

# Rapport

Oppdragsgiver: **T. Stangeland Maskin AS**

Oppdrag: **Mudring/utfylling Risavika**

Emne: **Utførte arbeider  
Sammenstilling av dokumentasjon**

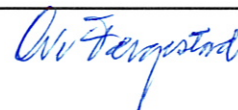
Dato: **11. september 2008**

Rev. - Dato

Oppdrag- /  
Rapportnr. **212341 - 2**

Oppdragsleder: **Ove Færgestad**

Sign.:



Saksbehandler:

Sign.:

Kontaktperson  
hos Oppdragsgiver: **Bjørn Solvig**

Sammendrag:

T. Stangeland Maskin AS har, på oppdrag fra Risavika Havn AS, etablert ca. 150 dekar nye arealer i sjøen nord for det gamle Shell-raffineriet.

Denne rapporten sammenstiller den geotekniske dokumentasjonen av de utførte mudrings-/utfyllingsarbeidene.

## Innholdsfortegnelse

1.	Generelt .....	4
2.	Utførte grunnundersøkelser .....	4
3.	Stabilitetsvurderinger, spesielt mhp. mudringsomfang .....	5
3.1	Beskrevet mudringsomfang .....	5
3.2	Forslag til redusert mudringsomfang .....	5
3.3	Stabilitet - Skadekonsekvens .....	6
3.4	Materialkoeffisient .....	7
3.5	Last og lastkoeffisient .....	7
3.6	Jordparametere .....	7
3.7	Spenningsforandringer og poretrykksutvikling med tid .....	9
3.8	Beregningsmetoder .....	9
3.8.1	PLAXIS v.8.....	9
3.8.2	STABIL v.3.....	9
3.8.3	Samspill mellom PLAXIS og STABIL .....	10
3.9	Beregningsresultater og anbefalte mudringsprofiler.....	10
3.10	Bulkområde nord .....	11
4.	Kontroll av mudringsarbeidene .....	11
5.	Erosjonssikring.....	11

## Tegninger

212341 -1      Borplan (A2-1:2.000)

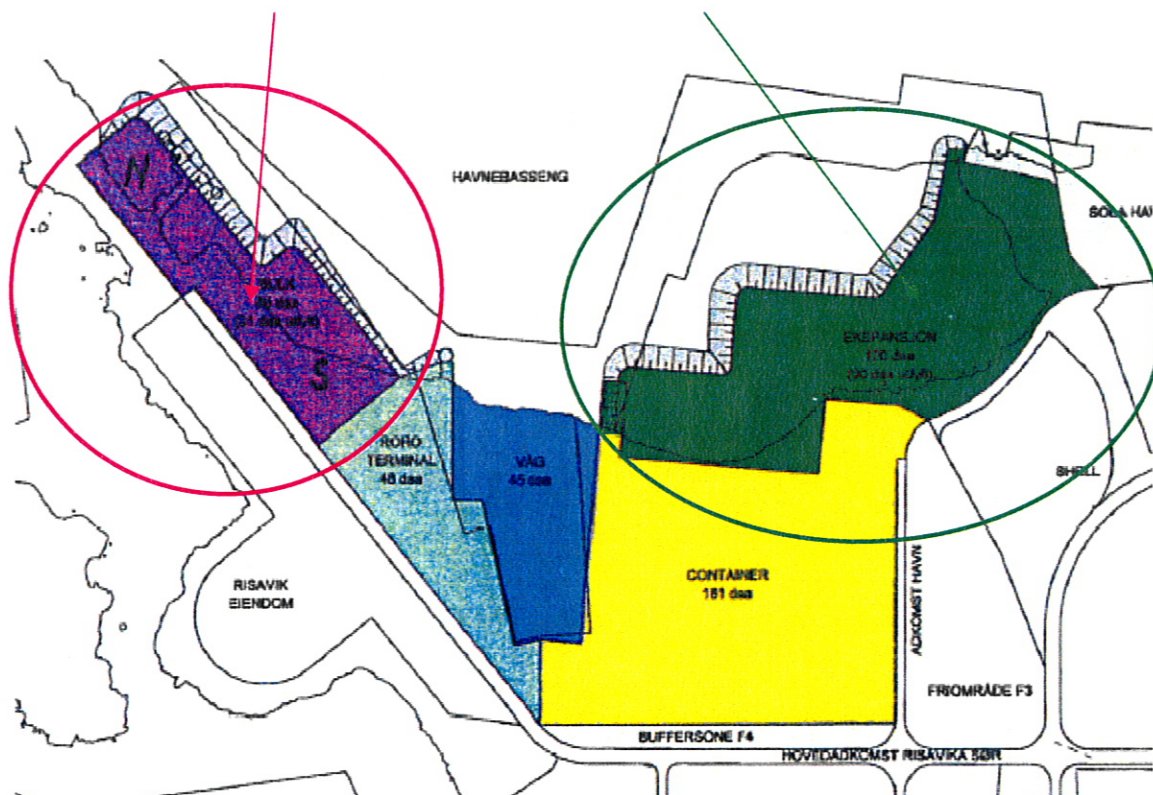
## Vedlegg

Tegning nr. 1008\_208 - 911B Områdeoversikt (Ingeniørservice AS) (A2 1:3.000)

