truffet mægtige, op til 12 m tykke lag af den øvre sandenhed, mens der er truffet 3 m til 8 m på Samsø.

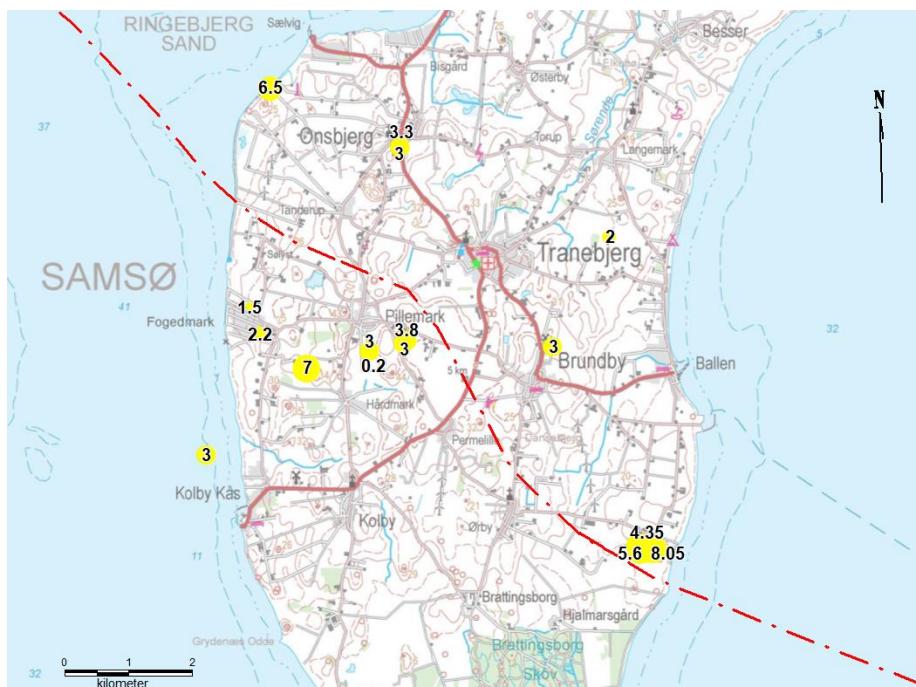
Tykkelsen af lag, tolket som den øvre sandenhed, samt de borer, hvor aflejringen er beskrevet i, fremgår af Figur 3-29 til Figur 3-33.



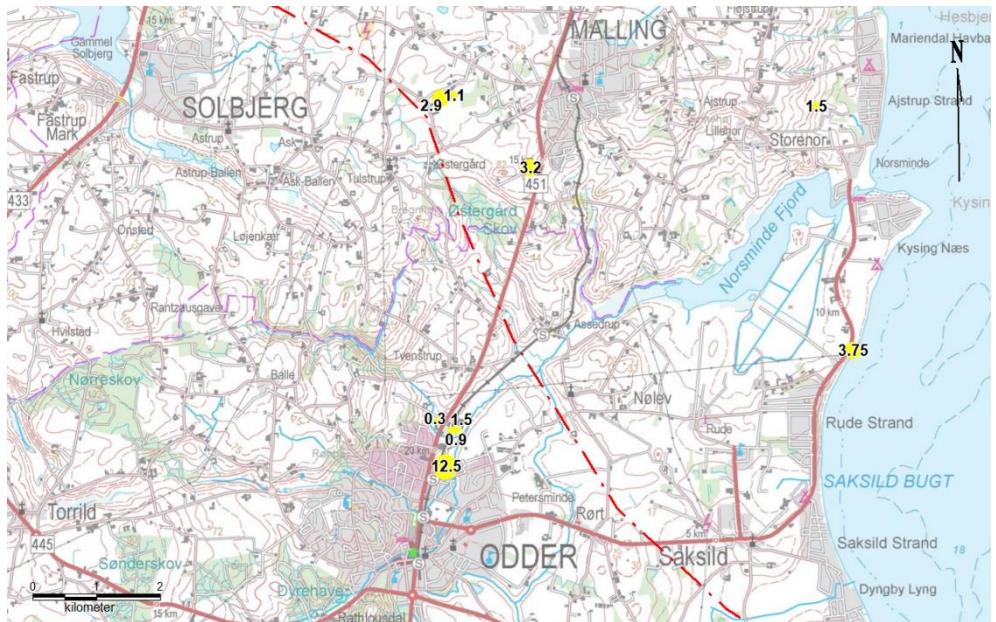
Figur 3-29 Borer (markeret med gult) med øvre sandaflejringer på den østlige del af Røsnæs. Tallet angiver tolket tykkelse i meter af den øvre sand.



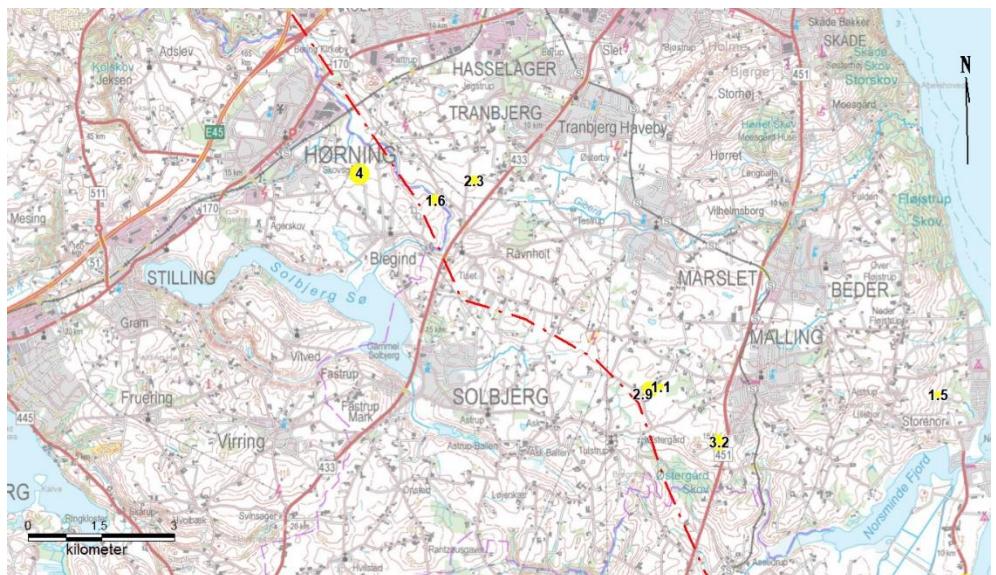
Figur 3-30 Boringer (markeret med gult) med øvre sandaflejringer på den vestlige del af Røsnæs. Tallet angiver tolket tykkelse i meter af den øvre sand.



Figur 3-31 Boringer (markeret med gult) med øvre sandaflejringer på Samsø. Tallet angiver tolket tykkelse i meter af den øvre sand.



Figur 3-32 Boringe (markeret med gult) med øvre sandaflejringer i den østlige del af Jylland. Tallet angiver tolket tykkelse i meter af den øvre sand.



Figur 3-33 Boringe (markeret med gult) med øvre sandaflejringer i den vestlige del af korridoren. Tallet angiver tolket tykkelse i meter af den øvre sand.

3.9.4 Øvre moræneler og smeltevandsler

Under den øvre smeltevandsenhed findes den øvre morænelerenhed, der er regionalt udbredt i området, dog med betydelige variationer i tykkelse. Lokalt er enheden helt eller delvist borteroderet og gennemskåret af smeltevandssand og grus fra øvre smeltevandsenhed.

Enheden tolkes at være afsat som en bundmoræne under det Ungbaltiske isfremstød eller det efterfølgende genfremstød, Bælthavsfremstødet. De øverste dele er formentlig afsat som flydemoræne/ablationsmoræne, og vil derfor lokalt have betydeligt ringere styrke end bundmoræneaflejringerne.

Den øvre lerenhed kan bestå af både moræneler og glacialt smeltevandsler, samt leret smeltevandssilt. Smeltevandsleret kan lokalt være meget fedt.

Storebæltsrenden er eroderet ned i den øvre lerenhed. Der kan indgå flager af både prækvartære såvel som ældre kvartære aflejringer i den øvre lerenhed. Der må også forventes blokke og store blokke. Danmarks største kendte itransporterede sten, Hesselagerstenen, en gnejs på godt 1000 tons, er fundet ca. 60 m syd for området.

Den beregnede dybde til oversiden af den øvre lerenhed er angivet på Bilag M. Dybden er beregnet ved at interpolere dybde til tolket overside af den øvre lerenhed. De viste dybder i områder uden eller med ringe boringsintensitet, er dermed forbundet med stor usikkerhed.

3.9.5 Mellem smeltevandssand og -grus

Øvre moræneler underlejres typisk af smeltevandsaflejringer af sand og grus. Sand og grus kan erfaringsmæssigt være rigt på sten og blokke.

Den mellemste sandenhed adskiller den øvre fra den nedre lerenhed, og er fundet i mange af borerne både på Sjælland, Samsø og Jylland. Kun ganske få af borerne til havs er nået igennem den, hvorfor viden om tykkelse og dybder til denne enhed er meget usikker. Det må dog formodes, at den mellemste sandenhed også kan træffes mellem moræneenhederne i Kattegat, ligesom det er vist på de simplificerede geologiske profiler. Flager af smeltevandssand kan også indgå i den øvre moræneenhed.

3.9.6 Nedre moræneler og smeltevandsler

Den nedre ler-enhed omfatter både moræneler og smeltevandsler, og den træffes typisk under den mellemste smeltevandsenhed. Denne ler-enhed er fundet i flere af borerne på landområderne, særligt i det jyske, mens ingen af de tilgængelige borer i havområderne er dybe nok til at være stødt på den. Det forventes dog, at denne enhed fortsætter ud under havområderne som det er angivet på de simplificerede længdeprofiler.

Erfaringsmæssigt kan der findes et stenlag ved oversiden af den nedre ler-enhed, dette lag er dannet som en restaflejring ved smeltevandserosion i oversiden af laget i forbindelse med isens bortsmeltnings fra området. Ligesom den øvre lerenhed, kan der træffes flager af prækvartære eller ældre kvartære aflejringer i enheden, og der må også forventes lokalt blokke og endog store blokke.

Under den nedre ler-enhed kan der forventes ældre smeltevandsenheder fra afsmeltnings af tidlige faser af Weichsel istiden eller tidlige istiders gletsjere, f.eks. Elster og Saale. Aflejringer fra de tidlige nedisninger findes særligt i de prækvartære dalsystemer, som findes indenfor projektområdet på Jyllandssiden nord og øst for Solbjerg Sø og umiddelbart øst for Kolt, (Sørensen J. , 2005).

3.9.7 Nedre smeltevandssand og -grus

Der er lokalt truffet lag af smeltevandssand og -grus under dette lerlag. Dette lag er dog kun fundet i ganske få borer, hvorfor viden om forekomst og tykkelse er behæftet med stor usikkerhed.

Under istidens aflejringer findes de prækvartære lag, der omfatter sedimentære aflejringer fra Palæocæn, Eocæn, Oligocæn og Miocæn. Disse aflejringer findes også lokalt som flager, opskudt ved isranden og indlejret i moræneaflejringerne.

3.9.8 Flager af prækvartære aflejringer i glaciale aflejringer

I en del borer er der beskrevet intervaller af prækvartære aflejringer i den glaciale lagserie. I nogle tilfælde er borerne stoppet i prækvartære aflejringer i områder, hvor den forventede dybde til prækvartæroverfladen jf. (GEUS, Prækvartæroverfladens højdeforhold 1:250.000, 1994) forventes at være betydeligt større. I disse tilfælde antages borgen at være stødt på en flage, men at der ikke er boret igennem flagen. Forekomster af tolkede flager i borer og tykkelsen af flagerne fremgår af Figur 3-34 til Figur 3-37 samt på Bilag N.



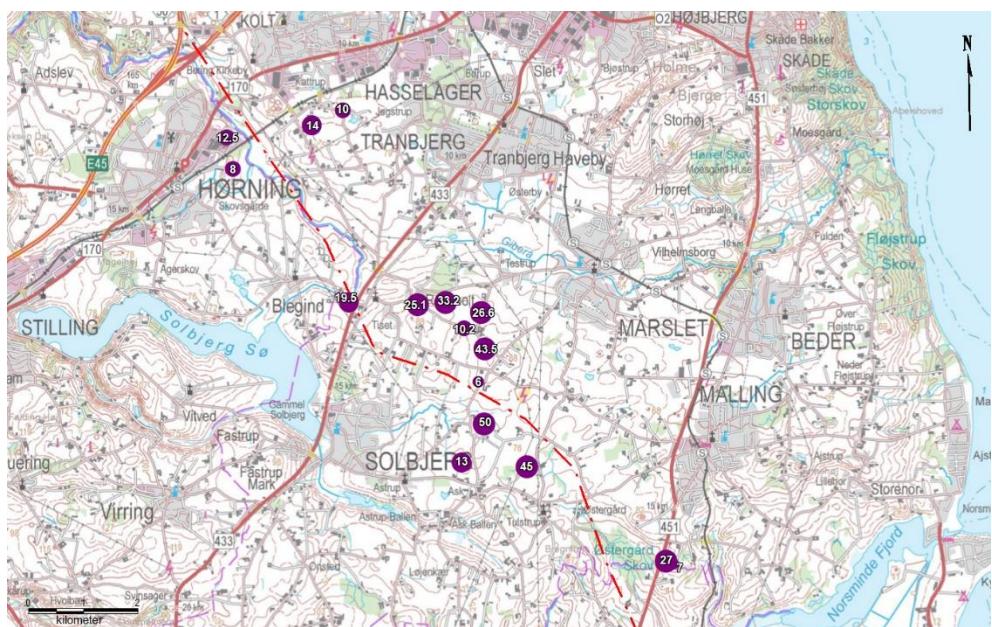
Figur 3-34 Borer (markeret med lilla) med tolkede flager af prækvartære aflejringer i den glaciale lagserie på Røsnæs og Asnæs. Tallet angiver den tolkede tykkelse i meter af den prækvartære flage.



Figur 3-35 Boringer (markeret med lilla) med tolkede flager af prækvartære aflejninger i den glaciale lagserie på Samsø. Tallet angiver den tolkede tykkelse i meter af den prækvartære flage.



Figur 3-36 Boringer (markeret med lilla) med tolkede flager af prækvartære aflejninger i den glaciale lagserie i den østlige del af Jylland. Tallet angiver den tolkede tykkelse i meter af den prækvartære flage.



Figur 3-37 Boringe (markeret med lilla) med tolkede flager af prækvarterære aflejring i den glaciale lagserie i den vestlige del af linjeføringskorridoren. Tallet angiver den tolkede tykkelse i meter af den prækvarterære flage.

Det fremgår af Figur 3-34 til Figur 3-37, at prækvarterære flager primært er truffet på den sydlige del af Røsnæs og kan træffes flere steder på Samsø. På Røsnæs og Samsø består flagerne primært af Røsnæsler og Lillebæltssler, mens Æbelø ler primært træffes som flager på Røsnæs. På Jyllandssiden må der også forventes prækvarterære flager lokalt, særligt i de kystnære områder, og ofte bestående af de miocæne glimmerlere og -sand. Der er ikke truffet prækvarterære flager i Kattegat, men det skyldes at der er for få boringe, og at boringerne ikke er dybe nok. Prækvarterære flager findes højst sandsynligt også i de glaciale aflejninger i Kattegat. Litologien af de prækvarterære flager er betinget af den prækvarterære stratigrafi under de områder, isen har passeret. Den prækvarterære stratigrafi fremgår af Figur 3-12 og Bilag B.

3.9.9 Paleocæn plastisk ler og mergel

Paleocæn ler er repræsenteret i flager af sort plastisk ler fra Æbelø Formationen på Røsnæs (Gravesen, P., Binderup, M., Houmark-Nielsen, M. & Krüger, J., 2017). Ler fra Æbelø Formationen er en ret fed til fed, svagt siltet, grå og gråsort, kalkfri til svagt kalkholdig ler, som i Sjællandsområdet kun er fundet i opskudte flager på Røsnæs og omkring Bjergsted Bakker, (Gravesen, P., Binderup, M., Houmark-Nielsen, M. & Krüger, J., 2017). Leret træffes også i klinter på Djursland, men er herudover vidt udbredt i den centrale del af Nordsøen (Binderup, M., Buchardt, B., Gravesen, P., Heilmann-Clausen, C., Knudsen, K.L., Korstgård, J., Krüger, J., Larsen, G., Noe-Nygaard, N., Odgaard, B., Skovbjerg Rasmussen, E., Surlyk, F. & Vejbæk, O.V., 2012). Dele af formationen indeholder talrige kalk- og/eller kiselcementerede lag (Ditlefsen, C., Sørensen, J., Marslev Pallesen, T., Pedersen, D., Bjørnslev Nielsen, O., Christiansen, C., Hansen, B. & Gravesen, P., 2008).

3.9.10 Eocæn plastisk ler og mergel

Det eocæne plastiske ler omfatter bl.a. det rødlige/gullige, ofte kalkholdige Røsnæsler, det grønlige og mørkegrå, ofte kalkfrie Lillebæltsler og det lysegrå til hvide Søvindmergel, sidstnævnte har vekslende kalkindhold. Røsnæsleret udgør det prækvarterære underlag på Røsnæs, og udgør det ældste eocæne plastiske ler. Den røde farve stammer fra iltede jernforbindelser.

Det plastiske ler er typisk meget fedt og kan optage og afgive store mængder af vand. Ved vandoptagelsen sker der kvældning, der kan løfte konstruktioner og medføre udskridninger ved selv små hældninger (Sørensen I., 2019), og leret kan dermed blive utrolig blødt og ustabilt. Leret skrumper ved udtørring, hvilket kan medføre sætningskader.

Lerets geotekniske egenskaber er stærkt varierende, og er korreleret med store variationer i lerets kalkindhold. De kalkholdige lag har langt gunstigere geotekniske egenskaber end de kalkfattige lag, hvorfor lerets egenskaber forringes betydeligt i forbindelse med kalkudvaskning, der med tiden sker i de terrænnære lag (Okkels, N. & Juul, K., 2009). I leret findes ofte talrige små glatte sprækkeflader, hvor lermineralerne er blevet ensrettet som følge af en brudbevægelse. Sprækker ses hyppigst i de kalkfattige lag

På trods af at leret har været dækket af op mod 2000 m is i lange perioder af Kvartæret, er der flere indikationer på, at især de stærkt smectit-holdige lerarter "glemmer" noget af deres forkonsolideringsspænding ved aflastning (Krogsbøll, Hedeland, & Foged, 2012), (Femern A/S, 2014). Undersøgelser viser, at trods tidligere høj vertikal belastning er overkonsolideringsgraden for f.eks. Røsnæsler kun i størrelsesordenen $OCR = 1,5 - 5$.

3.9.11 Miocæn glimmersand

Glimmersand fra Miocæn findes ofte som lyst til hvidt kvartssand iblandet lyse glimmerskæl. Glimmersandet er typisk fint til mellemkornet, og er fast og velkonsolideret af senere isoverskridelser. Det miocæne glimmer- og kvartssand er typisk fast. Glimmersandet findes typisk i Østjylland over Søvindmergen.

3.9.12 Miocæn glimmerler, kvartssand og brunkul

De miocæne ler- og siltlag er næsten alle karakteriseret ved et betydeligt indhold af organisk materiale og fint fordelt pyrit (FeS_2), der begge er medvirkende til at give aflejringen ofte mørkebrune til sorte farver.

Leret, der kan inddeltes i seks forskellige geologiske formationer, er aflejret i lav-vandsmarine til fluviatile og lakustrine miljøer med lagunekyster, tidevandsrender, barriæreører og store deltaer i kystområdet, (Skovbjerg Rasmussen, E., Dybkjær, K. & Piasecki, S., 2010). Nogle af de miocæne lerlag har oprindelig haft karakter af gytje, men har tabt den typiske gytjekarakter igennem en kraftig konsolidering. Leret er også karakteriseret af et stort indhold af lys glimmer, hvorfor leret ofte betegnes glimmerler.

Glimmerleret er i de fleste tilfælde en fed og meget fast jordart, der ofte er sandlamineret og lokalt beskrevet som brunkulslignende, med indhold af hårde, lette klumper. I ældre boringer er det ofte også beskrevet som "smuldrende", lokalt brokket uden lagdeling.

Der kan forekomme sprækker og glideflader i glimmerleret, men de optræder mindre hyppigt end i det palæogene ler. Forekomst af tynde vandførende silt- og sandlag i glimmerleret kan medføre en ringe skråningsstabilitet. Træffes miocænt glimmerler som større flager i moræneaflejringer kan det medføre sætningsproblemer.

3.10 Simplificeret geologisk længdeprofil

De historiske boringer danner basis for en 3D geologisk model for området. Modellen er opstillet i GeoScene 3D, og omfatter tolkede lag fra knap 1500 boringer inden for undersøgelseskorridoren. Boringsgrundlaget for den geologiske model er angivet i Bilag K. Bilaget angivet de boringer, der er medtaget i modellen med en særlig signatur for boringer, der er ført til prækvartæreroverfladen. Boringer ført til prækvartæreroverfladen viser hele den kvartære lagfølge, hvorfor sikkerheden af modellen er højest i disse områder.

Koterne for bund af lag i de enkelte boringer er interpoleret ved Kriging metoden, med en søgeradius på mellem 2000 m og 5000 m afhængigt af områdets boringsintensitet. Den store søgeradius er nødvendig på grund af den lokalt relativt lave boringsintensitet, særligt i Kattegat, med henblik på at skabe sammenhængende lagflader kyst til kyst. Der er også indsat tolkningspunkter i havområderne, og den kvartære lagfølge kyst-til-kyst er derfor særlig usikker og beror udelukkende på en tolkning. Lagene er griddet med 50 m punktafstand og justeret med 0,1 m lagafstand for at hindre krydsene laggrænser.

Prækvartæreroverfladen er dannet ved digitalisering af GEUS' prækvartæreroverfladens højdeforhold, (GEUS, Prækvartæreroverfladens højdeforhold 1:250.000, 1994), kombineret med prækvartæreroverflade identificeret i boringer yngre end kortet.

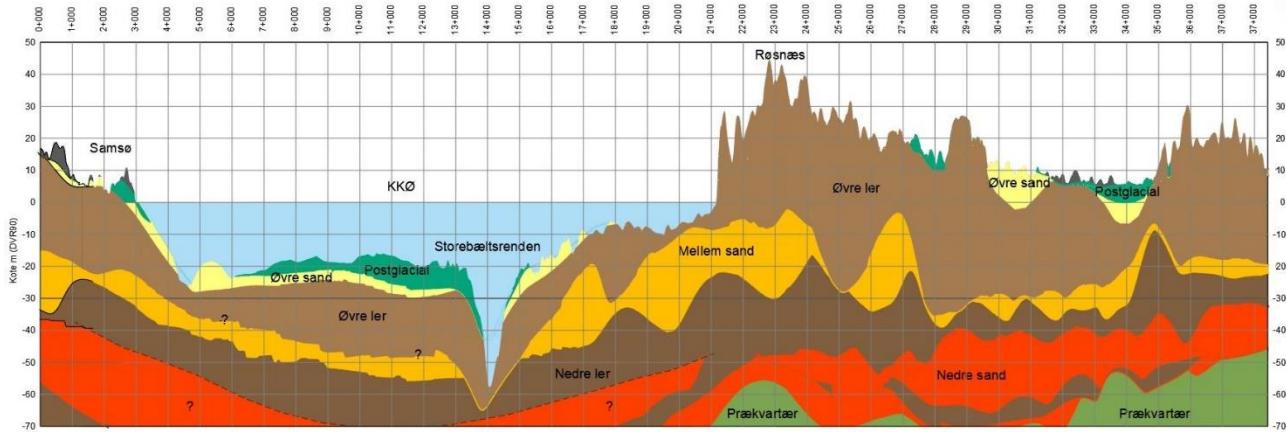
Det simplificerede geologiske profil på Figur 3-38 viser den tolkede stratigrafi langs korridoren fra Røsnæs til Samsø, KKØ-02-SJ01SØ01. Det må understreges, at de optegnede geologiske længdeprofiler er tolkede, og at den faktiske lagfølge kan afvige betydeligt fra det viste, særligt i områder med ringe boringsintensitet.

3.10.1 Røsnæs til Samsø

Det tolkede og simplificerede geologiske profil langs korridor KKØ-02-SJ01SØ01 fra Røsnæs til Samsø er vist i Figur 3-38.

Profilet er modifieret på basis af lagflader fra den geologiske model. Profilet er kun tegnet til kote -70 m DVR90, da usikkerheden på dybere lag er meget stor, særligt til havs, hvor der ikke er dybe boringer til rådighed for den geologiske

modellering, kun enkelte, korte boringer. Den glaciale lagfølge, der træffes under landområderne må imidlertid forventes at fortsætte kystværts, som illustret på det skematiske geologiske profil.



Figur 3-38 Tolket og simplificeret geologisk profil fra Røsnæs til Samsø, korridor KKØ-02- SJ01SØ01.

Boringsinformationer viser, at der kan træffes op til 3,8 fyld lokalt på Røsnæs, mens der er fundet indtil 4,2 m fyld på Samsø. Fyldforekomster er helt lokale, og kan i de ovennævnte tilfælde udgøre opfyldte brønde eller lignende.

Fyld findes generelt sporadisk og i stærkt varierende tykkelser og sammensætninger. Der forventes ikke fyldlag i havområderne.

Postglaciale aflejringer træffes primært i dødislandskabet på Samsø, ofte i lavningerne mellem bakkedragene, hvor der er truffet op til 11-12 m postglaciale aflejringer, samt i det gamle moseområde, Tranemose og langs Tranemosegrøften syd for Brokkebjerg. På den sydlige del af Røsnæs er der lokalt fundet på til 18 m postglaciale aflejringer.

Under de postglaciale aflejringer træffes lokalt øvre sandenhed, men ofte findes moræneler fra terræn eller under et tyndt mulddække på Røsnæs. Der er beskrevet en del flager af prækvarteræ aflejringer primært på sydsiden af Røsnæs, men er også truffet på den nordlige del.

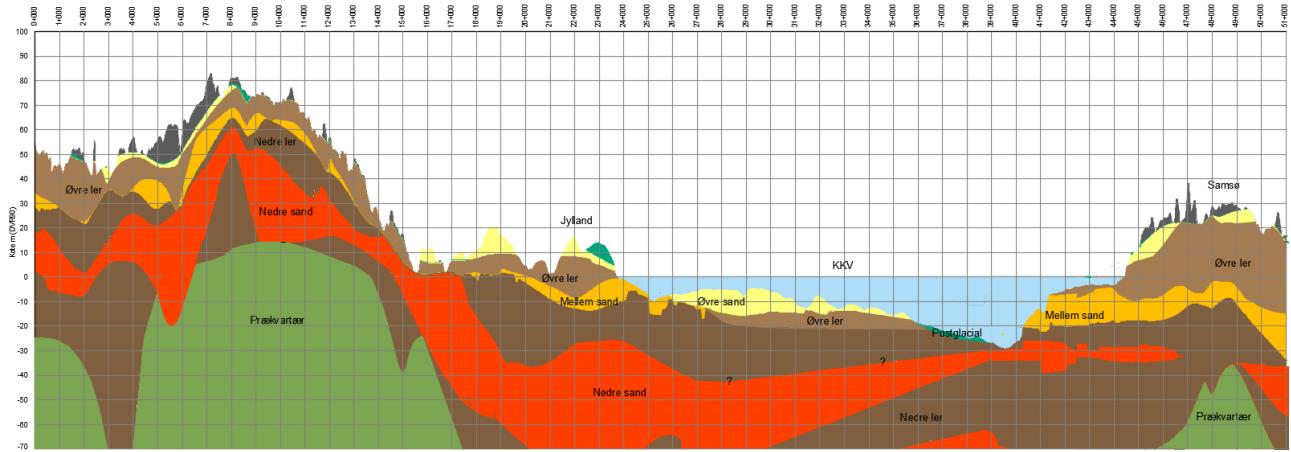
På havbunden omkring Røsnæs og Samsø forventes der moræneaflejringer samt generelt i områder over kote -20 m. Sandbund træffes også, generelt forventes et forholdsvis tyndt dække over moræneaflejringer. Storebæltsrenden er skåret ned i moræneler, forventet til den nedre moræne.

På Samsø viser boringsgrundlaget også en overvægt af terrænnære moræneaflejringer, lokalt med et dække af senglacialt sand.

3.10.2 Samsø til Jylland

Det tolkede og simplificerede geologiske profil langs korridor KKV-02-SV01JY0 fra Samsø til Jylland er vist i Figur 3-39.

Profilen er behæftet med en betydelig usikkerhed, særligt under havområderne, mens usikkerheden er mindre på Jyllandssiden. Med undtagelse af en 2-3 km bred og op til 30 m dyb rende umiddelbart vest for Samsøs kyst, er havbunden mellem Samsø og Jylland relativt højtliggende, mellem kote -2 m til -12 m. I den lavliggende del af havbunden viser sedimentkortet sand, og enkelte boringer fra den vestligste del af Kattegat viser moræneler under 0,5-1 m sand.



Figur 3-39 Tolket og simplificeret geologisk profil fra Jylland til Samsø, korridor KKV-02-SV01JY01

Ved den østjyske kyst er der lokalt truffet op til 5 m fyld nær Dyngby Strand, mens fyldtykkelsen varierer videre mod vest. Postglaciale aflejringer træffes lokalt i de tidlige dødsislandsråder og lokalt også til havs, hvor der samtidig kan forventes øvre sand over de glaciale aflejringer. Moræneler med mellemliggende sandlag forventes at fortsætte fra landområderne til havs, men modellen er tolket og de optegnede geologiske lag er dermed forbundet med en meget stor usikkerhed.

Der er en højdryg i prækvartæroverfladen på Jyllandssiden omkring Solbjerg. Både syd og nord for findes flere prækvartære dalsystemer, der skærer gennem prækvartæroverfladen. Dalene er opfyldt med glaciale aflejringer, der er afsat i forbindelse med tidlige istider end den seneste. Der er også lokalt mægtige lag af sand og grus, særligt i smeltevandsdalene ind gennem Norsminde Fjord, ved Stilling Sø og Århus Å.

Overalt i de glaciale aflejringer må der forventes flager af prækvartære aflejringer, som lokalt kan opnå betydelige tykkelser på 20-30 m, lokalt op til 50 m. På en del af flagerne er der ikke boret til bund, og i disse områder kan det også være prækvartære aflejringer der er skubbet op ved eksempelvis begravede randmoræner.

4 Geotekniske forhold langs linjeføringskorridorer

Den geologiske model giver et hovedindtryk af, hvilke jordbundsforhold der kan forventes under de valgte linjeføringskorridorer, og formålet med dette afsnit er at sammenholde den geotekniske viden, der er tilgængelig på nuværende tidspunkt, med den geologiske model, der er blevet etableret.

Den geologiske model præsenteret i afsnit 3.9 er det bedste bud på, hvordan geologien under de undersøgte linjeføringskorridorer ser ud, ud fra det på nuværende tidspunkt tilgængeligt datagrundlag. Datagrundlaget er, som beskrevet i afsnit 2.1 og vist på Bilag A, begrænset til få geotekniske borer. Der er derfor en begrænset mængde data til rådighed for en egentlig analyse og vurdering af de geotekniske parametre for de forventede jordbundsforhold. Hvor der på nuværende tidspunkt ikke er tilgængeligt data er der indarbejdet traditionel dansk empiri i vurderingerne. I så tilfælde er dette tydeligt beskrevet, hvis parametrene er baseret på empiri.

De geotekniske parametre omfatter rumvægt, naturligt vandindhold, udrænet forskydningsstyrke (for kohæsionsjord baseret på målte vingestyrker og/eller CPT q_c -værdier), lejringstæthed (for friktionsjord baseret på målte SPT N-værdier og/eller CPT q_c -værdier) samt stivhed i form af et konsolideringsmodul. Da jordbundsforholdene varierer en del, vil de geotekniske parametre ofte blive vurderet indenfor et interval af værdier.

Seks overordnede units er skitseret i den geologiske model. Disse units er anvendt i den geotekniske analyse og tolkning, og inkluderer:

- > Fyld
- > Post- og senglaciale aflejringer
- > Øvre (sen)glaciale smeltevandssand og -grus
- > Øvre moræneler og smeltevandsler
- > Mellem smeltevandssand og -grus
- > Nedre moræneler og smeltevandsler
- > Nedre glaciale smeltevandssand og -grus
- > Prækuartære aflejringer

Der er udarbejdet et simplificeret geologisk længdeprofil langs med den foretrukne korridor. Længdeprofilet understøtter beskrivelserne i afsnittene nedenfor og kan ses Figur 3-38 og Figur 3-39 samt på Bilag O og Bilag P.

Mægtighederne af de trufne fyld- og postglaciale aflejringer er vist på Bilag L. Beskrivelse af de lokale variationer af fyld- og postglaciale aflejringer omkring linjeføringskorridorerne er givet i afsnittene nedenfor.

For funderingsdesign er bæredygtige aflejringer karakteriseret som værende (sen)glaciale jordlag i form af senglacialt smeltevandssand og/eller glaciale morænesand/-ler. Tolket dybde til oversiden af de bæredygtige aflejringer er fremstillet som to forskellige kort. Det ene kort, Bilag L, angiver mægtigheden af fyld, postglaciale aflejringer og hvor muligt også senglacialt ler. Kortet er fremstillet på den måde, at tolket mægtighed af fyld, postglaciale aflejringer og senglaciale lerlag er interpoleret ved Kriging interpolation. Den viste mægtighed er dermed meget usikker i områder uden eller med ringe boringsintensitet. Kortet viser dermed dybden til det øvre sand.

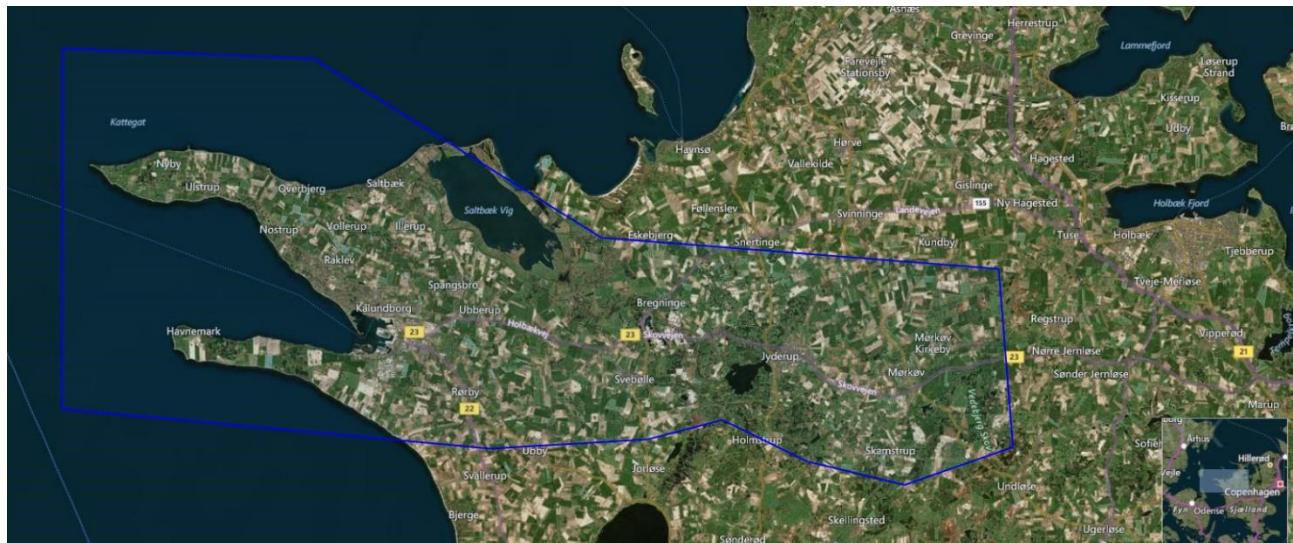
Det andet kort, Bilag M, viser dybden til lag tolket som øvre moræneler. Dette kort er fremstillet ved at interpolere tolkede dybder til undersiden af øvre sandenhed/overside øvre lerenhed i tilgængelige borer. Koterne er interpoleret på tilsvarende måde som mægtigheder af fyld, postglaciale aflejringer og senglaciale lerlag. De viste dybder er meget usikre i områder uden borer eller med ringe boringsintensitet.

I enkelte områder er flager af de prækuartære aflejringer blevet skubbet op i de kvartære aflejringer og ligger som dislocerede elementer. Bilag N viser disse flagers forventede lokalisering. Der kan forventes at findes dislocerede flager af prækuartære aflejringer andre steder end dem, der er vist på Bilag N.

4.1 Sjælland

4.1.1 Udførte undersøgelser

For de mulige linjeføringskorridorer på Sjælland er det valgt at undersøge og inkludere data fra geotekniske undersøgelser udført indenfor et afgrænset areal som vist på Figur 4-1.



Figur 4-1 Kortudsnit, der med blåt skitserer interesseområdet for linjekorridorerne på Sjælland.

De geotekniske undersøgelsespunkter udført på Sjælland omkring den valgte linjeføring er karakteriseret ved at være forholdsvis korte borer med en typisk boredybde på få meter ned til en maksimal dybde på ca. 10-14 m under eksisterende terræn.

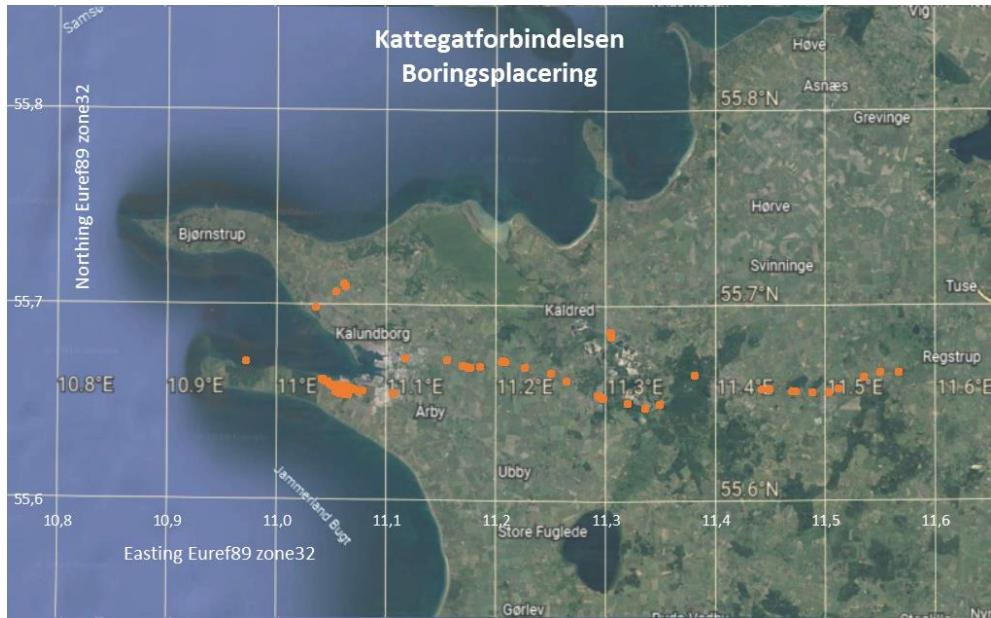
De geotekniske borer, der på tidspunktet for dette fagnotats tilblivelse var digitaliseret og derved indgår i datagrundlaget for de forskellige geotekniske parametre, er listet i Tabel 4-1.

Tabel 4-1 Geotekniske undersøgelsespunkter, der indgår i datagrundlaget for analyse af parametre.

Projekt	Boring	X UTM	Y UTM	Terræn [DVR90]
Omfartsvej vest om Bregninge	LB1, LB2, LB3, LB4	664.840 – 644.884	6.173.066 – 6.173.359	2,9 – 3,7
Hallas Alle, Kalundborg	GB1_1, GB2_	633.160	6.171.586	9,9 – 10,3
Kalundborg. Lerchenborg	B1, B2, B3, B4, B5, B6, B7, B8, B9, B10, B11, B12, B13, B14, B15, B16, B17, B18, B20, B101, B102, B201, B202, B301, B302, B401, B402, B501, B601, B602	628.415 – 630.735	6.169.417 – 6.170.286	7,2 – 17,2
The electricification programme, Ro-Kb	B/CPT78.632-06L, B/CPT83.835-06L, B/CPT86.277-07L, B/CPT95.400-00, B/CPT97.200-05R, B100.135-10R, B101.667-10R, B104.350-00, B105.407-06R, B106.323-07R, B79.685-06R, B80.645-09L, B82.241-13L, B86.722-07R, B90.641-00, B93.431-15L, B94.350-00, B99.142-06L	635.555 – 661.423	6.169.152 – 6.171.761	10,2 – 30,6
NV banen - Elektrificering, ...*	Bro 16244-GB01 til -GB08, Bro 16280-GB01, -GB04 til -GB06, Bro 16284- GB01 til -GB06	636.703 – 655.585	6.169.609 – 6.171.556	12,6 – 20,1
Kalundborg, Melby-vej	B1, B2	632.493 – 632.517	6.169.581	11,1

* ...hastighedsopgradering og sporfornyelse, Roskilde – Kalundborg.

