

Øster Assels. Ørding Kærvej
Anlæggelse af sø ved Sillerslev Å
Geoteknisk vurdering

GEO projekt nr. 35246
Rapport 1, 2011-10-24

Sammenfatning

Der påtænkes etableret en sø i et inddæmmet område omkring Sillerslev Å på Mors. I den forbindelse skal der laves et 1200 m langt dige.

Geosyd A/S har udført en geoteknisk undersøgelse med 9 borer, hvori der flere steder er truffet meget bløde gytjeaflejringer til mere end 8 meters dybde. I den tilhørende rapport vurderes sætningerne af et 1 meter højt dige til 0,45 – 0,70 meter. Skude & Jacobsen A/S har udarbejdet et granskningsnotat på baggrund af Geosyds angivelser og sat tvivl ved Geosyds vurderinger. GEO er blevet bedt om at kommentere det foreliggende materiale.

Vi mener, at de geotekniske forhold ikke er afklaret på følgende punkter:

- Mægtigheden af blødbundslagene er ikke afklaret.
- Grundvandsforholdene er ikke afklaret, herunder i dybtliggende sandlag.
- De oplyste styrker i gytjen er sandsynligvis fejlbehæftede og udledt på et forkert grundlag.

Vi har udført en overslagsberegning for et dige med top i kote +0,75 og fundet, at der skal anvendes materialer i diget svarende til mindst den dobbelte højde, idet initialsætninger og konsolideringssætninger udgør i størrelsesordenen ca. 1,3 meter. Hertil kommer sætninger på 0,1 – 0,15 meter i terrænnært tørvemuld, i det omfang dette lag ikke fjernes inden digeopbygningen. Efter afviklingen af de primære konsolideringssætninger må der desuden påregnes krybnings-sætninger, som umiddelbart skønnes at blive et par decimeter. Udviklingen af de primære konsolideringssætninger skønnes at tage mellem 4 og 40 år.

Opbygningen af diget er således behæftet med store sætninger, ligesom de meget bløde lag stiller krav til designet og udførelsen, f.eks. etapevis opfyldning. Vi vurderer, at et robust design af diget kræver, at der foretages supplerende geotekniske undersøgelser.

GEO
Sødalsparken 12
8220 Brabrand
Tlf.: +45 8627 3111
Fax: +45 8627 6706
geo@geo.dk
www.geo.dk
CVR-nr: 59781812

Udarbejdet for
Morsø Kommune
Natur og Miljø
Att.: Arne Kirk
Jernbanevej 7
7900 Nykøbing Mors

Udarbejdet af Jan Dannemand Andersen,
9879 9387, jda@geo.dk

Kontrolleret af Nik Okkels

Indhold

1	Baggrund og formål	3
2	Undersøgelser	3
3	Vurderinger	5
	3.1 Undersøgelser	5
	3.2 Projektvurderinger	8
4	Anbefalinger	11
5	Bemærkninger	12

Bilag: ingen

1 Baggrund og formål

Morsø Kommune påtænker at etablere en sø ved Sillerslev Å i et inddæmmede område ved Limfjorden. Søens vandspejl påtænkes i kote ca. +0,25, og digets overside påtænkes i kote +0,75. I den forbindelse skal der laves et nyt ca. 1200 meter langt dige til afskærmning mod et sommerhusområde.

Området bliver nu tørholdt vha. pumpning fra Sillerslev Å til Limfjorden. Det er oplyst, at vandspejlet i Sillerslev Å holdes i kote ca. -1,5 ved udpumpningen.

Der er udført geotekniske undersøgelser i området. Geosyd A/S har vurderet størrelsen af de totale konsolideringssætninger for et 1 m højt dige til ca. 0,45 – 0,70 m, alternativt ca. 0,60 – 0,85 m for et 1,5 m højt dige. Skude & Jacobsen A/S har efterfølgende udarbejdet et granskningsnotat på baggrund af angivelserne i Geosyds rapport og sat tvivl ved Geosyds vurderinger. Geosyd har responderet på granskningsnotatet.