Notat G1	09.08.06	Bulkområde syd. Vurdering av behov for mudring
Notat G2	10.10.06	Bulkområde syd. Utført mudringsarbeid. Forslag til videre arbeider
Notat G3	31.10.06	Ekspansjonsområdet. Profil 655-740. Utførte mudringsarbeider
Notat G4	13.11.06	Overgang mellom bulkområde nord og bulkområde syd. Vurdering av framføringsmetode
Notat G5	13.12.06	Ekspansjonsområdet. Profil 600-650. Utførte mudringsarbeider
Notat G7	12.02.07	Ekspansjonsområdet. Profil 480-600. Utførte mudringsarbeider
E-post	20.03.07	Ekspansjonsområdet. Profil 430-480. Foreløpig vurdering
E-post	30.03.07	Ekspansjonsområdet. Profil 430-480. Foreløpig vurdering
Notat G8	18.04.07	Ekspansjonsområdet. Profil 360-480. Utførte mudringsarbeider
Notat G9	22.05.07	Ekspansjonsområdet. Profil 240-350. Utførte mudringsarbeider
Notat G10	20.06.07	Ekspansjonsområdet. Profil 0-240. Utførte mudringsarbeider
Notat G11	06.06.08	Bulkområde nord. Utførte arbeider

## 1. Generelt

T. Stangeland Maskin AS har, på oppdrag fra Risavika Havn AS, etablert ca. 150 dekar nye arealer i sjøen nord for det gamle Shell-raffineriet, kfr. nedenstående plan, hvor arealene betegnet som "Bulkområde nord og syd" og "Ekspansjonsområde" er vist.



I tilbudsdokumentene fra Risavika Havn AS var det beskrevet at arealene skulle etableres/fylles opp innenfor en ytre fangdam. Denne skulle det på forhånd mudres for i nødvendig omfang. Vedlagt tilbudsdokumentene var prinsippskisse for hvordan fangdammen var tenkt etablert, men utførende entreprenør skulle selv stå ansvarlig for utformingen av fangdammen, inklusive nødvendige supplerende grunnundersøkelser, prosjektering og dokumentasjon av ferdig konstruksjon.

Som valgt entreprenør engasjerte T. Stangeland Maskin AS Multiconsult AS til å utføre supplerende grunnundersøkelser for fangdammen, i første rekke for å fastlegge dybder til fast, bæredyktig grunn, og deretter til å utføre geoteknisk prosjektering av nødvendig omfang av mudring og utfylling med sprengsteinsmasser for å oppnå tilfredsstillende stabilitet av fangdammen.

Denne rapporten sammenstiller den geotekniske dokumentasjonen av de utførte mudrings-/utfyllingsarbeidene.

## 2. Utførte grunnundersøkelser

De supplerende grunnundersøkelsene omfattet totalsonderinger i 66 punkter, trykksonderinger (CPTU-forsøk) i 9 punkter og optak av prøveserier i 2 punkter. Borprogrammet ble utarbeidet

med det formål å best mulig avdekke dybdene til fast, bæredyktig grunn i en antatt tilstrekkelig bred sone langs fangdamlinjen, i tillegg til at resultatene også skulle gi opplysninger til å kunne vurdere aktuelle mudrings- og fyllingshelninger og totalstabiliteten av fangdammen.

Vår rapport nr. 212341-1 av 27.09.06 beskriver de utførte undersøkelsene og resultatene av alle disse. I tillegg ble resultatene av alle relevante, tidligere utførte undersøkelser tatt med (vist i beliggenhet på plan og i respektive profiler). Opplysningene om disse var hentet fra våre geotekniske rapporter:

- Oppdragsgiver Selmer Skanska AS - Generelle undersøkelser i området - Rapport nr. 210226 av 26.08.03
- Oppdragsgiver Risavika Havn AS - Supplerende undersøkelser i ekspansjonsområdet - Brev av 20.12.05 og 02.01.06 i sak nr. 211884
- Oppdragsgiver Lyse Kraft AS - Undersøkelser i "Bulkområde nord" - Rapport nr. 211878 av 02.01.06
- Oppdragsgiver Norske Shell AS - grunnundersøkelser i flere omganger i deler av det samme området, men spesielt for den tidligere kaien (Jetty) i vest (i første halvdel av 1960-årene).