Placeringen af boringerne, der er listet i Tabel 4-1, er vist på Figur 4-2.



Figur 4-2 Placing af de digitaliserede borer, der indgår i datagrundlaget for evaluering af de forskellige geotekniske parametre på Sjælland.

På baggrund af tilgængeligt materiale er der udarbejdet simplificerede geologiske profiler. Det simplificerede geologiske profil for Sjælland, hvor linjeføringen går op over Røsnæs til Samsø, er vist på Figur 3-38.

Karakteristika for de trufne jordlag er beskrevet og diskuteret i de forskellige afsnit nedenfor. En samlet konklusion inklusiv en sammenfatning af de forskellige geotekniske parametre – til anvendelse for eventuelle indledende skitseanalyser – for de forskellige trufne jordlag er givet i afsnit 4.1.10.

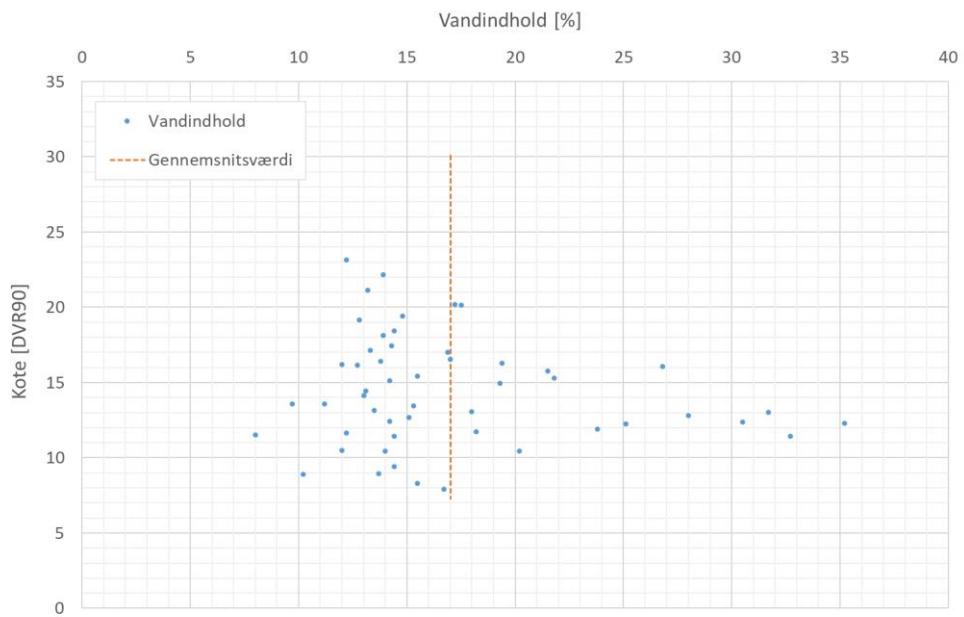
4.1.2 Fyld

De trufne fyldaflejringer varierer stærkt i hele området, og vil have helt lokale karakteristika alt efter hvilke bygninger og/eller anlæg, der er de enkelte steder. Der må forventes at træffe fyld ved alle boringslokaliteter.

Generelt er fyld truffet som enten

- > sandet, siltet og leret muld/lermuld med indhold af tørv og roddele,
- > sandet til stærkt sandet, svagt siltet og gruset ler med indhold af muld eller
- > fin- til grovkornet, usorteret, svagt leret og gruset sand.

Der er gennemført 51 vandindholdsbestemmelser på prøver af fyld (her typisk på ler/lermuld og muld), cf. Figur 4-3. Det naturlige vandindhold varierer mellem 8 og 35 % med et gennemsnit på ca. 17 %.

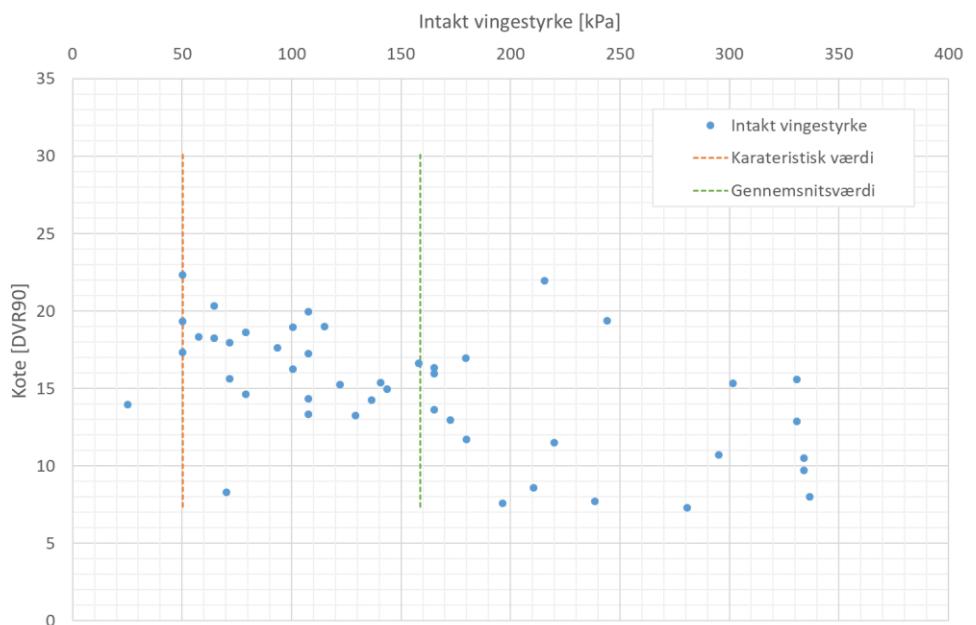


Figur 4-3 Naturligt vandindhold bestemt på prøver af fyld i form af ler, lermuld eller muld.

Statistisk analyse på det målte vandindhold er:

Antal	51
Gennemsnit	17,0 %
Spredning	6,2 %
Konfidensinterval (95% t-fordeling)	1,7 %
Nedre værdi	15,3 %
Øvre værdi	18,8 %

Den intakte vingestyrke er målt 46 gange, cf. Figur 4-4. Den intakte vingestyrke er målt i intervallet 25 – 337 kPa med et gennemsnit liggende på 158 kPa.



Figur 4-4 Intakt vingestyrke målt i fyld (ler, lermuld eller muld).

Ud fra de målte værdier kan en karakteristisk værdi, bestemt som 95% fraktil-værdien, sættes til 50 kPa.

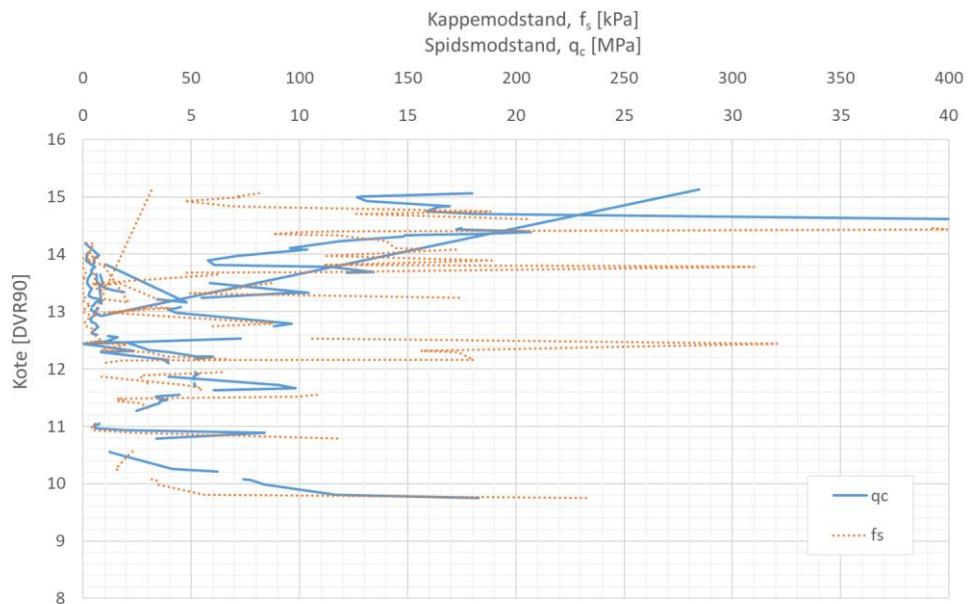
Statistisk analyse på den målte vingestyrke er:

Antal	46
Gennemsnit	158,7 kPa
Spredning	91,3 kPa
Konfidensinterval (95% t-fordeling)	27,1 kPa
Nedre værdi	131,6 kPa
Øvre værdi	185,8 kPa

Enkelte CPT-forsøg er ført gennem fyldlagene, cf. Figur 4-5, og har målt en spidsmodstand, q_c , mellem 0 og ca. 40 MPa. Kappemodstanden, f_s , er målt mellem 0 og ca. 400 kPa.

Statistisk analyse på de målte CPT-værdier er:

	q_c	f_s
Antal	185	185
Gennemsnit	4,5 MPa	45,2 kPa
Spredning	6,0 MPa	70,5 kPa
Konfidensinterval (95% t-fordeling)	0,9 MPa	10,2 kPa
Nedre værdi	3,7 MPa	34,9 kPa
Øvre værdi	5,4 MPa	55,4 kPa



Figur 4-5 Målt spids- og kappeflademodstand i fyld (ler, lermuld, muld og sand).
Kappemodstand er vist med orange linjer, spidsmodstand er vist med blå linjer.

Der er ikke udført SPT-forsøg i de trufne fyldaflejringer.

4.1.3 Post- og senglaciale aflejringer

Postglacial tørv og gytje

Postglacial tørv og gytje er truffet i borerne, der er markeret på Figur 4-6. De organiskholdige ferskvandsaflejringer er karakteriseret som værende leret og svagt sandet.



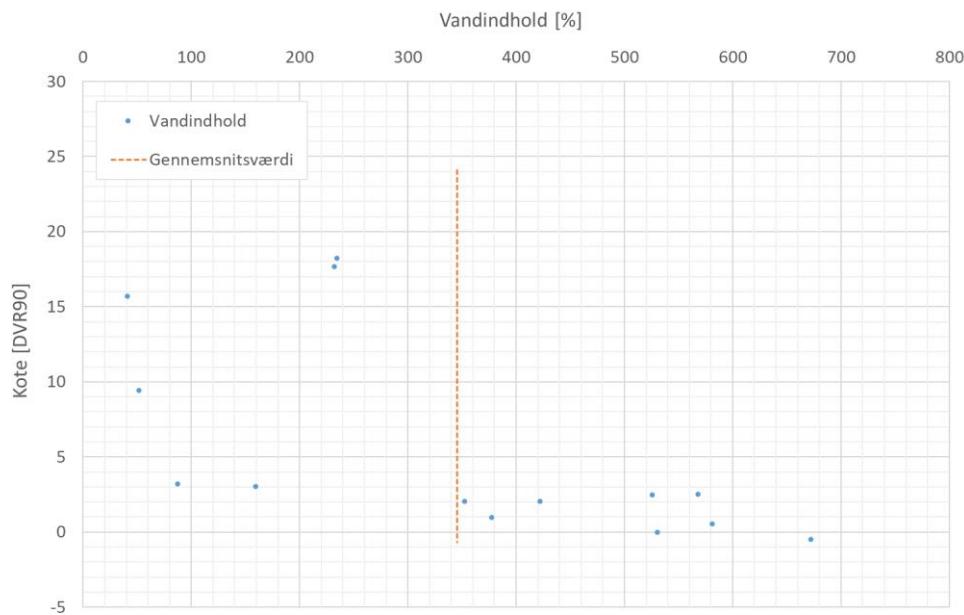
Figur 4-6 Postglaciale tørv og gytje er truffet i de markerede borer.

Der er gennemført rumvægtsbestemmelse på to prøver af leret tørv, der viser henholdsvis 8,9 og 9,6 kN/m³. De korrelerede naturlige vandindhold for de to prøver er henholdsvis 526 og 377 %.

Det naturlige vandindhold er målt på 14 prøver, cf. Figur 4-7. Vandindholdet er målt i intervallet 41 – 672 % med et gennemsnit liggende på 345 %. Der er meget stor spredning i de målte værdier, de høje værdier over 200 % er primært målt i prøver af tørv.

Statistisk analyse på det målte vandindhold er:

Antal	14
Gennemsnit	345,3 %
Spredning	213,2 %
Konfidensinterval (95% t-fordeling)	123,1 %
Nedre værdi	222,2 %
Øvre værdi	468,4 %



Figur 4-7 Naturligt vandindhold målt på prøver af postglacial tørv og gytje.

Den intakte vingestyrke er målt 18 gange, cf. Figur 4-8. Den intakte vingestyrke er målt i intervallet 15 – 194 kPa med et gennemsnit liggende på 68,7 kPa.

Ud fra de målte værdier kan en karakteristisk værdi, bestemt som 95% fraktil-værdien, sættes til 27 kPa.

Statistisk analyse på den målte vingestyrke er:

Antal	18
Gennemsnit	68,7 kPa
Spredning	50,3 kPa
Konfidensinterval (95% t-fordeling)	25,0 kPa
Nedre værdi	43,7 kPa
Øvre værdi	93,7 kPa

Der er ikke udført SPT- eller CPT-forsøg i postglacial tørv og gytje.

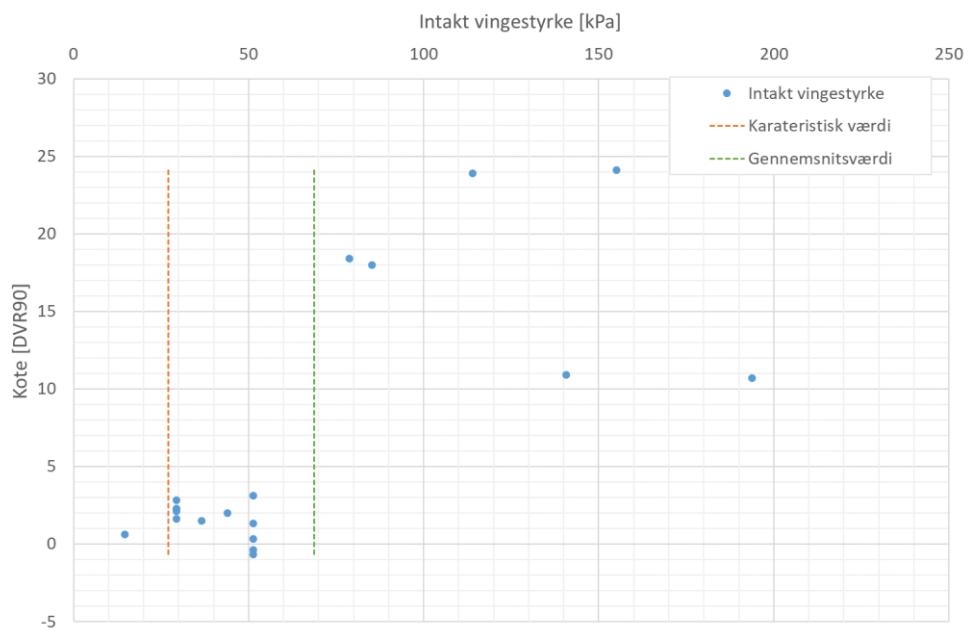
Dekadehældningen for normalkonsoliderede organiskholdige aflejringer, Q, kan iflg. dansk empiri bestemmes som

$$Q = \frac{w-0,25}{w+0,40} \cdot 0,6$$

hvor w er det naturlige vandindhold (indsat som decimaltal). For et gennemsnitligt vandindhold på ca. 345 % fås en dekadehældning på

$$Q = \frac{3,45-0,25}{3,45+0,40} \cdot 0,6 = 50$$

hvilket ligger i den høje ende af almindelig dansk erfaring (Nyt Teknisk Forlag, 2011).



Figur 4-8 Intakt vingestyrke målt i postglacial tørv og gytje.

Postglaciale sand

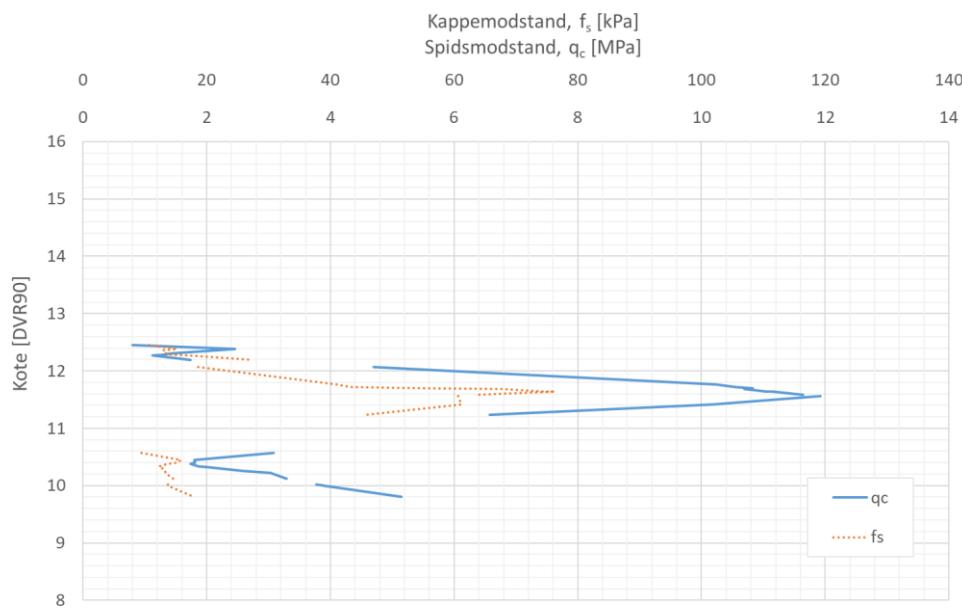
Postglaciale sand er truffet i de borer, der er markeret på Figur 4-9.

De trufne aflejringer af postglaciale sand er generelt karakteriseret som fint til mellemkornet ferskvandssand. Sandet er organiskholdigt i form af planterester. Der er ingen informationer omkring rumvægt og/eller lejringstæthed i de trufne postglaciale sandaflejringer i datagrundlaget.



Figur 4-9 Postglaciale ferskvandssand er truffet i de markerede borer.

Én enkel CPT er ført igennem postglaciale ferskvandssand, cf. Figur 4-10. Målingen giver ikke ret meget information. Der er målt en spidsmodstand, q_c , i intervallet ca. 1 – 12 MPa samt kappemodstand, f_s , i intervallet ca. 9 – 76 kPa.



Figur 4-10 Målt spids- og kappefladmodstand målt i postglaciale ferskvandssand. Kappemodstand er vist med orange linjer, spidsmodstand er vist med blå linjer.

Statistisk analyse på de målte CPT-værdier er:

	qc	fs
Antal	32	32
Gennemsnit	5,0 MPa	28,5 kPa
Spredning	3,9 MPa	22,1 kPa
Konfidensinterval (95% t-fordeling)	1,4 MPa	8,0 kPa
Nedre værdi	3,6 MPa	20,6 kPa
Øvre værdi	6,4 MPa	36,5 kPa

Der er ikke udført SPT-forsøg i det trufne postglaciale ferskvandssand.

Postglaciale ler

Det postglaciale ler er truffet i boringerne, der er markeret på Figur 4-11.

Det postglaciale ler er karakteriseret som værende sandet til stærkt sandet, siltet til stærkt siltet og svagt gruset til gruset ferskvands-, nedskyls- eller flydejordsler. Leret er organiskholdigt i form af plante- og tørverester.

Der er gennemført én rumvægtsbestemmelse på en prøve af organiskholdigt, sandet ferskvandsler som har givet resultatet 20,2 kN/m³.

Det naturlige vandindhold er målt på 7 prøver, cf. Figur 4-12. Vandindholdet er målt i intervallet 11 – 18 % med et gennemsnit liggende på 15,1 %.

Den intakte vingestyrke er målt 7 gange, cf. Figur 4-12. Den intakte vingestyrke er målt i intervallet 58 – 295 kPa med et gennemsnit liggende på 113 kPa.

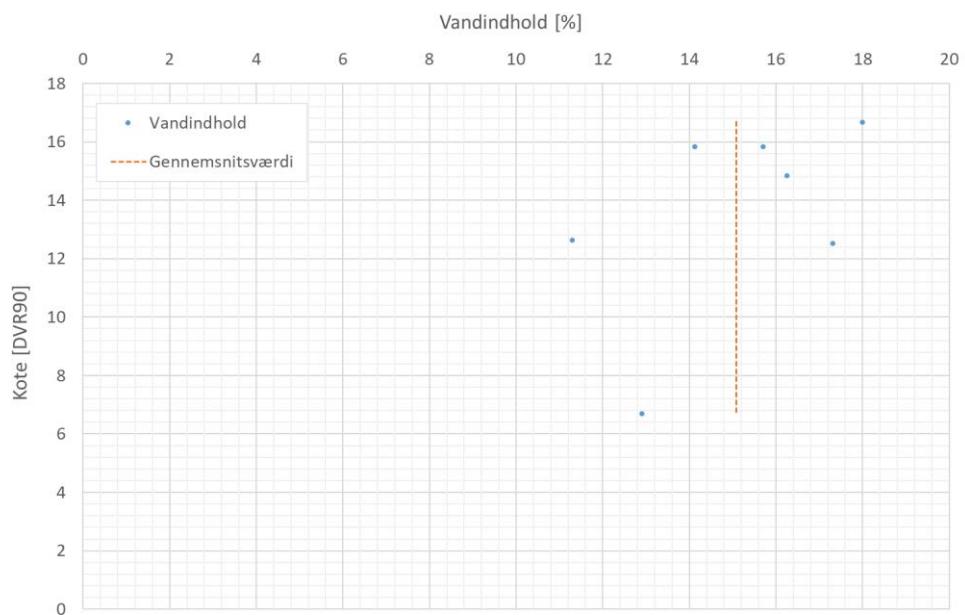
Ud fra de målte værdier kan en karakteristisk værdi, bestemt som 95 % fraktil-værdien, sættes til 61,7 kPa.



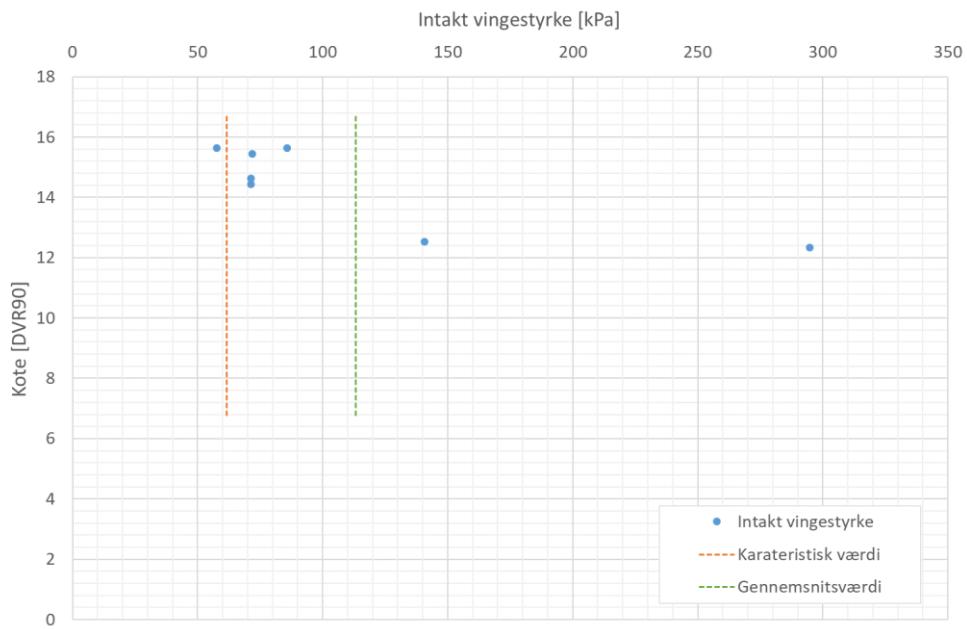
Figur 4-11 Postglacialt ler er truffet i de markerede borer.

Statistisk analyse på den målte vingestyrke er:

Antal	7
Gennemsnit	113,3 kPa
Spredning	84,4 kPa
Konfidensinterval (95% t-fordeling)	78,1 kPa
Nedre værdi	35,2 kPa
Øvre værdi	191,4 kPa



Figur 4-12 Naturligt vandindhold målt på prøver af postglacialt ler.



Figur 4-13 Intakt vingestyrke målt i postglaciale ler.

Der er ikke udført SPT- og CPT-forsøg i postglaciale ler.

Jævnfør almindelig dansk praksis (Nyt Teknisk Forlag, 2011) bør dekadehældningen, Q, bestemmes for postglaciale lerlag

$$Q = \frac{w-0,25}{w+0,40} \cdot 0,6$$

hvor w er det naturlige vandindhold (i decimaltal).

For denne danske empiri gælder dog, at det naturlige vandindhold skal ligge over 30 %. Da det gennemsnitlige vandindhold for det postglaciale ler ligger på ca. 15 % kan konsolideringsmodulen, K, bestemmes i stedet for som

$$K = \frac{40}{w} \cdot c_u \quad [\text{kPa}]$$

hvor w er det naturlige vandindhold (i decimaltal) og c_u er den udrænede forskydningsstyrke i kPa.

For en karakteristisk udrænet forskydningsstyrke på ca. 60 kPa fås

$$K = \frac{40}{0,15} \cdot 60 \approx 16 \text{ MPa}$$

hvilket ligger i den høje ende af, hvad man vil forvente.

Senglacialt ler

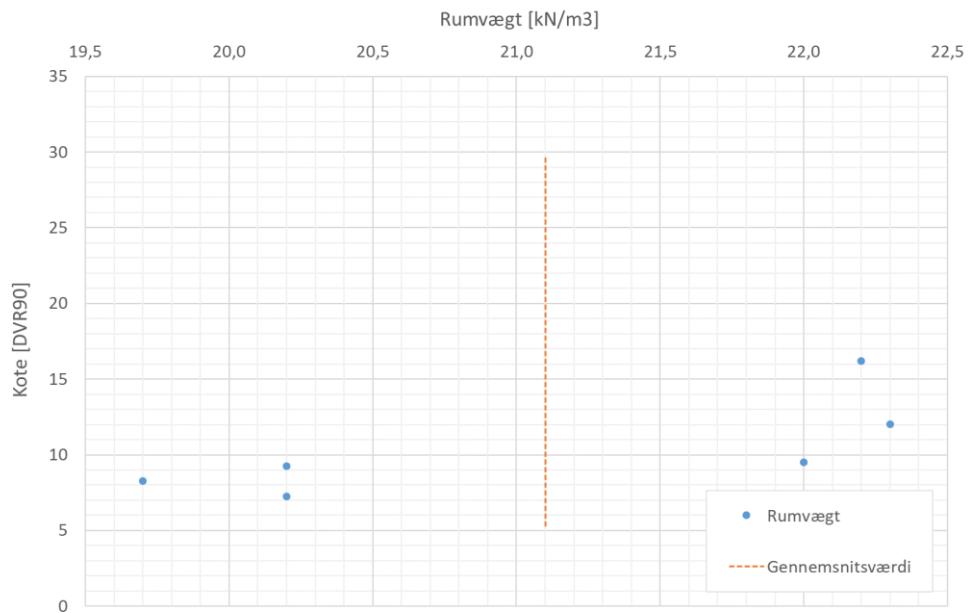
Det senglaciale ler er truffet i boringerne, der er markeret på Figur 4-14.

Leret er karakteriseret ved at være sandet til meget sandet, svagt siltet til siltet og kun indeholde enkelte gruskorn. Leret er klassificeret som værende nedskyld-sjord, flydejord eller smeltevandsaflejringer.



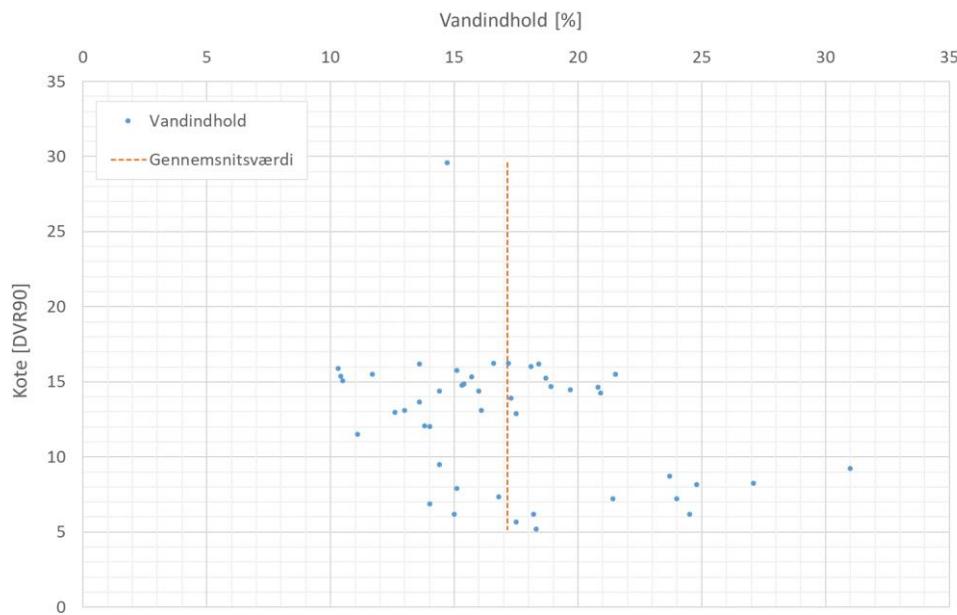
Figur 4-14 Senglacialt ler er truffet i de markerede borer.

For det trufne senglacialt ler er der gennemført seks rumvægtsbestemmelser, cf. Figur 4-15. Tre af målingerne viser en rumvægt omkring 20 kN/m^3 , og tre målinger viser en rumvægt omkring 22 kN/m^3 . Sidstnævnte målinger er på prøver af flydejord, hvoraf to af de tre "lave" målinger er på prøver af nedskyldsjord.



Figur 4-15 Rumvægt målt i prøver af senglacialt ler.

Det naturlige vandindhold er målt på 46 prøver, cf. Figur 4-16. Vandindholdet er målt i intervallet 10 – 31 % med et gennemsnit liggende på 17,1 %.



Figur 4-16 Naturligt vandindhold målt i prøver af senglacialt ler.

Statistisk analyse på det målte vandindhold er:

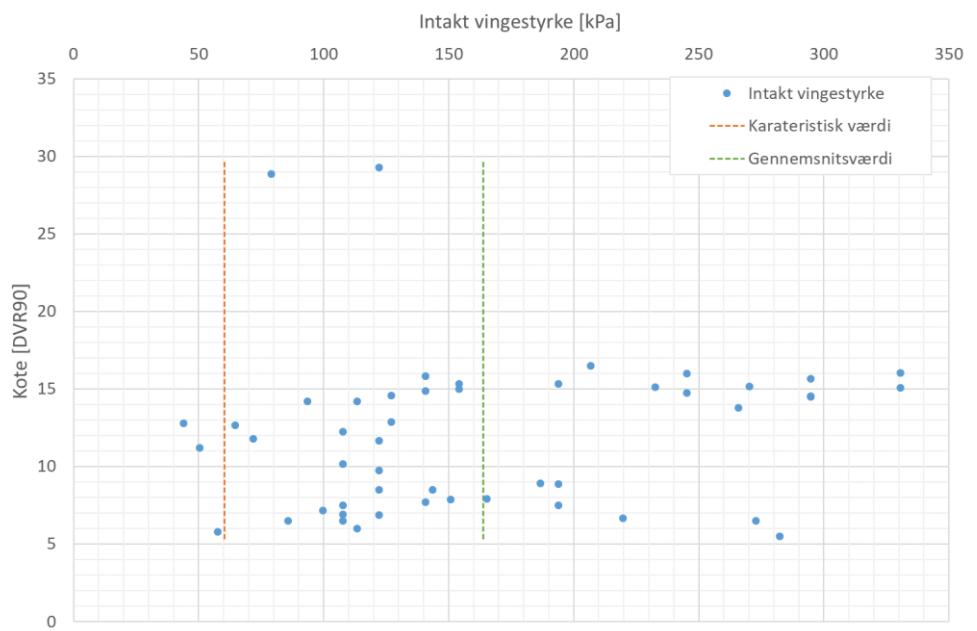
Antal	46
Gennemsnit	17,1 %
Spredning	4,52 %
Konfidensinterval (95% t-fordeling)	1,34 %
Nedre værdi	15,8 %
Øvre værdi	18,5 %

Den intakte vingestyrke er målt 49 gange, cf. Figur 4-17. Den intakte vingestyrke er målt i intervallet 44 – 331 kPa med et gennemsnit på 163,7 kPa.

Ud fra de målte værdier kan en karakteristisk værdi, bestemt som 95 % fraktil-værdien, sættes til 60 kPa.

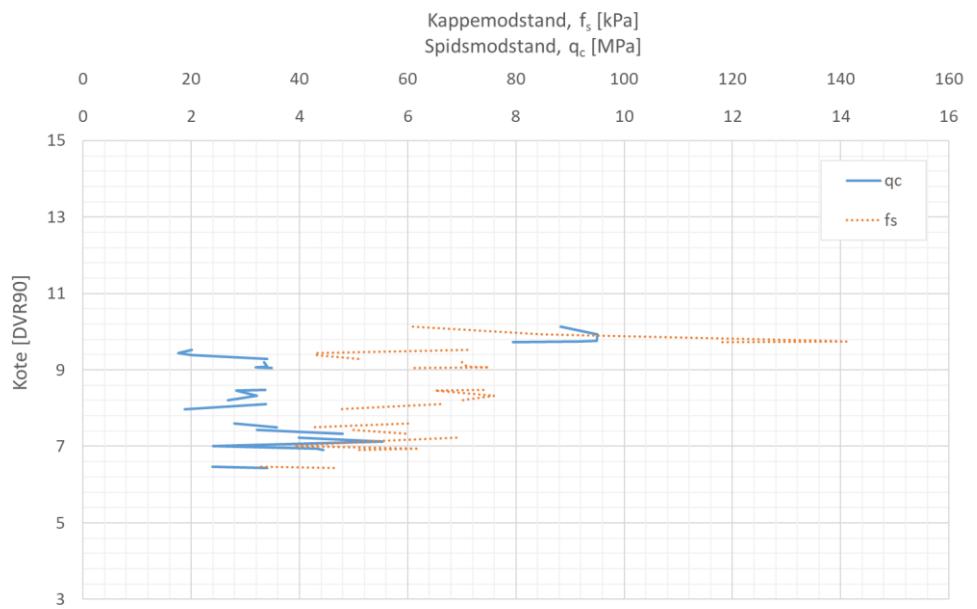
Statistisk analyse på den målte vingestyrke er:

Antal	49
Gennemsnit	163,7 kPa
Spredning	78,4 kPa
Konfidensinterval (95% t-fordeling)	22,5 kPa
Nedre værdi	141,2 kPa
Øvre værdi	186,2 kPa



Figur 4-17 Intakt vingestyrke målt in-situ i senglacialt smeltevandsler.

Én enkel CPT er ført gennem senglacialt ler, cf. Figur 4-18. De målte q_c -værdier ligger i intervallet ca. 1,7 – 9,5 MPa, hvor de målte f_s -værdier ligger i intervallet ca. 32 – 141 kPa.



Figur 4-18 Målt spids- og kappeflademodstand målt i senglacialt smeltevandsler.
Kappemodstand er vist med orange linjer, spidsmodstand er vist med blå linjer.

Statistisk analyse på de målte CPT-værdier er:

	q_c	f_s
Antal	31	31
Gennemsnit	4,0 MPa	67,2 kPa
Spredning	2,4 MPa	28,7 kPa
Konfidensinterval (95% t-fordeling)	0,9 MPa	10,5 kPa
Nedre værdi	3,2 MPa	56,7 kPa
Øvre værdi	4,9 MPa	77,8 kPa

Der er ikke udført SPT-forsøg i det trufne senglaciale smeltevandsler.

Stivhedsparametre er ikke blevet målt på prøver af det senglaciale ler. Jævnfør almindelig dansk praksis (Nyt Teknisk Forlag, 2011) kan konsolideringsmodulen, K, for senglacial ler bestemmes som

$$K = \frac{40}{w} \cdot c_u \quad [\text{kPa}]$$

hvor w er det naturlige vandindhold (i decimaltal) og c_u er den udrænede fors skydningsstyrke i kPa.

Ifølge Teknisk Ståbi®, ref. (Nyt Teknisk Forlag, 2011), kan det forventes at konsolideringsmodulen ligger i intervallet 3 – 10 MPa. For et gennemsnitligt vandindhold på 17 % og en karakteristisk udrænet forskydningsstyrke på ca. 60 kPa fås

$$K = \frac{40}{0,17} \cdot 60 \approx 14 \text{ MPa}$$

hvilket ligger i den høje ende af, hvad man vil forvente.

4.1.4 Øvre (sen)glaciale sand og grus

De øvre sand- og gruslag er karakteriseret som værende morænesand og -grus eller (sen)glaciale smeltevandssand. Smeltevandssandet er klassificeret som fint-grovkornet, svagt til stærkt siltet, svagt til stærkt gruset, svagt leret til leret og ringe sorteret til usorteret. I nogle områder er smeltevandssandet klassificeret som finkornet, ringe sorteret, stærkt siltet sand. Der er derfor meget stor variation i de trufne (sen)glaciale smeltevandsaflejringer.

De øvre sand- og gruslag er truffet i boringer, der er markerede på Figur 4-19.

Der er tilgængeligt data fra morænesand-/grus der er truffet i kote +17,7 til +0,1 DVR90. Dette er ligeledes gældende for smeltevandssand der er truffet i kote +17,1 til -3,5 DVR90.

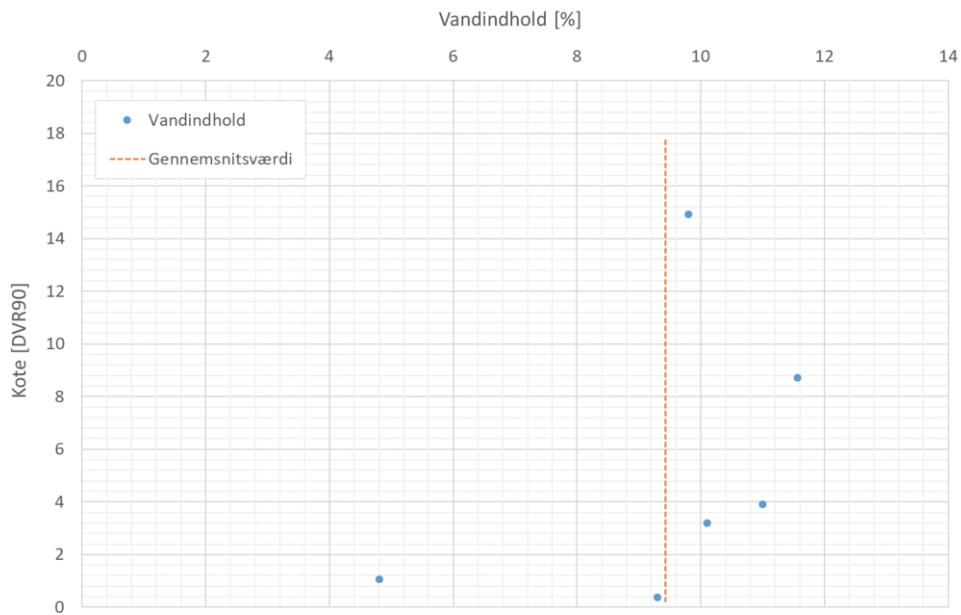


Figur 4-19 Øvre sand- og gruslag er truffet i de markerede borer.

Morænesand/-grus

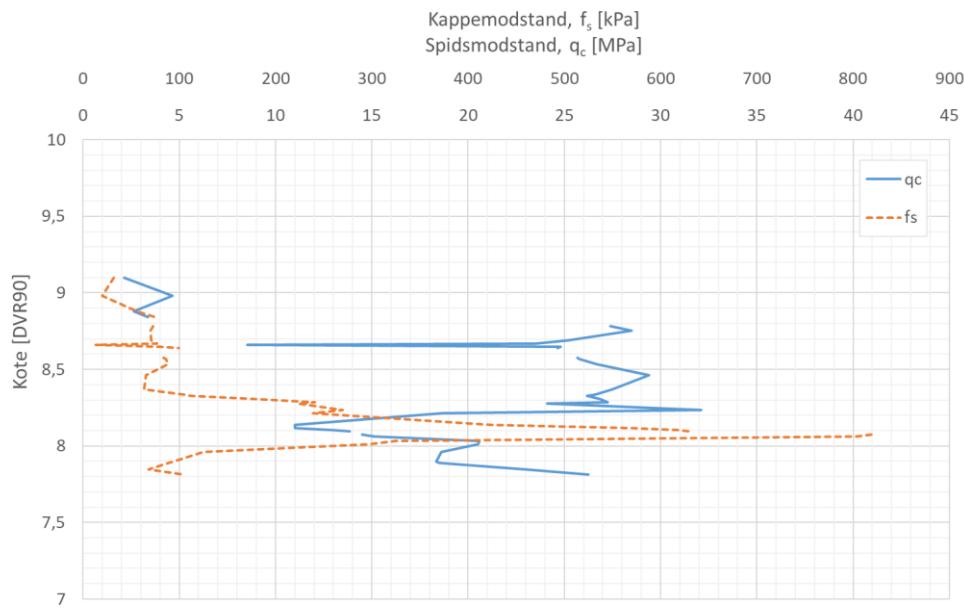
Der er ikke gennemført rumvægtsbestemmelser på prøver af morænesand-/grus i dette område.