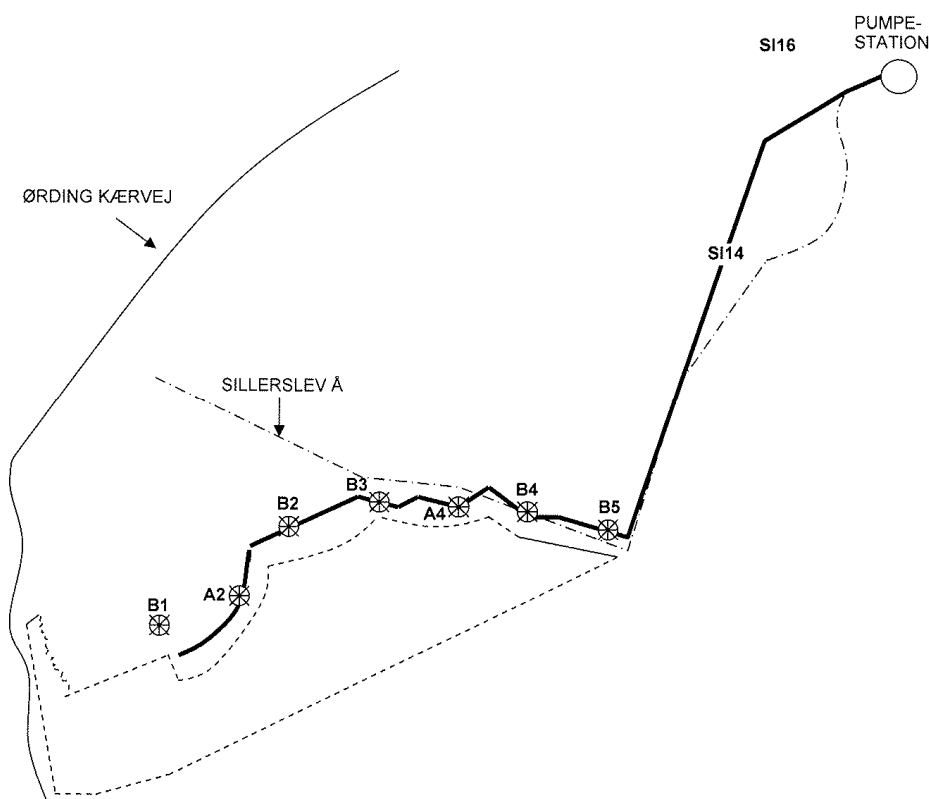
GEO er blevet bedt om at kommentere det foreliggende materiale, bl.a. så der kan vælges et robust design.

2 Undersøgelser

Som grundlag for digeprojektet er der udført forskellige undersøgelser. PV\Natur & Miljø har udført en indledende geologisk undersøgelse (vha. stålsonde) af jordlagene ned til 4 meters dybde i digestrækningen. Under 0,7 – 1,1 meter muld (stedvist dog tørv i overfladen) og sand/grus er der registreret dynd, stedvist med sandblandinger, til bund af sonderinger.

Desuden har Geosyd A/S udført en geoteknisk undersøgelse (sag nr. 11.0876, rapport 1), som omfatter 9 boringer for en del af diget. Boringerne er placeret som vist i figur 1.1. I undersøgelsespunkterne er terrænet målt i kote -0,3 a -0,6. Under et øvre lag af muld og sand er der truffet meget blød gytje, der flere steder ikke er gennemboret i 8 meters dybde. Boring B3 og muligvis B4 er ført ned i postglacialt sand fra 5,6 og 7,8 meters dybde. I boring B1 mod sydvest er der truffet senglacialt smeltevandssand fra ca. 5 meters dybde. Grundvandsspejlet er målt i varierende dybder, men Geosyd skønner, at grundvandsspejlet ligger 0,25 – 0,75 m under terræn.

