

BOREKERNEN



Beirut's bundløse havnebassin – side 6

Fedt ler under
Femern Bælt

- side 2

Boring i bropille 3

- side 4

Ikke for tøsedrenge

- side 7

Ud over kanten

- side 8

Fedt ler under Femern Bælt

Undersøgelsen af jordbunden under Femern Bælt er en væsentlig faktor, når det skal besluttes, om det er en bro eller sænketunnel, der skal forbinde Danmark og Tyskland

Fra 2018 skal biler og tog kunne køre fra Rødby i Danmark til Femern i Tyskland via en bro eller en sænketunnel. Mange elementer spiller ind i valget mellem en bro og en tunnel.

"Skibstrafik, miljø og jordbund er vigtige tekniske forhold i vurderingen af, hvorvidt det bliver en bro eller en tunnel" siger projektchef Jens Kammer fra Femern A/S. Han har ansvaret for at etablere et tilstrækkeligt kendskab til jordbunden under Femern Bælt, så byggeriet kan planlægges og bygges. Det indbefatter geofysiske undersøgelser, borekampagne, laboratorieforsøg, stor-skalaforståelse samt et helt nyt positioneringssystem til brug under anlægsarbejdet. Jens Kammer betegner jordbunden under Femern Bælt som udfordrende på grund af det palæogene ler.

Lav styrke og sprækker

Palæogene ler er ofte fedt og plastisk. Det gælder også den dominerende jordtype under Femern Bælt. En 50-60 millioner år gammel lerart, der er kendetegnet ved relativ lav styrke og stor deformationsevne. På almindelig dansk betyder det, at den ikke kan bære ret meget uden at sætte sig, og at den hæver sig - også kaldet sveller - ved afgravning til f.eks. et fundament. Ofte er leret fyldt med sprækker, hvilket påvirker egenskaberne. Det er også meget tæt, hvorfor det tager lang tid at få vand ind og ud af prøverne - og det gør forsøg

på lertypen langvarige, og sætninger er længe undervejs.

Femern Bælts havbund er derfor ikke en nem jordbund at fundere på, og det kræver mange og meget avancerede laboratorieforsøg at forstå jordbundens egenskaber. Egenskaber, der skal tages i betragtning for at fundere det kommende bygværk korrekt. Laboratorieforsøgene foretages af GEO i samarbejde med det hollandske laboratorium Deltares.

Fra havets dyb til GEO

Der er lang vej fra Femern Bælts dyb til GEO. Jordprøverne fra de geotekniske undersøgelser forsegles umiddelbart efter, at de er hentet op af havbunden, og derefter sendes de til GEOs laboratorium for at blive testet. Prøverne er taget ned til 100 meters dybde under havbunden, og GEOs forsøg skal bestemme jordens deformations- og styrkeegenskaber. Forsøgsresultaterne giver grundlag for dimensionering af såvel en broløsning som en tunnelloøsning, og det fede, palæogene ler vil give udfordringer, ligegyldig hvilken løsning, der vælges: "Jorden vil hæve sig, når du graver ud, og når du belaster den igen, giver det sætninger," forklarer projektleder Peter Folsted fra GEO.