Naturligt vandindhold er blevet målt på seks prøver, cf. Figur 4-20. Der er blevet målt værdier mellem 4,8 og 11,6 % med et gennemsnit på 9,4 %.



Figur 4-20 Naturligt vandindhold målt på prøver af morænesand og -grus.

Der er udført CPT-forsøg igennem to forskellige lag af morænesand og -grus, og resultatet kan ses af Figur 4-21. Datagrundlaget er yderst spinkelt, men Figur 4-21 viser, at der er målt q_c -værdier i intervallet ca. 2 – 32 MPa samt f_s -værdier i intervallet ca. 6 – 819 kPa.



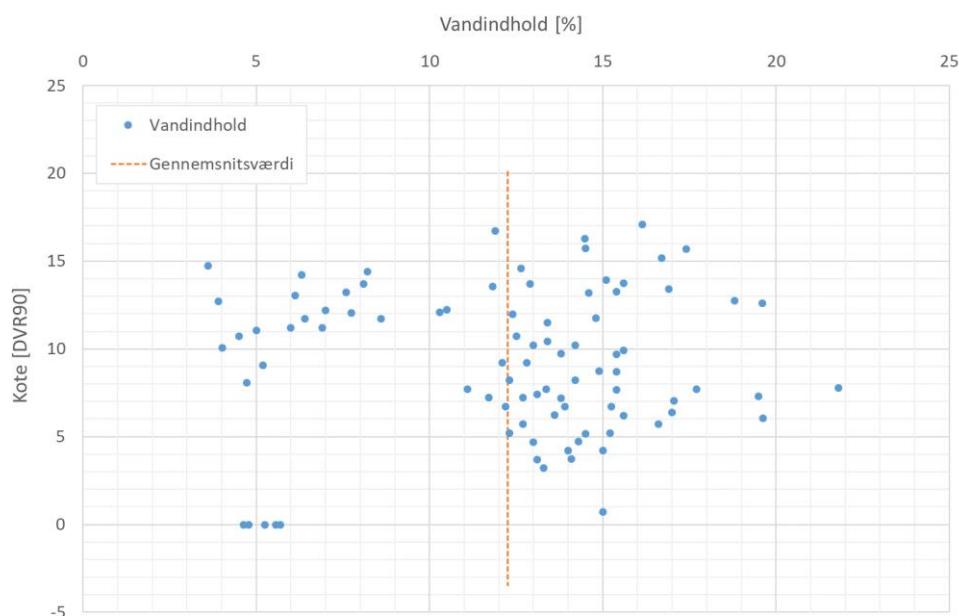
Figur 4-21 Målte værdier af spids- og kappemodstand i morænesand og -grus.
Kappemodstand er vist med orange linjer, spidsmodstand er vist med blå linjer.

Der er ikke udført SPT-forsøg gennem lag af morænesand og -grus.

Smeltevandssand og -grus

Der er ikke gennemført rumvægtsbestemmelser på prøver af det glaciale smeltevandssand og -grus i dette område.

Naturligt vandindhold er blevet målt på 88 prøver, cf. Figur 4-22. Der er blevet målt værdier mellem 3,6 og 21,8 % med et gennemsnit på 12,3 %.



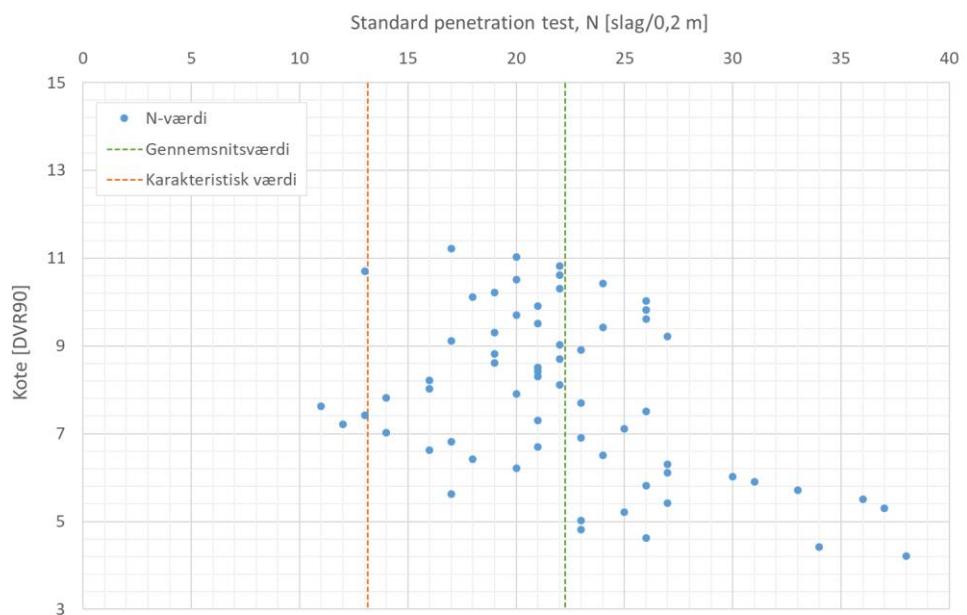
Figur 4-22 Naturligt vandindhold målt på prøver af (sen)glaciale smeltevandssand og -grus.

Statistisk analyse på det målte vandindhold er:

Antal	88
Gennemsnit	12,3 %
Spredning	4,3 %
Konfidensinterval (95% t-fordeling)	0,92 %
Nedre værdi	11,3 %
Øvre værdi	13,2 %

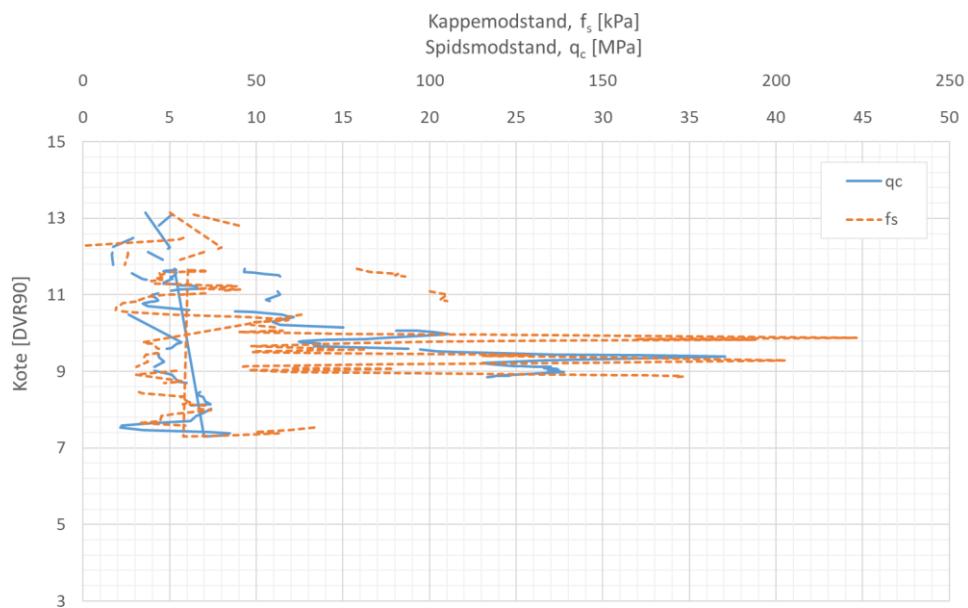
Der er gennemført 25 SPT-forsøg i lag af (sen)glaciale smeltevandssand og -grus, cf. Figur 4-23. Der er 64 målinger af SPT N-værdier, der ligger i intervallet 11 – 38 slag pr. 0,2 m. Gennemsnitsværdien er 22 slag pr. 0,2 m, og ud fra de målte værdier kan en karakteristisk SPT-værdi, bestemt som 95 % fraktilværdien, sættes til 13 slag pr. 0,2 m. Der er en tendens til, at antallet af slag stiger med dybden, især fra kote ca. +6 DVR90 og ned.

Med en forsiktig antagelse om, at den totale rumvægt af jorden beliggende over det (sen)glaciale smeltevandssand og -grus ligger på 20 kN/m³, vurderes en relativ lejringstæthed at ligge i intervallet ca. 60 – 70 %. For usorteret sand vil dette resultere i en plan friktionsvinkel i intervallet 35° – 36°, hvilket ligger i den lave ende af, hvad der kan forventes af danske (sen)glaciale sandaflejringer (Nyt Teknisk Forlag, 2011).



Figur 4-23 Målte SPT N-værdier for det trufne (sen)glaciale smeltevandssand og -grus.

Der er udført kun to CPT-forsøg gennem lag af (sen)glaciale smeltevandssand og -grus, cf. Figur 4-24. Det er meget sparsomme forsøgsresultater og der kan forsigtigt konkluderes, at der må forventes q_c -værdier i intervallet ca. 3 – 15 MPa.



Figur 4-24 Målte værdier af spids- og kappermødstand fra CPT-forsøg i lag af (sen)glaciale smeltevandssand og -grus. Kappermødstand er vist med orange linjer, spidsmødstand er vist med blå linjer.

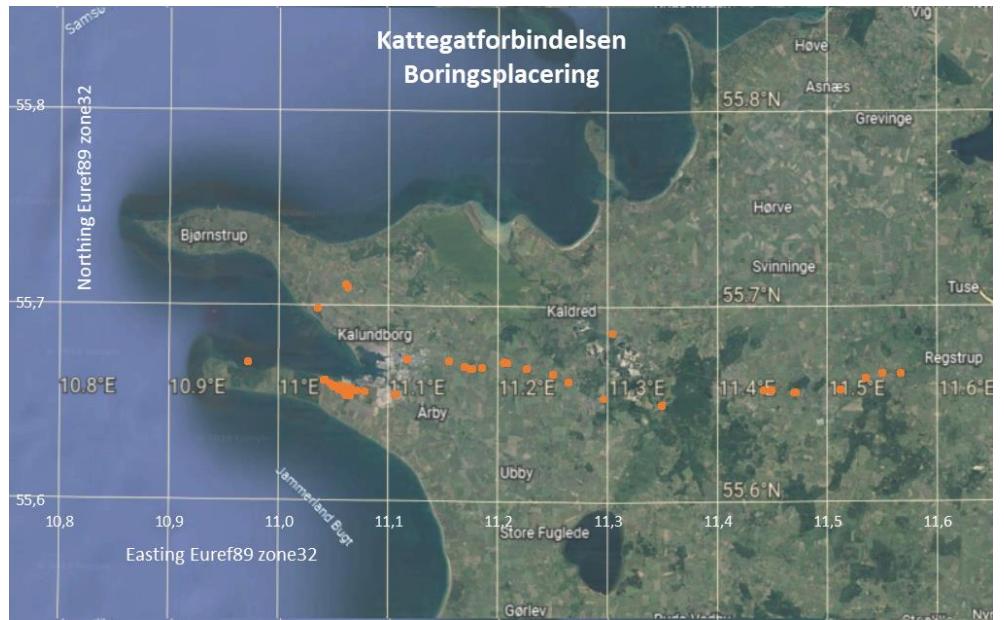
4.1.5 Øvre moræneler og smeltevandsler

Det øvre lerlag er karakteriseret som værende moræneler/-silt eller glaciale smeltevandsler og -silt. Smeltevandsleret er klassificeret som ret fedt, st. siltet og lamineret med sandlamina over svagt til stærkt sandet og stærkt siltet ler. Smeltevandssilten er klassificeret som svagt leret til leret, sandet og svagt gruset.

Der er tilgængeligt data fra moræneler og -silt der er truffet i kote ca. +28,6 til ca. -5,7 DVR90. Dette er ligeledes gældende for glaciale smeltevandsler og -silt der er truffet i kote ca. +16,8 til ca. -4,6 DVR90.

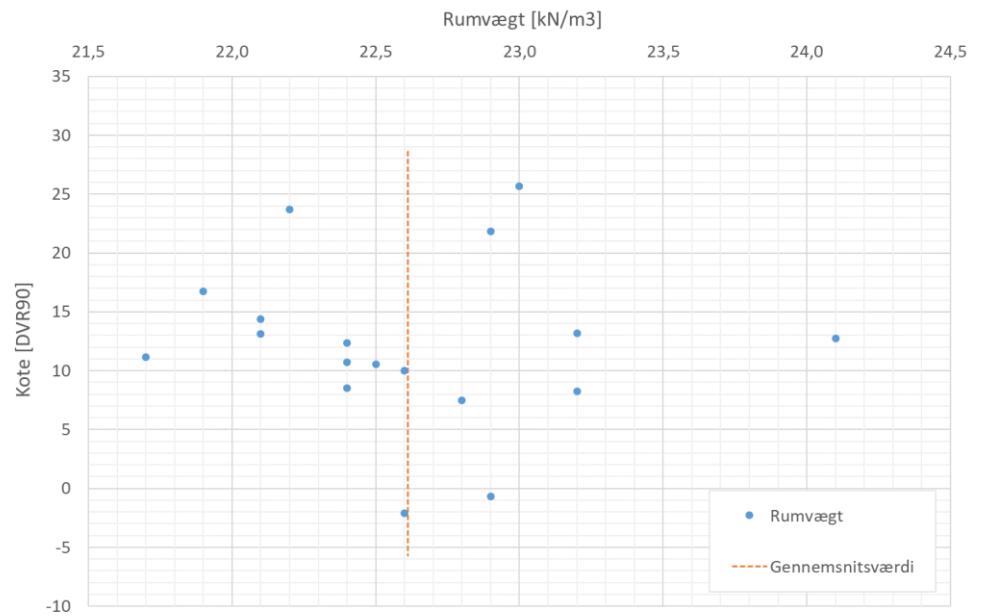
Moræneler og -silt

Moræneler og -silt er truffet i de borer, der er markeret på Figur 4-25.



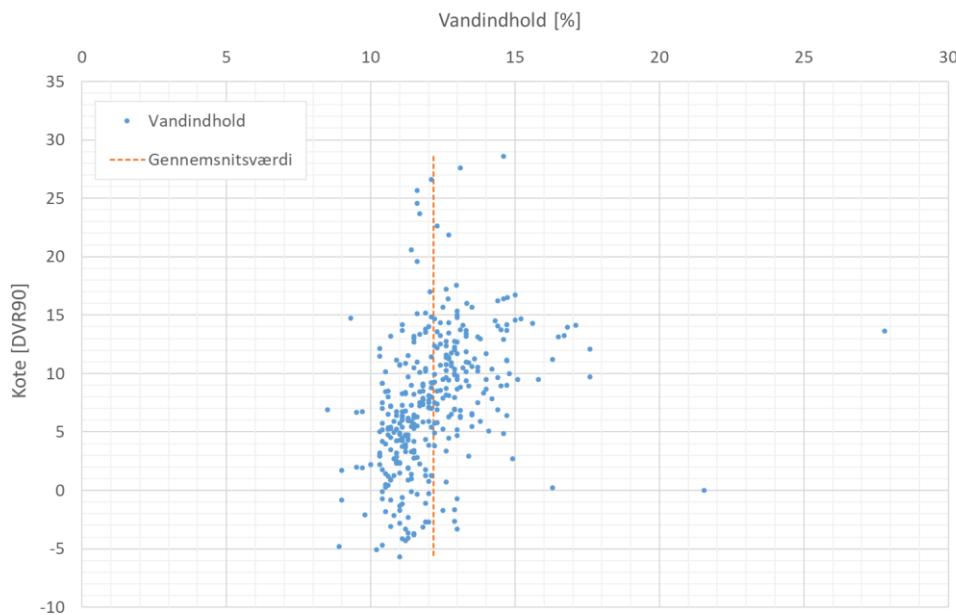
Figur 4-25 Moræneler og -silt er truffet i de markerede borer.

Rumvægtsbestemmelse er gennemført på 18 prøver af moræneler og -silt, cf. Figur 4-26. Rumvægten er bestemt i intervallet 21,7 til 24,1 kN/m³ med et gennemsnit på 22,6 kN/m³.



Figur 4-26 Rumvægt bestemt på prøver af moræneler og -silt.

Naturligt vandindhold er blevet målt på 352 prøver, cf. Figur 4-27. Der er blevet målt værdier mellem 8,5 og 27,8 % med et gennemsnit på 12,2 %.



Figur 4-27 Naturligt vandindhold målt på prøver af moræneler og -silt.

Statistisk analyse på det målte vandindhold er:

Antal	352
Gennemsnit	12,2 %
Spredning	1,8 %
Konfidensinterval (95% t-fordeling)	0,19 %
Nedre værdi	12,0 %
Øvre værdi	12,4 %

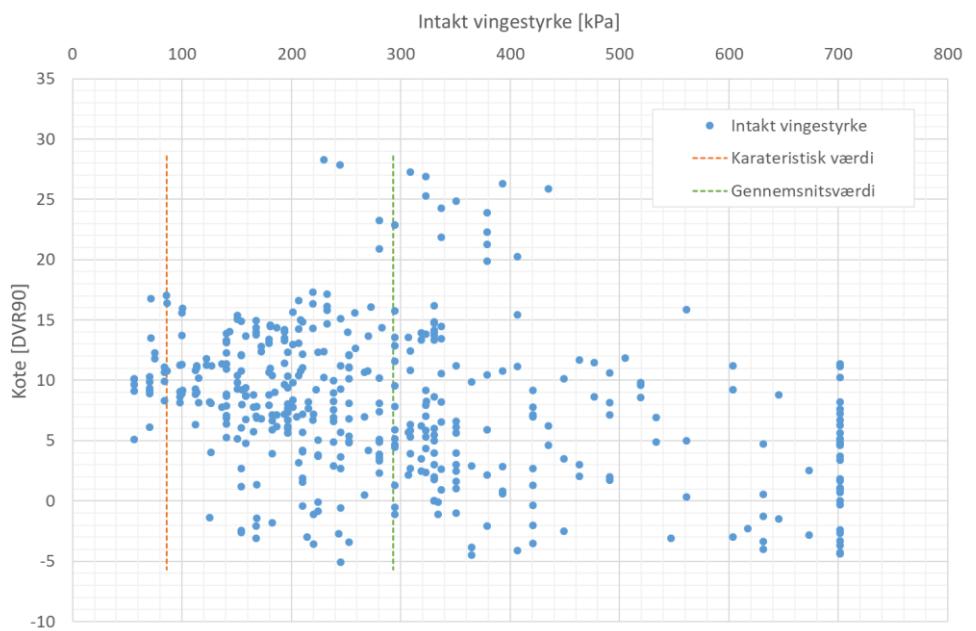
Den intakte vingestyrke er målt 423 gange, cf. Figur 4-28 og Figur 4-29. Den intakte vingestyrke er målt i intervallet 56 – 702 kPa med et gennemsnit liggende på 293 kPa.

Ud fra de målte værdier kan en karakteristisk værdi, bestemt som 95% fraktil-værdien, sættes til 86 kPa.

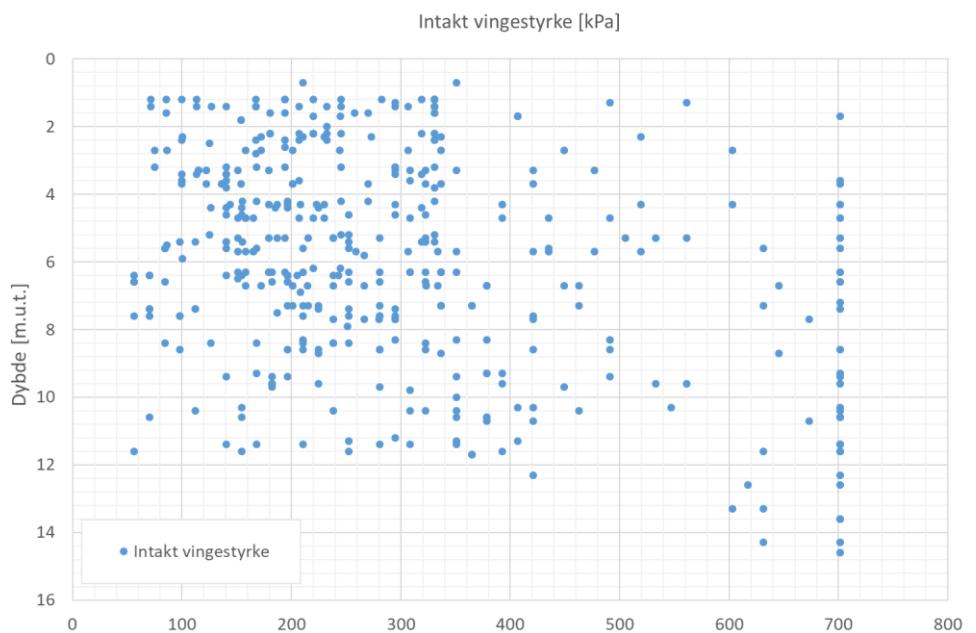
Statistisk analyse på den målte vingestyrke er:

Antal	423
Gennemsnit	293,0 kPa
Spredning	166,7 kPa
Konfidensinterval (95% t-fordeling)	15,9 kPa
Nedre værdi	277,1 kPa
Øvre værdi	309,0 kPa

Det ses af Figur 4-29, at der er en tendens til at vingestyrken stiger ($c_v \geq 600$ kPa), når dybden overstiger ca. 12 m under terræn. Der er dog ikke målepunkter nok til at konkludere om dette er en generel tendens for hele området.



Figur 4-28 Intakt vingestyrke målt in-situ i moræneler og -silt som funktion af koten.



Figur 4-29 Intakt vingestyrke målt in-situ i moræneler og -silt som funktion af dybden under eksisterende terræn.

Der er ikke udført SPT- eller CPT-forsøg i lag af moræneler og -silt.

Stivhedsparametre er ikke blevet målt på prøver af det trufne moræneler og -silt. Jævnfør almindelig dansk praksis (Nyt Teknisk Forlag, 2011) kan konsolideringsmodulen, K , for glacialt ler bestemmes som

$$K = \frac{40}{w} \cdot c_u \quad [\text{MPa}]$$

hvor w er det naturlige vandindhold (i decimaltal) og c_u er den udrænede forskydningsstyrke i kPa.

Ifølge Teknisk Ståbi®, ref. (Nyt Teknisk Forlag, 2011), kan det forventes, at konsolideringsmodulen ligger i intervallet 50 – 380 MPa for et effektivt, vertikalt overlejringstryk på 40 – 240 kPa. For et gennemsnitligt vandindhold på 12 % og en karakteristisk udrænet forskydningsstyrke på ca. 85 kPa fås

$$K = \frac{40}{0,12} \cdot 85 \approx 30 \text{ MPa}$$

hvilket ligger i den lave ende af, hvad man vil forvente. For en udrænet forskydningsstyrke på 250 kPa (gennemsnitsværdien) fås en konsolideringsmodul på ca. 80 MPa.

Smeltevandsler og -silt

Glaciale smeltevandsler og -silt er truffet i de borer, der er markeret på Figur 4-30.



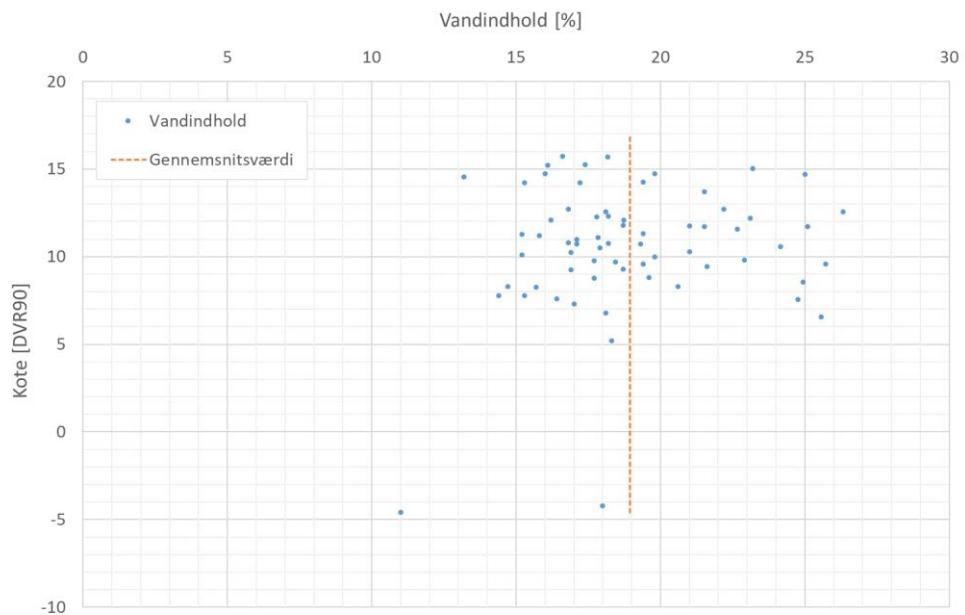
Figur 4-30 Glaciale smeltevandsler og -silt er truffet i de markerede borer.

Der er ikke gennemført rumvægtsbestemmelser på prøver af det trufne glaciale smeltevandsler og -silt.

Naturligt vandindhold er blevet målt på 66 prøver, cf. Figur 4-31. Der er blevet målt værdier mellem 11,0 og 26,3 % med et gennemsnit på 18,9 %.

Statistisk analyse på det målte vandindhold er:

Antal	66
Gennemsnit	18,9 %
Spredning	3,3 %
Konfidensinterval (95% t-fordeling)	0,82 %
Nedre værdi	18,1 %
Øvre værdi	18,9 %



Figur 4-31 Naturligt vandindhold målt på prøver af glacielt smeltevandsler og -silt.

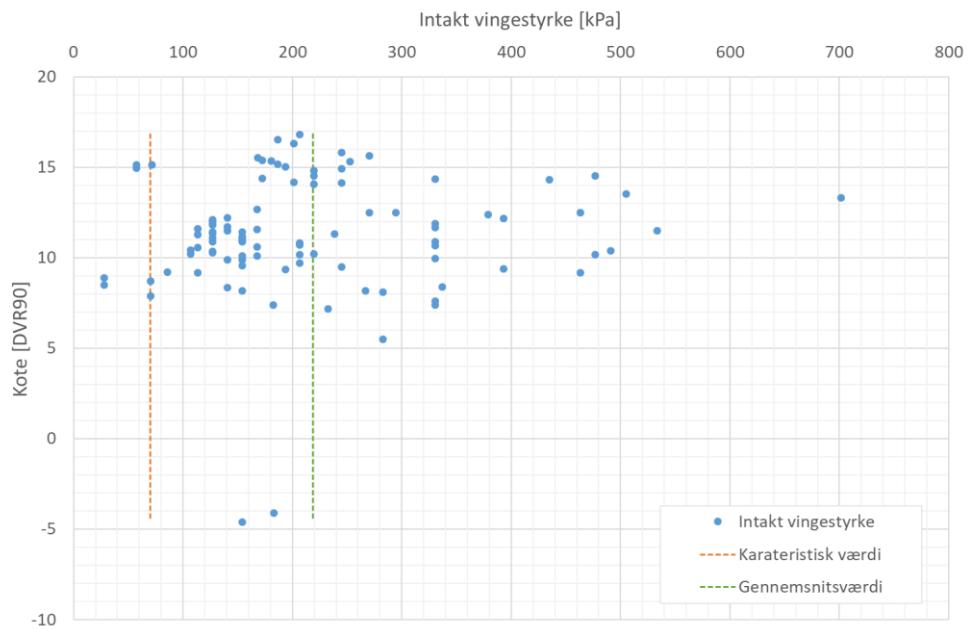
Den intakte vingestyrke er målt 99 gange, cf. Figur 4-32 og Figur 4-33. Den intakte vingestyrke er målt i intervallet 28 – 702 kPa med et gennemsnit liggende på 219 kPa.

Ud fra de målte værdier kan en karakteristisk værdi, bestemt som 95% fraktil-værdien, sættes til 70 kPa.

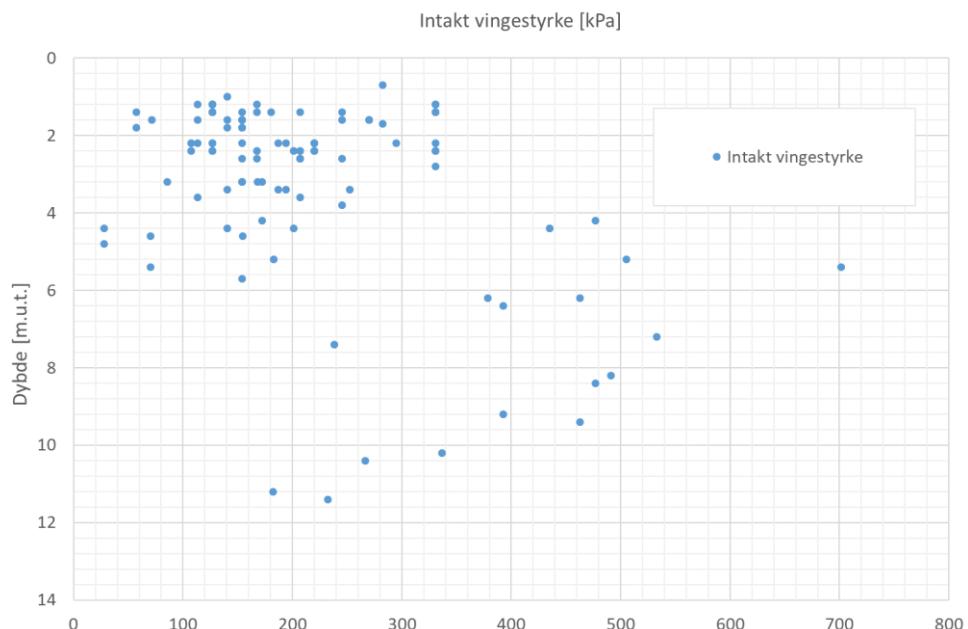
Statistisk analyse på den målte vingestyrke er:

Antal	99
Gennemsnit	218,9 kPa
Spredning	122,8 kPa
Konfidensinterval (95% t-fordeling)	24,5 kPa
Nedre værdi	194,4 kPa
Øvre værdi	243,4 kPa

Som det ses af Figur 4-33 er der en tendens til, at vingestyrken stiger med dybden. Dog er der områder, hvor styrken selv 10 – 12 m under eksisterende terræn er på ca. 150 kPa.



Figur 4-32 Intakt vingestyrke målt in-situ i glacialt smeltevandsler og -silt som funktion af koten.



Figur 4-33 Intakt vingestyrke målt in-situ i glacialt smeltevandsler og -silt som funktion af dybden under eksisterende terræn.

Jævnfør almindelig dansk praksis (Nyt Teknisk Forlag, 2011) kan konsolideringsmodulen, K , for glacialt ler bestemmes som

$$K = \frac{40}{w} \cdot c_u \quad [\text{kPa}]$$

hvor w er det naturlige vandindhold (i decimaltal) og c_u er den udrænede forskydningsstyrke i kPa.

Ifølge Teknisk Ståbi®, ref. (Nyt Teknisk Forlag, 2011), kan det forventes at konsolideringsmodulen ligger i intervallet 40 - 100 MPa for et effektivt, vertikalt overlejringstryk på 40 - 110 kPa. For et gennemsnitligt vandindhold på 19 % og en karakteristisk udrænet forskydningsstyrke på ca. 70 kPa fås

$$K = \frac{40}{0,19} \cdot 70 \approx 15 \text{ MPa}$$

hvilket ligger noget under, hvad man vil forvente. For en udrænet forskydningsstyrke på 200 kPa (gennemsnitsværdien) fås en konsolideringsmodul på ca. 40 MPa.

4.1.6 Mellem smeltevandssand og -grus

Der er ikke i det tilgængelige datagrundlag informationer omkring densitet, styrke- og deformationsparametre for det mellemste sand- og gruslag.

Styrke- og deformationsparametre kan forsigtigt bestemmes ud fra almindelig dansk empiri og egenskaberne for de højereleggende sammenlignelige jordlag. Parametrene bør altid verificeres ved hjælp af forsøgsresultater fra geotekniske undersøgelser.

4.1.7 Nedre moræneler og smeltevandsler

Der er ikke i det tilgængelige datagrundlag informationer omkring densitet, styrke- og deformationsparametre for det nederste lerlag.

Styrke- og deformationsparametre kan forsigtigt bestemmes ud fra almindelig dansk empiri og egenskaberne for de højereleggende sammenlignelige jordlag. Parametrene bør altid verificeres ved hjælp af forsøgsresultater fra geotekniske undersøgelser.

4.1.8 Nedre smeltevandssand og -grus

Der er ikke i det tilgængelige datagrundlag informationer omkring densitet, styrke- og deformationsparametre for det nederste sand- og gruslag.

Styrke- og deformationsparametre kan forsigtigt bestemmes ud fra almindelig dansk empiri og egenskaberne for de højereleggende sammenlignelige jordlag. Parametrene bør altid verificeres ved hjælp af forsøgsresultater fra geotekniske undersøgelser.

4.1.9 Prækvartære aflejringer

De prækvartære aflejringer under Røsnæs og Asnæs kan primært klassificeres som værende højplastisk ler aflejret under Eocæn, jf. afsnit 3.9.10. Leret er ikke truffet i nogen af de analyserede borer, og nedenstående karakterisering er alene baseret på viden fra andre projekter, hvor det eocæne Lillebæltssler og Røsnæsler er truffet og analyseret.

Ud fra det simplificerede længdeprofil, cf. Figur 3-38, må det forventes at det intakte eocæne ler træffes i dybder større end 50 m. Det må ligeledes forventes, at der kan træffes flager af de eocæne leraflejringer i de kvartære jordlag. De seneste istider har ført til voldsomme foldninger og forskydninger i leret, og erfaring viser at det eocæne ler er foldet og/eller forskudt i flager på stort set alle lokaliteter.

Ved pælefundering og/eller tunnelering kan Røsnæsleret have indflydelse på de geotekniske konstruktioners design og virkemåde. Træffes flager af Røsnæsler i de kvartære aflejringer vil disse typisk have indflydelse på terrænnære funderingstyper.

Det skal pointeres, at den nedenstående karakterisering, der primært omhandler parametre for Røsnæsler, er baseret på viden fra geotekniske undersøgelser, der er placeret i stor afstand fra den undersøgte Kattegatforbindelses korridorer. Det kan ikke udelukkes at de aktuelle geotekniske styrke- og stivhedsparametre for det eocæne ler under Sjælland og Kattegat er anderledes end ved Lillebælt og/eller Femernbælt. Det anbefales at gennemføre yderligere geotekniske undersøgelser til så stor en dybde, at lerets egenskaber kan belyses nærmere.

Røsnæsler er karakteriseret ved et højt naturligt vandindhold i intervallet 35 – 45 % og en rumvægt i intervallet 16 – 21 kN/m³. Sidstnævnte med et gennemsnit omkring 18,5 kN/m³. Plasticitetsindekset er stærkt afhængigt af indholdet af lermineralet smectit, idet jo højere indhold af smectit jo højere en værdi af I_p . Plasticitetsindekset ligger typisk i intervallet 60 – 180 %, med et gennemsnit omkring 95 – 100 %.

Undersøgelser ved Femernbælt viser, at der er en stærk korrelation mellem den udrænede forskydningsstyrke af det højplastiske Røsnæsler og målte q_{net} -værdier fra CPT-forsøg (Femern A/S, 2014). Conefaktoren er for Femernbælt-projektet bestemt til $N_{kt} = 25,5$. Denne cone faktor relaterer sig til den sprækkede del af leret og giver typisk en udrænet forskydningsstyrke i intervallet 40 – 400 kPa.

Effektive styrkeparametre er typisk bestemt via triaxiale trykforsøg og ligger i intervallet $\phi'_{tr} = 15^\circ - 20^\circ$ og $c' = 3,5 - 15$ kPa.

På grund af det høje indhold af smectit vil det eocæne Røsnæs ler svelle ved aflastning. Geotekniske konstruktioner skal derfor dimensioneres for et svelletryk. Det skal pointeres, at også lerets styrkegenskaber er stærkt afhængige af aflastning, hvorfor dette skal analyseres nærmere hvis projektet aflaster leret i selv mindre grad. Svelletrykket er afhængigt af fra hvilken lodret spændingstilstand, der aflastes fra. For Femernbælt-projektet er der fundet et svelningsforhold på $Q_{un} = 4 - 6\%/\text{lcs}$ og $0,4 - 0,7\%/\text{lct}$ for sekundær svelning.

For belastningssituationer er der ligeledes for Femernbælt-projektet bestemt en dekadehældning Q i intervallet 10 – 20 %/lcs og 0,2 – 0,5 %/lct for krybnings-dekadehældningen (Femern A/S, 2014).

Det skal yderligt bemærkes at undersøgelser viser, at styrken af Røsnæsler udsettes for betydelig "softening" ved aflastning, hvilket skal tages hensyn til ved design af geotekniske konstruktioner.

For yderligere oplysninger om Lillebæltsler henvises der til afsnit 4.5.9.

4.1.10 Sammenfatning af jordbundsforhold på Sjælland

Det er et meget begrænset datagrundlag, som danner baggrund for værdierne listet i Tabel 4-2. Værdierne skal derfor kun ses som foreløbige værdier, der kan anvendes til indledende skitseanalyser. En del parametre i tabellen er baseret på dansk empiri og bør verificeres ved hjælp af forsøgsresultater fra geotekniske undersøgelser.

De geotekniske undersøgelser, der ligger til grund for den geotekniske screening, har typisk kun omfattet bestemmelse af det naturlige vandindhold, rumvægten samt den intakte vingestyrke (for kohæsive aflejringer). I enkelte tilfælde er der derudover udført SPT- og CPT-forsøg, hvorudfra det er muligt at vurdere lejringstætheden og derved friktionsvinklen (for friktionsaflejringer) eller den udrænede forskydningsstyrke (kohæsive aflejringer). Stivhedsparametre er alle empirisk bestemt ud fra almindelig dansk praksis på baggrund af værdier af udrænet forskydningsstyrke og/eller vandindhold.

Der er for de post-, sen- og glaciale aflejringer vurderet, at den målte vingestyrke kan korreleres direkte som værende sammenlignelig med den udledte udrænede forskydningsstyrke.

De listede parametre for prækvartere aflejringer er alle bestemt via litteraturstudier.

For at kunne bestemme de forskellige styrke- og deformationsparametre mere præcist, er det nødvendigt at gennemføre yderligere geotekniske undersøgelser, som beskrevet i afsnit 5.

*Tabel 4-2 Foreløbige geotekniske parametre for de på Sjælland trufne jordlag.
Tal skrevet i parentes er gennemsnitsværdien for de målte værdier.*

Jordtype	γ' / γ [kN/m ³]	w [%]	ϕ'_{pl} [°]	c' / c_u [kPa]	Q [%]	E_{oed} [MPa]
Fyld	10* / 18*	8-35 (17)	30*	- / 50	-	10
Pg tørv/gytje	5 / 9	41-671 (345)	25*	- / 30	50	-
Pg sand	10* / 18*	-	33*	- / -	-	30*
Pg ler	9* / 19*	11-18 (15)	25*	- / 60	-	10
Sg smeltevandsler	10 / 20	10-31 (17)	25*	- / 60	-	10

Jordtype	γ' / γ [kN/m ³]	w [%]	ϕ'_{pl} [°]	c' / c_u [kPa]	Q [%]	E_{oed} [MPa]
Gc smeltevandssand	11* / 21*	-	35-36	- / -	-	$\geq 30^*$
Morænesand/grus	12* / 22*	-	38*	- / -	-	$\geq 30^*$
Gc smeltevandsler/silt	11* / 21*	11-26 (19)	25*	7 / 70	-	40
Moræneler/-silt	12 / 22	8-28 (12)	30*	9 / 90	-	80
Gc mellem smelte- vandssand	11* / 21*	-	36*	- / -	-	$\geq 30^*$
Nedre moræneler	12* / 22*	-	30*	20* / 200*	-	80*
Nedre smeltevands- sand	11* / 21*	-	36*	- / -	-	$\geq 30^*$
Lillebæltsler	7-9* / 17-19*	35-60*	15-23*	2-7* / 50*	-	-
Røsnæsler	8,5* / 18,5*	35-45*	15-20*	3,5-15* / 40-130*	-	-

*) Værdien er empirisk bestemt ud fra traditionel dansk erfaring, da der ikke på nuværende tidspunkt er tilstrækkeligt datagrundlag til at bestemme værdien ud fra målte værdier.