Figur 1.1. Placering af Geosyds boringer (sort streg angiver påtænkt dige)



PV\Natur & Miljø har 2011-07-29 pejlet vandspejlet i pejlerørene (ca. en måned efter etableringen) med følgende resultater (koter til vandspejl er beregnet af GEO):

Boring nr.	Terrænkote	Vandspejl (m u.t.)	Kote til vandspejl
B1	-0,3	-0,14	-0,2
A2	-0,3	0,58	-0,9
B2	-0,4	0,59	-1,0
B3	-0,5	0,41	-0,9
A4	-0,4	0,21	-0,6
B4	-0,6	0,82	-1,4
B5	-0,3	1,01	-1,3
Si14	-0,4	*	*
Si16	-0,3	1,33	-1,6

Note *) Pejlerør tabtgået

PV\Natur & Miljø har foretaget et studie af terrænoplysninger på gamle og nutidige kort (fra 1882, 1957 og 2010). Dette studie indikerer, at terrænet på digestrækningen har sat sig af størrelsesordenen ca. 0,5 meter i perioden fra 1957 til 2010. Denne terrænsætning vurderes at være forårsaget af den kunstige afsænkning af grundvandspejlet,

som har medført konsolideringssætninger – både pga. ekstralast på de bløde lag, når opdriften på jorden fjernes, og krybninger - og øget organisk nedbrydning, eventuelt forstærket af tilførsel med langbrugskalk.

3 Vurderinger

3.1 Undersøgelser

Vi har umiddelbart følgende kommentarer til de forelagte undersøgelser.

Lagfølger

Ifølge den geotekniske undersøgelse består jordbunden (under muld/tørvt og et tyndt sandlag) af bløde, stærkt sætninggivende aflejringer af gytje. I enkelte boringer underlejres gytjen af sand af enten postglacial eller sen-glacial alder. Det sen-glaciale sand er i praksis sætningfrit, mens postglaciale sandaflejringer kan være sætninggivende - i det omfang de indeholder organisk materiale - eller dække over stærkt sætninggivende lag.

De fleste boringer er standset i gytje, hvorfor tykkelsen af de stærkt sætninggivende lag ikke er afklaret. Boringerne er således ikke ført dybt nok til at fastlægge oversiden af sætningfrie lag. Geosyd og Skude & Jacobsen er enige heri.

Grundvandspejl

Der er senest målt grundvandsspejl i kote -0,2 a -1,6 med en faldende tendens mod pumpestationen. Med de udbredte, lavpermeable gytjelag i underbunden ville vi forvente at kunne møde et grundvandsspejl omtrent i terræn, men terrænnære sandlag og markdræn har – i kombination med bortpumpningen fra Sillerslev Å - medført et laverestående grundvandsspejl. Der er således utvivlsomt tale om en kunstig grundvandssænkning, der har medført sætninger både inden for og uden for det påtænkte søområde. Sommerhusområdet og den eksisterende dæmning m.v. er muligvis i nogen grad omfattet af sætningerne, hvis de er funderet over sætninggivende lag.

De udførte boringer er oplyst udført som snegleboringer, formentlig uden anvendelse af borerør (foring) til stabilisering af borehullet. Vi formoder derfor, at borehullerne er faldet sammen, og at pejlerørene efterfølgende er presset ned i de sammenskredne materialer uden gruskastning og/eller bentonitafpropning. De målte grundvandsspejl kan være påvirket af, at pejlerørenes filterstrækninger er placeret i lavpermeabel gytje, der lukker for vandindsivning til pejlerørene, hvorfor der kan gå nogen tid, inden vandspejlet bliver stabilt i pejlerørene.

Der er ikke foretaget målinger af grundvandspotentialer i de underliggende sandlag. Vi vurderer det sandsynligt, at der er en stigning af grundvandsspejlet fra kysten ind i land, bl.a. på grund af terrænstigning, se f.eks. højdekurverne på kortet i figur 1.2. I GEUS' boringsdatabase er der således registreret et grundvandsspejl i kote ca. +4 ved Lægårde umiddelbart nord for lokaliteten. Grundvandsstrømningen fra højdedragene til Limfjorden

er ikke belyst, men vi skønner umiddelbart, at der kan være et grundvandspotentiale i kote +0,5 a +1,0 i sandlaget under gytjen (højest i den vestlige del af det påtænkte sø-område). Et sådant grundvandspotentiale over kote 0 - og over det afsænkede vandspejl omkring Sillerslev Å - vil medføre en opadrettet grundvandsstrøm i gytjen, og derfor være medvirkende årsag til, at gytjen er relativt blød.