Flere typer forsøg

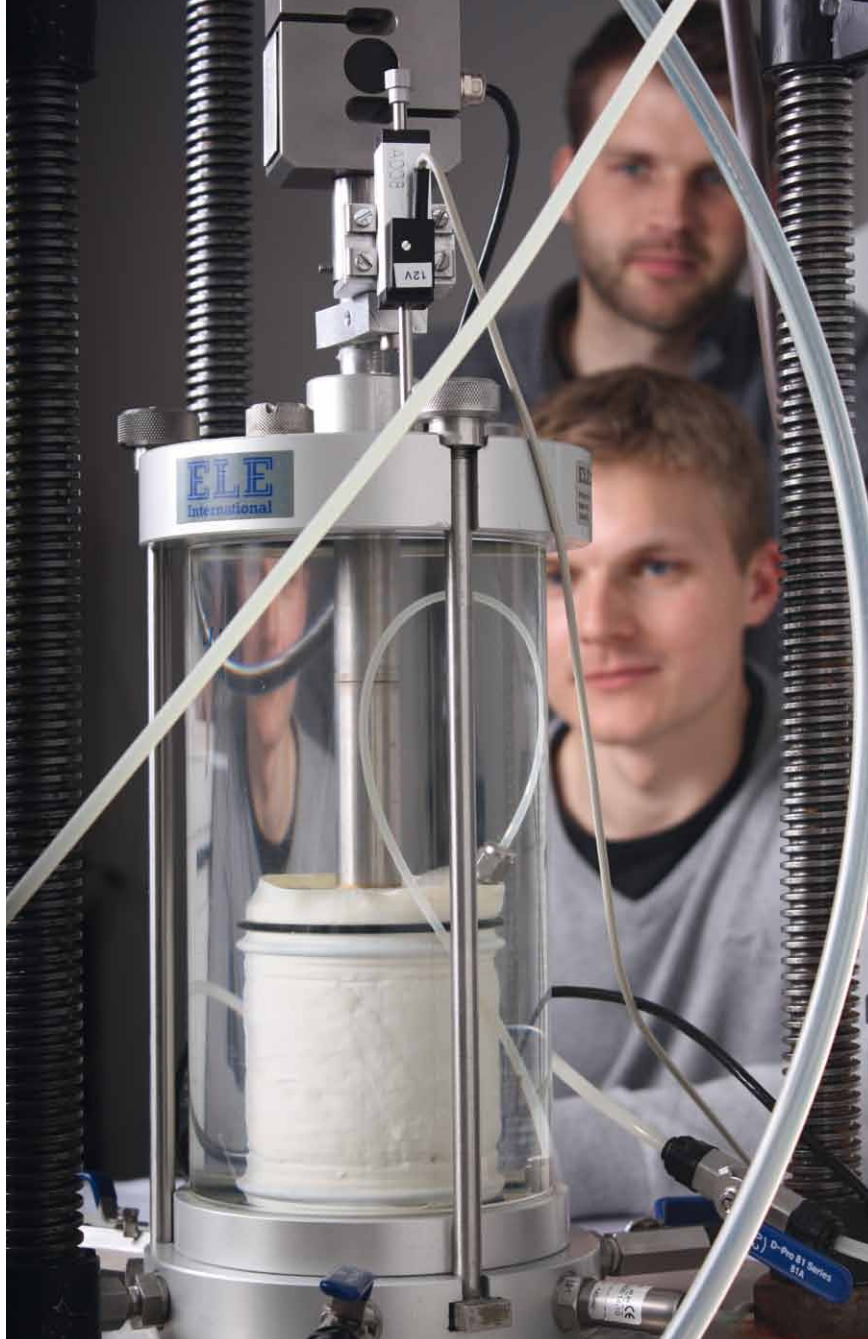
Der skal flere forskellige typer forsøg til for at afkode jordbundens egen-

FAKTA

- **Projekt**
Avancerede laboratorieforsøg
- **Kunde**
Femern A/S
- **Kundens tilsyn**
Rambøll Aarup JV
- **Samarbejdspartner**
Deltares
- **Projektperiode**
September 2009-marts 2011
- **Antal avancerede forsøg**
ca. 1000

FAKTA

- **Boreprøver**
Prøverne har en længde på 150 cm og en diameter på 10 cm. Fra disse prøver udvælges Femerns repræsentant på boreskibet 60 cm lange stykker til de avancerede laboratorieforsøg.
- **Konsolideringsforsøg**
Der udtages en prøve på 2-3 cm. Den belastes oppefra og nedefra og vand tilsættes. Over tid måles det, hvor meget jorden trykkes ned under belastning. Et forsøg tager typisk 2-8 uger og undervejs måles, hvordan prøven sveller (hæver sig), når den aflastes.
- **Triaxialforsøg**
Prøver på 7 cm i diameter og 7 cm høje. I et vandfyldt trykkammer belastes jorden fra top og sider for at gendanne den spændingstilstand, prøven var i, før den blev taget op af havbunden. Herefter påføres en spændingstilstand, så prøven bringes i brud. Forsøget viser, hvordan jorden reagerer på forskellige belastninger. Forsøgene tager typisk 2-10 uger alt efter jordtype.