For deformations parametre for Røsnæsleret henvises der til beskrivelserne i afsnit 4.1.9. For Lillebæltsler henvises der til afsnit 4.5.9.

4.2 Kyst til kyst øst

Der er ikke tilstrækkeligt med tilgængeligt data til at analysere og vurdere de geotekniske parametre for de jordbundsforhold, der er beskrevet i afsnit 3.10.1.

Det antages på nuværende tidspunkt, at der for simple skitseberegninger kan anvendes de mest konservative parametre, der er vurderet i afsnit 4.1.10 og 4.3.10.

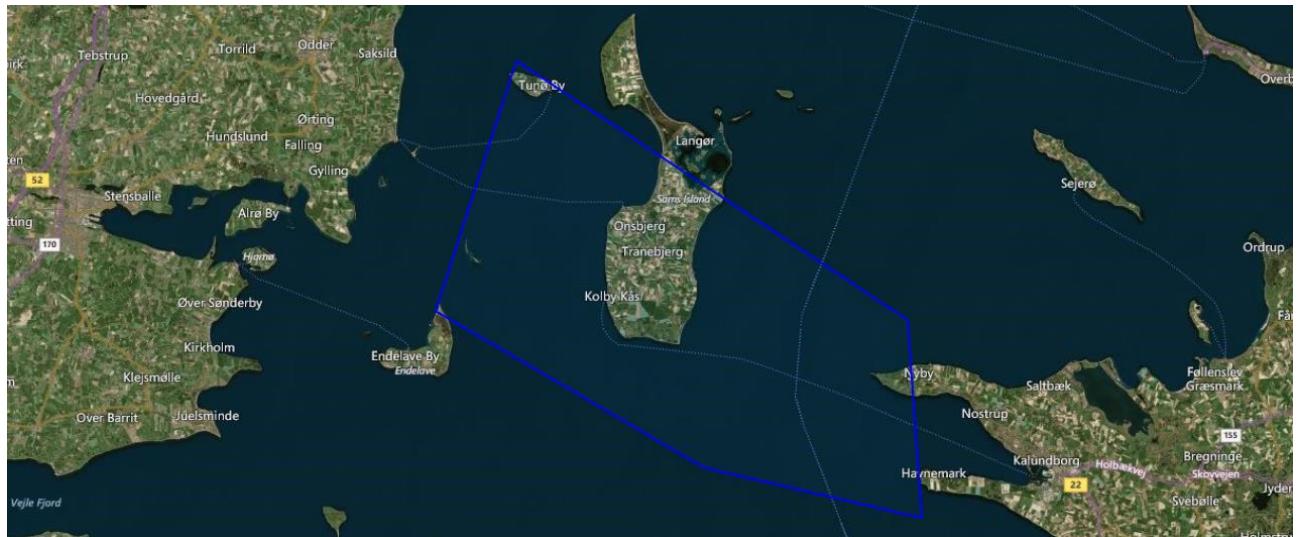
Der bør gennemføres yderligere geotekniske offshore-undersøgelser mellem Samsø og Sjælland for at belyse de geotekniske forhold nærmere.

4.3 Samsø

4.3.1 Udførte undersøgelser

For de mulige linjeføringskorridorer på Samsø er det valgt at undersøge og inkludere data fra geotekniske undersøgelser udført indenfor et afgrænset areal som vist på Figur 4-34.

De geotekniske undersøgelsespunkter udført på Samsø omkring den valgte linje-føring er karakteriseret ved at være forholdsvis korte borer med en typisk børdeyde på få meter ned til en maksimal dybde på ca. 12 m under eksisterende terræn.



Figur 4-34 Kortudsnit, der med blåt skitserer interesseområdet for linjekorridorerne på Samsø.

De geotekniske borer, der på tidspunktet for dette fagnotats tilblivelse var digitaliseret og derved indgår i datagrundlaget for de forskellige geotekniske parametre, er listet i Tabel 4-3.

Tabel 4-3 Geotekniske undersøgelsespunkter, der indgår i datagrundlaget for analyse af parametre.

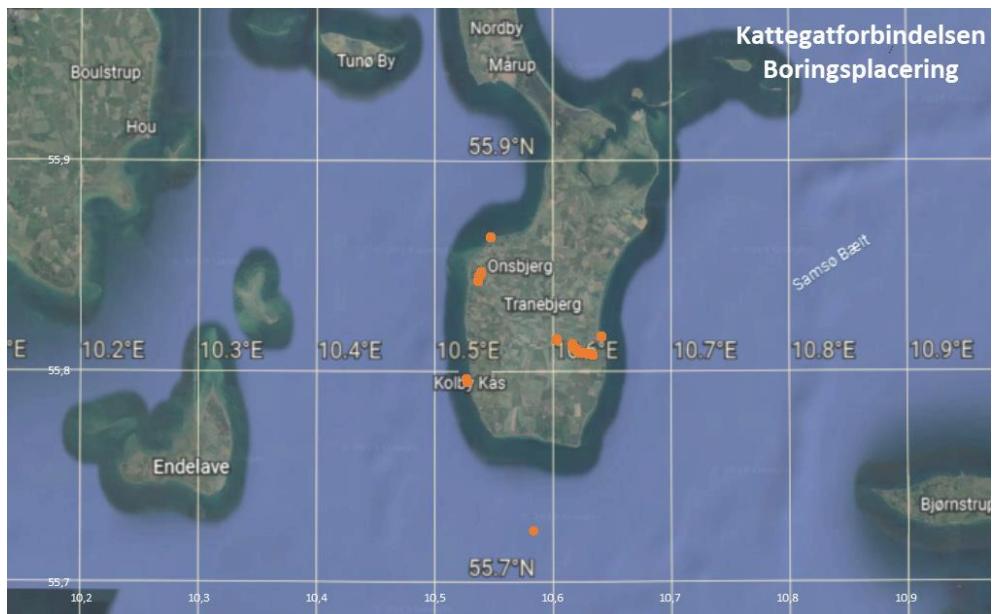
Projekt	Boring	X UTM	Y UTM	Terræn [DVR90]
Ballen Lystbådehavn	B1	602.887	6.186.869	1,0
Kolby Kås Havn	B2	595.845	6.184.311	1,6
Sælvig Havn	B1	596.908	6.191.965	1,6
Vejforbindelse til Ballen Færgehavn	B1, B2, B3, B4, B5, B6, B7, B8, B9, B10, B11, B12, B13	600.502 - 602.471	6.185.907 - 6.186.657	3,1 - 24,8
Tanderup	1, 2, 3	596.270 - 596.410	6.189.650 - 6.190.120	12,5 - 12,6

Placeringen af borerne, der er listet i Tabel 4-3, er vist på Figur 4-35.

Der er flere korte offshore borer omkring Samsø, der er blevet udført i forbindelse med undersøgelser for Samsølinien i 1972. Boreprofilerne på GEUS' Jupiter-database indeholder ingen egentlig information om geotekniske parametre, hvor disse borer ikke indgår i nedenstående analyser og vurderinger.

Det samme er gældende for den nærliggende Svanegrund samt de udførte borer i syd og sydvest for Samsø.

I forbindelse med geotekniske undersøgelser for vindmølleparken Samsø Havvindmøllepark blev der i 2001 gennemført 11 vibrocore, inkl. optagning af prøver, og 11 CPT-forsøg. Vindmølleparken ligger syd for Samsø og giver informationer omkring de øverste 5 – 16 m under eksisterende havbund. Undersøgelsernes omtrentlige placering fremgår af Figur 4-35, hvor midten af de 11 undersøgelsespunkter er vist som et enkelt offshorepunkt.



Figur 4-35 Placing af de digitaliserede borer, der indgår i datagrundlaget for evaluering af de forskellige geotekniske parametre på Samsø.

På baggrund af tilgængeligt materiale er der udarbejdet simplificerede geologiske profiler. Det simplificerede geologiske profil for Sjælland, hvor linjeføringen går op over Røsnæs til Samsø, er vist på Figur 3-38.

Karakteristika for de trufne jordlag er beskrevet og diskuteret i de forskellige afsnit nedenfor. En samlet konklusion inklusiv en sammenfatning af de forskellige geotekniske parametre – til anvendelse for eventuelle indledende skitseanalyser – for de forskellige trufne jordlag er givet i afsnit 4.3.11.

4.3.2 Fyld

De trufne fyldaflejringer varierer stærkt i hele området, og vil have helt lokale karakteristika alt efter hvilke bygninger og/eller anlæg, der er de enkelte steder. Der må forventes at træffe fyld ved alle boringslokaliteter.

Generelt er fyld truffet som enten

- leret, sandet muld med indhold af enkelte gruskorn,
- sandet, muldblandet og svagt gruset ler eller
- sand karakteriseret enten som
 - fin- til grovkornet, stærkt gruset, leret, usorteret sand,
 - fin- til mellemkornet, sorteret sand med enkelte gruskorn eller
 - finkornet, siltet, ringe sorteret sand.

Der er gennemført tre vandindholdsbestemmelser på prøver af fyld (her typisk på ler/lermuld og muld). Det målte naturlige vandindhold varierer mellem 13,1 og 13,8 % med et gennemsnit på ca. 13,4 %.

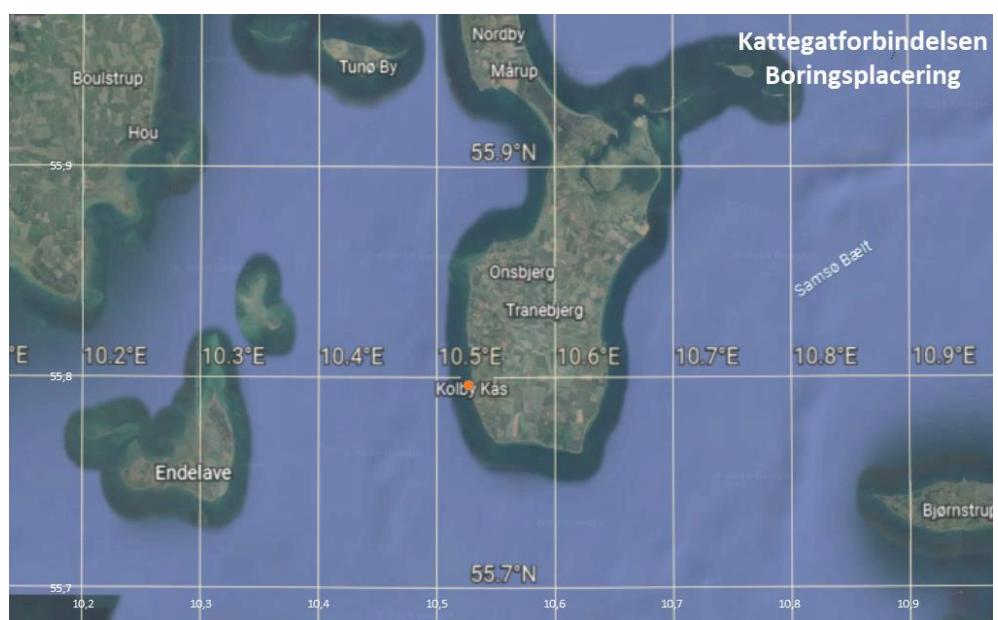
Den intakte vingestyrke er målt tre gange. Den intakte vingestyrke er målt i intervallet 115 – 165 kPa med et gennemsnit liggende på 134 kPa.

Der er ikke udført SPT- eller CPT-forsøg i de trufne fyldaflejringer.

4.3.3 Post- og senglaciale aflejringer

Postglacial tørv og gytje

Postglacial tørv og gytje er kun truffet i boringen ved Kolby Kås Havn, cf. Figur 4-36. De organikholdige ferskvandsaflejringer er karakteriseret som værende siltet gytje eller tørv.



Figur 4-36 Postglacialt tørv og gytje er truffet i den markerede boring.

Der er gennemført rumvægtsbestemmelse på én prøve af siltet gytje på 17,9 kN/m³. Det korrelerede vandindhold er bestemt til 109,9 %.

Yderligere én prøve af tørv er vandindholdsbestemt med en værdi på 198,9 %.

Den intakte vingestyrke er målt to gange i tørv, begge målinger viste en værdi på 50 kPa.

Der er ikke udført SPT- eller CPT-forsøg i postglacial tørv og gytje.

Dekadehældningen for normalkonsoliderede organikholdige aflejringer, Q, kan iflg. dansk empiri bestemmes som

$$Q = \frac{w-0,25}{w+0,40} \cdot 0,6$$

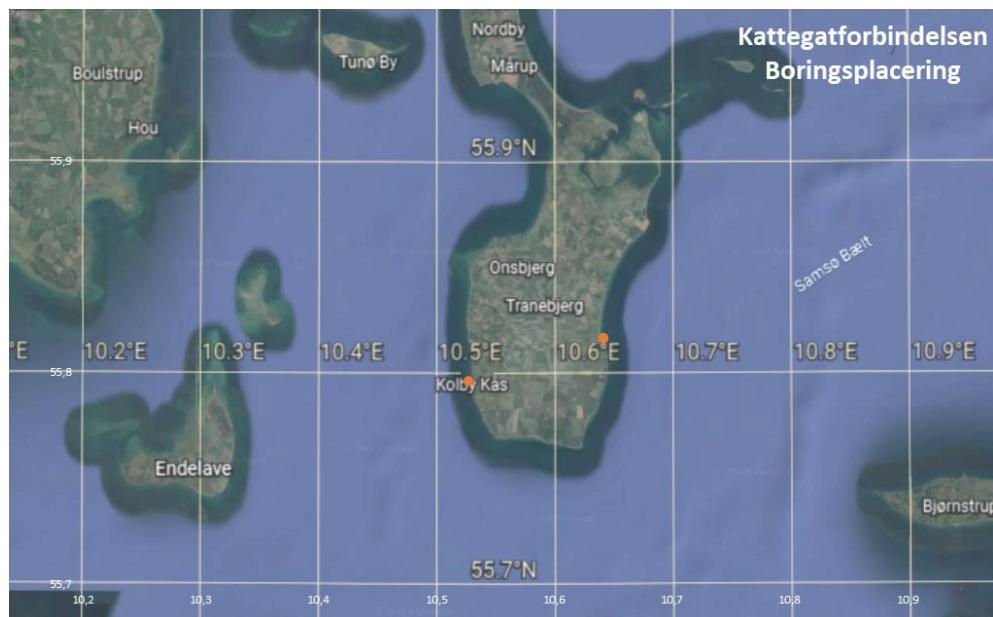
hvor w er det naturlige vandindhold (indsat som decimaltal). For et interval af vandindhold på 110 til 200 % fås en dekadehældning på

$$Q = 34 - 44 \%$$

hvilket ligger i den høje ende af almindelig dansk erfaring (Nyt Teknisk Forlag, 2011).

Postglacialt sand

Postglacialt sand er truffet i to borer ved henholdsvis Kolby Kås Havn og Ballen Lystbåde Havn, cf. Figur 4-37.



Figur 4-37 Postglacialt sand er truffet ved de markerede borer.

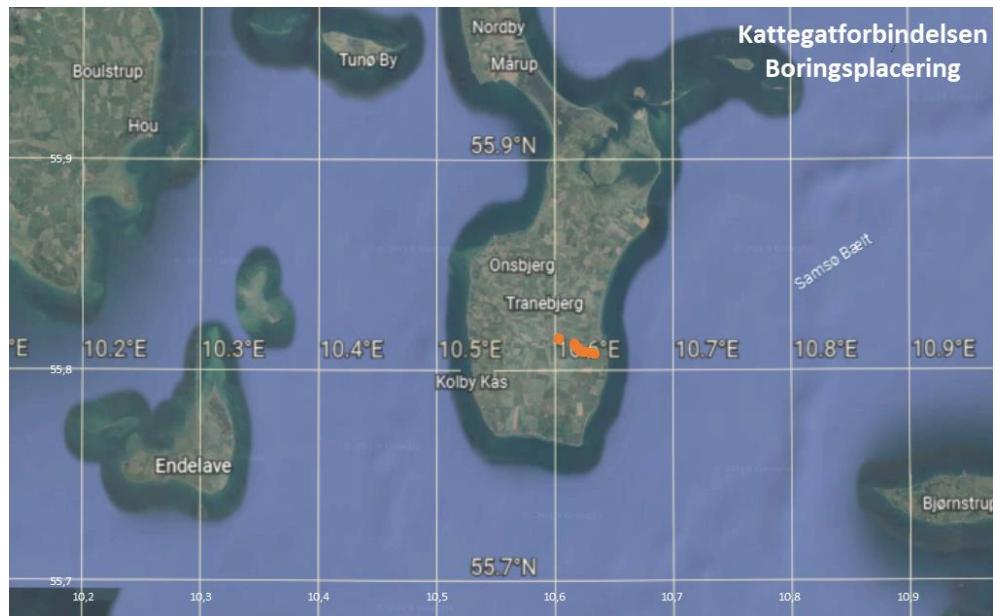
Det postglaciale sand er truffet mellem 7,0 og 7,5 m under eksisterende terræn, og der er ikke udført hverken in-situ og/eller laboratorieforsøg på prøver af dette lag.

Senglacialt ler

Det senglaciale ler er truffet i boringerne, der er markeret på Figur 4-38.

Leret er karakteriseret ved at enten være ret fedt med tynde sand- og siltlag eller være sandet til stærkt sandet og svagt til stærkt gruset. Leret er klassificeret som værende nedskyldsjord, flydejord eller smeltevandsaflejringer.

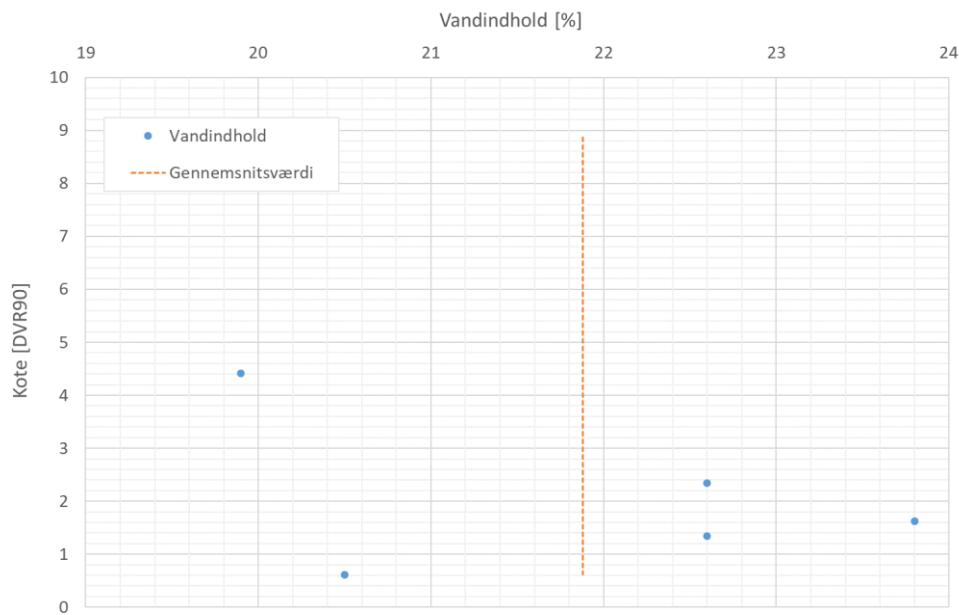
Den ret fede ler er truffet ca. 1 – 3 m under eksisterende terræn, hvor den sandede og grusede ler er truffet ca. 0,5 – 3 m under eksisterende terræn.



Figur 4-38 Senglacialt ler er truffet i de markerede borer.

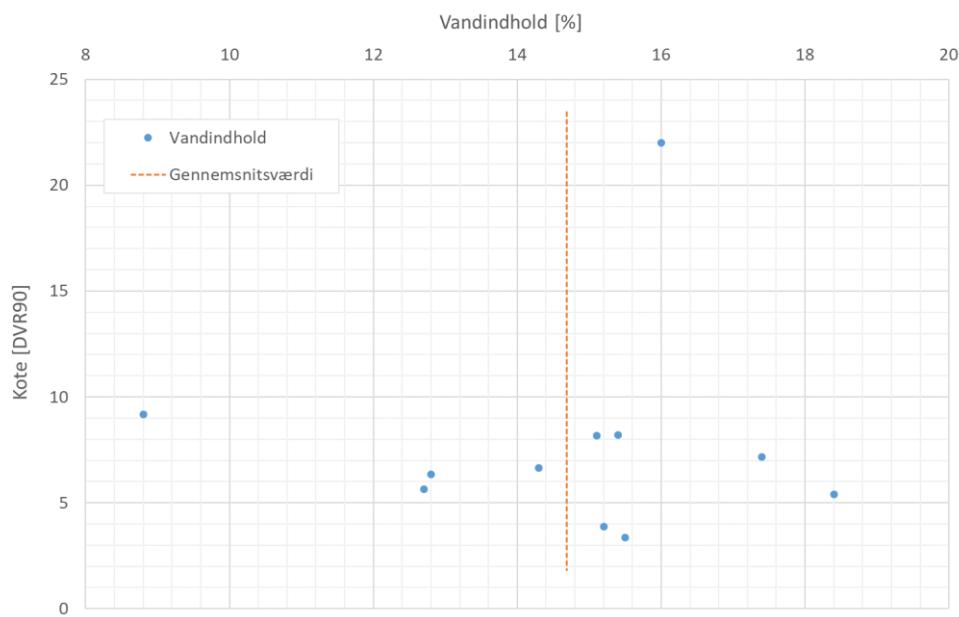
Der er ikke gennemført rumvægtsbestemmelse på prøver af det senglaciale ler truffet på Samsø.

For den ret fede ler er det naturlige vandindhold målt på 5 prøver, cf. Figur 4-39. Vandindholdet er målt i intervallet 19,9 – 23,8 % med et gennemsnit liggende på 21,9 %.



Figur 4-39 Naturligt vandindhold målt i prøver af ret fedt, senglacialt ler.

For den sandede og grusede ler er det naturlige vandindhold målt på 11 prøver, cf. Figur 4-40. Vandindholdet er målt i intervallet 8,8 – 18,4 % med et gennemsnit liggende på 14,7 %.



Figur 4-40 Naturligt vandindhold målt i prøver af sandet og gruset, senglacialt ler.

På den ret fede ler er den intakte vingestyrke målt 12 gange, cf. Figur 4-41. Den intakte vingestyrke er målt i intervallet 79 – 295 kPa med et gennemsnit på 158 kPa.

Ud fra de målte værdier kan en karakteristisk værdi, bestemt som 95 % fraktil-værdien, sættes til 91 kPa.

Statistisk analyse på den målte vingestyrke af det ret fede ler er:

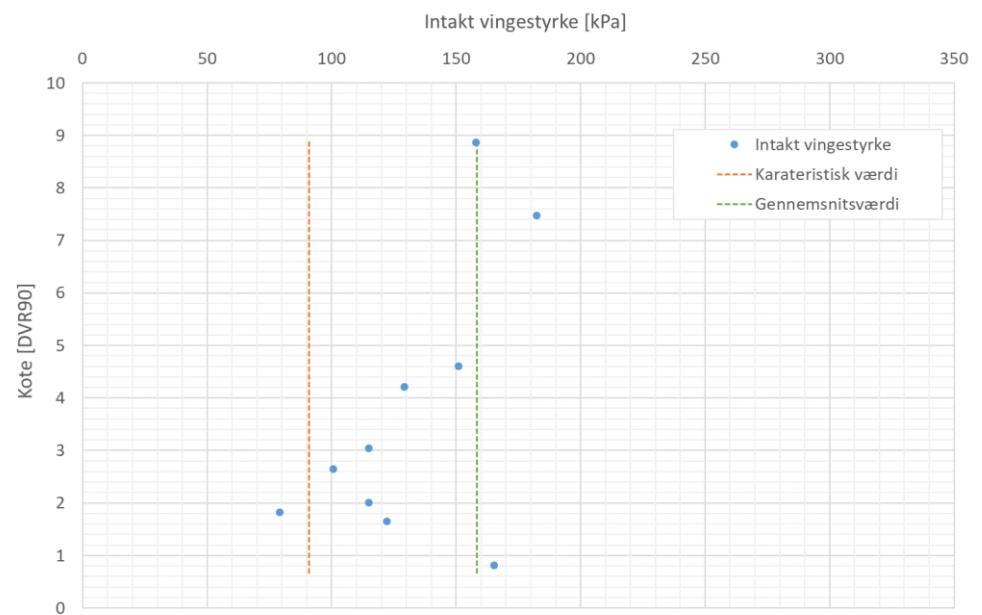
Antal	12
Gennemsnit	158,3 kPa
Spredning	68,4 kPa
Konfidensinterval (95% t-fordeling)	43,5 kPa
Nedre værdi	114,8 kPa
Øvre værdi	201,7 kPa

På den sandede og grusede ler er den intakte vingestyrke er målt 16 gange, cf. Figur 4-42. Den intakte vingestyrke er målt i intervallet 101 – 393 kPa med et gennemsnit på 233 kPa.

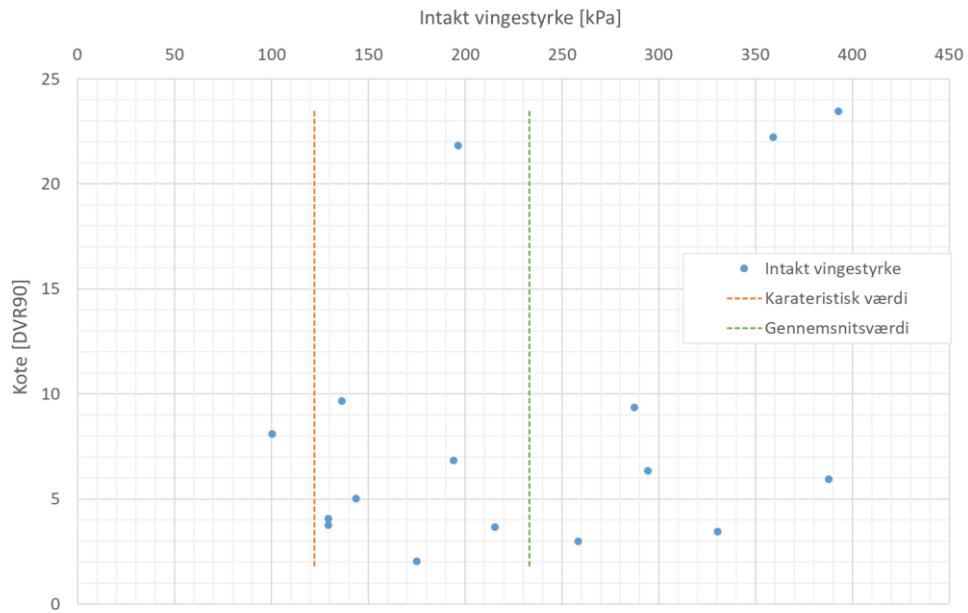
Ud fra de målte værdier kan en karakteristisk værdi, bestemt som 95 % fraktil-værdien, sættes til 122 kPa.

Statistisk analyse på den målte vingestyrke af det sandede og grusede ler er:

Antal	16
Gennemsnit	233,2 kPa
Spredning	98,4 kPa
Konfidensinterval (95% t-fordeling)	52,4 kPa
Nedre værdi	180,8 kPa
Øvre værdi	285,6 kPa



Figur 4-41 Intakt vingestyrke målt in-situ i ret fedt, senglaciatl ler.



Figur 4-42 Intakt vingestyrke målt in-situ i sandet og gruset, senglacialt ler.

Der er ikke udført SPT- eller CPT-forsøg i det trufne senglaciale smeltevandsler på Samsø.

Jævnfør almindelig dansk praksis (Nyt Teknisk Forlag, 2011) kan konsolideringsmodulen, K, for senglacial ler bestemmes som

$$K = \frac{40}{w} \cdot c_u \quad [\text{kPa}]$$

hvor w er det naturlige vandindhold (i decimaltal) og c_u er den udrænede for-skydningsstyrke i kPa.

Ifølge Teknisk Ståbi®, ref. (Nyt Teknisk Forlag, 2011), kan det forventes at kon-
sideringsmodulen ligger i intervallet 3 – 10 MPa. For det ret fede ler med et
gennemsnitligt vandindhold på 22 % og en karakteristisk udrænet forskydnings-
styrke på ca. 90 kPa fås

$$K = \frac{40}{0,22} \cdot 90 \approx 17 \text{ MPa}$$

og for det sandede og grusede ler med et gennemsnitligt vandindhold på 15 % og en karakteristisk udrænet forskydningsstyrke på ca. 125 kPa fås

$$K = \frac{40}{0.15} \cdot 125 \approx 33 \text{ MPa}$$

hvilket for begge værdier ligger i den høje ende af, hvad man vil forvente.

4.3.4 Øvre (sen)glaciale sand og grus

Det øvre (sen)glaciale sand og grus er truffet i boringerne, der er markeret på Figur 4-43.



Figur 4-43 (Sen)glaciale sand og grus er truffet i de markerede borer.

Den senglaciale fraktion af det øvre sand er karakteriseret som enten fin- til mellemkornet, siltet, sorteret til velsorteret smeltevandssand eller fin- til mellemkornet, leret, ringe sorteret til usorteret flydejordssand med enkelte gruskorn. Både smeltevandssandet og flydejordssandet har en enkel prøve, hvor der er fundet svagt indhold af glimmer. Det senglaciale sand er truffet ca. 1 – 4 m under eksisterende terræn.

Den glaciale fraktion af det øvre sand er karakteriseret som fin- til mellemkornet, svagt leret til leret, svagt gruset, usorteret morænesand. Morænesandet er typisk truffet mellem 7 og 8 m under eksisterende terræn, men er også truffet mellem 2,5 og 4 m.u.t.

Udover to vingeforsøg i sandlagene er der ikke udført hverken in-situ eller laboratorieforsøg til fastlæggelse af geotekniske parametre for det (sen)glaciale sand og grus.

4.3.5 Øvre moræneler og smeltevandsler

Det øvre glaciale smeltevandsler og moræneler er truffet i borerne, der er markeret på Figur 4-44.



Figur 4-44 Glaciale smeltevandsler og moræneler er truffet i de markerede borer.

Smeltevandsler

Det trufne glaciale smeltevandsler er karakteriseret som svagt sandet og siltet, og er truffet i en enkel boring (B9) i dybden 5 – 6 m under eksisterende terræn.

Der er ikke gennemført rumvægtsbestemmelse på prøver af glaciale smeltevandsler fra Samsø, mens det naturlige vandindhold er målt på én prøve af glaciale smeltevandsler med værdien 15,4 %.

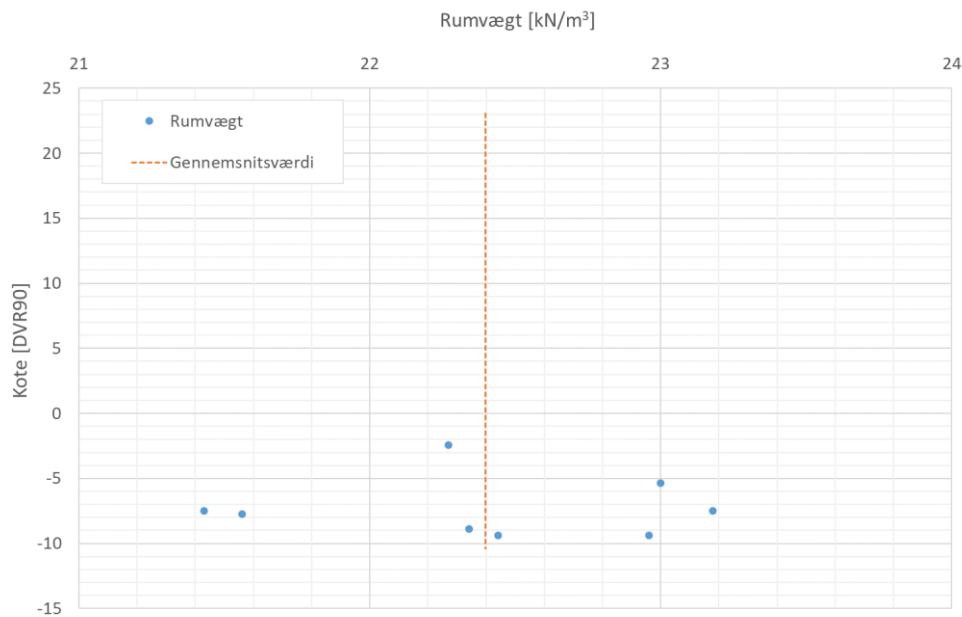
Den intakte vingestyrke er målt to gange, henholdsvis 182,4 og 378,8 kPa.

Der er ikke udført SPT- eller CPT-forsøg i glaciale smeltevandsler.

Moræneler

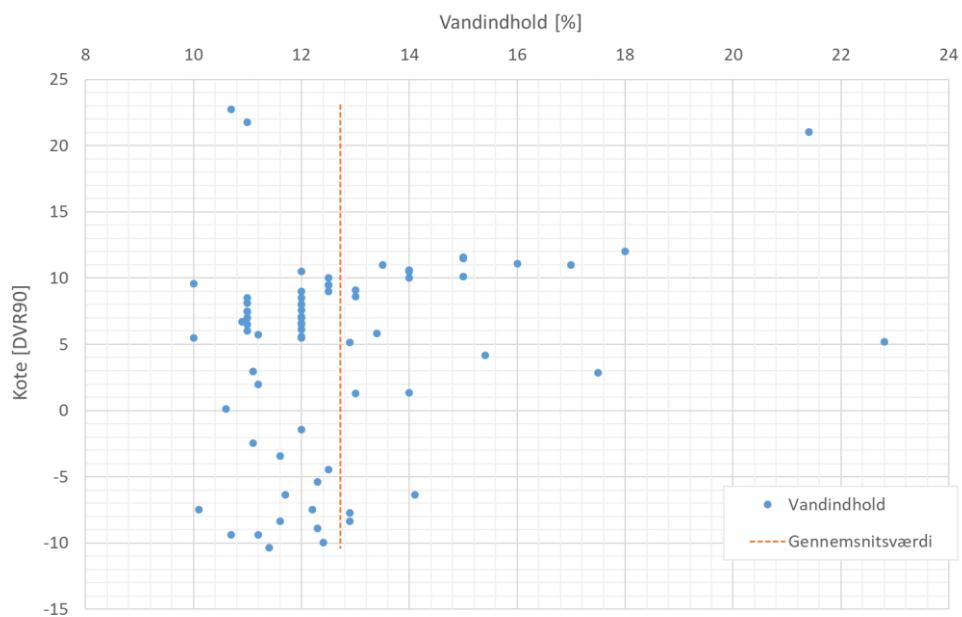
Moræneleret er karakteriseret som sandet til stærkt sandet samt svagt siltet til siltet og er truffet i alle borer i dybder fra ca. 2 til 12 m under eksisterende terræn.

Rumvægten er målt på otte prøver i intervallet 21,4 – 23,2 kN/m³ med et gennemsnit på 22,4 kN/m³, cf. Figur 4-45.



Figur 4-45 Rumvægt målt på prøver af moræneler.

Det naturlige vandindhold er målt på 70 prøver af moræneler, cf. Figur 4-46. Vandindholdet er målt i intervallet 10,0 – 22,8 % med et gennemsnit på 12,7 %.



Figur 4-46 Det naturligt vandindhold målt på prøver af glacielt moræneler.

Statistisk analyse på det målte vandindhold er:

Antal	70
Gennemsnit	12,7 %
Spredning	2,3 %
Konfidensinterval (95% t-fordeling)	0,56 %
Nedre værdi	12,2 %
Øvre værdi	13,3 %

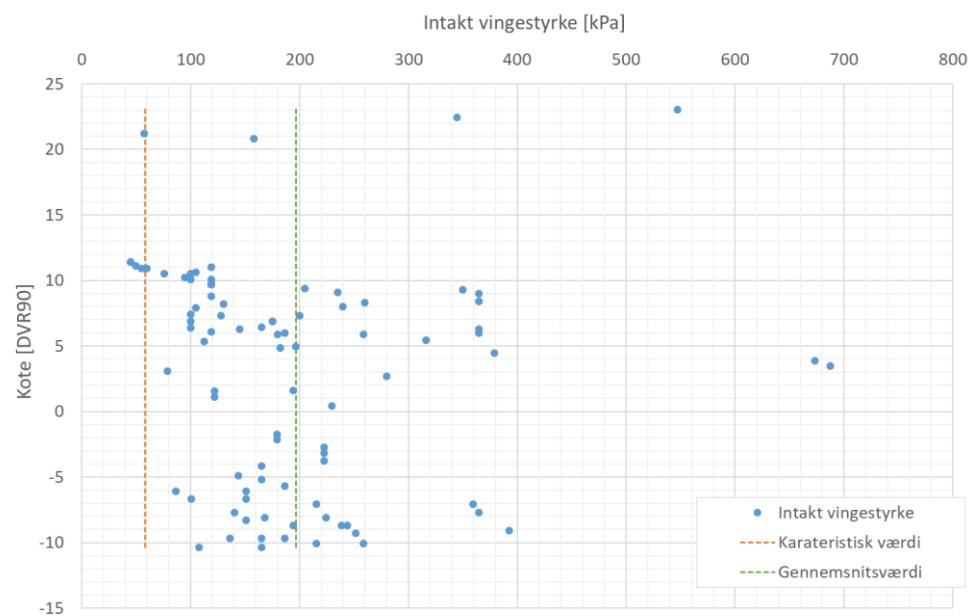
Den intakte vingestyrke er målt 89 gange, cf. Figur 4-47 og Figur 4-48. Den intakte vingestyrke er målt i intervallet 45 – 687 kPa med et gennemsnit liggende på 197 kPa.

Ud fra de målte værdier kan en karakteristisk værdi, bestemt som 95% fraktil-værdien, sættes til 58 kPa.

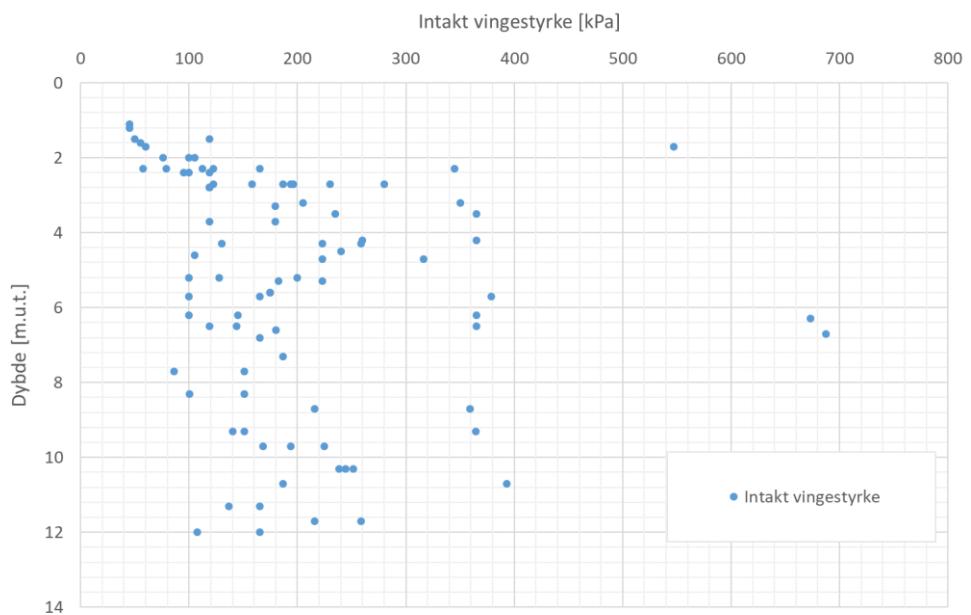
Statistisk analyse på den målte vingestyrke er:

Antal	89
Gennemsnit	196,6 kPa
Spredning	120,6 kPa
Konfidensinterval (95% t-fordeling)	25,4 kPa
Nedre værdi	171,2 kPa
Øvre værdi	222,0 kPa

Den målte vingestyrke varierer generelt konstant med dybden og ligger typisk indenfor intervallet 100 – 200 kPa. Der er dog en tendens til, at moræneleret er svagt i toppen, hvor der er flere målinger omkring 50 kPa.



Figur 4-47 Intakt vingestyrke målt in-situ i moræneler som funktion af koten.



Figur 4-48 Intakt vingestyrke målt in-situ i moræneler som funktion af dybde under eksisterende terræn.

Jævnfør almindelig dansk praksis (Nyt Teknisk Forlag, 2011) kan konsolideringsmodulen, K , for glacialt ler bestemmes som

$$K = \frac{40}{w} \cdot c_u \quad [\text{MPa}]$$

hvor w er det naturlige vandindhold (i decimaltal) og c_u er den udrænede forskydningsstyrke i kPa.