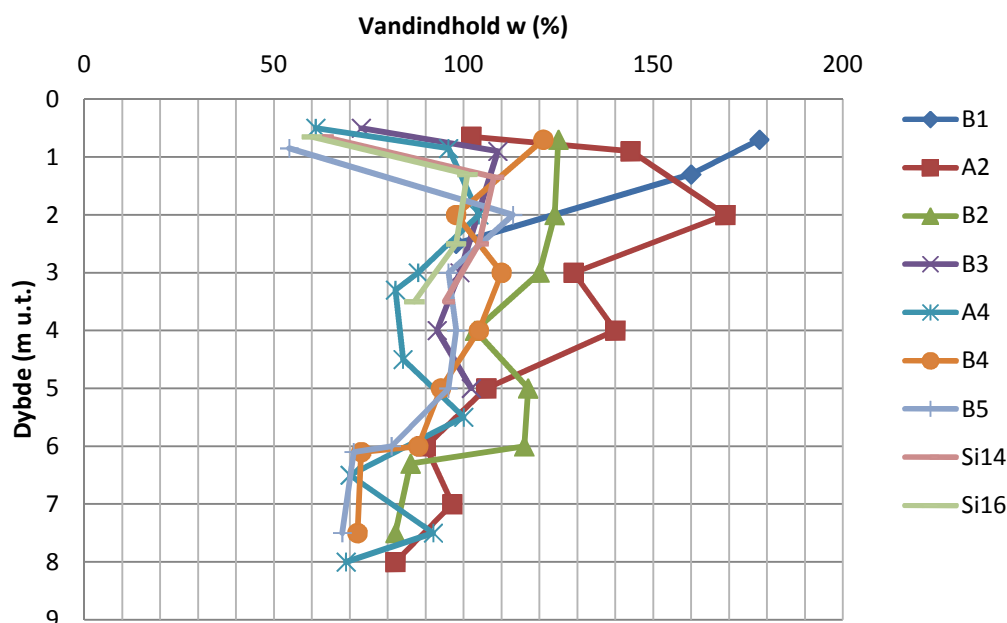
Figur 1.2. Kort over området omkring Sillerslev Å.



Vandindhold

I det aktuelle tilfælde er der målt vandindhold i gytjen på $w = 50 - 178 \%$, jf. boreprofilerne og optegningen i figur 1.3. Geosyd angiver i rapportteksten vandindhold op til 325 %, men sådanne høje vandindhold har ikke kunnet genfindes på boreprofilerne.

Figur 1.3: Målte vandindhold i gytjen, afhængig af dybden.



Styrker

Der er målt vingestyrker i gytjen på typisk $c_{fv} = \text{ca. } 5 \text{ a } 30 \text{ kPa}$, stedvist lidt større i toppen af laget, jf. boreprofilerne. De laveste værdier er lavere end angivet i Geosyds rapporttekst. Ved terræn er der typisk målt større vingestyrker, formentlig påvirket af udtørring.

Vingeforsøgene er udført i et uforet borehul, som - med de aktuelle aflejringer - kan være faldet sammen omkring vinge-/borestangen under udførelsen af vingeforsøgene. Dette har i givet fald påvirket resultatet af forsøgene.

Forsøgene er udført med en indbyrdes afstand på 0,2 meter nedefter. Dette indikerer, at der er anvendt en relativt lille vingestørrelse (med tilsvarende usikkerhed på målingen), eller at vingen ikke er trykket tilstrækkeligt ned i uforstyrret jord inden måling, jf. sædvanlige retningslinjer i Dansk Geoteknisk Forenings "Referenceblad for vingeforsøg". Begge dele kan medføre usikre målinger.

Ved tolkningen af den udrænedede forskydningsstyrke ud fra vingestyrkerne anvendes normalt formelen $c_u = \mu \cdot c_{fv}$, hvor μ erfaringsmæssigt varierer i intervallet 0,5 - 1,0 afhængig af plasticitetsindeks. Der er ikke udført forsøg til bestemmelse af plasticitetsindekset for gytjen, men vi foreslår umiddelbart anvendt $\mu \approx 0,6 - 0,7$. Geosyd angiver $\mu = 1,0$, hvilket således - efter vores opfattelse - overvurderer den udrænedede forskydningsstyrke.

Såfremt de udførte vingemålinger er nogenlunde retvisende, giver $\mu \approx 0,6 - 0,7$ udrænnede forskydningsstyrker på $c_u = \text{ca. } 3 - 20 \text{ kPa}$. Der er således tale om meget bløde aflejringer.