Plasseringen av alle utførte borpunkter i det aktuelle området ble lagt inn på borplanen, tegning nr. 212341-1, som er vedlagt denne rapporten. Av denne framgår også beliggenheten og utformingen av prosjektert fangdam (ved tidspunktet for innhenting av pris på opparbeidelsen av fangdammen - bredde 10 m i topp) og de da antatte fyllingsutslagene for denne ned til opprinnelig sjøbunn.

For nærmere beskrivelse av grunnforholdene langs fangdamlinjen for begge områdene henvises det til rapport nr. 212341-1 av 27.09.06.

### **3. Stabilitetsvurderinger, spesielt mhp. mudringsomfang**

#### **3.1 Beskrevet mudringsomfang**

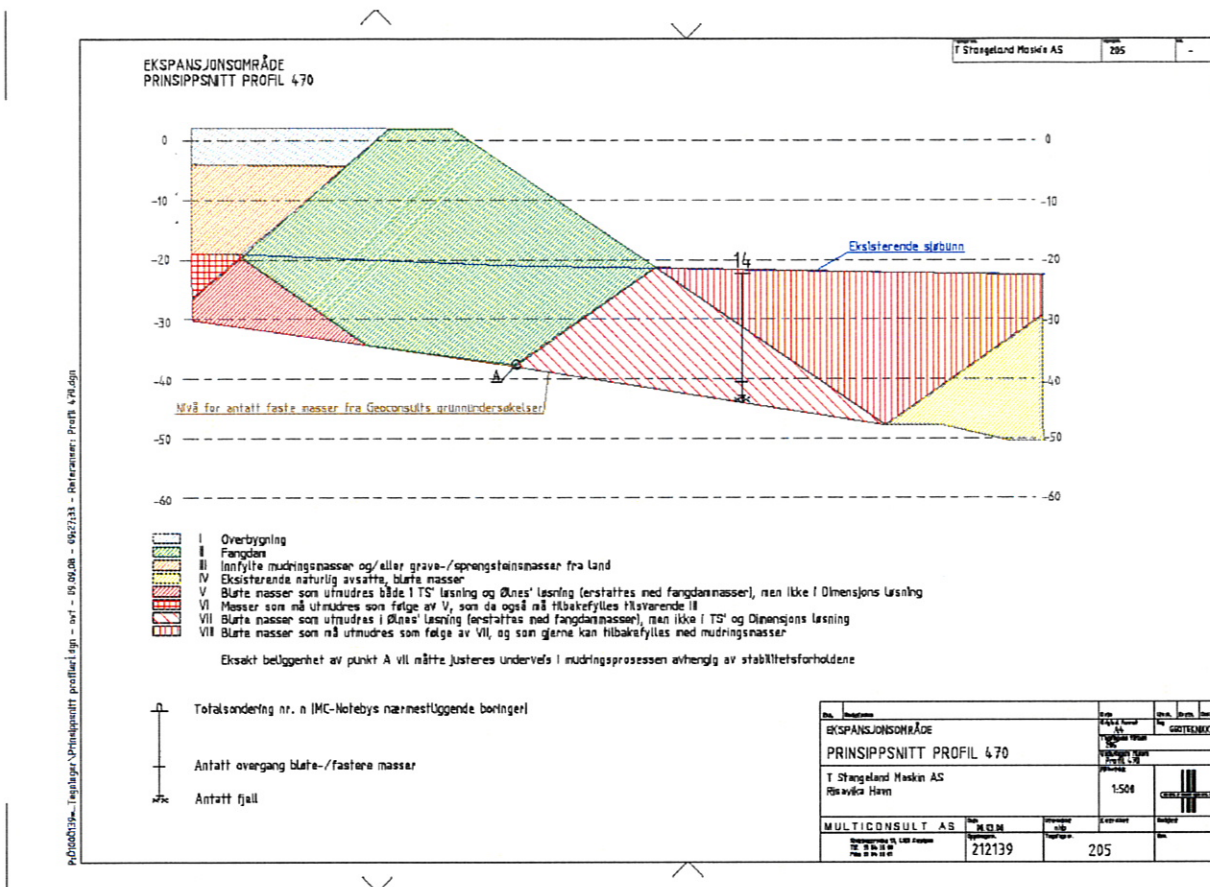
I tilbudsdokumentene var det av stabilitetshensyn beskrevet utført en meget omfattende utmudring av bløte masser innen utfylling av fangdam, kfr. nedenstående figur 1. Det var forutsatt at fangdammen med tosidig helning ca. 1:1.5 i sin helhet skulle føres ned på faste masser/fjell, både i retning land og i retning sjøen. Spesielt i retning sjøen betød dette at en stor mengde svært bløte masser først måtte mudres vekk for deretter for en stor del å skulle fylles tilbake over fangdammassene.