Ifølge Teknisk Ståbi®, ref. (Nyt Teknisk Forlag, 2011), kan det forventes, at konsolideringsmodulen ligger i intervallet 50 – 170 MPa for et effektivt, vertikalt overlejringstryk på 40 – 100 kPa. For et gennemsnitligt vandindhold på 12 % og en karakteristisk udrænet forskydningsstyrke på ca. 60 kPa fås

$$K = \frac{40}{0,12} \cdot 60 \approx 20 \text{ MPa}$$

hvilket ligger i den lave ende af, hvad man vil forvente. For en udrænet forskydningsstyrke på 200 kPa (gennemsnitsværdien) fås en konsolideringsmodul på ca. 65 MPa.

Der er ikke udført SPT- eller CPT-forsøg i glacialt moræneler.

4.3.6 Mellem smeltevandssand og -grus

Der er ikke i det tilgængelige datagrundlag informationer omkring densitet, styrke- og deformationsparametre for det mellemste sand- og gruslag.

Styrke- og deformationsparametre kan forsigtigt bestemmes ud fra almindelig dansk empiri og egenskaberne for de højere liggende sammenlignelige jordlag.

Parametrene bør altid verificeres ved hjælp af forsøgsresultater fra geotekniske undersøgelser.

4.3.7 Nedre moræneler og smeltevandsler

Der er ikke i det tilgængelige datagrundlag informationer omkring densitet, styrke- og deformationsparametre for det nederste lerlag.

Styrke- og deformationsparametre kan forsigtigt bestemmes ud fra almindelig dansk empiri og egenskaberne for de højereliggende sammenlignelige jordlag. Parametrene bør altid verificeres ved hjælp af forsøgsresultater fra geotekniske undersøgelser.

4.3.8 Nedre smeltevandssand og -grus

Der er ikke i det tilgængelige datagrundlag informationer omkring densitet, styrke- og deformationsparametre for det nederste sand- og gruslag.

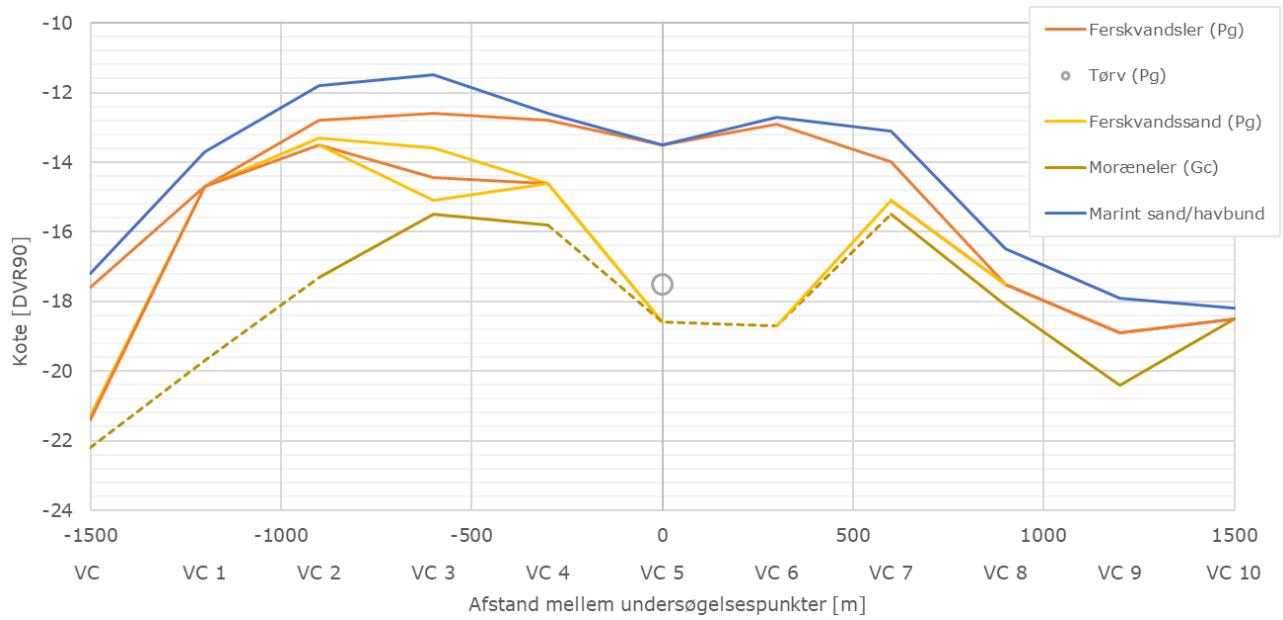
Styrke- og deformationsparametre kan forsigtigt bestemmes ud fra almindelig dansk empiri og egenskaberne for de højereliggende sammenlignelige jordlag. Parametrene bør altid verificeres ved hjælp af forsøgsresultater fra geotekniske undersøgelser.

4.3.9 Prækvartære aflejringer

Det antages, at de prækvartære aflejringer under Samsø kan relateres til både Sjælland og Jylland, hvorfor der henvises til afsnit 4.1.9 og 4.5.9.

4.3.10 Samsø havvindmøllepark

Jordbundsforholdene umiddelbart syd for Samsø er stærkt varierende i de øvre 10 – 15 m under eksisterende havbund. På baggrund af de udførte geotekniske undersøgelser, cf. afsnit 4.3.1, er der lavet et længdesnit, der løber nord-syd med nulpunkt i midten af undersøgelsesområdet (vibrocore CV05_1800), cf. Figur 4-49. Undersøgelsen viser, at overfladen af det øvre glaciale moræneler, cf. afsnit 4.3.5, varierer en del og typisk ligger dybere end kote -18 DVR90. Over moræneleret er det truffet varierende mængder af postglaciale ferskvandssand og -ler. I midten af undersøgelsesområdet er der ligeledes truffet et tyndt lag tørv mellem det postglaciale ferskvandsler.

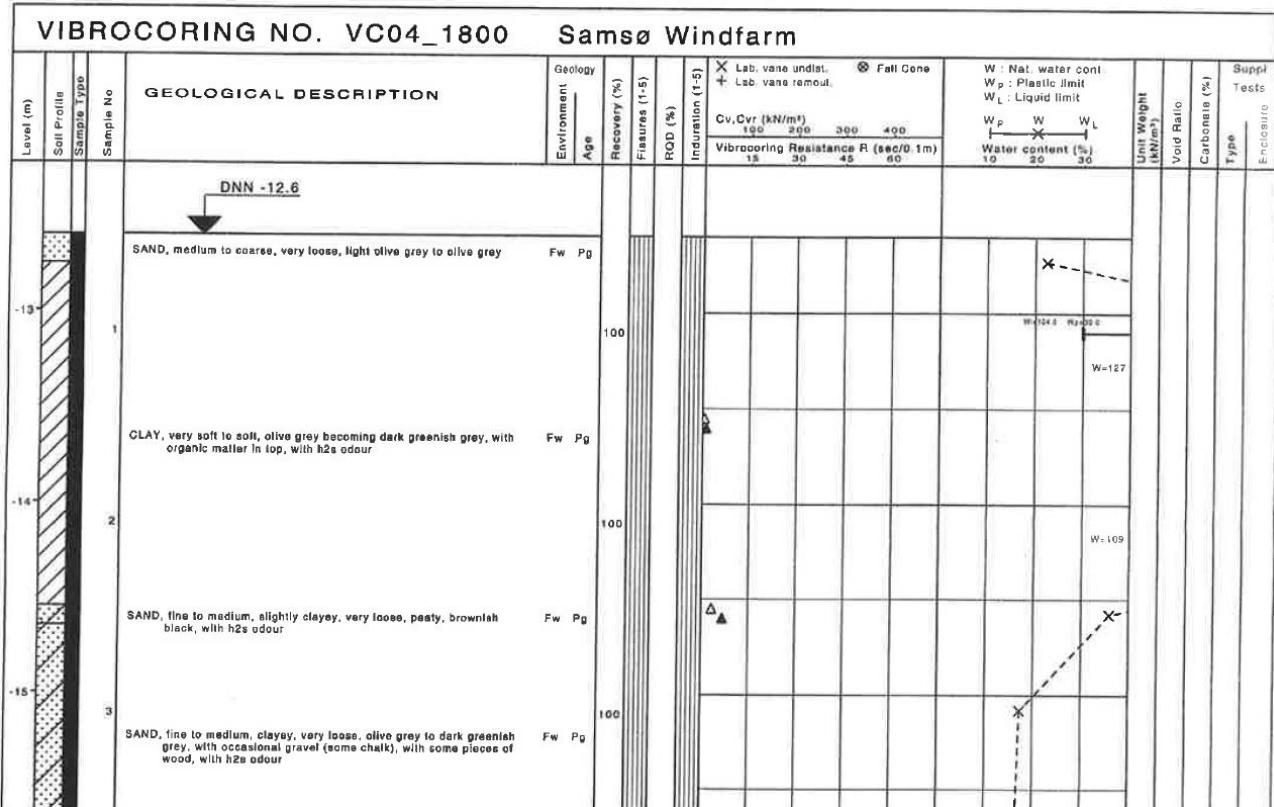


Figur 4-49 Stratigrafisk længdesnit fra VC_00-1800 (stand -1500 m) til VC_10-1800 (afstand 1500 m).

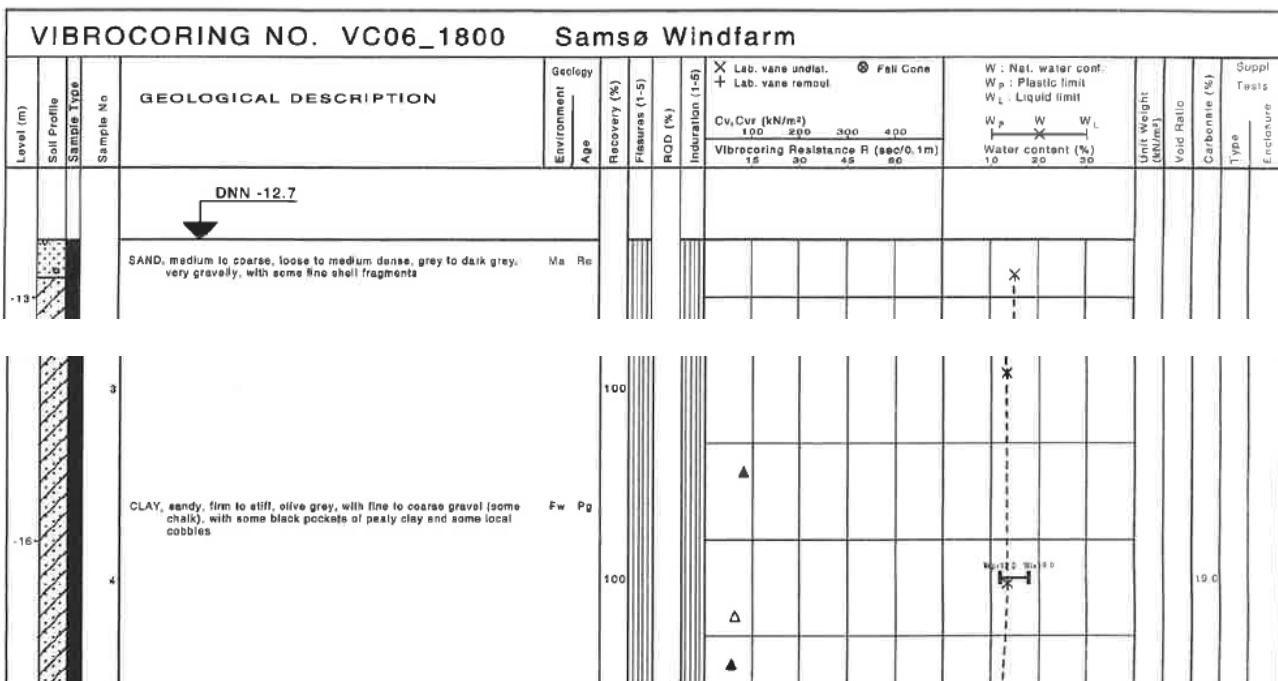
Det offshore-trufne ferskvandsler har et vandindhold mellem ca. 10 og 135 %. Hvor vandindholdet er lavt (10 – 16%) er der målt CPT q_c -værdier i intervallet 1 – 2 MPa. Ved de høje vandindhold (>40%) er der målt q_c -værdier i intervallet 0,01 – 0,2 MPa.

Generelt er der i det offshore-trufne postglaciale ferskvandssand målt q_c -værdier i intervallet 0,5 – 1 MPa.

Typiske data fra vibrocore-undersøgelsen for de trufne ferskvandsflejringer er vist på Figur 4-50 og Figur 4-51. Eksempel på data fra CPT04_18 er vist på Figur 4-53.



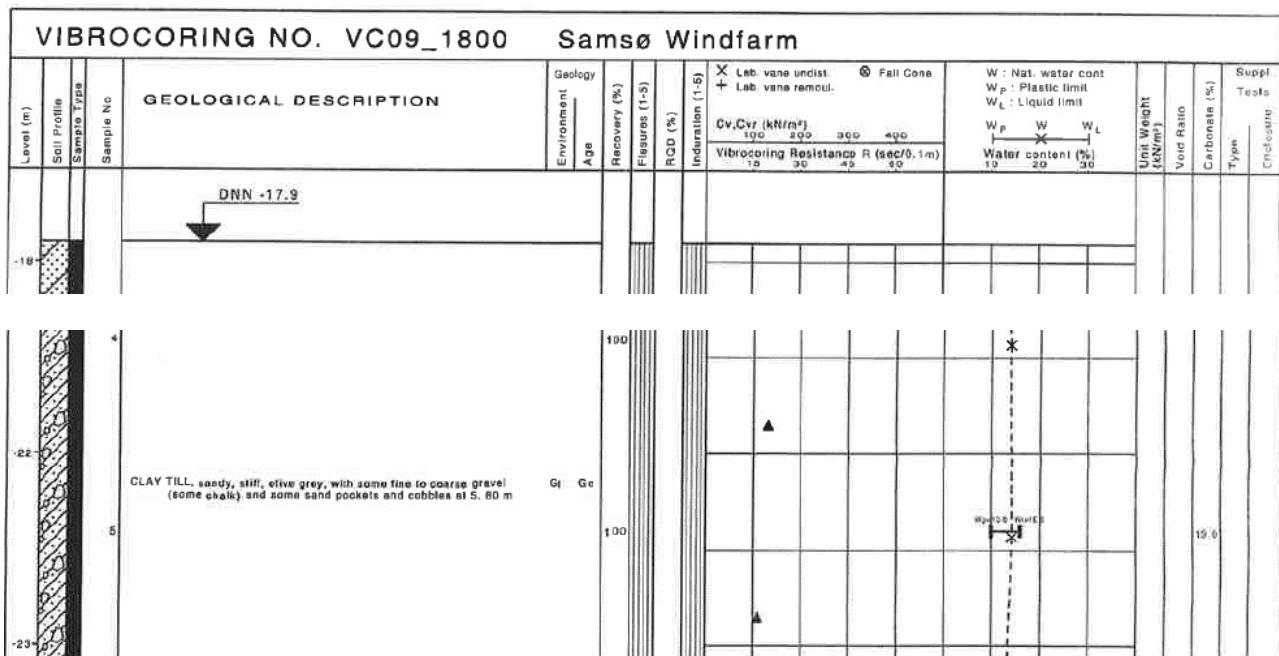
Figur 4-50 Eksempel på data fra vibrocore VC_04-1800 med parametre for de trufne ferskvandsaflejringer.



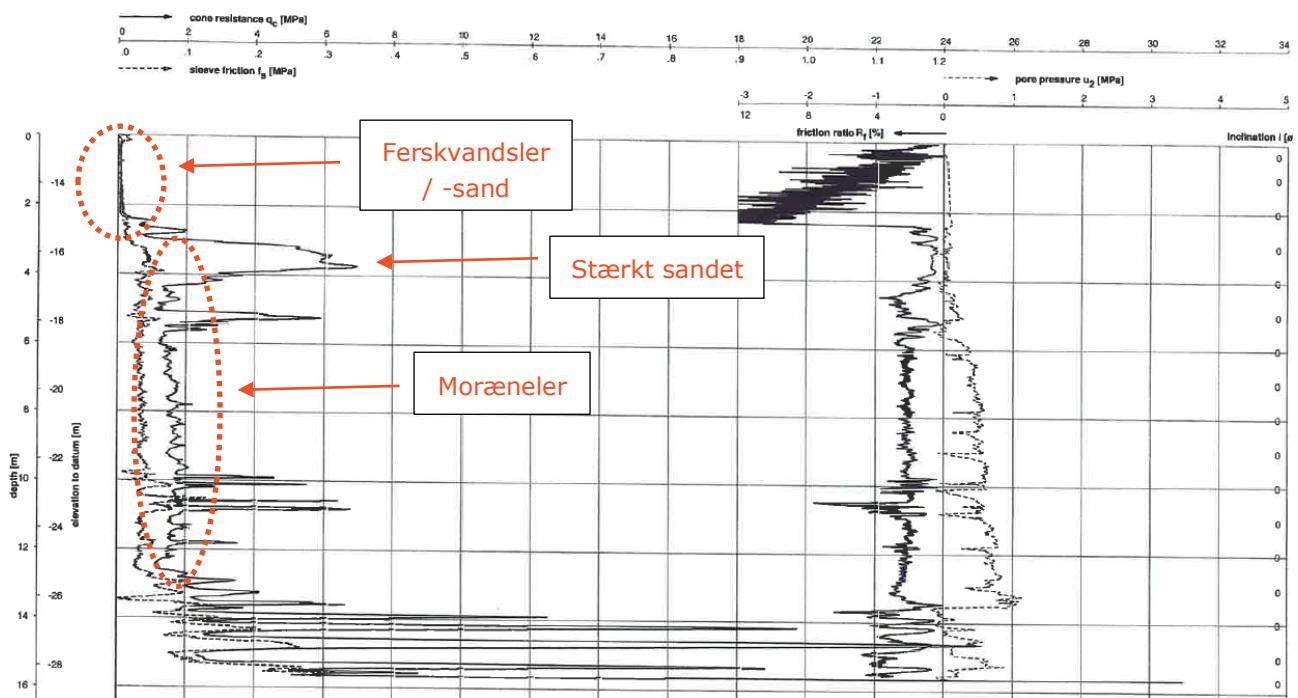
Figur 4-51 Eksempel på data fra vibrocore VC_06-1800 med parametre for de trufne ferskvandsaflejringer.

Moræneleret er truffet i 6 af de 11 offshore undersøgelsespunkter og har typisk et vandindhold i intervallet 10 – 15 %, i enkelte prøver er der målt vandindhold op til 24 %.

De udførte CPT-forsøg viser typisk en q_c -værdi i intervallet 1 – 2 MPa, dog er der i CPT08_18 målt ned til ca. 0,5 MPa. CPT03 og -04 viser peaks op til 6 – 8 MPa, hvilket kan skyldes stærkt sandede partier i moræneleret.



Figur 4-52 Eksempel på data fra vibrocoring VC_09-1800 med parametre for det offshore-trufne moræneler.



Figur 4-53 Resultater fra CPT04_18.

4.3.11 Sammenfatning af jordbundsforhold på Samsø

Det er et meget begrænset datagrundlag, som danner baggrund for værdierne listet i Tabel 4-4. Værdierne skal derfor kun ses som foreløbige værdier, der kan anvendes til indledende skitseanalyser. En del parametre i tabellen er baseret på dansk empiri og bør verificeres ved hjælp af forsøgsresultater fra geotekniske undersøgelser.

De geotekniske undersøgelser, der ligger til grund for den geotekniske screening, har typisk kun omfattet bestemmelse af det naturlige vandindhold, rumvægten samt den intakte vingestyrke (for kohæsive aflejringer).

Der er ikke udført SPT-forsøg i de geotekniske undersøgelser udført på Samsø. Kun for Samsø Havvindmøllepark er der udført CPT-forsøg. Disse forsøg er dog ikke analyseret nærmere her, men er kort beskrevet i afsnit 4.3.10.

Stivhedsparametre er alle empirisk bestemt ud fra almindelig dansk praksis på baggrund af værdier af udrænet forskydningsstyrke og/eller vandindhold.

Der er for de post-, sen- og glaciale aflejringer vurderet, at den målte vingestyrke kan korreleres direkte som værende sammenlignelig med den udledte udrænede forskydningsstyrke.

De listede parametre for prækuartære aflejringer er alle bestemt via litteraturstudier.

For at kunne bestemme de forskellige styrke- og deformationsparametre mere præcist, er det nødvendigt at gennemføre yderligere geotekniske undersøgelser, som beskrevet i afsnit 5.

*Tabel 4-4 Foreløbige geotekniske parametre for de på Samsø trufne jordlag.
Tal skrevet i parentes er gennemsnitsværdien for de målte værdier.*

Jordtype	γ' / γ [KN/m ³]	w [%]	Φ'_{pl} [°]	c' / c_u [kPa]	Q [%]	E_{oed} [MPa]
Fyld	10* / 18*	~13	30*	- / 100	-	10*
Pg tørv/gytje	8 / 18	~200	25*	- / 50	40	-
Pg sand	10* / 18*	-	33*	- / -	-	30*
Pg ler	9* / 19*	30-70*	25*	- / 50*	5-25*	-
Sg fedt smelte-vandsler	8* / 18*	20-24 (22)	25*	- / 90	-	10*
Sg sandet smelte-vandsler	9* / 19*	9-18 (15)	25*	- / 120	-	10*
Gc smeltevands-sand	11* / 21*	-	36*	- / -	-	30*
Morænesand/grus	11* / 21*	-	38*	- / -	-	30*

Jordtype	γ' / γ [kN/m ³]	w [%]	ϕ'_{pl} [°]	c' / c_u [kPa]	Q [%]	E_{oed} [MPa]
Gc smeltevandsler/silt	11* / 21*	~15	25*	10* / 100*	-	40*
Moræneler/-silt	12 / 22	10-23 (13)	30*	6 / 50-100	-	65
Gc mellem smeltevandssand	11* / 21*	-	36*	- / -	-	≥30*
Nedre moræneler	12*	-	30*	20* / 200*	-	80*
Nedre smeltevandsand	11* / 21*	-	36*	- / -	-	≥30*
Søvindmergel	6-9* / 16,5-19,5*	30-60*	20*	- / 60*	-	-
Lillebæltsler	7-9* / 17-19*	35-60*	15-23*	2-7* / 50*	-	-
Røsnæsler	8,5* / 18,5*	35-45*	15-20*	3,5-15* / 40-130*	-	-

*) Værdien er empirisk bestemt ud fra traditionel dansk erfaring, da der ikke på nuværende tidspunkt er tilstrækkeligt datagrundlag til at bestemme værdien ud fra målte værdier.

For deformations parametre for Røsnæsleret henvises der til beskrivelserne i afsnit 4.1.9. For Søvindmergel og Lillebæltsler henvises til afsnit 4.5.9.

4.4 Kyst til kyst vest

Der er ikke tilstrækkeligt med tilgængeligt data til at analysere og vurdere de geotekniske parametre for de jordbundsforhold, der er beskrevet i afsnit 3.10.2.

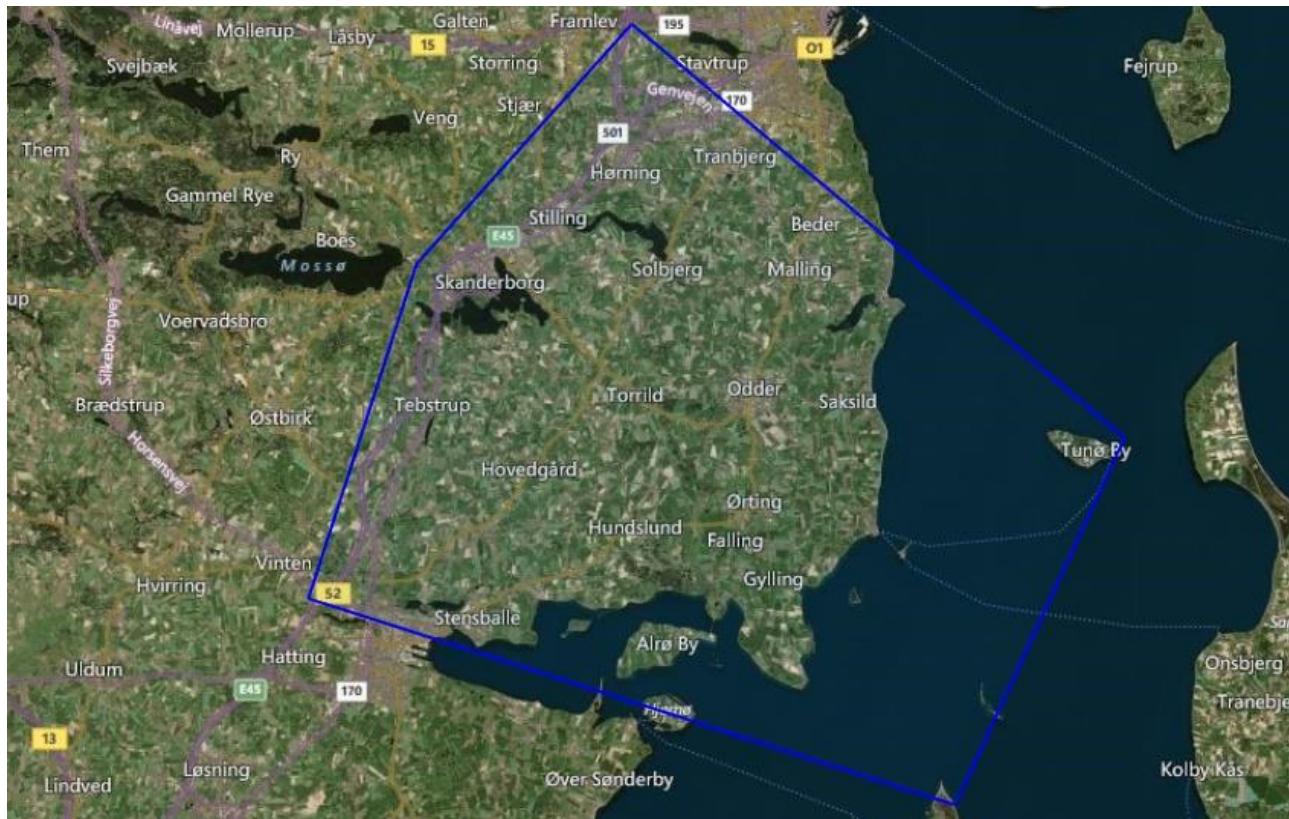
Det antages på nuværende tidspunkt, at der for simple skitseberegninger kan anvendes de mest konservative parametre, der er vurderet i afsnit 4.3.10 og 4.5.10.

Der bør gennemføres yderligere geotekniske offshore-undersøgelser mellem Samsø og Jylland for at belyse de geotekniske forhold nærmere.

4.5 Jylland

4.5.1 Udførte undersøgelser

For de mulige linjeføringskorridorer i Jylland er det valgt at undersøge og inkludere data fra geotekniske undersøgelser udført indenfor et afgrænset areal som vist på Figur 4-54.



Figur 4-54 Kortudsnit, der med blåt skitserer interesseområdet for linjekorridorerne i Jylland.

Der er i forbindelse med jernbanaprojektet Hovedgård – Hasselager udført en række geotekniske borer. Det har ved dette fagnotats færdiggørelse ikke været muligt at tilgå de geotekniske data digitalt, hvorfor kun en enkel boring – via GEUS' Jupiterdatabase – er blevet analyseret og digitaliseret.

De geotekniske borer, der på tidspunktet for dette fagnotats tilblivelse var digitaliseret og derved indgår i datagrundlaget for de forskellige geotekniske parametre, er listet i Tabel 4-5.

Tabel 4-5 Geotekniske undersøgelsespunkter, der indgår i datagrundlaget for analyse af parametre.

Projekt	Boring	X UTM	Y UTM	Terræn [DVR90]
ARLA Foods - Gjesing Mæjeri	B1, B2, B3, B/CPT4, B/CPT5	563.875 – 564.042	6.205.365 – 6.205.428	44,6 – 58,4
Bro 60-096.20, OF af Åbovej	B1, B3, B4	564.338 – 564.421	6.220.228 – 6.220.256	42,1 – 42,7
Bro 609-002.00, OF af Gammelsøvej	B1, B2	565.276 – 565.282	6.220.110 – 6.220.133	62,3 – 63,0
Bro 609-003.00, OF af Buggesgårdvej	B2, B3, B4	566.290 – 566.299	6.220.082 – 6.220.111	72,7 – 73,5
Bro 609-004.00, UF af Lemmingvej	A1, B1, B2, A/RS2	568.621 – 568.670	6.219.696 – 6.219.735	66,7 – 70,1

Projekt	Boring	X UTM	Y UTM	Terræn [DVR90]
Bro 609-005.00, UF af bane, Skanderborg-Århus	B1, B2, B3, B4	569.050 – 569.100	6.219.505 – 6.219.549	65,1 – 69,5
Bro 61-006.50, UF af A - vej 609, Vest	B1, B2, B3	567.207 – 567.255	6.219.992 – 6.220.023	70,8 – 73,7
Bro 61-006.51, UF af A - vej 609, Øst	B4, B6	567.282 – 567.335	6.219.983 – 6.220.004	73,7 – 74,5
Grobshulevej, Odder Om-fartsvej	B1, B2, B3, B4, B5	565.803 – 569.459	6.204.010 – 6.204.731	42,8 – 84,9
H06022 Sydv. ramper TSA 53 Skanderborg S, E45	152.14V – 152.91V, RV1 – RØ2, SK1, - SK3	554.698 – 555.061	6.208.963 – 6.209.781	41,2 – 63,1
Hov, Odder-Hou	7560, 7900, 8000, 8300	577.519 – 577.964	6.197.992 – 6.198.653	10,3 – 14,8
HØRNING. Herredsvej.	B1 – B20	564.711 – 565.048	6.214.906 – 6.215.065	53,1 – 57,5
Kloakering. Assedrup og Rude	B1, B2, B3, B4, B5	573.803 – 576.377	6.205.951 – 6.207.281	1,5 – 13,6
Matr. nr. 57a Ingerslev By, Tiset	B1 – B6	569.360 – 569.494	6.216.195 – 6.216.250	5,7 – 9,7
MÅRSLET. Jelshøj/Hør-retvej.	1 – 8	572.562 – 572.625	6.215.007 – 6.215.070	7,6 – 9,0
MÅRSLET. Tandervej.	1 – 14	572.064 – 573.147	6.213.081 – 6.213.409	53,3 – 57,9
Nymarks Allé 175, Mårslet	B1, B2	572.511 – 572.518	6.213.263 – 6.213.281	57,1 – 59,1
Oprensning af Sorte Sø, Skanderborg	B1, B2, B3, B6, B7, B8, B9, B10, B11	556.581 – 556.638	6.210.311 – 6.210.367	24,9 – 27,4
Perroner - Aarhus Letbane	MA1A, MA2A, MA3A, MA4A, VI1A, VI2A	573.332 – 574.265	6.210.849 – 6.213.877	43,0 – 45,7
Salamandervænget 109, Stavstrup	B1, B2	568.638 – 568.652	6.220.860 – 6.220.867	63,9 – 64,4
SKANDERBORG. Stilling Landevej	B1, B2, B3, B4	560.877 – 560.916	6.212.959 – 6.213.106	69,8 – 76,7
SPØTTRUP. Spøttrup Strandvej.	1 – 6	577.804 – 578.159	6.198.408 – 6.198.732	6,1 – 12,5
Storskovvej 20B, Ormslev	B1, B2, CPT3, B/CPT4	567.057 – 567.085	6.222.060 – 6.222.086	12,3 – 14,5
The Electrification Programme, Fa-Ar	B63.463L-14L, B66.856R-6R, B67.800L-9L, B69.284R-16R, B70.680R-7R, B73.175R-21R, B74.293L-14L, B77.775L-10L, B78.681R-5R, B79.813L-13L, B80.851L-13L, B91.504L-9L, B96.039L-13L, B98.176R-11R	554.701 – 567.951	6.195.477 – 6.217.703	29,2 – 78,3

Projekt	Boring	X UTM	Y UTM	Terræn [DVR90]
Udvidelse af Odderbanen - Dæmning ved Assedrup	B1 – B7	574.058 – 574.133	6.207.314 – 6.207.414	5,9 – 9,8
NBHH - Ny Bane Hoved-gård - Hasselager	G-A1-18+400	565.516	6.212.586	64,3

Placeringen af boringerne, der er listet i Tabel 4-5, er vist på Figur 4-55.



Figur 4-55 Placing af de digitaliserede borer, der indgår i datagrundlaget for evaluering af de forskellige geotekniske parametre i Jylland.

På baggrund af tilgængeligt materiale er der udarbejdet simplificerede geologiske profiler. Det simplificerede geologiske profil for Jylland, hvor linjeføringen går op over Samsø til Jylland, er vist på Figur 3-39.

Karakteristika for de trufne jordlag er beskrevet og diskuteret i de forskellige afsnit nedenfor. En samlet konklusion inklusiv en sammenfatning af de forskellige geotekniske parametre – til anvendelse for eventuelle indledende skitseanalyser – for de forskellige trufne jordlag er givet i afsnit 4.5.10.

Generelt er der truffet moræneler til stor dybde, men (flager? af) prækvartære aflejringer er også truffet tæt på eksisterende terræn.

4.5.2 Fyld

De trufne fyldaflejringer varierer stærkt i hele området, og vil have helt lokale karakteristika alt efter hvilke bygninger og/eller anlæg, der er de enkelte steder. Der må forventes at træffe fyld ved stort set alle boringslokaliteter.

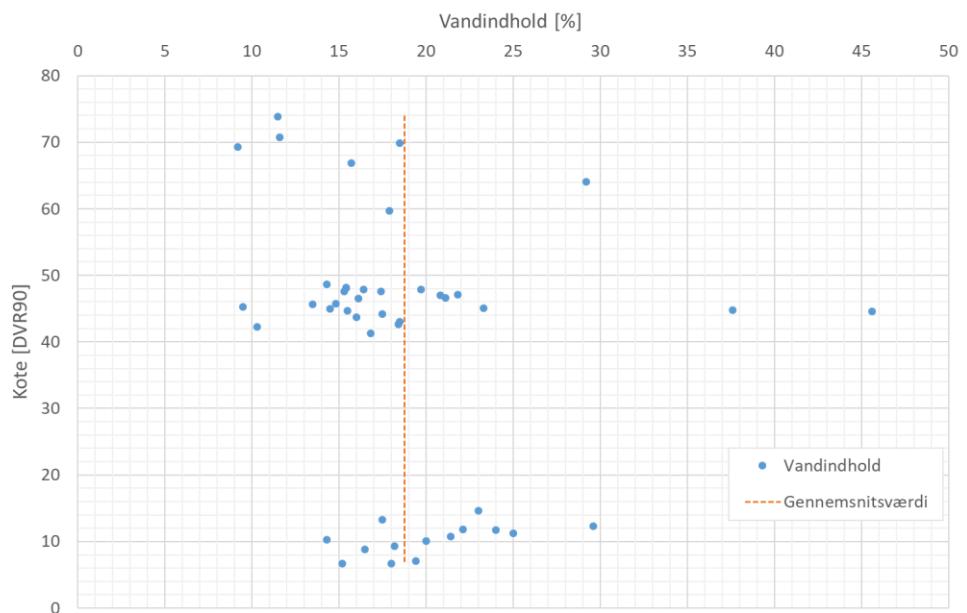
Generelt er fyld truffet som enten

- sandet, siltet og leret muld/lermuld med indhold af tørv og roddele,
- sandet til stærkt sandet, svagt siltet og gruset ler med indhold af muld eller
- fin- til grovkornet, sorteret til usorteret, svagt leret og gruset sand.

Der er gennemført fem rumvægtsbestemmelser på prøver af fyld; én prøve af sand, én prøve af tørv og tre prøver af ler. Der er for de tre typer af fyld bestemt følgende rumvægt (for de tre prøver af ler er gennemsnittet vist):

- Tørv: $8,6 \text{ kN/m}^3$
- Ler: $19,2 \text{ kN/m}^3$
- Sand: $18,4 \text{ kN/m}^3$

Der er gennemført 46 vandindholsbestemmelser på prøver af fyld (her typisk på ler/lermuld og muld), cf. Figur 4-56. Det naturlige vandindhold varierer mellem 9 og 45,6 % med et gennemsnit på ca. 19 %.

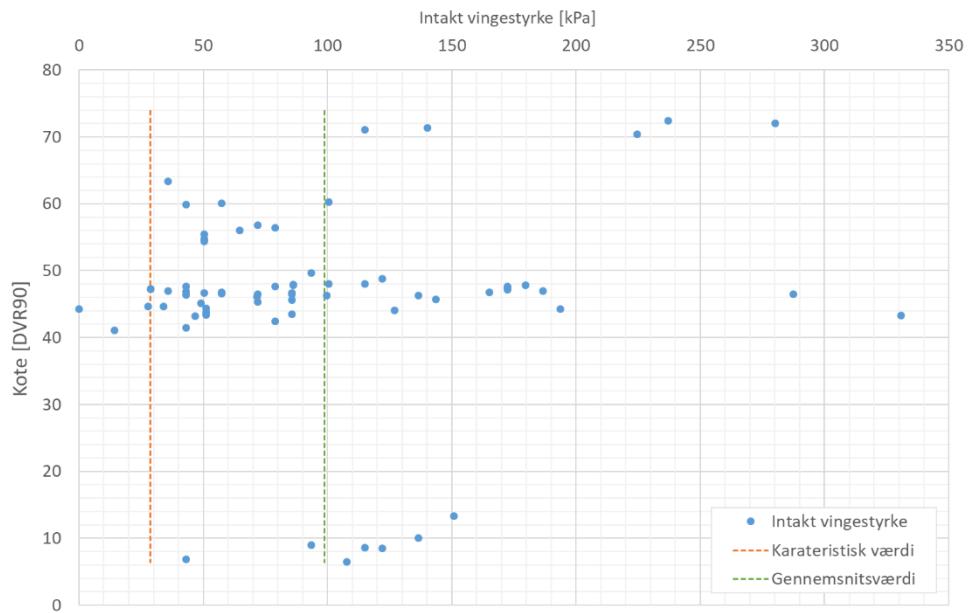


Figur 4-56 Naturligt vandindhold bestemt på prøver af fyld i form af ler, lermuld eller muld.

Statistisk analyse på det målte vandindhold er:

Antal	46
Gennemsnit	18,8 %
Spredning	6,7 %
Konfidensinterval (95% t-fordeling)	1,98 %
Nedre værdi	16,8 %

Øvre værdi 20,7 %
 Den intakte vingestyrke er målt 68 gange, cf. Figur 4-57. Den intakte vingestyrke er målt i intervallet 14 – 331 kPa med et gennemsnit liggende på 100 kPa.



Figur 4-57 Intakt vingestyrke målt i fyld (ler, lermuld eller muld).

Ud fra de målte værdier kan en karakteristisk værdi, bestemt som 95% fraktil-værdien, sættes til 30 kPa.

Statistisk analyse på den målte vingestyrke er:

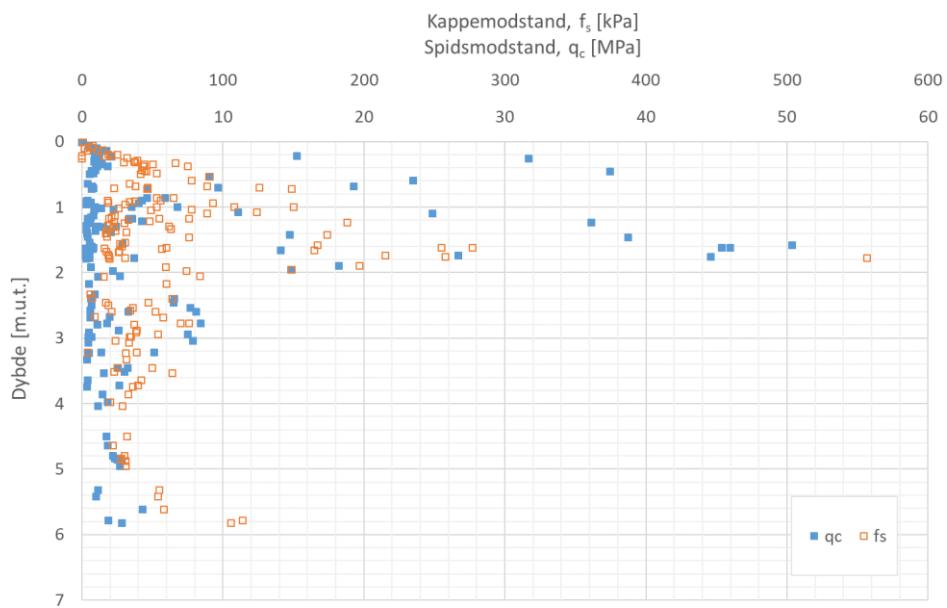
Antal	68
Gennemsnit	100,2 kPa
Spredning	66,8 kPa
Konfidensinterval (95% t-fordeling)	16,2 kPa
Nedre værdi	84,0 kPa
Øvre værdi	116,3 kPa

Enkelte CPT-forsøg er ført gennem fyldlagene, cf. Figur 4-58, og har målt en spidsmodstand, q_c , mellem ca. 0,02 og 50 MPa. Kappemodstanden, f_s , er målt mellem 0 og ca. 557 kPa.