menstød vil forårsage. "Det er vigtigt at få et billede af, hvordan jordtyperne dæmper vibrationerne ved et sammenstød, fordi de kan skade broens konstruktion," forklarer Peter Folsted. Alle laboratorieforsøg planlægges i tæt dialog med Femern A/S, via Rambøll Aarup JV.

"I Femern A/S går vi ind for klarhed og åbenhed i forhold til vores leverandører, derfor foretager GEO ikke bare laboratorieforsøg på vores ordrer. De spiller med og fungerer som rådgivere på de her undersøgelser. De bruger deres viden til projektets bedste, og det fungerer fornemt," siger Jens Kammer.

Samlet set vil de flere end 1000 laboratorieforsøg give et nøjagtigt billede af Femern Bælts jordbund og dens egenskaber og medvirke til valget af, hvorvidt vi i 2018 skal køre over eller under Femern Bælt på vejen til Tyskland.

skaber. Enkle klassifikationsforsøg bliver kombineret med avancerede triaxial- og konsolideringsforsøg. Civilingeniør Svend Pilgaard Larsen er med til at udføre forsøgene: "Vi udfører triaxialforsøg i mange forskellige varianter. Det er avancerede trykforsøg, hvor du påvirker jorden med spændinger i forskellige retninger. Ud fra forsøgsresultaterne kan vi regne os frem til jordens styrkeparametre," siger han. Konsolideringsforsøgene undersøger jordens deformationsegenskaber og fortæller, hvor meget jordbunden vil sætte sig, når den udsættes for tryk, og hvor meget den hæver sig, når trykket lettes.

Tysk og dansk forskel

Havbunden har vist sig at variere meget mellem Danmark og Tyskland. "Den tyske side er mest besværlig, fordi det er her, der er mest palæogent ler- fra stor dybde

og næsten helt op til havbunden. På den danske side er der et tykt morænelerslag og derefter palæogent ler," siger Peter Folsted. Mellem de to lande har en saltpudedannelse ført til en opskydning af kridt, som derfor i det område ligger tæt ved overfladen.

Der køres også forsøg på moræneleret og kridtet, men de giver ikke så mange overraskelser som den palæogene ler, der har varierende styrke som følge af sprækkerne. Det gør den meget uforudsigelig, hvorfor det kræver mange og langvarige forsøg at bestemme lerets egenskaber.

Skibssammenstød

Projektet består også af meget avancerede laboratorieforsøg, hvor der simuleres et skibssammenstød med en bropille, og de rystelser et sådant sam-



En prøve af fedt ler efter et triaxialforsøg. Ved forsøget trykker man på prøven, indtil den går i brud (i stykker). Bruddet ses her som et skråt plan gennem hele prøven, hvor prøvens øvre del er gledet ned i forhold til den nedre del. Undervejs måler man belastningen på prøven og prøvens længde- og diameterændring, som bruges til udregning af lerets styrke. Åbner man en sådan lerprøve langs det skrå brudplan, vil man ofte se de såkaldte "slickensides". Dette betegner de helt glatte og stribede flader som ses når man deler prøven. Slickensides observeres ofte i Femern Bælt-prøverne og er gamle brudplaner, dannet i naturen.