3.2 Projektvurderinger

Projektet skal gennemføres under hensyntagen til brudgrænse- og anvendelsesgrænsetilstanden, ligesom der skal tages hensyn til konsekvenser af en vandspejlsstigning.

Vandspejl

Det er vores vurdering, at hvis pumpning fra pumpestationen indstilles, så vil der med tiden indstille sig et grundvandsspejl omkring kote +0,5 a +1,0, både inden for og uden for det potentielle søområde. Dette vil utvivlsomt medføre gener for bl.a. sommerhusområdet, herunder f.eks. nedsivningsanlæg. En større reduktion i afsænkingsniveauet kan muligvis medføre lignende gener.

Brud

Med udrænnede forskydningsstyrker på måske ned til ca. 3 kPa (karakteristisk værdi) er der tale om meget blød jordbund. Ved belastninger med nogen horisontal udstrækning, dvs. hvor styrken af de bløde lag nedefter aktiveres, er den regningsmæssige bæreevne (dvs. med indregning af sædvanlig sikkerhed) i de bløde lag således ca. 10 kN/m², hvilket lastmæssigt svarer til kun ca. 0,5 meter terrænhævning over vandspejlsniveau. Dette vil blive overskredet i det aktuelle tilfælde.

Bæreevnesvigt vil medføre nedsynkninger af digemateriale og opskydninger i terrænet langs diget (fortrængning). Erfaringsmæssigt kan bæreevnesvigt undgås ved etapevis opfyldning, gerne under anvendelse af geonet e.l. lignende i diget, samt ved anvendelse af meget flade anlæg på digets sider, så der opnås et vist overlejringsstryk, f.eks. anlæg 1:8 som foreslået af Skude & Jacobsen. Dette øger selvsagt digets bredde.

Deformationer

Konsolideringssætningerne fra grundvandssænkningen er formentlig overstået, mens sætninger fra organisk omdannelse og krybning formentlig fortsat pågår. Den igangværende sætningsudvikling af terrænet vil således fortsætte uden for søområdet, hvis den kunstige afsænkning af vandspejlet opretholdes her. Det vil formentlig kræve, at der udføres supplerende drænanlæg til tørholdelse af området. Alternativt må det forudses, at grundvandsspejlet med tiden vil stige – formentlig op mod kote +0,5 a +1,0.

Ved udlægning af diget vil der ske sætninger som initialsætninger, primære konsolideringssætninger og sekundære konsolideringssætninger (krybninger).

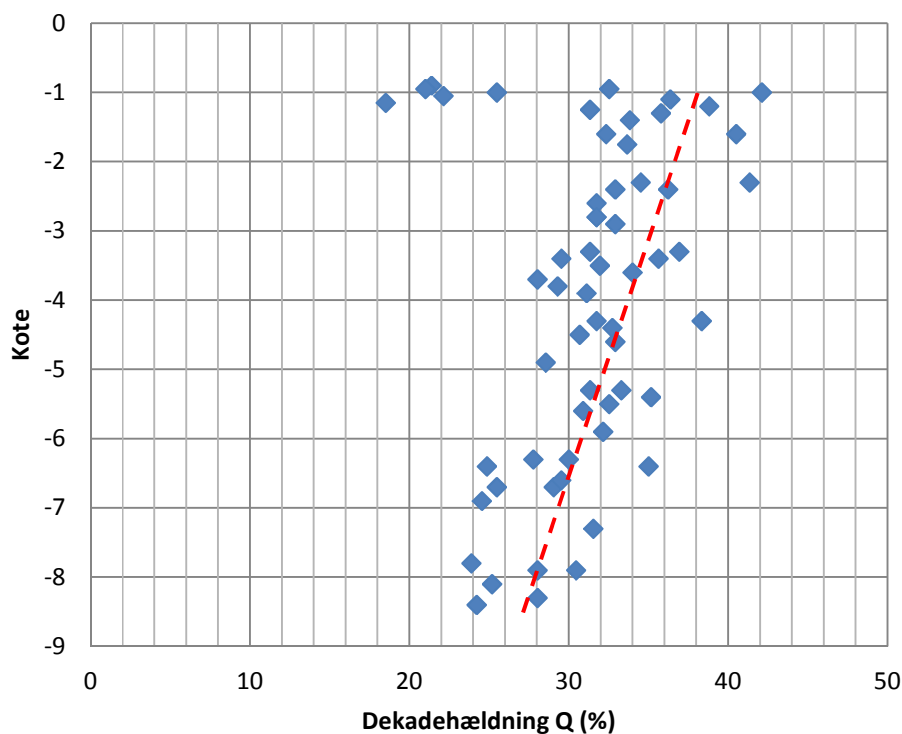
Initialsætningerne vil udvikles samtidig med digeopbygningen og vil normalt kun give anledning til mindre gener i form af forøget materialeforbrug og mindre hævnings i terrænet langs diget.