Statistisk analyse på de målte CPT-værdier er:

	q_c	f_s
Antal	157	157
Gennemsnit	5,0 MPa	54,7 kPa
Spredning	9,7 MPa	64,0 kPa
Konfidensinterval (95% t-fordeling)	1,5 MPa	10,1 kPa
Nedre værdi	3,4 MPa	44,6 kPa
Øvre værdi	6,5 MPa	64,8 kPa

Der er ikke udført SPT-forsøg i de trufne fyldaflejringer.

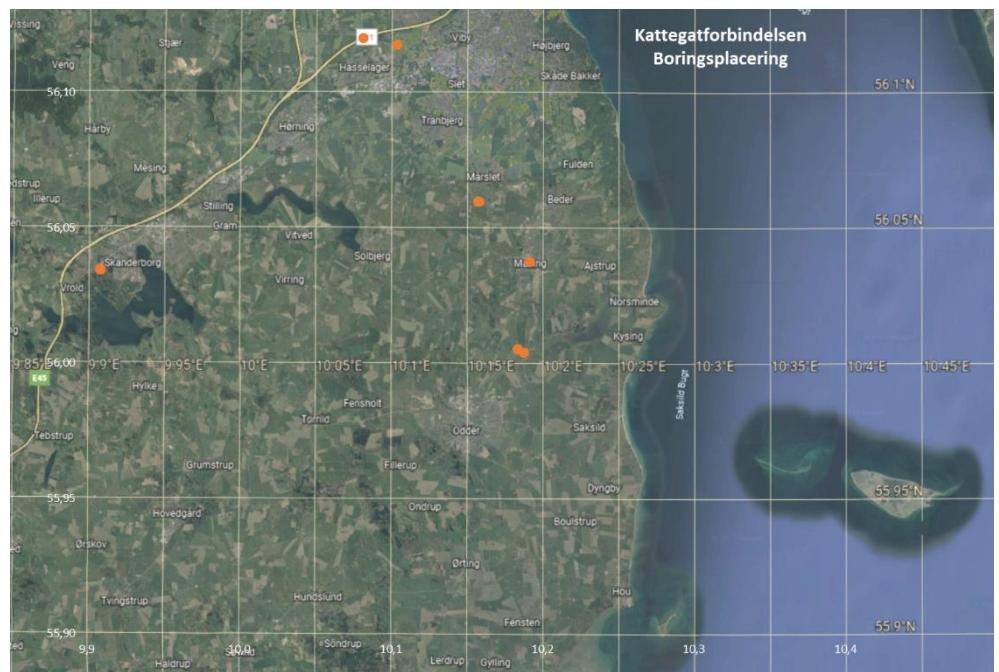


Figur 4-58 Målt spids- og kappeflademodstand i fyld (ler, lermuld, muld og sand). Kappeflademodstand er vist med orange åbne firkanter, spidsmodstand er vist med blå firkanter.

4.5.3 Post- og senglaciale aflejringer

Postglacial tørv og gytje

Postglacial tørv og gytje er truffet i boringerne, der er markeret på Figur 4-59. Det organiskholdige ferskvandsaflejret gytje er karakteriseret som værende svagt leret til leret samt sandet til stærkt sandet. Nogle prøver er klassificeret som fedt.



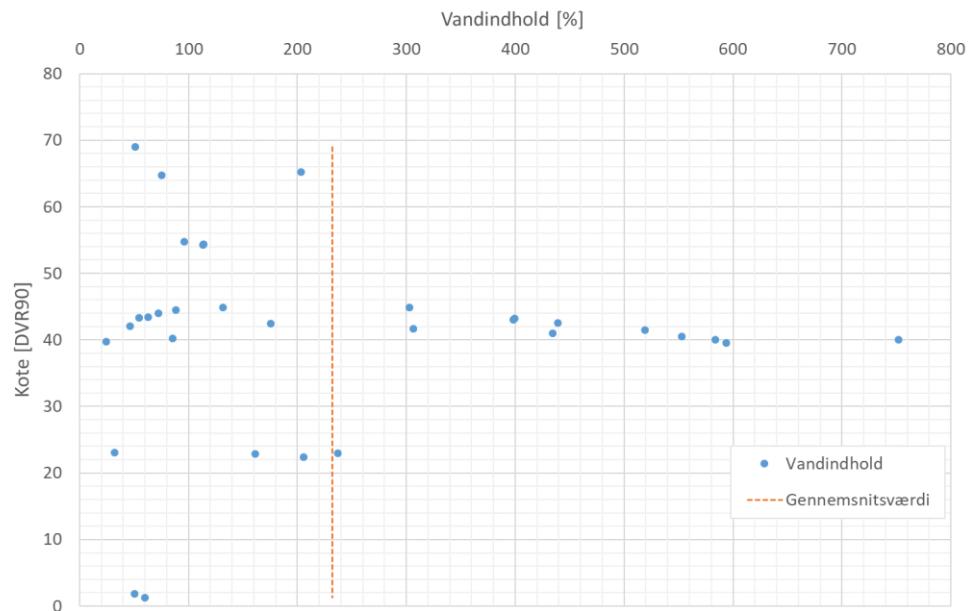
Figur 4-59 Postglaciale tørv og gytje er truffet i de markerede borer.

Der er gennemført rumvægtsbestemmelse på fem prøver af tørv, der viser et interval på 9,7 – 12,3 kN/m³ med et gennemsnit på 10,4 kN/m³. To prøver af gytje er rumvægtsbestemt til 16,8 og 18,7 kN/m³.

Det natrige vandindhold er målt på 32 prøver, jf. Figur 4-60. Vandindholdet er målt i intervallet 24 – 752 % med et gennemsnit liggende på 231 %. Der er meget stor spredning i de målte værdier, de høje værdier over 100 % er primært målt i prøver af tørv.

Statistisk analyse på det målte vandindhold er:

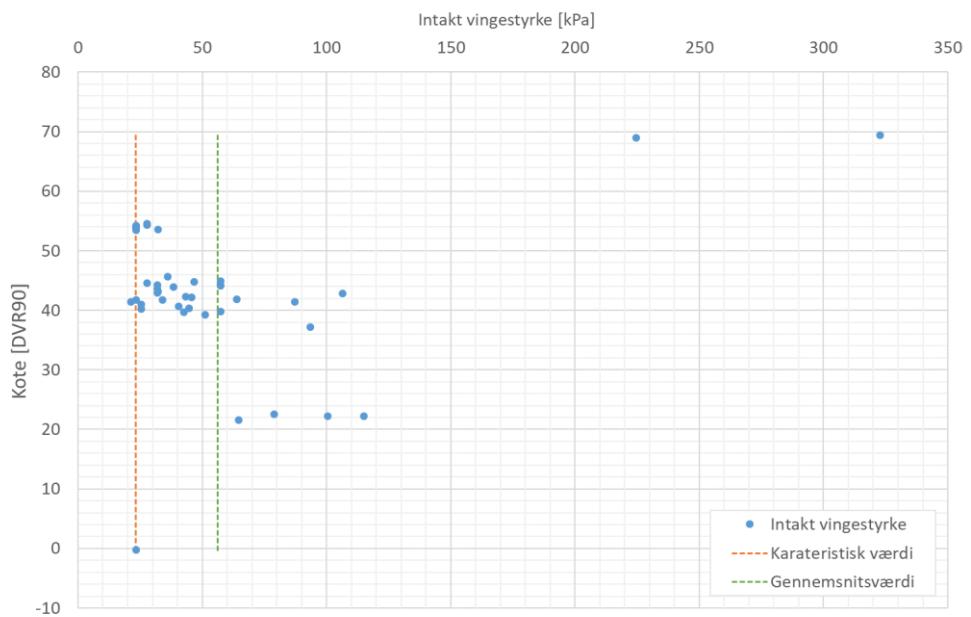
Antal	32
Gennemsnit	231,9 %
Spredning	204,8 %
Konfidensinterval (95% t-fordeling)	73,6 %
Nedre værdi	158,3 %
Øvre værdi	305,5 %



Figur 4-60 Natrige vandindhold målt på prøver af postglacial tørv og gytje.

Den intakte vingestyrke er målt 42 gange, cf. Figur 4-61. Den intakte vingestyrke er målt i intervallet 21 – 323 kPa med et gennemsnit liggende på 56 kPa.

Ud fra de målte værdier kan en karakteristisk værdi, bestemt som 95% fraktil-værdien, sættes til 23 kPa.



Figur 4-61 Intakt vingestyrke målt i postglacial tørv og gytje.

Statistisk analyse på den målte vingestyrke er:

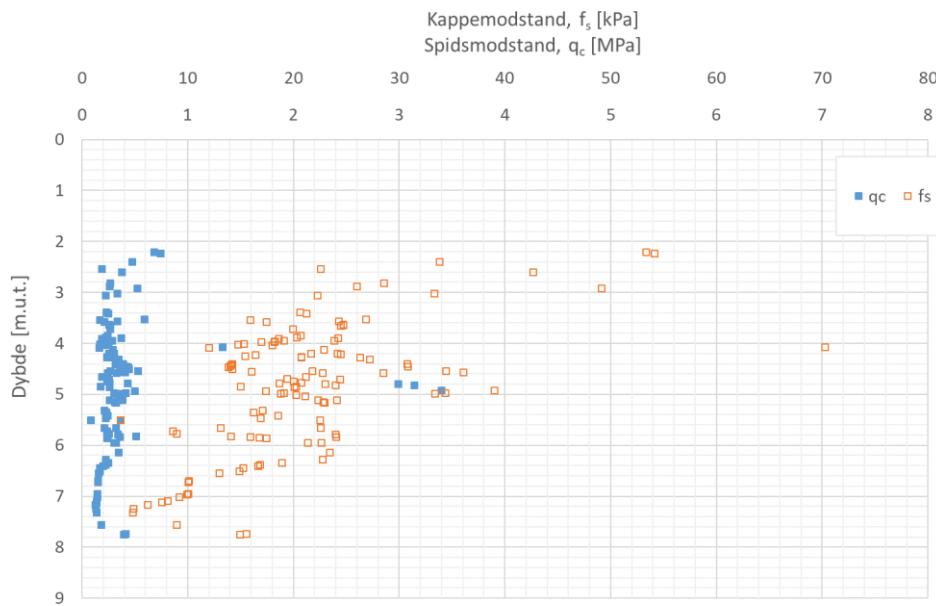
Antal	42
Gennemsnit	56,1 kPa
Spredning	56,2 kPa
Konfidensinterval (95% t-fordeling)	17,5 kPa
Nedre værdi	38,6 kPa
Øvre værdi	73,6 kPa

Der er udført et antal CPT-forsøg i postglacial tørv og gytje, primært i forbindelse med projektet "H06022 Sydv. ramper TSA 53 Skanderborg S, E45". Resultatet er vist på Figur 4-62.

CPT-sonden har målt en spidsmodstand, q_c , mellem 0,085 og 3,4 MPa. Kappe-modstanden, f_s , er målt mellem 3,7 og ca. 70,2 kPa.

Statistisk analyse på de målte CPT-værdier er:

	q_c	f_s
Antal	124	124
Gennemsnit	0,4 MPa	20,9 kPa
Spredning	0,5 MPa	9,8 kPa
Konfidensinterval (95% t-fordeling)	0,08 MPa	1,7 kPa
Nedre værdi	0,3 MPa	19,2 kPa
Øvre værdi	0,5 MPa	22,7 kPa



*Figur 4-62 Kappe- og spidsmodstand målt i postglacial tørv og gytje.
Kappemodstand er vist med orange åbne firkanter, spidsmodstand er vist med blå firkanter.*

Der er ikke udført SPT-forsøg i postglacial tørv og gytje.

Dekadehældningen for normalkonsoliderede organiskholdige aflejringer, Q, kan iflg. dansk empiri bestemmes som

$$Q = \frac{w-0,25}{w+0,40} \cdot 0,6$$

hvor w er det naturlige vandindhold (indsat som decimaltal). For et gennemsnitligt vandindhold på ca. 230 % fås en dekadehældning på

$$Q = \frac{2,3-0,25}{2,3+0,40} \cdot 0,6 = 46 \%$$

hvilket ligger i den høje ende af almindelig dansk erfaring (Nyt Teknisk Forlag, 2011).

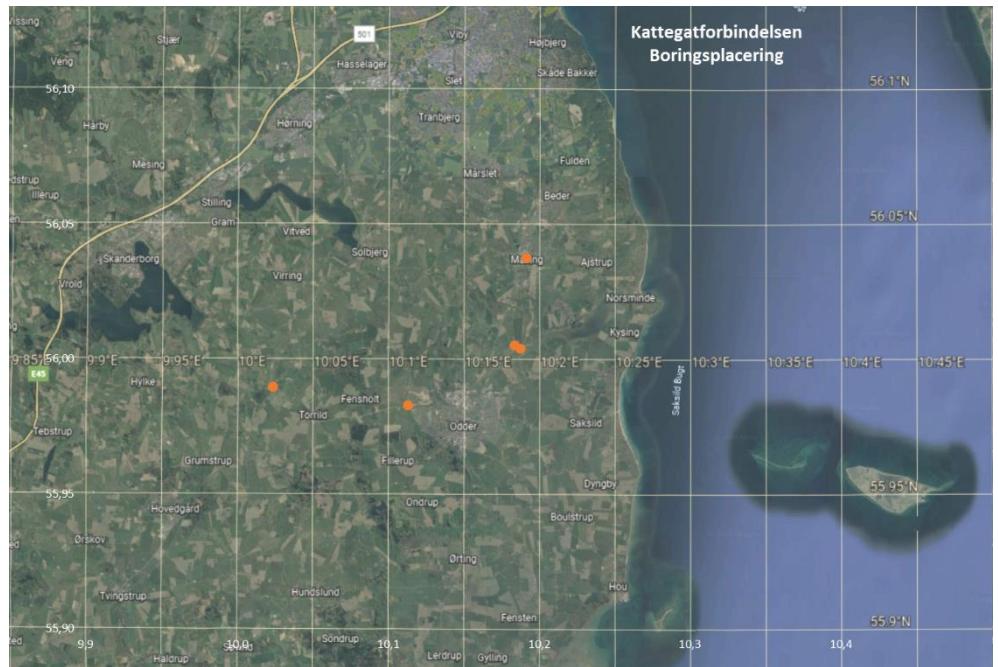
Postglaciale sand

Der er truffet postglaciale sand i få af de analyserede borer i Jylland, men datagrundlaget er meget tyndt. Der er derfor ikke gennemført en egentlig analyse af det trufne postglaciale sand.

Det kan ikke udelukkes, at der ved kystnære områder vil træffes betydelige mængder postglaciale sand, jf. afsnit 3.10.2.

Postglaciale ler

Det postglaciale ler er truffet i borerne, der er markeret på Figur 4-63.

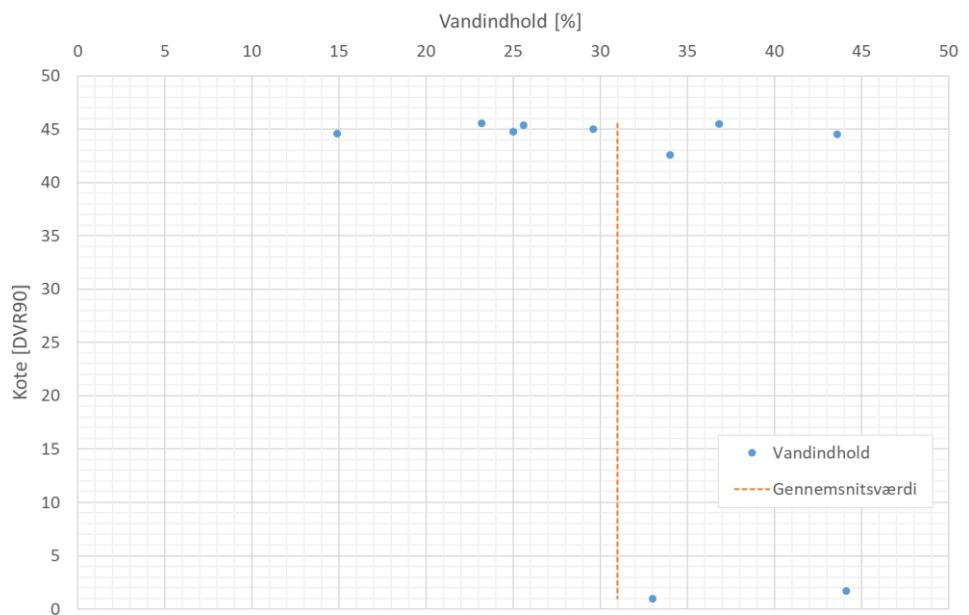


Figur 4-63 Postglaciale ler er truffet i de markerede borer.

Det postglaciale ler er karakteriseret som værende fedt til meget fedt over sandet, siltet til stærkt siltet og svagt gruset til gruset ferskvandsler. Leret er organiskholdigt i form af planterester og tørverester.

Der er ikke gennemført rumvægtsbestemmelse på prøver af postglaciale ler.

Det naturlige vandindhold er målt på 10 prøver, jf. Figur 4-64. Vandindholdet er målt i intervallet 15 – 44 % med et gennemsnit liggende på 31 %.



Figur 4-64 Naturligt vandindhold målt på prøver af postglaciale ler.

Statistisk analyse på det målte naturlige vandindhold er:

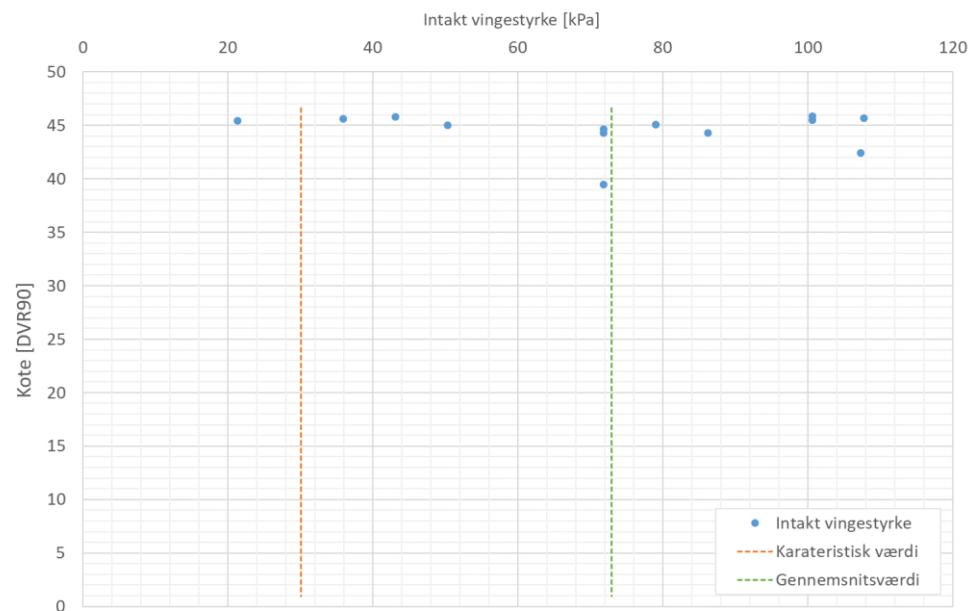
Antal	10
Gennemsnit	31,0 %
Spredning	9,2 %
Konfidensinterval (95% t-fordeling)	6,6 %
Nedre værdi	24,4 %
Øvre værdi	37,6 %

Den intakte vingestyrke er målt 13 gange, cf. Figur 4-65. Den intakte vingestyrke er målt i intervallet 21 – 108 kPa med et gennemsnit liggende på 73 kPa.

Ud fra de målte værdier kan en karakteristisk værdi, bestemt som 95 % fraktilværdien, sættes til 30 kPa.

Statistisk analyse på den målte vingestyrke er:

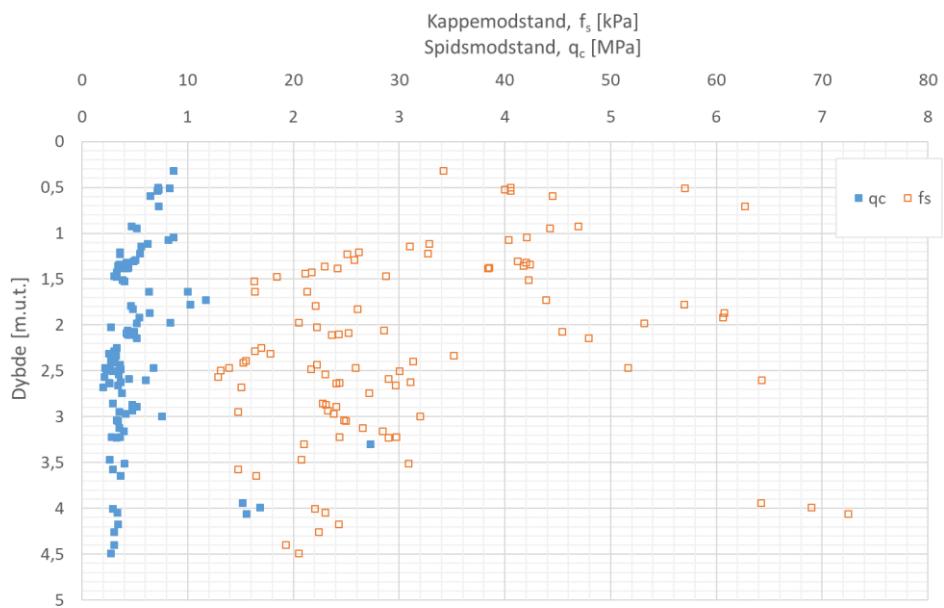
Antal	13
Gennemsnit	72,9 kPa
Spredning	28,2 kPa
Konfidensinterval (95% t-fordeling)	17,1 kPa
Nedre værdi	55,8 kPa
Øvre værdi	89,9 kPa



Figur 4-65 Intakt vingestyrke målt i postglaciale ler.

Der er udført et antal CPT-forsøg i postglaciale ler, primært i forbindelse med projektet "H06022 Sydv. ramper TSA 53 Skanderborg S, E45". Resultatet er vist på Figur 4-66.

CPT-sonden har målt en spidsmodstand, q_c , mellem 0,2 og 2,7 MPa. Kappemodstanden, f_s , er målt mellem 12,9 og ca. 72,5 kPa.



*Figur 4-66 Kappe- og spidsmodstand målt i postglaciale ler.
Kappemodstand er vist med orange åbne firkanter, spidsmodstand er vist med blå firkanter.*

Statistisk analyse på de målte CPT-værdier er:

	q_c	f_s
Antal	102	102
Gennemsnit	0,5 MPa	31,0 kPa
Spredning	0,4 MPa	13,7 kPa
Konfidensinterval (95% t-fordeling)	0,07 MPa	2,7 kPa
Nedre værdi	0,4 MPa	28,3 kPa
Øvre værdi	0,6 MPa	33,7 kPa

Der er ikke udført SPT-forsøg i det postglaciale ler.

Dekadehældningen for normalkonsoliderede organiskholdige aflejringer, Q, kan iflg. dansk empiri bestemmes som

$$Q = \frac{w-0,25}{w+0,40} \cdot 0,6$$

hvor w er det naturlige vandindhold (indsat som decimaltal). For et gennemsnittligt vandindhold på ca. 31 % fås en dekadehældning på

$$Q = \frac{0,31-0,25}{0,31+0,40} \cdot 0,6 = 5 \%$$

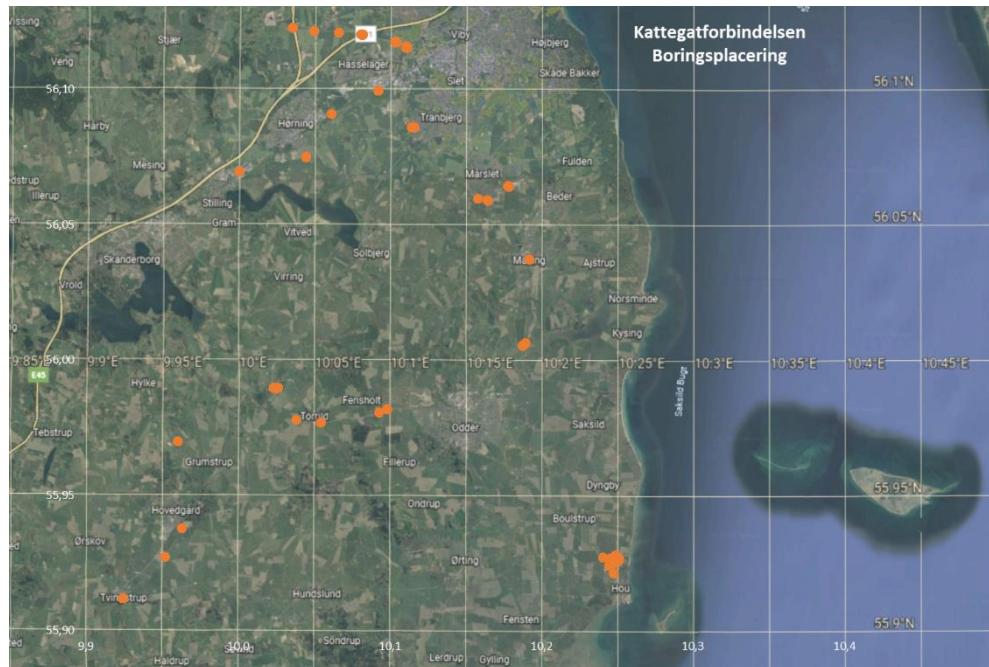
hvilket ligger i den lave ende af almindelig dansk erfaring (Nyt Teknisk Forlag, 2011).

Senglacialt ler

Senglacialt ler og silt er truffet i boringerne, der er markeret på Figur 4-14. Da datagrundlaget for den trufne silt er yderst sparsomt, indgår de enkelte in-situ

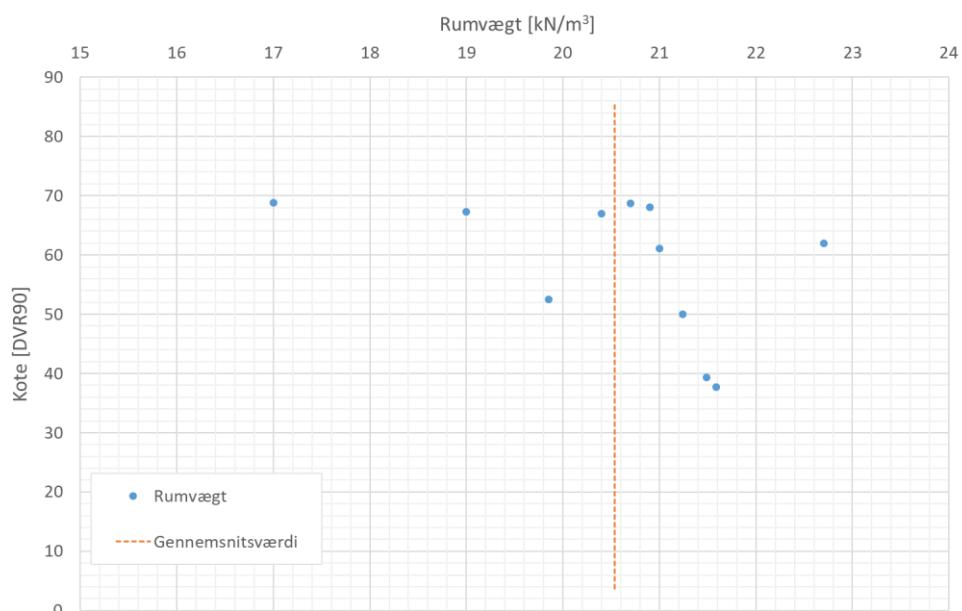
og laboratorieforsøgsresultater for silt i analysen og vurderingen af det senglaciale ler.

Leret er karakteriseret ved at være sandet til stærkt sandet, svagt siltet og kun indeholde enkelte gruskorn. Silten er klassificeret som stærkt sandet og svagt leret. Leret er i nogle områder klassificeret som værende ret fedt til fedt. De senglaciale, kohæsive lag er klassificeret som værende nedskyldsjord, flydejord eller smeltevandsaflejringer.



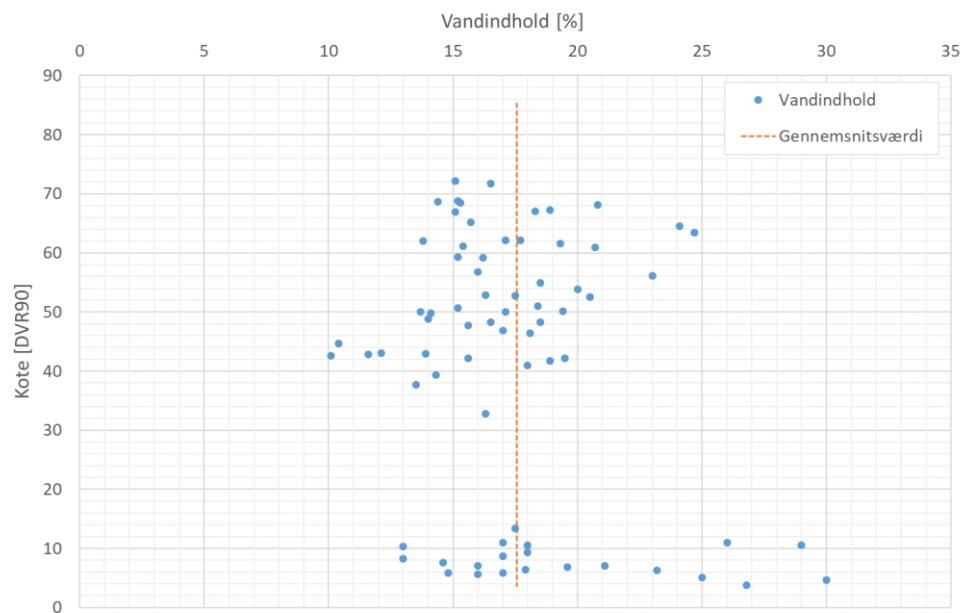
Figur 4-67 Senglaciale ler og silt er truffet i de markerede boringer.

For det trufne senglaciale ler er der gennemført 11 rumvægtsbestemmelser, jf. Figur 4-68. Rumvægten er målt i intervallet 17,0 – 22,7 kN/m³ med et gennemsnit på 20,5 kN/m³.



Figur 4-68 Rumvægt målt i prøver af senglacialt ler.

Det naturlige vandindhold er målt på 72 prøver, jf. Figur 4-69. Vandindholdet er målt i intervallet 10 – 30 % med et gennemsnit liggende på 17,6 %.



Figur 4-69 Naturligt vandindhold målt i prøver af senglacialt ler.

Statistisk analyse på det målte vandindhold er:

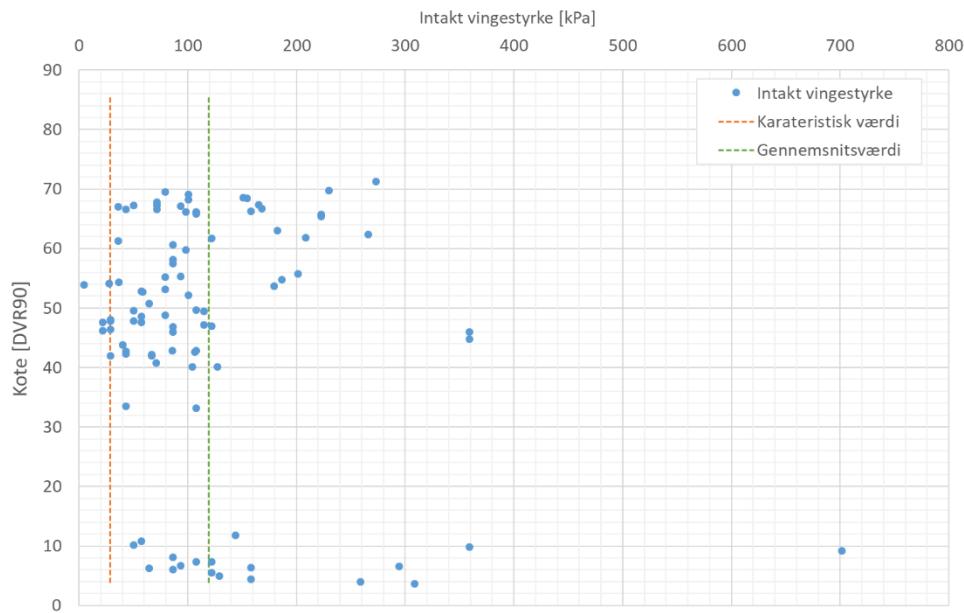
Antal	72
Gennemsnit	17,6 %
Spredning	3,98 %
Konfidensinterval (95% t-fordeling)	0,93 %
Nedre værdi	16,6 %
Øvre værdi	18,5 %

Den intakte vingestyrke er målt 94 gange, jf. Figur 4-70. Den intakte vingestyrke er målt i intervallet 5 – 702 kPa med et gennemsnit på 120 kPa.

Ud fra de målte værdier kan en karakteristisk værdi, bestemt som 95 % fraktil-værdien, sættes til 28 kPa.

Statistisk analyse på den målte vingestyrke er:

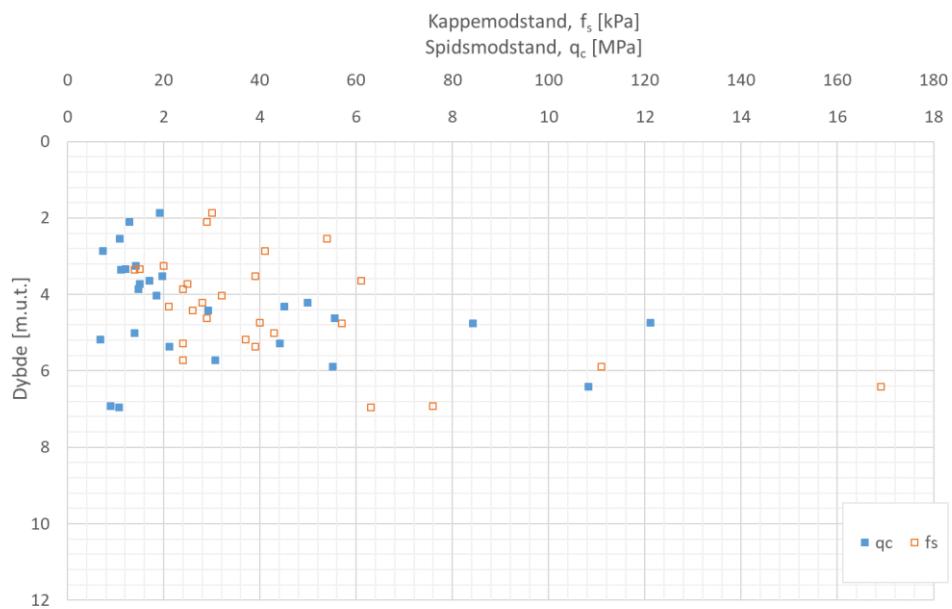
Antal	94
Gennemsnit	119,5 kPa
Spredning	99,3 kPa
Konfidensinterval (95% t-fordeling)	20,3 kPa
Nedre værdi	99,2 kPa
Øvre værdi	139,9 kPa



Figur 4-70 Intakt vingestyrke målt in-situ i senglacialt smeltevandsler.

Der er udført et antal CPT-forsøg i senglacialt ler i forbindelse med projekterne "H06022 Sydv. ramper TSA 53 Skanderborg S, E45" og ARLA Foods - Gjesing Mejeri". Resultatet er vist på Figur 4-71.

CPT-sonden har målt en spidsmodstand, q_c , mellem 0,68 og 12,1 MPa. Kappe-modstanden, f_s , er målt mellem 14 og 169 kPa.



Figur 4-71 Kappe- og spidsmodstand målt i senglacialt ler.

Statistisk analyse på de målte CPT-værdier er:

	q_c	f_s
Antal	27	27
Gennemsnit	3,2 MPa	43,4 kPa
Spredning	3,0 MPa	32,8 kPa
Konfidensinterval (95% t-fordeling)	1,21 MPa	13,0 kPa
Nedre værdi	2,0 MPa	30,4 kPa
Øvre værdi	4,4 MPa	56,3 kPa

Der er ikke udført SPT-forsøg i senglacialt ler.

Stivhedsparametre er ikke blevet målt på prøver af det senglaciale ler. Jævnfør almindelig dansk praksis (Nyt Teknisk Forlag, 2011) kan konsolideringsmodulen, K, for senglacial ler bestemmes som

$$K = \frac{40}{w} \cdot c_u \quad [\text{kPa}]$$

hvor w er det naturlige vandindhold (i decimaltal) og c_u er den udrænede forskydningsstyrke i kPa.

Ifølge Teknisk Ståbi®, ref. (Nyt Teknisk Forlag, 2011), kan det forventes at konsolideringsmodulen ligger i intervallet 3 – 10 MPa. For et gennemsnitligt vandindhold på 17,6 % og en karakteristisk udrænet forskydningsstyrke på ca. 30 kPa fås

$$K = \frac{40}{0,176} \cdot 30 \approx 6 \text{ MPa}$$

hvilket svarer til, hvad man vil forvente.

4.5.4 Øvre (sen)glacialt sand og grus

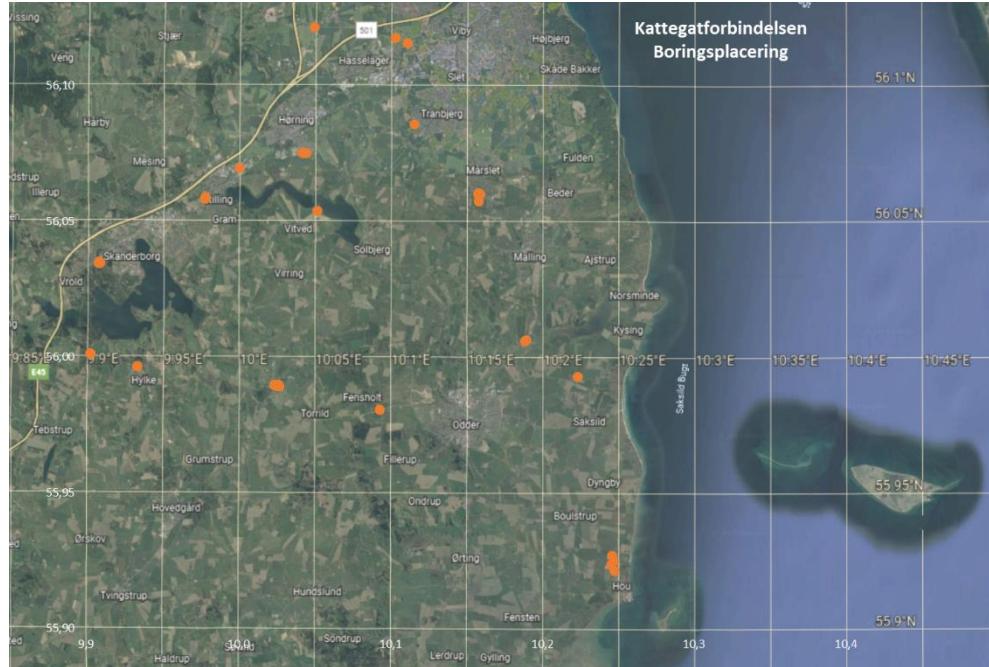
De øvre sand- og gruslag er karakteriseret som værende morænesand og -grus eller senglacialt nedskylds-, flydejords- eller smeltevandssand.

Nedskyldsaflæringen er karakteriseret som fin- til grovkornet, svagt leret, svagt siltet velsorteret til sorteret sand. Fyldejordssandet er karakteriseret som fin- til grovkornet, leret, svagt gruset, usorteret til ringe sorteret sand. Smeltevandsandet er karakteriseret som fin- til grovkornet, svagt glimmerholdigt, ringe sorteret til sorteret sand. Hvor sandet er karakteriseret som ringe sorteret indeholder sandet ligeledes ler, silt og grus.

Der er derved ret stor variation i de trufne senglaciale sandaflejringer.

De øvre sand- og gruslag er truffet i boringer, der er markerede på Figur 4-72.

Morænesand er truffet i kote ca. +72 til +37 DVR90, hvor de senglaciale sandlag er truffet i kote ca. +74 til +8 DVR90.



Figur 4-72 (Sen)glaciale morænesand, grus og smeltevandssand er truffet i de markerede borer.

Morænesand og -grus

Der er kun udført én rumvægtsbestemmelse på prøver af morænesand på 21,9 kN/m³.

Ligeledes er der kun udført én vandindholdsbestemmelse på morænesandet på 13,0 %.