FAKTA

- **Projekt**
Boring og rådgivning
- **Kunde**
Femern A/S
- **Projektperiode**
26.-29. april 2010

Boring i bropille 3

Nogle gange må man tilbage i fortiden for at kunne sige noget om fremtiden

Den gamle Lillebæltsbro har sat sig mellem 25 og 65 centimeter på 75 år. Skurken er jordtypen fedt, plastisk ler, som broen er funderet på. Den kommende Femernforbindelse skal placeres på en lignende type ler, og for at sikre den bedst mulige fundering af forbindelsen, har Femern A/S sendt GEO til den gamle bro for at bore i den bropille, der har sat sig mest.

"Det palæogene ler ved Femern ligner lillebæltsler. Vi borer nu i og omkring en af den gamle Lillebæltsbros piller, for at få kalibreret vores sætningsberegninger,

så vi kan vælge den rigtige beregningsmetode. Den kan vi så bruge på Femern til at foretage gode sætningsberegninger på Femernforbindelsen," siger projektchef Jens Kammer fra Femern A/S og fortsætter: "Den fantastiske gamle Lillebæltsbro har stået i 75 år, og den har man målt sætningerne på. Vi kender resultatet, men den måde vi laver borer og laboratorieforsøg på i dag, er meget forskellig fra dengang. Derfor går vi nu tilbage med vores nye metoder for på den måde at få testet vores beregningsmetodik."

FAKTA

- **Brotype**
Gitterdragerbro
- **Længde**
1.178 meter
- **Bredde**
20,5 meter
- **Gennemsejlingshøjde**
33 meter
- **Gennemsejlingsbredde**
220 meter
- **Byggeperiode**
1929-1935
- **Indvielsesdato**
14. maj 1935



FAKTA

Sætningerne på den gamle Lillebæltsbro er fulgt tæt alle årene. Man har hidtil ment, at der udelukkende er tale om konsolideringssætninger, dvs. sætninger der udvikles i takt med at poreovertryk, som opstår i leret, når den belastes, bortdræner - som en svamp, der bliver trykket tom for vand. Sætningsforløbet og navnlig hastigheden peger dog på, at der formentlig også er andet på spil. Det ser således ud til, at det plastiske lers bæreevne er meget hårdt udnyttet, hvilket formentlig spiller en væsentlig rolle i denne forbindelse. I den kommende tid vil GEO se nærmere på de spændende måledata fra den gamle bro med sigte på at få lerets styrke- og deformations-egenskaber nærmere belyst til gavn for nutidige projekter.

Trebensmetoden støvet af

Den gamle Lillebæltsbro blev indviet i 1935. Den bliver båret af 4 direkte funderede bropiller. For at kunne bore under de snævre forhold i en bropille, har GEO fundet den gamle trebensmetode frem og bragt den op til nutiden.

"Trebensmetoden var den, der blev brugt under anlæggelsen af den gamle Lillebæltsbro. Metoden er fundet frem af gemmekassen, fordi det var den eneste løsning på at bore de 14 meter ned i havbunden under bropille 3," forklarer projektleder Nik Okkels fra GEO. Prøverne, der tages op, er af en meget højere kvalitet end dengang, og in-situ og laboratorieforsøgene er også raffineret betydeligt siden 1930'erne.

GEO har også været en tur i fremtiden for at udvikle pressen, der trykker borene ned i havbunden. For 75 år siden blev borene presset i jorden ved håndkraft. I dag anvendes typisk en benzindreven

presse, men udstødningsgasserne var uhensigtsmæssige under de indelukkede forhold indeni bropille 3. Derfor har GEOs tekniske afdeling udviklet en elektrisk drevet presse. Presse, bor og

alt andet udstyr blev i øvrigt hejst ned i pillen, fordi den nyinstallerede elevator endnu ikke var helt køreklar. Gamle metoder kom i sandhed til ære og værdsættelse nogle dage i april under Lillebælt.



Der bores under snævre forhold 28,5 meter under havets overflade.