De primære konsolideringssætninger hidrører fra en lastforøgelse af de sætningsgivende lag.

Initialsætningerne og de primære konsolideringssætninger kan – for normalt konsoliderede jordlag – bestemmes på baggrund af dekadehældningen Q , som normalt bestemmes ud fra laboratorieforsøg.

Vandindholdet kan erfaringsmæssigt benyttes i en vurdering af dekadehældningen vha. skønsformlen $Q (\%) = 60 \cdot (w-25)/(w+40)$, hvor vandindholdet w indsættes i %. Med baggrund i de målte vandindhold er skønnes dekadehældningerne til $Q = 18 - 42 \%$, jf. figur 1.4. De laveste værdier i kote -1 er formentlig udtryk for enten en vis sandiblanding. I figuren angiver den røde kurve en skønnet "gennemsnitsværdi".

Figur 1.4: Dekadehældning Q i gytje, afhængig af koten



Vi har foretaget en orienterende beregning af de primære konsolideringssætninger i gytjelaget under følgende forudsætninger:

- Effektiv rumvægt af dæmningsfyld på 18 kN/m^3 over vandspejl og 10 kN/m^3 under vandspejl.
- Gytjen er færdigkonsolideret for et vandspejl i kote ca. -1,0, dvs. svarende til en overlejringspænding på gytjen på ca. 10 kPa.
- Gytje fra kote -1,0 til -8,5 (der er formentligt gytje til større dybde).

- Nuværende grundvandsspejl i kote -1,0 ved terræn og kote +0,5 ved underside af gytje i kote -8,5. Med en skønnet totalrumvægt af gytjen på $13,5 \text{ kN/m}^3$ bliver den effektive rumvægt under hensyntagen til opdrift og grundvandsstrømning $13,5 - 10 \cdot (1 + (1,5/7,5)) = 1,5 \text{ kN/m}^3$.
- Fremtidigt vandspejl i kote 0,0 i digets midte. I et sandlag under gytjen (dvs. i kote -8,5) forudsættes et vandtryk svarende til kote +0,5. Gytjens rumvægt bliver tilsvarende $13,5 - 10 \cdot (1 + (0,5/7,5)) \approx 3,0 \text{ kN/m}^3$.
- Skønnet "gennemsnitsværdi" af dekadehældningen Q ifølge figur 1.4.
- Der er – på den sikre side - ikke regnet med trykspredning gennem gytjen, bl.a. pga. forventet stor digebredde.

Med ovennævnte forudsætninger skal der anvendes ca. 1,3 meter overhøjde på dæmningen for at opnå den ønskede digehøjde i kote +0,75, dvs. der forventes initialsætninger og primære konsolideringssætninger på ca. 1,3 meter. Med en gennemsnitlig nuværende terrænkote ca. -0,4 skal der således anvendes mindst den dobbelte opfyldningshøjde.

Efter afviklingen af de primære konsolideringssætninger vil der ske sekundære konsolideringssætninger (krybninger), der vil have en aftagende sætningshastighed. Størrelsen af disse sætninger over digets levetid afhænger af bl.a. konsolideringstiden for de primære konsolideringssætninger og krybningshastigheden. Vi foreslår foreløbig indregnet krybninger på et par decimeter i projektet, så totalsætningerne - og den nødvendige overhøjde - skønnes til ca. 1,5 meter.