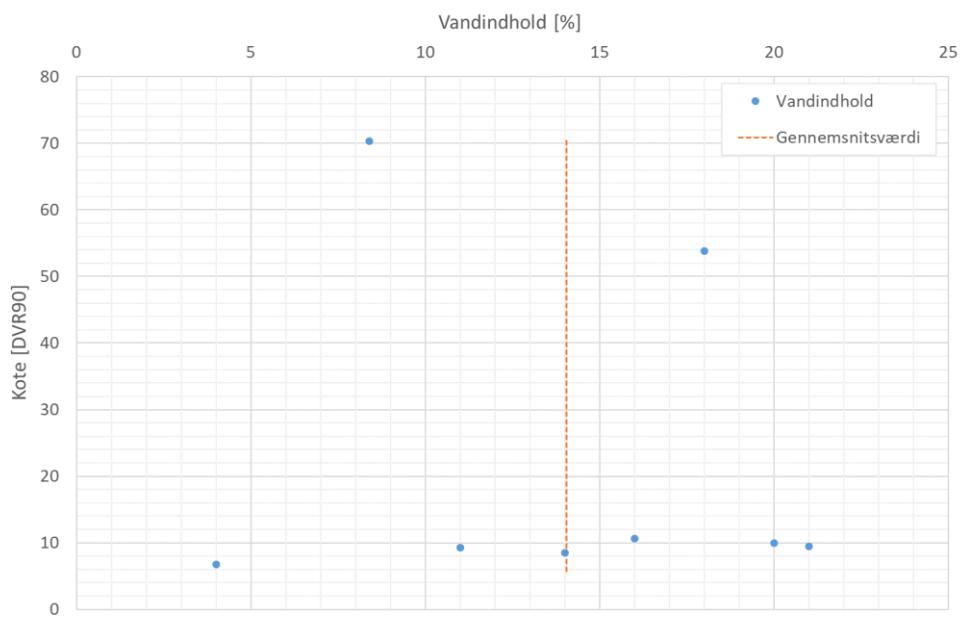
Der er ikke udført SPT- eller CPT-forsøg i det glaciale morænesand eller -grus.

Senglaciale sand

Da datagrundlaget for analyse og vurdering af de geotekniske styrke- og deformationsegenskaber af det senglaciale sand er meget begrænset, er der ikke skelnet mellem aflejringsmiljøet for de enkelte prøver. Nedenstående analyse indeholder derfor resultater for både nedskylds-, flydejords- og smeltevandssand.

Der er ikke udført rumvægtsbestemmelse på prøver af det senglaciale sand.

Det naturlige vandindhold er målt på otte prøver af det senglaciale sand, jf. Figur 4-73. Der er målt værdier i intervallet 4 – 21% med et gennemsnit på 14,1 %. Det ses af Figur 4-73, at de fleste prøver er taget omkring kote +10 DVR90.



Figur 4-73 Naturligt vandindhold målt på prøver af senglaciale sand.

Der er ikke udført SPT- eller CPT-forsøg i senglaciale sand.

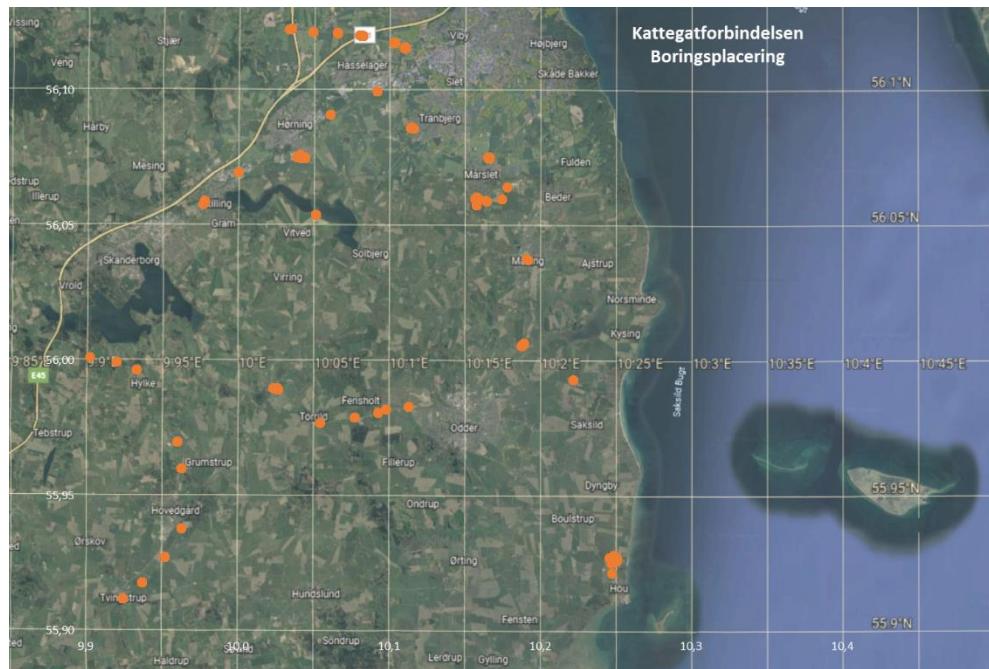
4.5.5 Øvre moræneler og smeltevandsler

Det øvre lerlag er karakteriseret som værende moræneler eller glacielt smeltevandsler og -silt.

Moræneleret er enten karakteriseret som svagt til stærkt sandet med enkelte gruskorn (hvor enkelte prøver har små brunkulsstykker) eller som ret fedt til fedt, svagt sandet til sandet med enkelte gruskorn. Det ret fede til fede moræneler er truffet i niveau svarende til kote ca. +64 til +8 DVR90, hvor det mere almindelige, sandede moræneler er truffet i kote ca. 85 til 6 DVR90. Figur 4-75 viser, hvor der er truffet det ret fede til fede moræneler.

Smeltevandsleret er klassificeret som enten ret fedt til meget fedt, lamineret med sandlamina/-striber med indhold af enkelte planterødder eller glaukonitkorn eller som siltet ler. Smeltevandsleret er truffet i to forskellige niveauer svarende til kote ca. +70 til +45 DVR90 og kote ca. +10 til +6 DVR90. Data grundlaget for det siltede smeltevandsler er begrænset til seks vandindholdsbestemmelser og 7 korte CPT-forsøg på 1 -2 m. Der er derfor ikke yderligere analyseret og vurderet på forsøgsresultater fra det siltede smeltevandsler.

Moræneler og glacielt smeltevandsler er truffet i boringerne, der er markerede på Figur 4-74.

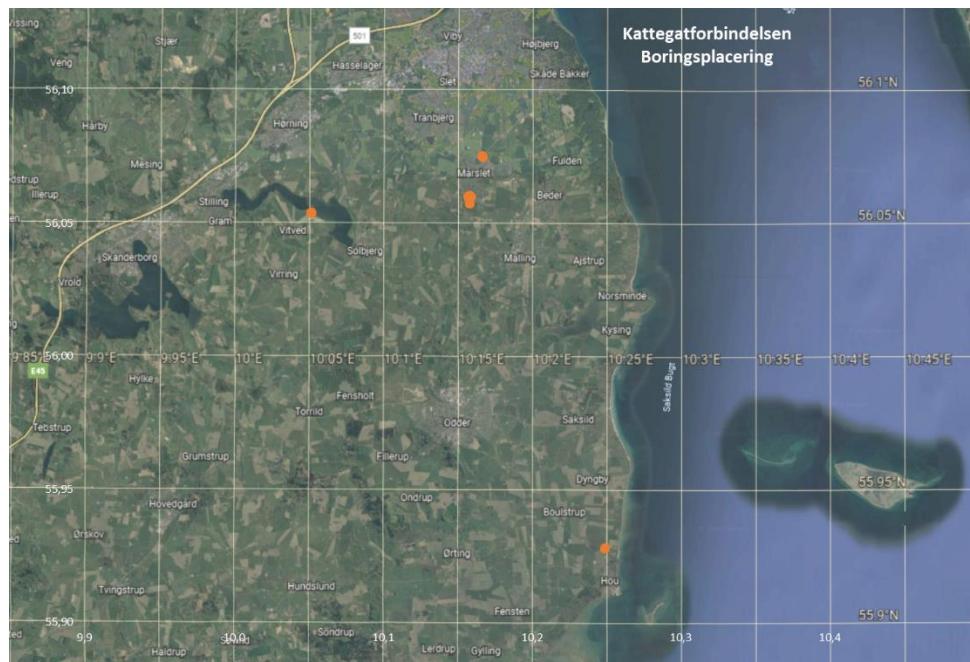


Figur 4-74 Moræneler og glacielt smeltevandsler og -silt er truffet i de markerede borer.

Moræneler

Der er truffet rigtigt meget moræneler i de øverste lag i Jylland, hvilket også afspejler sig i datagrundlaget for jordlaget.

Analyserne og vurderingerne er delt i en ret fedt til fedt moræneler og en lavplastisk moræneler. Placering af områderne, hvor der er truffet en ret fede til fede moræneler er vist på Figur 4-75.

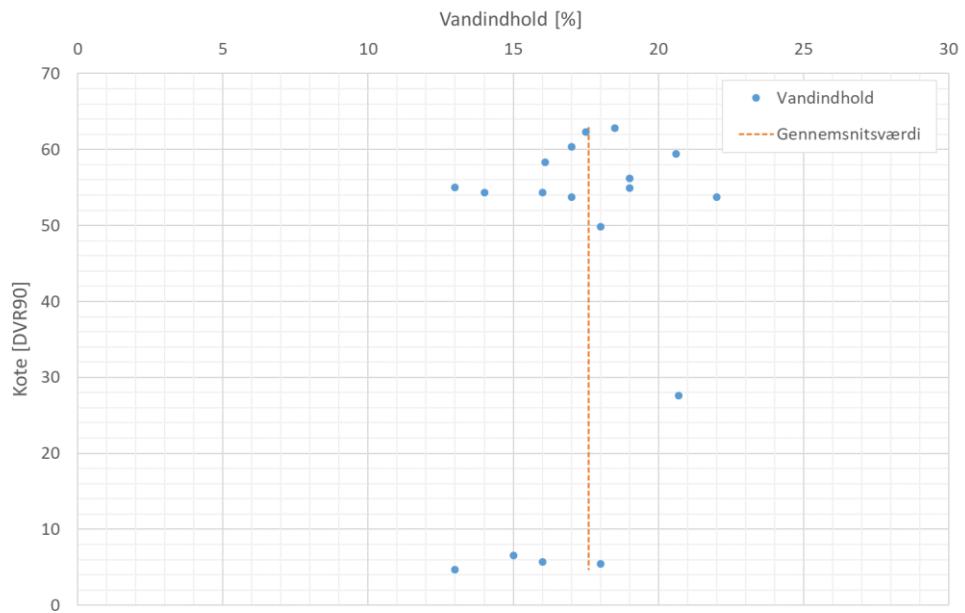


Figur 4-75 Fedt til ret fedt moræneler er truffet i de markerede borer.

Ret fedt til fedt moræneler

Rumvægten er målt på tre prøver af ret fedt til fedt moræneler. Resultatet er 20,7, 21,0 og 21,4 kN/m³ med et gennemsnit på 21,0 kN/m³.

Det naturlige vandindhold er målt på 10 prøver af det ret fede til fede moræneler, jf. Figur 4-76. Målinger er gjort i intervallet 13 til 24 % med et gennemsnit 17,6 %



Figur 4-76 Naturligt vandindhold målt på prøver af ret fedt til fedt moræneler.

Statistisk analyse på det målte naturlige vandindhold er:

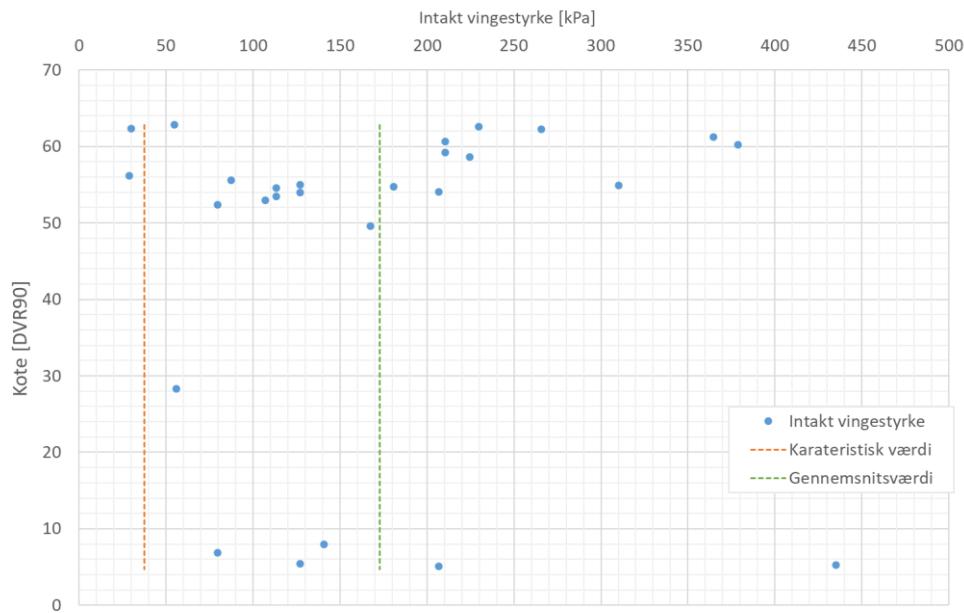
Antal	19
Gennemsnit	17,6 %
Spredning	2,9 %
Konfidensinterval (95% t-fordeling)	1,4 %
Nedre værdi	16,2 %
Øvre værdi	19,0 %

Den intakte vingestyrke er målt 27 gange, jf. Figur 4-77. Den intakte vingestyrke er målt i intervallet 29 – 435 kPa med et gennemsnit på 173 kPa.

Ud fra de målte værdier kan en karakteristisk værdi, bestemt som 95 % fraktil-værdien, sættes til 37,5 kPa.

Statistisk analyse på den målte vingestyrke er:

Antal	27
Gennemsnit	172,1 kPa
Spredning	107,1 kPa
Konfidensinterval (95% t-fordeling)	42,4 kPa
Nedre værdi	130,4 kPa
Øvre værdi	215,1 kPa



Figur 4-77 Intakt vingestyrke målt in-situ i ret fedt til fedt moræneler.

Jævnfør almindelig dansk praksis (Nyt Teknisk Forlag, 2011) kan konsolideringsmodulen, K, for glacialt ler bestemmes som

$$K = \frac{40}{w} \cdot c_u \quad [\text{MPa}]$$

hvor w er det naturlige vandindhold (i decimaltal) og c_u er den udrænede forskydningsstyrke i kPa.

Ifølge Teknisk Ståbi®, ref. (Nyt Teknisk Forlag, 2011), kan det forventes, at konsolideringsmodulen ligger i intervallet 50 – 170 MPa for et effektivt, vertikalt overlejringstryk på 40 – 100 kPa. For et gennemsnitligt vandindhold på 17 % og en karakteristisk udrænet forskydningsstyrke på ca. 40 kPa fås

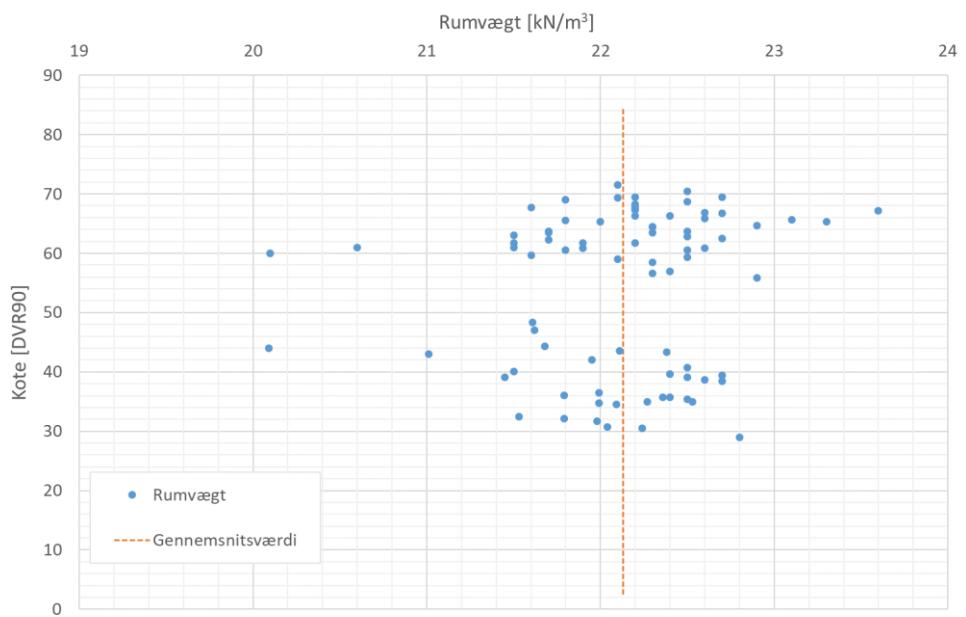
$$K = \frac{40}{0,17} \cdot 40 \approx 9 \text{ MPa}$$

hvilket ligger i den lave ende af, hvad man vil forvente. For en udrænet forskydningsstyrke på 170 kPa (gennemsnitsværdien) fås en konsolideringsmodul på ca. 40 MPa.

Der er ikke udført SPT- eller CPT-forsøg i det ret fede til fede glaciale moræneler.

Lav-plastisk
moræneler

Rumvægten er målt på 81 prøver af lav-plastisk moræneler. Resultatet er vist på Figur 4-78. Rumvægten er målt i intervallet 20,1 til 23,6 kN/m³ med et gennemsnit på 22,1 kN/m³.

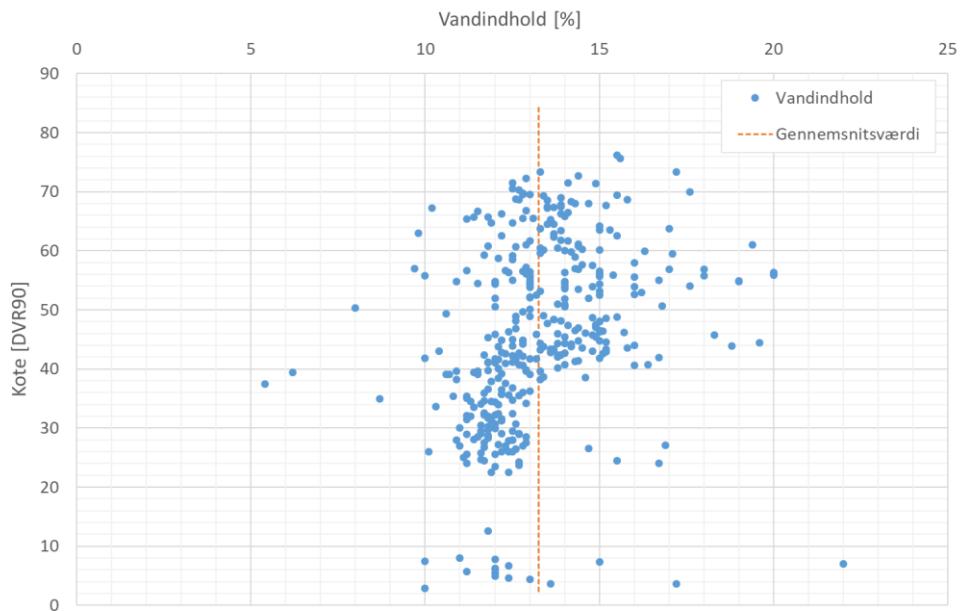


Figur 4-78 Rumvægt målt på prøver af lav-plastisk moræneler.

Statistisk analyse på den målte rumvægt er:

Antal	81
Gennemsnit	$22,1 \text{ kN}/\text{m}^3$
Spredning	$0,59 \text{ kN}/\text{m}^3$
Konfidensinterval (95% t-fordeling)	$0,13 \text{ kN}/\text{m}^3$
Nedre værdi	$22,0 \text{ kN}/\text{m}^3$
Øvre værdi	$22,3 \text{ kN}/\text{m}^3$

Det naturlige vandindhold er målt på 377 prøver af moræneler, jf. Figur 4-79. Målinger er gjort i intervallet 5 til 22 % med et gennemsnit 13,3 %



Figur 4-79 Naturligt vandindhold målt på prøver af lav-plastisk moræneler.

Statistisk analyse på det målte naturlige vandindhold er:

Antal	377
Gennemsnit	13,3 %
Spredning	1,96 %
Konfidensinterval (95% t-fordeling)	0,20 %
Nedre værdi	13,1 %
Øvre værdi	13,5 %

Den intakte vingestyrke er målt 614 gange, jf. Figur 4-80 og Figur 4-81. Den intakte vingestyrke er målt i intervallet 14 – 744 kPa med et gennemsnit på 258 kPa.

Ud fra de målte værdier kan en karakteristisk værdi, bestemt som 95 % fraktil-værdien, sættes til 57,5 kPa.

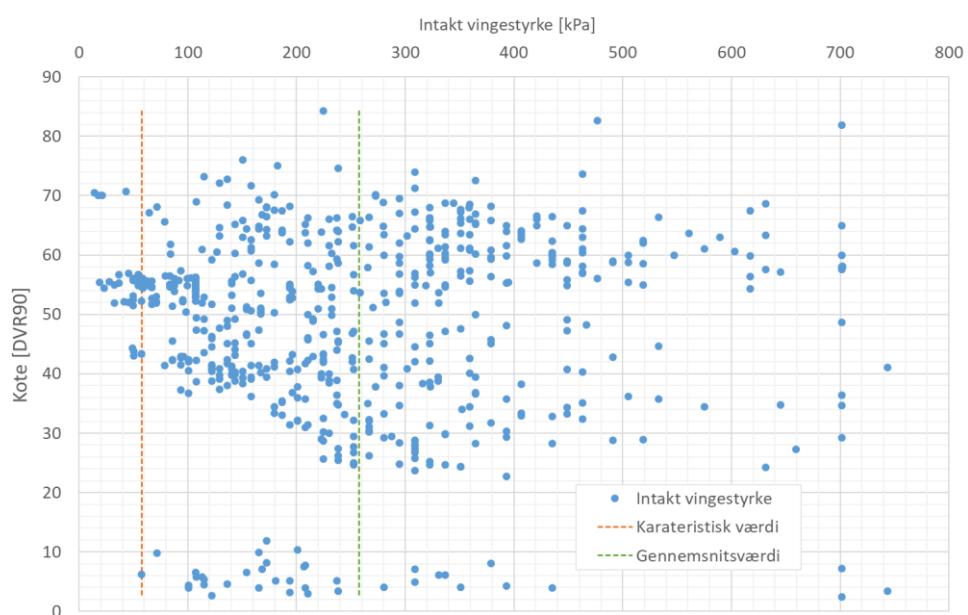
Statistisk analyse på den målte vingestyrke er:

Antal	614
Gennemsnit	257,6 kPa
Spredning	152,8 kPa
Konfidensinterval (95% t-fordeling)	12,1 kPa
Nedre værdi	245,5 kPa
Øvre værdi	269,7 kPa

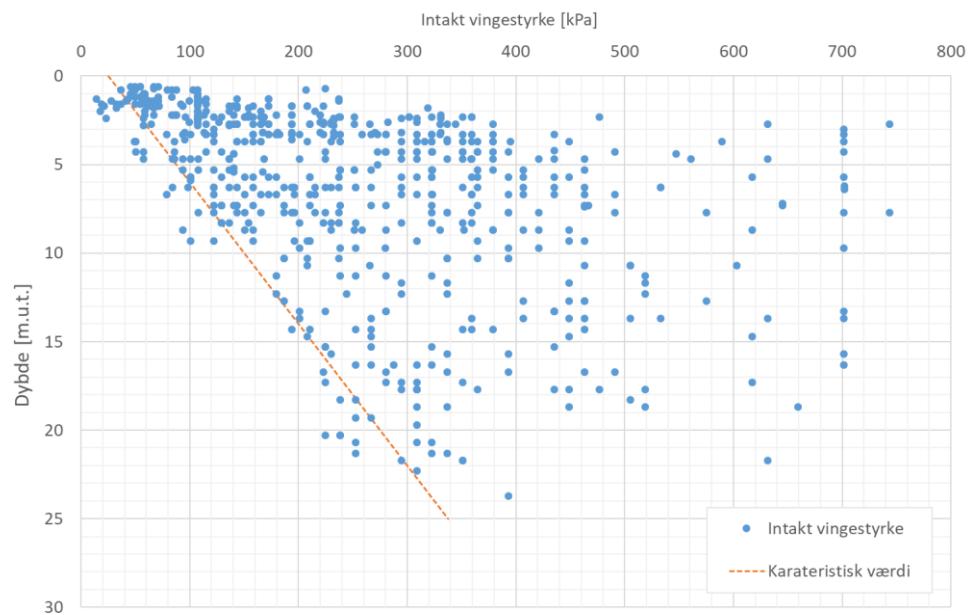
Det ses af Figur 4-81, at den intakte vingestyrke stiger kraftigt med dybden, og den karakteristiske værdi bør bestemmes som en funktion af dybden. På Figur 4-81 er den karakteristiske vingestyrke vist som

$$c_v \approx 25 + 12,5 \cdot z \quad [\text{kPa}]$$

hvor z er dybden under eksisterende terræn.



Figur 4-80 Intakt vingestyrke målt in-situ i moræneler som funktion af koten.



Figur 4-81 Intakt vingestyrke målt in-situ i moræneler som funktion af dybden under eksisterende terræn.

Jævnfør almindelig dansk praksis (Nyt Teknisk Forlag, 2011) kan konsolideringsmodulen, K, for glacialt ler bestemmes som

$$K = \frac{40}{w} \cdot c_u \quad [\text{MPa}]$$

hvor w er det naturlige vandindhold (i decimaltal) og c_u er den udrænede forskydningsstyrke i kPa.

Ifølge Teknisk Ståbi®, ref. (Nyt Teknisk Forlag, 2011), kan det forventes, at konsolideringsmodulen ligger i intervallet 50 – 170 MPa for et effektivt, vertikalt overlejringstryk på 40 – 100 kPa. For et gennemsnitligt vandindhold på 13 % og en karakteristisk udrænet forskydningsstyrke på 60 – 300 kPa fås

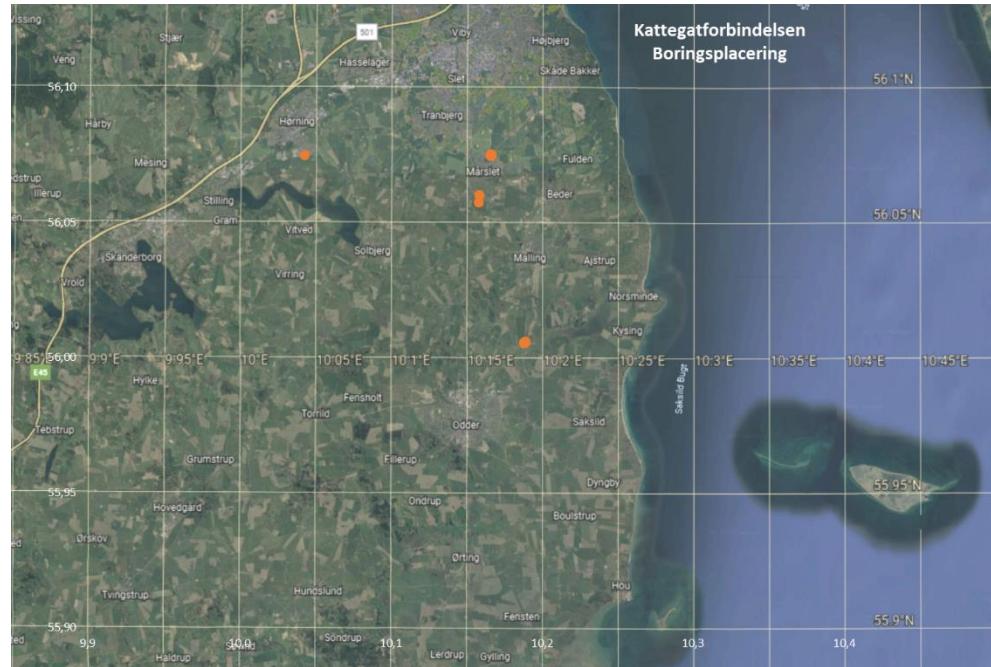
$$K = \frac{40}{0,13} \cdot 60 \text{ til } 300 \approx 18,5 \text{ til } 92 \text{ MPa}$$

hvilket ligger nogenlunde i det interval man vil forvente.

Der er ikke udført SPT- eller CPT-forsøg i det lav-plastiske moræneler.

Smeltevandsler

Det ret fede til meget fede glaciale smeltevandsler er truffet i de borer, der er markeret på Figur 4-82.

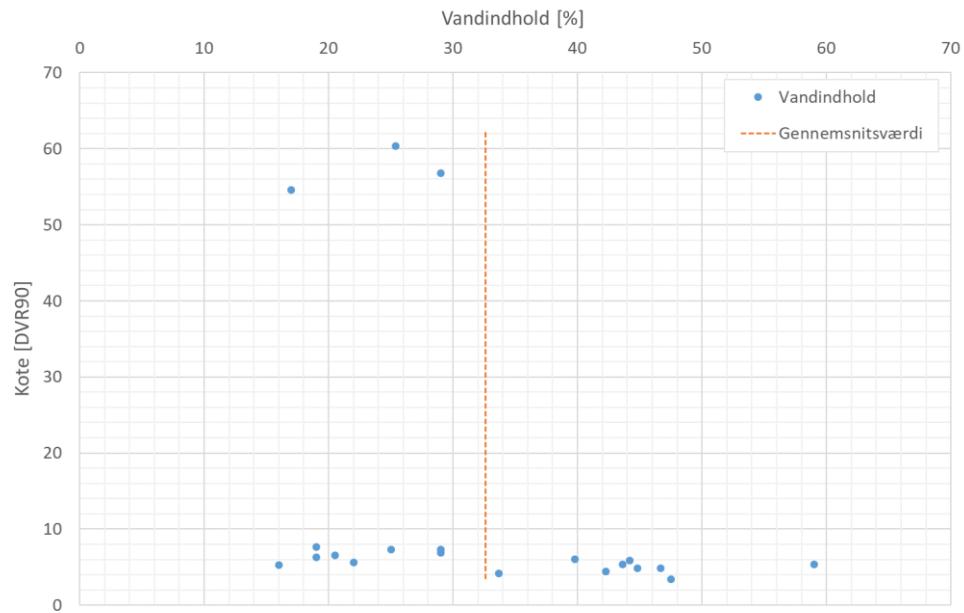


Figur 4-82 Ret fedt til meget fedt smellevandsler er truffet i de markerede borer.

Ret fedt til meget fedt smellevandsler

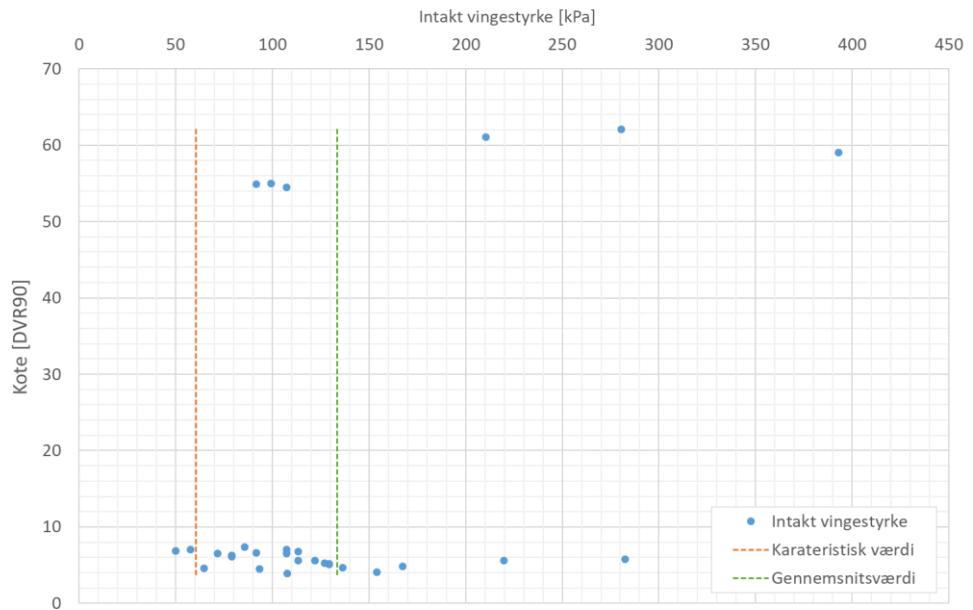
Der er udført rumvægtsbestemmelse på én prøve af det meget fede glaciale smellevandsler, hvor resultatet er $18,9 \text{ kN/m}^3$.

Det naturlige vandindhold er målt på 20 prøver af det ret fedt til fede smellevandsler, jf. Figur 4-83. Vandindholdet er målt i intervallet 16 – 59 % med et gennemsnit på 33 %.

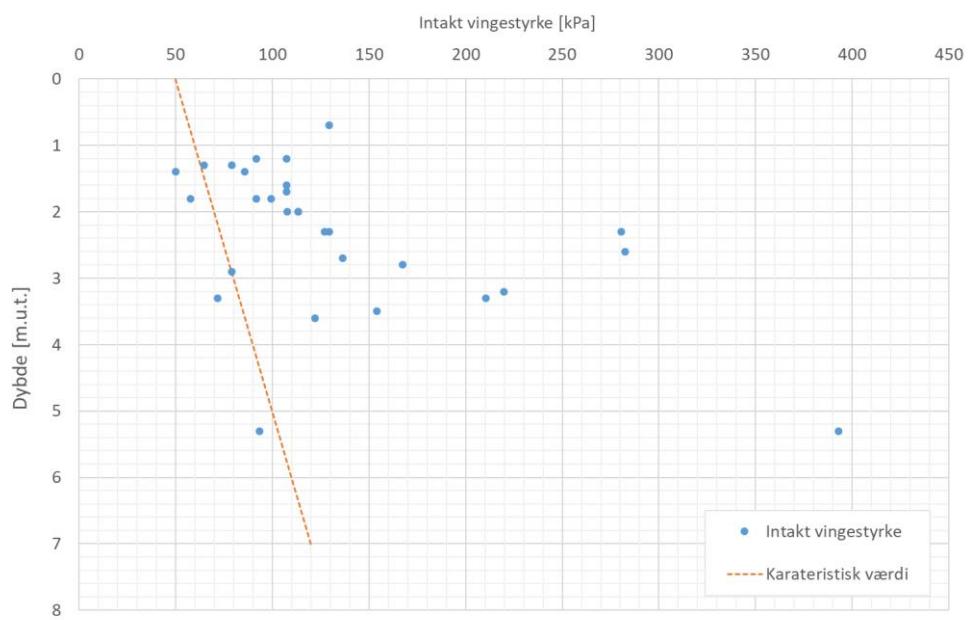


Figur 4-83 Naturligt vandindhold målt på prøver af ret fedt til meget fedt glaciale smellevandsler.

Intakt vingestyrke er målt 29 gange in-situ i ret fedt til meget fedt smeltevandsler i intervallet 50 – 393 kPa med et gennemsnit på 133,5 kPa, jf. Figur 4-84 og Figur 4-85.



Figur 4-84 Intakt vingestyrke målt in-situ i ret fedt til meget fedt glacialt smeltevandsler som en funktion af koten.



Figur 4-85 Intakt vingestyrke målt in-situ i ret fedt til meget fedt glacialt smeltevandsler som en funktion af eksisterende terræn.

Ud fra de målte værdier kan en karakteristisk værdi, bestemt som 95 % fraktil-værdien, sættes til 60 kPa, jf. Figur 4-84.

Statistisk analyse på den målte vingestyrke er:

Antal	29
Gennemsnit	133,5 kPa
Spredning	76,9 kPa
Konfidensinterval (95% t-fordeling)	29,2 kPa
Nedre værdi	104,3 kPa
Øvre værdi	162,8 kPa

Det ses af Figur 4-85, at den målte vingestyrke stiger med dybden, og den karakteristiske værdi bør derfor ligeledes bestemmes som funktion af dybden. På Figur 4-85 er den karakteristiske værdi vist som

$$c_v \approx 50 + 10 \cdot z \quad [\text{kPa}]$$

hvor z er dybden under eksisterende terræn [m].

Der er ikke udført SPT- og CPT-forsøg i lag af ret fedt til meget fedt glacialt smeltevandsler.

Jævnfør almindelig dansk praksis (Nyt Teknisk Forlag, 2011) kan konsolideringsmodulen, K , for glacialt smeltevandsler bestemmes som

$$K = \frac{40}{w} \cdot c_u \quad [\text{MPa}]$$

hvor w er det naturlige vandindhold (i decimaltal) og c_u er den udrænede forskydningsstyrke i kPa.

Ifølge Teknisk Ståbi®, ref. (Nyt Teknisk Forlag, 2011), kan det forventes, at konsolideringsmodulen ligger i intervallet 40 – 90 MPa for et effektivt, vertikalt overlejringstryk på 20 – 100 kPa. For et gennemsnitligt vandindhold på 33 % og en karakteristisk udrænet forskydningsstyrke på 60 kPa fås

$$K = \frac{40}{0,33} \cdot 60 \approx 7 \text{ MPa}$$

hvilket ligger noget lavere end man vil forvente. For et gennemsnitligt udrænet forskydningsstyrke på 130 kPa fås en konsolideringsmodul på ca. 15 MPa.

Antages det, at smeltevandsleret at være normalkonsolideret kan dekadehældningen bestemmes som

$$Q = \frac{w-0,25}{w+0,40} \cdot 0,6$$

hvor w er det naturlige vandindhold (indsat som decimaltal). For et gennemsnitligt vandindhold på ca. 33 % fås en dekadehældning på

$$Q = \frac{0,33-0,25}{0,33+0,40} \cdot 0,6 = 6,5 \%$$

hvilket ligger indenfor almindelig dansk erfaring for senglacialt smeltevandsler, hvor Q = 3 – 10 MPa (Nyt Teknisk Forlag, 2011).

4.5.6 Mellem smeltevandssand og -grus

Der er ikke i det tilgængelige datagrundlag skelnet mellem informationer omkring densitet, styrke- og deformationsparametre for det øverste og mellemste sand- og gruslag, hvorfor parameteranalysen i afsnit 4.5.4 også er gældende for det mellemste sand- og gruslag.

Parametrene bør altid verificeres ved hjælp af forsøgsresultater fra geotekniske undersøgelser.

4.5.7 Nedre moræneler og smeltevandsler

Der er ikke i det tilgængelige datagrundlag skelnet mellem informationer omkring densitet, styrke- og deformationsparametre for det øverste og nederste lerlag, hvorfor parameteranalysen i afsnit 4.5.5 også er gældende for det nederste lerlag.

Parametrene bør altid verificeres ved hjælp af forsøgsresultater fra geotekniske undersøgelser.

4.5.8 Nedre smeltevandssand og -grus

Der er ikke i det tilgængelige datagrundlag skelnet mellem informationer omkring densitet, styrke- og deformationsparametre for det øverste, mellemste og nederste sand- og gruslag, hvorfor parameteranalysen i afsnit 4.5.4 også er gældende for det nederste sand- og gruslag.

Parametrene bør altid verificeres ved hjælp af forsøgsresultater fra geotekniske undersøgelser.

4.5.9 Prækvartære aflejringer

I Jylland er der i de udførte geotekniske borer truffet prækvartære aflejninger, som i toppen er miocæne/oligocæne glimmerholdige sand- og leraflejringer. Disse underlejres af eocæne leraflejringer i form af Søvindmergel, Lillebæltssler og Røsnæsler. Der er ikke i de udførte borer truffet eocæne aflejninger, så den nedenstående analyse og vurdering er alene baseret på litteraturstudier.

Det skal bemærkes, at der i forbindelse med undersøgelser for motorvejsbroen over Funder Ådal, hvor der ligeledes er truffet glimmerholdige, miocæne sandlag til stor dybde, er truffet artesisk vandspejl i sandet. Funder Ådal ligger ca. 50 km vest fra Solbjerg Sø, hvor boring G-A1-18+400 er udført i forbindelse med projektet "Hoved – Hasselager", jf. afsnittet nedenfor.