Beirut's bundløse havnebassin

En besværlig undergrund kan transformere et projekt og kræve borearbejde i toholdsskift for at overholde tidsplanen

Beirut Havn skal udvides med 500 meter kaj, en ny containerterminal og en 500 meter lang bølgebryder. Den eksisterende del af havnen er anlagt på en jordbund, hvor der kun er 5 meter til klippegrund. Derfor forekom efterårets geotekniske undersøgelser i forbindelse med havneudvidelsen også overkommelige - lige indtil GEO stak boregrejet i havbunden.

"Undergrunden i den nye del af havnen viste sig besværlig. Trods vores 67 meter dybe borerer mødte vi ikke klippegrund. Vi var så langt nede, at alle vores medbragte rør og stænger var i brug i forsøget på at nå bunden, og vi var simpelthen bange for ikke at kunne løfte dem op igen," forklarer GEOs afdelingsleder for Geoteknik, Thomas C. Larsen. GEO har udført de geotekniske undersøgelser samt rapportering og bearbejdning

af data for E. Pihl & Søn A/S. "Det var ikke nogen nem opgave. Jordbundsforholdene var meget udfordrende," siger Project Manager Kenneth Holmgaard Hansen fra E. Pihl & Søn A/S. Undergrunden har gjort hele projektet mere krævende for alle de involverede.

Et miks af sand og ler

Beirut Flod løber ud i Beirut Havn, hvor havneudvidelsen skal foretages. Og her har floden aflejret bløde sedimenter, samtidig med at sand er kommet ind fra Middelhavet. Denne sammensætning, og de mange meter ned til fast klippegrund, gør funderingen af kajen til en svær opgave. Funderingen besværliggøres yderligere af, at det er fedt ler, GEO har fundet i Beirut. Det betyder, at eventuelle sætninger er lang tid undervejs, på grund af lerets ringe drænevne - den såkaldte permeabilitet.

FAKTA

■ Projekt

Geotekniske undersøgelser, tolkning af data og opstilling af designgrundlag

■ Bygherre

Beirut Port Authority

■ Kunde

E. Pihl & Søn A/S

■ Samarbejdspartnere

Sellhorn, ACTS, Hourie

■ Projektperiode

September 2009 - april 2010

■ Borearbejde

51 borerer, 1150 boremeter

Projektleder Poul Larsen fra GEO har forestået det omfattende tolkningsarbejde og den bearbejdning af data, der skal ligge til grund for anlægsarbejdet. Undergrundens sammensætning vil kræve lange pæle, formentlig helt ned til kote minus 50, for at sikre havnen mod sætninger: "Sikrer du ikke havnekajen og arealet bagved, vil det sætte sig med op til 1 meter. Kajarealets sætninger kan i princippet rettes op undervejs, fordi sætningerne kommer langsomt. Sætningernes størrelse kan også reduceres ved at udskifte en del af det fede ler."

Alternativt kan de kraftige sætninger fremskyndes ved at føre lodrette dræn



Ikke for tøsedrenge

Borearbejdet i Beirut Havn bød på nærgående containerskibe og en djævelsk jordbund

At bore fra flåder er hverdagskost for GEOs medarbejdere. Men i Beirut Havn – hvor containerskibene havde fortrinsret, jordbundsprøverne stak og stanken bredte sig fra byens spildevand og et nærtliggende slagteri – blev de alligevel sat på prøve.

Borearbejdet foregik fra en flydepram. Den var krydsforankret og svær at holde stille under bølgegang. Når flydeprammen befandt sig tæt på containerskibenes sejlrunde, var det kun muligt at sætte en rigtig krydsforankring i den ene side. Dermed blev det næsten umuligt at holde prammen i ro.

"På et tidspunkt kom et olietankskib meget tæt på vores pram, og dets anker kom ind over vores. Da skibet løsnede sin forankring igen, skabte det så megen bevægelse i prammen, at vores forerør brækkede midt over," siger geolog Sonny T. Kristiansen fra GEO.