Som nævnt er der i ovennævnte ikke taget højde for eventuelle sætningssættende lag dybere end kote -8,5, ligesom der pga. variationer i gytjens sætningsegenskaber, belastningsforhold og grundvandsforudsætninger generelt er usikkerhed på beregningen.

Hertil skal lægges sætningssætning fra terrænnært tørvemuld i det omfang, at laget ikke fjernes inden digeopbygningen. Totalsætningen i et 0,4 meter tykt tørvemuldslag skønnes af størrelsesordenen 0,10 - 0,15 meter. Der ventes ikke nævneværdige sætningssætninger i det terrænnære sandlag uden nævneværdigt organisk indhold.

Sætningssudvikling

Udviklingen af sætningerne må forventes at være relativt langvarig. Med en skønnet, gennemsnitlig konsolideringskoefficient på $c_k = 10^{-8}$ a $10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ og en tykkelse af gytjelaget på 7 meter med dobbeltsidig dræning vil udviklingen af de primære konsolideringssætninger være mellem 4 og 40 år. Vurderingen er usikker pga. parameterfølsomhed vedrørende tykkelsen af gytjelaget og størrelsen af konsolideringskoefficienten. Således er gytjen i flere af Geosyds borer beskrevet som svagt til stærkt finsandet (hvilket formentligt repræsenterer den hurtigste konsolideringstid), mens der i andre borer er tale om leret gytje (med længere konsolideringstid). Halvdelen af de primære konsolideringssætninger vil dog være overstået efter 20 % af den afgivne konsolideringstid.

Deformationernes størrelse og sætningshastigheden kan undersøges nærmere vha. konsolideringsforsøg og mere detaljerede beregninger, f.eks. Finite Element baserede EDB-programmer som Plaxis.

4 anbefalinger

Ovennævnte overslagsberegninger viser, at udlægning af et nyt dige vil være behæftet med store og langvarige sætninger, ligesom der ved projekteringen og udførelsen af projektet skal tages hensyn til risikoen for brud/fortrængning.

Skude & Jacobsen har angivet, at "det er næppe relevant at udføre beregninger af bæreevne og sætninger, hvilket vil kræve en supplerende geoteknisk undersøgelse omfattende bl.a. dybere borer", hvorfor de foreslår udført en forsøgsstrækning af lagvis opbygning af diget med successive målinger af sætningerne (observationsmetoden). Geosyd har meddelt sig enig heri.

Vi kan tvivle på, om sætningsudviklingen er tilstrækkelig hurtig til, at denne fremgangsmåde er hensigtsmæssig. Samtidig er forholdene – f.eks. lagtykkelserne – meget vekslende.

Det kan overvejes at udføre diget med midlertidig overhøjde, så udviklingen af de primære konsolideringssætninger kan forceres; dette stiller dog formentlig krav om en øget digebredde og kendskab til bundforholdene, så resultatet af forbelastningens effekt kan forudsiges.

Så vidt vi forstår, ønskes der et rimeligt robust design af diget, så behovet for fremtidige udbedringer/forhøjninger kan undgås. Et robust design bør også foretrækkes under hensyntagen til de værdier (sommerhuse), der skal beskyttes. Vi er af den opfattelse, at robusthed kræver korrekt fastlæggelse af de geotekniske parametre suppleret med beregninger (bæreevne, stabilitet, sætninger og evt. ændringer af grundvandsspejl). På grund af vekslende bundforhold vil det dog formentlig under alle omstændigheder vil være nødvendigt at følge sætningsudviklingen vha. målinger, i hvert fald i en periode efter udførelsen. Digets bredde skal desuden fastlægges/dimensioneres under hensyntagen til digematerialernes hydrauliske egenskaber (strømning gennem diget).

En vurdering af bæreevneforholdene og optimering af digebredde m.v. kræver efter vores mening en bedre bestemmelse af styrkeegenskaber, herunder en kontrol vingestykker og bestemmelse af plasticitetsindeks.

Vi giver gerne nærmere retningslinjer for supplerende geotekniske undersøgelser.

5 Bemærkninger

Da vi p.t. ikke har indblik i alle dele af digeprojektet, skal ovennævnte vurderinger og anbefalinger alene ses som vores umiddelbare bidrag til sagen. Vi deltager naturligvis gerne i forbindelse med det videre arbejde med projektet, såfremt det måtte ønskes.