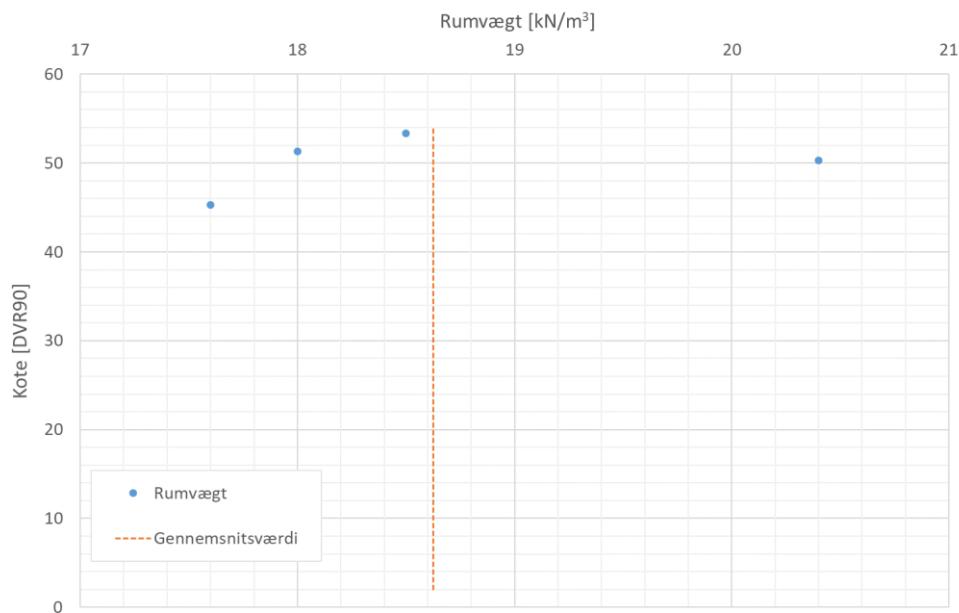
Miocænt glimmersand og -ler

Det miocæne glimmerholdige sand og ler er truffet i borer, der er markerede på Figur 4-86.



Figur 4-86 Prækvartere aflejringer af miocæn og oligocæn oprindelse er truffet i de markerede borer.

Rumvægten er målt på tre prøver af miocænt, glimmerholdigt, ret fedt ler og én prøve af miocænt, stærkt siltet, sandet ler, jf. Figur 4-87. Rumvægten er målt i intervallet 17,6 – 20,4 kN/m³. Gennemsnitsværdien ligger på 18,6 kN/m³.

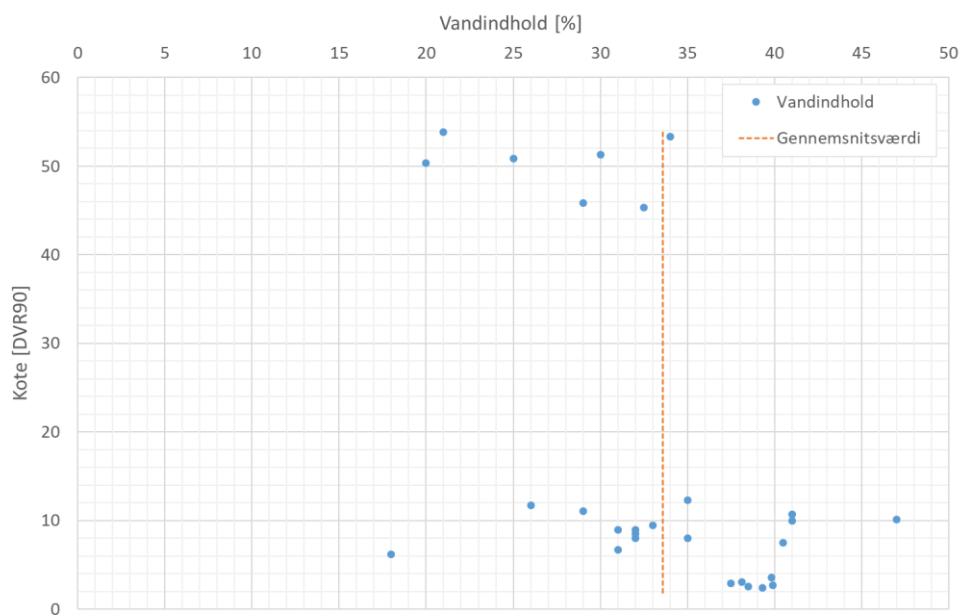


Figur 4-87 Rumvægt målt på prøver af miocæne leraflejringer.

Det naturlige vandindhold er målt på 30 prøver af primært miocænt, glimmerholdigt, ret fedt ler og oligocænt/eocænt, glaukonitholdigt, meget fedt ler.

Resultaterne er vist på Figur 4-88, hvor det ses at de viste resultater er fra to forskellige terrænniveauer. Prøverne fra niveau svarende til kote ca. +45 til +55 DVR90 er fra projektet Hovedgård – Hasselager, hvor boring G-A1-18+400 ligger lige syd for Solbjerg Sø. De lavereliggende prøver stammer fra undersøgelser ved Odderbanen.

Målingerne ligger i intervallet 18 til 47 %, med et gennemsnit på 33,6 %.



Figur 4-88 Naturligt vandindhold målt på prøver af prækvartære aflejringer.

Statistisk analyse på det målte natrulige vandindhold er:

Antal	30
Gennemsnit	33,6 %
Spredning	6,9 %
Konfidensinterval (95% t-fordeling)	2,6 %
Nedre værdi	31,0 %
Øvre værdi	36,1 %

Den intakte vingestyrke er målt 21 gange i de prækvartære aflejringer, jf. Figur 4-89. Vingestyrken er målt i intervallet 115 til 702 kPa med et gennemsnit på 374 kPa. Ligeledes ses det af Figur 4-89 at resultaterne igen stammer fra to forskellige terrænniveauer (samme projekter som nævnt under det natrulige vandindhold). De høje værdier over 500 kPa stammer alle fra projektet "Hovedgård – Hasselager", hvor målingerne er udført i miocænt, glimmerholdigt, ret fedt ler.

Ud fra de målte værdier kan en karakteristisk værdi, bestemt som 95 % fraktil-værdien, sættes til 129 kPa.

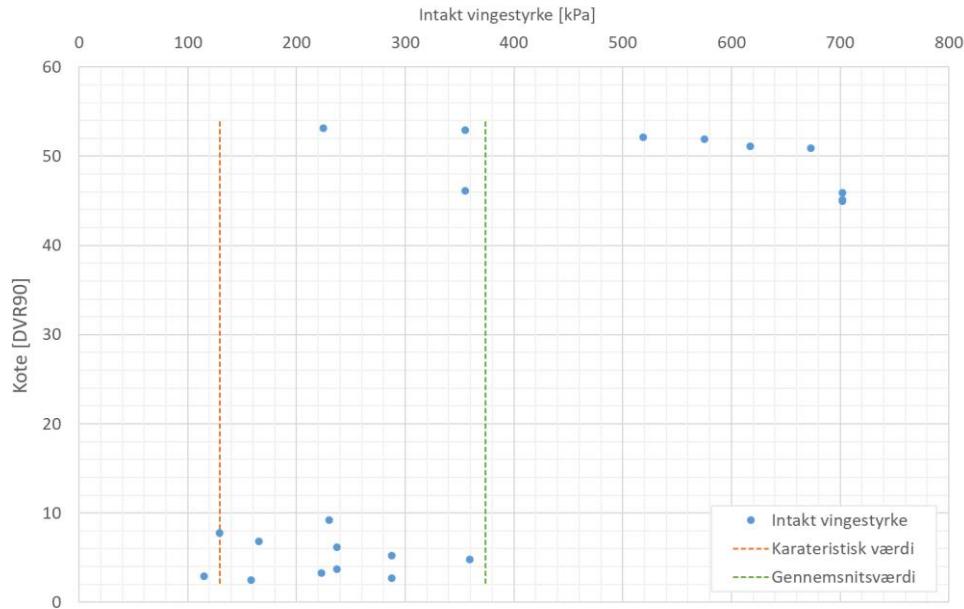
Statistisk analyse på den målte vingestyrke er:

Antal	21
Gennemsnit	373,9 kPa
Spredning	208,5 kPa
Konfidensinterval (95% t-fordeling)	94,9 kPa

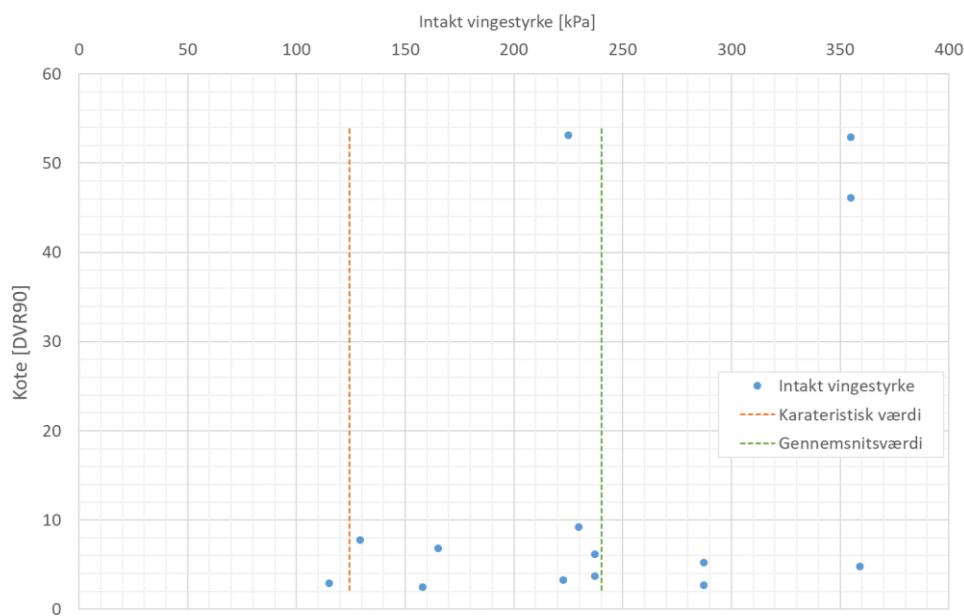
Nedre værdi
Øvre værdi

279,0 kPa
468,8 kPa

Ses der bort fra de meget høje værdier over 500 kPa fås i stedet et gennemsnit på 240 kPa, jf. Figur 4-90.

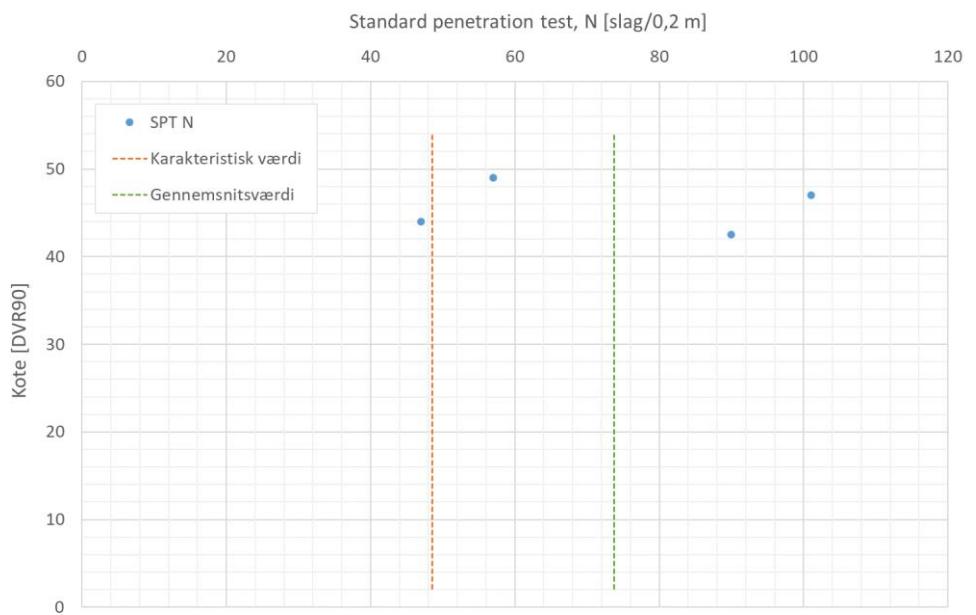


Figur 4-89 Intakt vingestyrke målt in-situ i prækvartære aflejringer.



Figur 4-90 Intakt vingestyrke målt in-situ i prækvartære aflejringer. Målinger større end 500 kPa er filtreret fra.

I det trufne miocæne, glimmerholdige sand fra boring G-A1-18+400 ved Solbjerg Sø er der udført fire SPT-forsøg. Resultaterne ses af Figur 4-91. Der er målt rene SPT N-værdier i intervallet 47 – 101 slag/20 cm nedsynkning med et gennemsnit på 73,8 slag/20 cm nedsynkning.



Figur 4-91 SPT N-værdier målt i glimmerholdigt miocænt sand.

Det glimmerholdige, miocæne sand er truffet mellem 15,3 og 21,8 m under eksisterende terræn, og for et overlejringstryk på ca. 200 kPa vil de målte N-værdier svare til en relativ densitet på 85 – 100 % og en effektiv friktionsvinkel i omegnen af 37 - 40 °. Som forventet er det glimmerholdige sand fast.

Søvindmergel

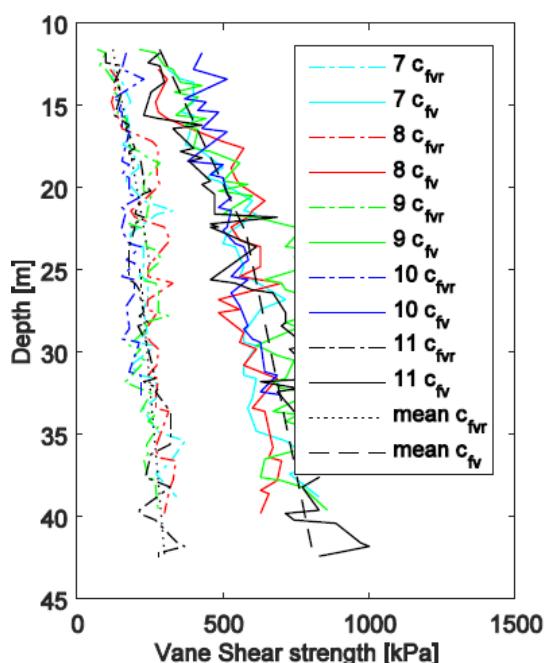
Søvindmergel forventes at blive truffet ved større dybder i Jylland, og vil ved pælefundering og/eller tunnelering have indflydelse på de geotekniske konstruktioners design og virkemåde. Træffes flager af Søvindmergel i de kvartære aflejringer vil disse typisk have indflydelse på terrænnære funderingstyper.

Der er ikke i de udførte borer, der er analyseret og vurderet i dette projekt, truffet aflejringer af Søvindmergel. Nedenstående analyse og vurdering er derfor alene baseret på litteraturstudier.

Søvindmergel er typisk karakteriseret som højplastisk, fed ler med stærkt indhold af kalk. Søvindmergel er typisk lysegrå til rent hvid. Kalkindholdet ligger typisk på 20 til 50 % men er målt op til 70 % (Heilmann-Clausen, Palæogene aflejringer over danskekalken, 1985). Der findes desuden områder, hvor kalkindholdet i Søvindmergel er begrænset. Hvor kalkindholdet er begrænset vil de plastiske egenskaber – inklusiv de markante svelleegenskaber – træder tydeligere frem som det ses for Lillebæltsler og Røsnæsler. Der er typisk en omvendt proportion mellem plasticitetsindeks og indhold af kalk. Plasticitetsindekset ligger typisk for Søvindmergel i intervallet 50 – 300 %, (Okkels, Hoff, & Rasmussen, 2008) og (Grønbech, Ibsen, Nielsen, & Stockmarr, Geotechnical classification of Søvind Marl, 2012). Det meget høje plasticitetsindeks indikerer, at Søvindmergel – når kalkindholdet er lavt – vil svelle ved aflastning af de effektive spændinger i lerlaget.

Søvindmergel er karakteriseret ved et højt naturligt vandindhold i intervallet 30 – 60 % med en middelværdi omkring 40%. Rumvægten kan typisk måles i intervallet 16,5 – 19,5 kN/m³.

Undersøgelser ved Aarhus har vist at der er en god korrelation mellem den udrænede forskydningsstyrke af Søvindmergel og den målte c_v -værdier fra CPT-forsøg (Okkels, Hoff, & Rasmussen, 2008). Der er for to lokaliteter i Aarhus Havn målt intakte vingestyrker mellem ca. 200 og 600 kPa (Okkels, Hoff, & Rasmussen, 2008). Ligeledes er der for en anden lokalitet i Aarhus Havn målt intakte vingestyrker mellem 300 og 1000 kPa, jf. Figur 4-92 (Grønbech & Nielsen, Undrained shear strength determination and correlations on Søvind Marl, 2016).



Figur 4-92 *Intakt vingestyrke målt i Søvindmergel ved Aarhus Havn [Figure 2 i (Grønbech & Nielsen, Undrained shear strength determination and correlations on Søvind Marl, 2016)].*

På grund af de mange sprækker i den fede Søvindmergel bør den udrænede forskydningsstyrke ikke fastlægges som større end 1/3-del af den målte vingestyrke:

$$c_u \approx \frac{1}{3} \cdot c_v$$

De to undersøgelser beskrevet i (Okkels, Hoff, & Rasmussen, 2008) viser, at der for Søvindmergel kan forventes en conefaktor i intervallet

$$N_{k,cv} = 6,0 \text{ til } 7,6$$

svarende til

$$N_{k,cu} \approx 18,0 \text{ til } 22,8$$

De effektive styrkeparametre af Søvindmergel vurderes at være sammenlignelige med det, der er undersøgt for Lillebæltssler. For yderligere information henvises der til afsnittet nedenfor omhandlende Lillebæltssler.

Deformationsegenskaberne af Søvindmergel er bl.a. beskrevet i (Grønbech, Ibsen, & Nielsen, Interpretation of consolidation test on Søvind Marl, 2012). Her er konsolideringsmodulet vurderet at ligge i intervallet 50 – 100 MPa for primær-konsolidering og i intervallet 150 – 900 MPa for genbelastning.

I samme publikation er konsolideringskoefficienten vurderet at ligge i intervallet $0,05 - 0,15 \times 10^{-6}$ m²/s, og krybningsindekset i intervallet 0,05 – 0,1 % for genbelastningsgrenen. Forkonsolideringsspændingen er vurderet at ligge mellem ca. 7000 og 12.000 kPa.

Lillebæltssler

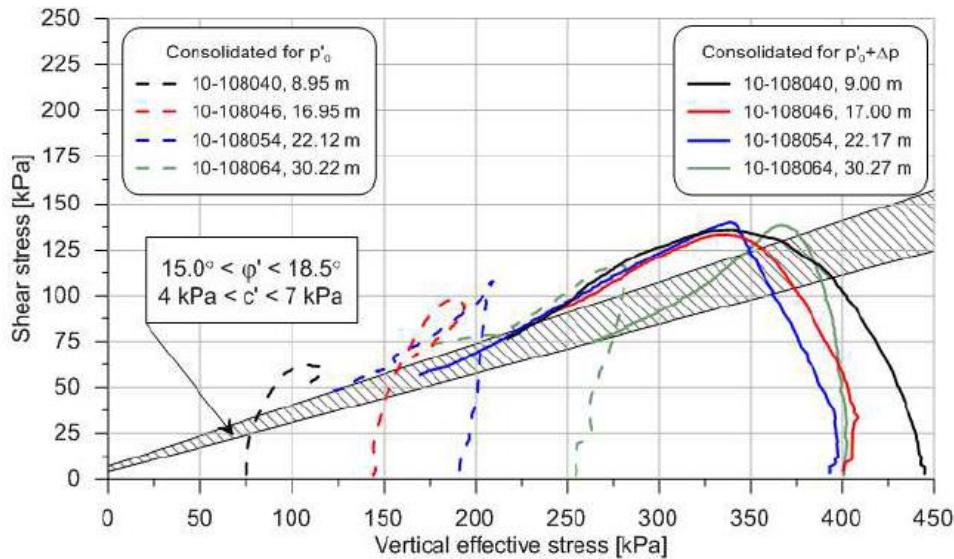
Lillebæltssler forventes at underlejre Søvindmergel, og overlejre Røsnæsler i stor dybde. Det kan ikke udelukkes, at Lillebæltssler kan træffes som flager i de overliggende kvartære aflejringer. Som for Søvindmergel kan Lillebæltssler ved pælefundering og/eller tunnelering have indflydelse på de geotekniske konstruktions design og virkemåde. Træffes flager af Lillebæltssler i de kvartære aflejninger vil disse typisk have indflydelse på terrænnære funderingstyper.

Der er ikke i de udførte borer, der er analyseret og vurderet i dette projekt, truffet aflejringer af Lillebæltssler. Nedenstående analyse og vurdering er derfor alene baseret på litteraturstudier.

Lillebæltssler klassificeres som højplastisk, grønlig, kalkfrit, fed ler med stort indhold af smectit. Hvor Røsnæsler indeholder op til 80 % smectit, indeholder Lillebæltssler typisk 33 %, dog er der fundet områder hvor indholdet var op til ca. 60 %. Typisk er indholdet af smectit, kaolinit og illit stort set lige store.

Som de andre eocæne højplastiske lere er det naturlige vandindhold stort, og kan forventes at ligge i intervallet 35 – 60 %. Rumvægten vil typisk ligge i intervallet 17 – 19 kN/m³ (Femern A/S, 2011).

I forbindelse med forstærkningsprojektet for den Gamle Lillebæltssbro (Banedanmark, 2013) er styrke- og deformationsegenskaber af Lillebæltssler blevet undersøgt og diskuteret.



Figur 4-93 Effektiv spændingsplot fra CCV DSS-forsøg hvor påført forskydningsspænding er vist som funktion af lodret effektiv spænding [kopi af Figure 11 i (Banedanmark, 2013)].

De effektive styrkeparametre er i DSS-forsøg målt i intervallerne $\phi'_{res} = 15 - 18.5^\circ$ for friktionsvinklen og $c' = 4 - 7 \text{ kPa}$, jf. Figur 4-93. Ved hjælp af triaxial-forsøg er den karakteristiske friktionsvinkel bestemt som 23.3° med en effektiv kohæsion på 2 kPa .

Det skal yderligere bemærkes at undersøgelser viser, at styrken af Lillebæltsler udsættes for betydelig "softening" ved aflastning, hvilket skal tages hensyn til ved design af geotekniske konstruktioner.

Røsnæsler

Røsnæsler forventes ligeledes at blive truffet ved større dybder i Jylland, og kan evt. også optræde som større eller mindre flager i de kvartære aflejringer.

For yderligere beskrivelser af Røsnæsleret henvises der til afsnit 4.1.9.

4.5.10 Sammenfatning af jordbundsforhold i Jylland

Det er et meget begrænset datagrundlag, som danner baggrund for værdierne listet i Tabel 4-6. Værdierne skal derfor kun ses som foreløbige værdier, der kan anvendes til indledende skitseanalyser. En del parametre i tabellen er baseret på dansk empiri og bør verificeres ved hjælp af forsøgsresultater fra geotekniske undersøgelser.

De geotekniske undersøgelser, der ligger til grund for den geotekniske screening, har typisk kun omfattet bestemmelse af det naturlige vandindhold, rumvægten samt den intakte vingestyrke (for kohæsive aflejringer).

Resultater fra SPT-forsøg er kun tilgængelig fra en enkel boring, hvor forsøget er udført i miocænt glimmersand. CPT-forsøg er udført for tre forskellige projekter til en maksimal dybde af ca. 16,5 m under eksisterende terræn.

Stivhedsparametre er alle empirisk bestemt ud fra almindelig dansk praksis på baggrund af værdier af udrænet forskydningsstyrke og/eller vandindhold.

Der er for de post-, sen- og glaciale aflejringer vurderet, at den målte vinge-styrke kan korreleres direkte som værende sammenligneligt med den udledte udrænede forskydningsstyrke.

De listede parametre for prækvartære aflejringer er alle bestemt via litteratur-studier.

For at kunne bestemme de forskellige styrke- og deformationsparametre mere præcist, er det nødvendigt at gennemføre yderligere geotekniske undersøgelser, som beskrevet i afsnit 5.

*Tabel 4-6 Foreløbige geotekniske parametre for de i Jylland trufne jordlag.
Tal skrevet i parentes er gennemsnitsværdien for de målte værdier.*

Jordtype	γ' / γ [kN/m³]	w [%]	ϕ'_{pl} [°]	c' / c_u [kPa]	Q [%]	E_{ed} [MPa]
Fyld	10* / 18*	9-46 (19)	30*	- / 30	5-15	-
Pg tørv/gytje	5 / 13	24-752 (231)	25*	- / 50	45	-
Pg sand	10* / 18*	-	33*	- / -	-	30*
Pg ler	9* / 19*	15-44 (31)	25*	- / 30	5-10	-
Sg fedt smelte-vandsler	8* / 18*	10-30 (18)	25*	- / 30	-	3-10*
Sg sandet smelte-vandsler	9 / 19	10-30 (18)	25*	- / 30	-	3-10*
Gc smeltevands-sand	11* / 21*	-	36*	- / -	-	$\geq 30^*$
Morænesand/grus	11 / 21	-	38*	- / -	-	$\geq 30^*$
Gc smeltevands-ler/silt	9 / 19	16-59 (33)	25*	6* / 1)	-	15*
Moræneler/-silt	12 / 22	5-22 (13)	30*	6 / 2)	-	20-90
Ret fedt moræne-ler/-silt	11 / 21	13-24 (18)	30*	4 / 40	-	40
Gc mellem smelte-vandssand	11* / 21*	-	36*	- / -	-	$\geq 30^*$

Jordtype	γ' / γ [kN/m ³]	w [%]	ϕ'_{pl} [°]	c' / c_u [kPa]	Q [%]	E _{oed} [MPa]
Nedre moræneler	12* / 22*	-	30*	20* / 200*	-	80*
Nedre smeltevands-sand	11* / 21*	-	36*	- / -	-	≥30*
Glimmersand	10* / 18*	-	37-40	- / -	-	≥50*
Glimmerler	8 / 18	16-45 (33)	25*	10* / 240	-	10-50*
Søvindmergel	6-9* / 16,5-19,5*	30-60*	20*	- / 60*	-	-
Lillebæltsler	7-9* / 17-19*	35-60*	15-23*	2-7* / 50*	-	-
Røsnæsler	8,5* / 18,5*	35-45*	15-20*	3,5-15* / 40-130*	-	-

*) Værdien er empirisk bestemt ud fra traditionel dansk erfaring, da der ikke på nuværende tidspunkt er tilstrækkeligt datagrundlag til at bestemme værdien ud fra målte værdier.

Note 1): $c_u \geq 50 + 10 \cdot z$ [kPa], hvor z er dybde under eksisterende terræn.

Note 2): $c_u \geq 25 + 12,5 \cdot z$ [kPa], hvor z er dybde under eksisterende terræn.

For deformations parametre for Røsnæsleret henvises der til beskrivelserne i afsnit 4.1.9. For Søvindmergel og Lillebæltsler henvises til afsnit 4.5.9.

5 Forslag til egentlige geotekniske undersøgelser

Det tilgængelige geotekniske datagrundlag er yderst begrænset til fastlæggelse af de faktiske styrke- og deformationsegenskaber for de trufne jordlag under de skitserede linjeføringskorridorer for Kattegatforbindelsen.

For at belyse de faktiske jordbundsforhold – primært offshore i selve Kattegat – bør der gennemføres en indledende forundersøgelse, hvor 5 - 6 strategisk placerede og meget dybe (minimum 40-50 m eller så dybe, at de underliggende præ-kvartære aflejringer kan analyseres) borer udføres. Denne indledende forundersøgelse kan med fordel være et supplement til en egentlig geofysisk undersøgelse af den valgte linjeføringskorridor. En geofysisk undersøgelse, der kalibreres/verificeres ved hjælp af et antal geotekniske undersøgelser, kan danne en stærk basis for fastlæggelse og forståelse af jordbundsforholdene langs den valgte linjeføring. Hverken geofysisk eller geoteknik kan effektivt stå alene – de bør supplere hinanden i så stort et projekt som Kattegatforbindelsen.

Den indledende forundersøgelse kan omfatte 1-2 borer på Sjælland, 1-2 borer mellem Sjælland og Samsø, 1 boring på Samsø, 1-2 borer mellem Samsø og Jylland og evt. 1 boring i Jylland.

Når en endelige linjeføring er fastlagt, bør der gennemføres en egentlig forundersøgelse som kan belyse de faktiske jordbundsforhold nærmere. Denne undersøgelse skal tilrettelægges ud fra de valgte konstruktionstyper (bro/tunnel/dæmning/veje/mm). Undersøgelsen skal gennemføres efter retningslinjerne givet i gældende DS/EN 1997-1 og 1997-2.

For endeligt geoteknisk design af linjeføringens konstruktioner bør der gennemføres en egentlig geoteknisk undersøgelse efter retningslinjerne givet i gældende DS/EN 1997-1 og 1997-2. Her bør afstand mellem og dybder af undersøgelsespunkterne følge retningslinjerne i Bilag B.3 i DS/EN 1997-2.

6 Referencer

- Andersen, S., Erikstad, L., Ingólfsson, Ó, Lundqvist, J., Pedersen, S.S., Salonen, V.-P., Selonen, O. & Vilborg, L. (1998). *Israndslinier i Norden* (1 udg.). (S. & Andersen, Red.) København: Nordisk Ministerråd.
- Banedanmark. (2013). *Stability of the bridge piers of the Little Belt Bridge, Cover report on the works of the geotechnical Expert Panel.*
- Berthelsen, A. (1975). *Geologi på Røsnæs* (3 udg.). (A. Berthelsen, Red.) København: VARV.
- Binderup, M., Buchardt, B., Gravesen, P., Heilmann-Clausen, C., Knudsen, K.L., Korstgård, J., Krüger, J., Larsen, G., Noe-Nygard, N., Odgaard, B., Skovbjerg Rasmussen, E., Surlyk, F. & Vejbæk, O.V. (2012). *Naturen i Danmark - Geologien* (2. udgave udg.). (G. Larsen, Red.)
- Binzer, K. og Stockmar, J. (1994). Geologisk kort over Danmark 1:500.000,. *Prækvarteroverfladens højdeforhold, Det danske landområde, Kattegat, indre danske farvande og farvandet omkring Bornholm, Kortserie nr. 44.*
- Ditlefsen, C., Sørensen, J., Marslev Pallesen, T., Pedersen, D., Bjørsvik Nielsen, O., Christiansen, C., Hansen, B. & Gravesen, P. (2008). *Geo vejledning 1, Vejledning i udtagning, beskrivelse og geologisk tolkning i felter.* De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland, Ministeriet for Klima og Energi.
- Femern A/S. (2011). *GDR 18.0-007, Femmarnsund and Lillebælt. Advanced laboratory testing.*
- Femern A/S. (2014). *GDR 00.1-001, Ground investigation report.* Rambøll Arup Joint Venture.
- Frederiksen, J.K., Klint, K.E. & Jørgensen, M.E. (2002). Kvartæret under København. *dgf-Bulletin 19, Ingeniørgeologiske forhold i København*, 89-201.
- Geologisk tidsskala. (u.d.). Hentet 4. Oktober 2019 fra <http://www.evolution.dk/typo3temp/pics/0e4ef48520.jpg>
- GEUS. (u.d.). Hentet fra Det geomorfologiske kort over Syd- og Østdanmark, version2, 2018, 1:200.000: [http://data.geus.dk/geusmap/?lang=da&mapname=denmark#baslay=b&aseMapDa&optlay=&extent=-](http://data.geus.dk/geusmap/?lang=da&mapname=denmark#baslay=b&aseMapDa&optlay=&extent=400060.5495541837,6085797.539437589,918069.8088134429,6296265.646433474&layers=dk_kort_morfologi)
- GEUS. (1994). Hentet fra Prækvarteroverfladens højdeforhold 1:250.000: <http://data.geus.dk/geusmap/?lang=da&mapname=denmark#baslay=b&aseMapDa&optlay=&extent=->

- 316640.6249999999,5869835.069444444,1431640.625,6580164.93055
5556&layers=prakvartaer_hojdeforhold
- GEUS. (2014). Hentet fra Havbundens overfladesedimenter i Danmark :
<https://www.geus.dk/mineralske-raastoffer/raastoffer-i-danmark/havbundens-overfladesedimenter/>
- GEUS. (April 2018). *JUPITER, Data og kort.* Hentet fra
<http://data.geus.dk/JupiterWWW/index.jsp>
- GEUS. (u.d.). *GEUS, Jordartskort, 1:25.000.* Hentet fra
<http://www.geus.dk/DK/data-maps/Sider/default.aspx>
- Glendrup, M., Gregersen, S. & Voss, P. (2004). Danske jordskælv - 200 registrerede jordskælv på 75 år. *Geologisk Nyt.*
- Gravesen, P., Binderup, M., Houmark-Nielsen, M. & Krüger, J. (2017). *Geologisk set. Sjælland og Øerne. En beskrivelse af områder af national geologisk interesse* (1 udg.). GO Forlag og Geocenter Danmark 2017.
- Gregersen, S., Leth, J., Lind, G. & Lykke-Andersen, H. (1996). Earthquake activity and its relationship with geologically recent motion in Denmark. *Tectonophysics*, 257, 265-273.
- Grønbech, G. L., & Nielsen, B. N. (2016). Undrained shear strength determination and correlations on Søvind Marl. *Proceedings of the 17th Nordic Geotechnical Meeting*, (s. 431-440). Reykjavik.
- Grønbech, G. L., Ibsen, L., & Nielsen, B. N. (May 2012). Interpretation of consolidation test on Søvind Marl. *Proceedings of the 16th Nordic Geotechnical Meeting*, 1/2, s. 85-93. Copenhagen.
- Grønbech, G. L., Ibsen, L., Nielsen, B. N., & Stockmarr, P. (May 2012). Geotechnical classification of Søvind Marl. *Proceedings of the 16th Nordic Geotechnical Meeting*, 1/2, s. 95-102. Copenhagen.
- Hansen, B. (1978). *Geoteknik og fundering, Del 1, Forelæsningsnotater til kursus 5811 - Geoteknik 1.* Danmarks Tekniske Højskole.
- Hansen, E. (2017). Hentet fra Roskilde Fjord Portalen:
http://www.frederikssund1.dk/roskildefjord/steder/jyllinge_holme.html
- Heilmann-Clausen, C. (1985). *Palæogene aflejringer over danskekalken.* Aarhus: Geologisk Institut, Aarhus Universitet.
- Heilmann-Clausen, C., Nielsen, O. B., & Gersner, F. (Februar 1985). Lithostratigraphy and depositional environments in the Upper Paleocene and Eocene of Denmark. *Bulletin of Geological Society of Denmark*, 33, 287-323.
- Houmark-Nielsen, M., Krüger, J. & Kjær, K. (2005). De seneste 150.000 år i Danmark. *Geologi og Geografi*, 2, 19.
- Jakobsen, P.R, Rosenbom, A. (2002). Transport i sprækket kalk ved Sigerslev. *ATV møde.*
- Jensen, J.B., Borre, S., Nørregaard-Pedersen, N. & Leth, J.O. (u.d.). Model for potentielle sand- og grusforekomster for de danske farvande. Delområderne Kattegat syd og Østersøen vest. *Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse Rapport 2010/99.*
- Kortforsyningen, S. f. (u.d.). Hentet 2018 fra Historiske høje målebordsblade: ,
<https://download.kortforsyningen.dk/content/dtkh%C3%B8je-m%C3%A5lebordsblade>
- Kortforsyningen, S. f. (u.d.). Hentet fra Historiske lave målebordsblade:
<https://download.kortforsyningen.dk/content/dtklave-m%C3%A5lebordsblade>

- Krogsbøll, A., Hedeland, O., & Foged, N. (2012). Deformation properties of highly plastic fissured Palaeogene clay - Lack of stress memory? *Proceedings of the 16th Nordic Geotechnical Meeting, 1/2*, s. 133-140. Copenhagen.
- Larsen, B. (2006). *Naturen i Danmark, Bind 1, Havet, Kapitel 2, De danske farvandes geologi*. (K. Sand-Jensen, Red.) Gyldendal.
- Larsen, G. og Kronborg, C. (1994). *Geologisk set, Det mellemste Jylland*. Geografforlaget.
- Leth, J.O., Larsen, B. (2014). Geoviden, Geologi og Geografi nr. 2. *Den danske havbund, Kortlægning af Danmarks havbundssedimenter før og nu*.
- Lomholt, S., Mikkelsen, D.M., Nørgaard-Pedersen, N., Olesen, M., Leth, J.O., Kristensen, M.B., Jensen, J.B., Skar, S. & Paradeisis-Stathis, S. (2016). *Marin råstofkortlægning i de indre danske farvande 2016/15. Råstof, natur og miljøkortlægning af 10 områder*. De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland, Energi-, Forsynings- og Klimaministreriet.
- Mertz, E. (1972). *By-Geologi Nr. 5 - Kalundborg*. Danmarks Geologiske Undersøgelse Rapport, København.
- Milthers, V. (1943). *Nordvestsjællands geologi* (Årg. V. Række. Nr. 6). (V. Milthers, Red.) København: Danmarks Geologiske Undersøgelse.
- Nielsen, B., Nejrup, L., Macnaughton, M., Nicolaisen, M.L., Jensen, J.B., Al-Hamdani, Z., Nørgaard, N., Addington, L.G., Christensen, L. & Lomholt, S. (2011). *Marin råstof- og naturtypekortlægning i Kattegat og vestlige Østersø*. GEUS & Orbicon.
- Nyt Teknisk Forlag. (2011). *Teknisk Ståbi* (21. udgave udg.).
- Okkels, N. & Juul, K. (September 2009). Søvindmergel. *NGM2009*.
- Okkels, N., Hoff, M. B., & Rasmussen, R. (2008). Conefaktor i Søvindmergel, Septarieler og fedt moræneler. *Proceedings - Nordisk Geoteknikermøte nr. 15*, (s. 390-397). Sandefjord.
- Sandersen, P.B.E. & Jørgensen, F. (2015). *Kortlægning af begravede dale i Danmark - Opdatering 2010 - 2015*. GEUS.
- Skovbjerg Rasmussen, E., Dybkjær, K. & Piasecki, S. (2010). Lithostratigraphy of the Upper Oligocene - Miocene succession of Denmark. *Geological Survey of Denmark and Greenland Bulletin 22*.
- Smed, P. (1981). *Landskabskort over Danmark. Blad 4, Sjælland, Lolland, Falster, Bornholm*. Geografforlaget.
- Smed, P. (2013). Weichsel istiden på Sjælland. *Geologisk Tidsskrift*, 1-42.
- Smed, P. (2016). *Sten i det danske landskab* (4 udg.). Højers Forlag.
- Sørensen, I. (2019). *Ingeniørgeologi* (1. udgave udg.). Praxis - Nyt teknisk forlag.
- Sørensen, J. (2005). *Århus Syd, Petrografisk og mineralogisk korrelation af 15 undersøgelsesboringer fra begravede dalsystemer i Århus Syd*. Afdelingen for Sediment-Geologi, geologisk Institut, Aarhus Universitet.
- VARV. (1994). Hentet fra Danmarks Undergrundskort 1 : 1.000.000:
http://data.geus.dk/geusmap/?mapname=denmark#baslay=baseMapDa&optlay=&extent=-316640.6249999999,5869835.069444444,1431640.625,6580164.93055556&layers=undergrundskort_varv

Bilag A Situationsplan med borer

Bilag B Danmarks undergrund med
stratigrafi og forkastninger

Bilag C Prækvartær overfladens højdeforhold

Bilag D Geomorfologisk landskabskort

COWI

FORUNDERSØGELSE AF KATTEGATFORBINDELSE - INDLEDENDE LINJEFØRINGSOVERVEJELSER

Bilag E Terrænforhold

Bilag F Historisk høje målebordsblade

Bilag G Historisk lave målebordsblade

COWI

FORUNDERSØGELSE AF KATTEGATFORBINDELSE - INDLEDENDE LINJEFØRINGSOVERVEJELSER

Bilag H Jordartskort

COWI

FORUNDERSØGELSE AF KATTEGATFORBINDELSE - INDLEDENDE LINJEFØRINGSOVERVEJELSER

Bilag I Havbundsforhold

COWI

FORUNDERSØGELSE AF KATTEGATFORBINDELSE - INDLEDENDE LINJEFØRINGSOVERVEJELSER

Bilag J Havbundens overfladesedimenter

COWI

FORUNDERSØGELSE AF KATTEGATFORBINDELSE - INDLEDENDE LINJEFØRINGSOVERVEJELSER

Bilag K Boringsgrundlag i geologisk model

COWI

FORUNDERSØGELSE AF KATTEGATFORBINDELSE - INDLEDENDE LINJEFØRINGSOVERVEJELSER

Bilag L Mægtighed af fyld og postglaciale
aflejringer

COWI

FORUNDERSØGELSE AF KATTEGATFORBINDELSE - INDLEDENDE LINJEFØRINGSOVERVEJELSER

Bilag M Dybde til overside af øvre ler

COWI

FORUNDERSØGELSE AF KATTEGATFORBINDELSE - INDLEDENDE LINJEFØRINGSOVERVEJELSER

Bilag N Prækvartære flager

COWI

FORUNDERSØGELSE AF KATTEGATFORBINDELSE - INDLEDENDE LINJEFØRINGSOVERVEJELSER

Bilag O Simplificeret geologisk
længdeprofil – Øst

COWI

FORUNDERSØGELSE AF KATTEGATFORBINDELSE - INDLEDENDE LINJEFØRINGSOVERVEJELSER

Bilag P Simplificeret geologisk
længdeprofil – Vest