Overraskelser i dybet

Det var ikke kun containerskibe, der udfordrede GEOs folk. Også undergrunden bød på ubehagelige overraskelser. Det øverste lag bestod af ildelugtende, næsten tjæreagtigt slam, og længere nede dukkede en særlig form for silt op. Silt er partikelstørrelsen mellem sand og ler.

"Siltsedimentet var specielt. Det stak, fordi det var fyldt med op til en halv centimeter lange, meget tynde og transparente nåle. Jeg opdagede nålene, da jeg stod lidt for tæt på hammer samleren. Da vi tog kerneprøven ud, fik jeg nåleholdigt vand og mudder ned af maven. Resten af vagten stak og kløede

det, så jeg var ved at blive gal. Vi fik derfor hurtigt skabt et system med en stofklud omkring hammer samleren, så det ikke sprøjtede," siger geolog Sonny T. Kristiansen, der har en teori om, at nålene var såkaldte spikler, som er mikroskopiske, nåleformede silicium-skeletdele fra havsvampe. En anden mulighed er, at de er en udfældning af nåleformede mineraler.

Stor oplevelse

Trods containerskibe, havneaffald og et enkelt voldsomt uvejr, der gav over 200 mm regn, var det en god oplevelse at bore i Beirut: "De lokale var utroligt venlige. Det var specielt at bore i den stærkt trafikerede havn, og fantastisk at det lykkedes at få så gode kerneprocenter. Som geolog var det også sjovt at se noget helt andet end moræneler og dansk kalk," slutter Sonny T. Kristiansen.



ned i leret, så vandet presses hurtigere ud. "Det vil øge sætningshastigheden med faktor 100", forklarer Poul Larsen.

Boring i døgndrift

Den besværlige undergrund krævede borearbejde med toholdsskift for at overholde tidsplanen. "GEO har boret nærmest 24 timer i døgnet, 7 dage om ugen, så opgaven blev løst til tiden," siger en tilfreds Kenneth Holmgaard Hansen fra E. Pihl & Søn. Entreprenørfirmaet afventer netop nu det færdige design af kaj anlægget, og forberedelserne til anlægsarbejdet i Beirut er indledt.

Den uforudsigelige jordbund har besværliggjort arbejdet for geoteknikere, rådgivende ingeniører, entreprenørfirma og bygherren – og projektet har ændret karakter til det meget udfordrende.

BAGGRUND

Egentlig var GEO i Beirut for at føre tilsyn med det borearbejde et lokalt firma udførte. Borearbejdet trak ud, og derfor hentede E. Pihl & Søn A/S GEO ind for at udføre boringerne.

Ud over kanten



FAKTA

- **Projekt**
Geotekniske borer
- **Kunde**
Metroselskabet A/S
- **Borearbejde**
4 borer til top af kalk, ca. 5-6 meter dybe
- **Projektperiode**
12.-16. april 2010

I forbindelse med anlæggelsen af Cityringen, kan turbådene ikke anvende deres oprindelige anløbsplads ved Gl. Strand. Bådene får derfor en midlertidig anløbsplads i Slotsholmskanalen mellem Højbro og Holmens Bro. En plads som GEO i april måned udførte forunder-

søgelserne til. Fra en særlig udviklet platform, der kun holdes på plads af boreværket, foretog GEO 4 geotekniske borer ud over kajkanten. På den måde undgik GEO at skruer eller svejse platformen fast, og man undgik en dyrere løsning med en platform i kanalen.

Udgiver:
GEO

Redaktion afsluttet:
4. juni 2010

Redaktion:
Birgitte Hannibal, Kim Sillemann

Grafisk tilrettelæggelse:
Ehrhorn-Hummerston

Tryk:
Clausen Offset

Oplag:
3000



København
Maglebjergvej 1
2800 Kgs. Lyngby

Web: www.geo.dk
Mail: geo@geo.dk
Tlf.: +45 4588 4444

Århus
Sødalsparken 12
8220 Brabrand

Web: www.geo.dk
Mail: geo@geo.dk
Tlf.: +45 8627 3111