#### **3.2 Forslag til redusert mudringsomfang**

Innledende stabilitetsberegninger viste at stabilitetsforholdene ville bli forsvarlige med betydelig mindre omfattende mudringsarbeider, som indikert på samme figur 1.

Omfang og plassering av de supplerende grunnundersøkelsene ga, ved at de ble utført systematisk med 3-4 boringer i tverrprofiler langs fangdammen, en god oversikt over grunnforholdene, spesielt med hensyn på lagdelinger og dybder til fast grunn (dvs. akseptabelt underlag for fangdammen). Trykksonderinger og prøveserieopptak ga samtidig opplysninger om løsmassenes sammensetning og styrke til bruk ved prosjekteringen av mudrings- og fyllingsarbeidene, med formål å komme fram til et optimalt mudrings- og fyllingsprofil.





Figur 1 Prinsippssnitt profil 470 i ekspansjonsområdet

### 3.3 Stabilitet - Skadekonsekvens

NBRs "Sikkerhetsprinsipper i geoteknikk" og NS 3480 Geoteknisk prosjektering gir retningslinjer for vurdering av skadekonsekvenser ved brudd, dvs. skadekonsekvensklasse skal fastlegges. Konsekvensen av en skade inndeles som følger (NS 3480 pkt. 6.2):

Mindre alvorlig	Svikt eller brudd medfører liten risiko for skade på mennesker og begrensede økonomiske eller andre konsekvenser
Alvorlig	Svikt eller brudd medfører risiko for skade på mennesker eller betydelige økonomiske eller andre konsekvenser
Meget alvorlig	Svikt eller brudd medfører stor risiko for skade på mennesker eller meget store økonomiske eller andre konsekvenser

Vi har vurdert prosjektet til å ligge innenfor konsekvensklassene "Alvorlig" til "Meget alvorlig".

### 3.4 Materialkoeffisient

Materialkoeffisienten  $\gamma_m$  angir forholdet mellom jordens karakteristisk styrke og opptredende spenning i jorden (beregnet i bruddgrensetilstanden) og skal sikre et tilstrekkelig lavt spenningsnivå til å gi en sikkerhet mot brudd.

De samme veiledningene som beskrevet over gir retningslinjer også for valg av materialkoeffisient  $\gamma_m$  (NS 3480 punkt 8.3.2).

Sikkerhetsnivået i geotekniske arbeider er avhengig av omfang og pålitelighet av grunnlagsdata, tolkningene av disse, analyse, kontroll, oppfølging og skadekonsekvens:

Skadekonsekvens	Bruddmekanisme		
	Seigt, dillatant brudd	Nøytralt brudd	Sprøtt, kontraktant brudd
Mindre alvorlig	1.3	1.3	1.4
Alvorlig	1.3	1.4	1.5
Meget alvorlig	1.4	1.5	1.6

Ut fra resultatene fra grunnundersøkelsene har vi vurdert at et eventuelt brudd i de stedlige massene kan karakteriseres som "nøytralt brudd", mens et eventuelt brudd i fangdam-massene kan karakteriseres som "seigt brudd".

**Materialkoeffisienten for dette prosjektet er da fastlagt til  $\gamma_m = 1.4-1.5$  for et brudd gjennom de stedlige massene og til  $\gamma_m = 1.3-1.4$  for et brudd kun gjennom fangdam-massene.**

### 3.5 Last og lastkoeffisient

Ekspansjonsområdet er dimensjonert for en overflatelast på  $q_k = 100 \text{ kN/m}^2$ , mens bulkområdet er dimensjonert for en overflatelast på  $q_k = 20 \text{ kN/m}^2$ .

I stabilitetsberegninger, som pr. definisjon skal utføres i bruddgrensetilstanden, defineres overflatelasten som en nyttelast, som skal pålegges en lastkoeffisient  $\gamma_f = 1.5$ . **Dimensjonerende last (i bruddgrensetilstanden) blir da  $q_f = q_k \cdot \gamma_f = 150 \text{ kN/m}^2$  for ekspansjonsområdet og  $30 \text{ kN/m}^2$  for bulkområdet.**

### 3.6 Jordparametere

Parameterene som er benyttet i beregningsmodellene, vist i tabell 2, er i all hovedsak basert på tolkninger av resultatene fra grunnundersøkelsene beskrevet i rapport nr. 212341-1 av 27.09.06.

Tabell 1 Materialdata benyttet for profilene 200, 400 og 685 i ekspansjonsområdet

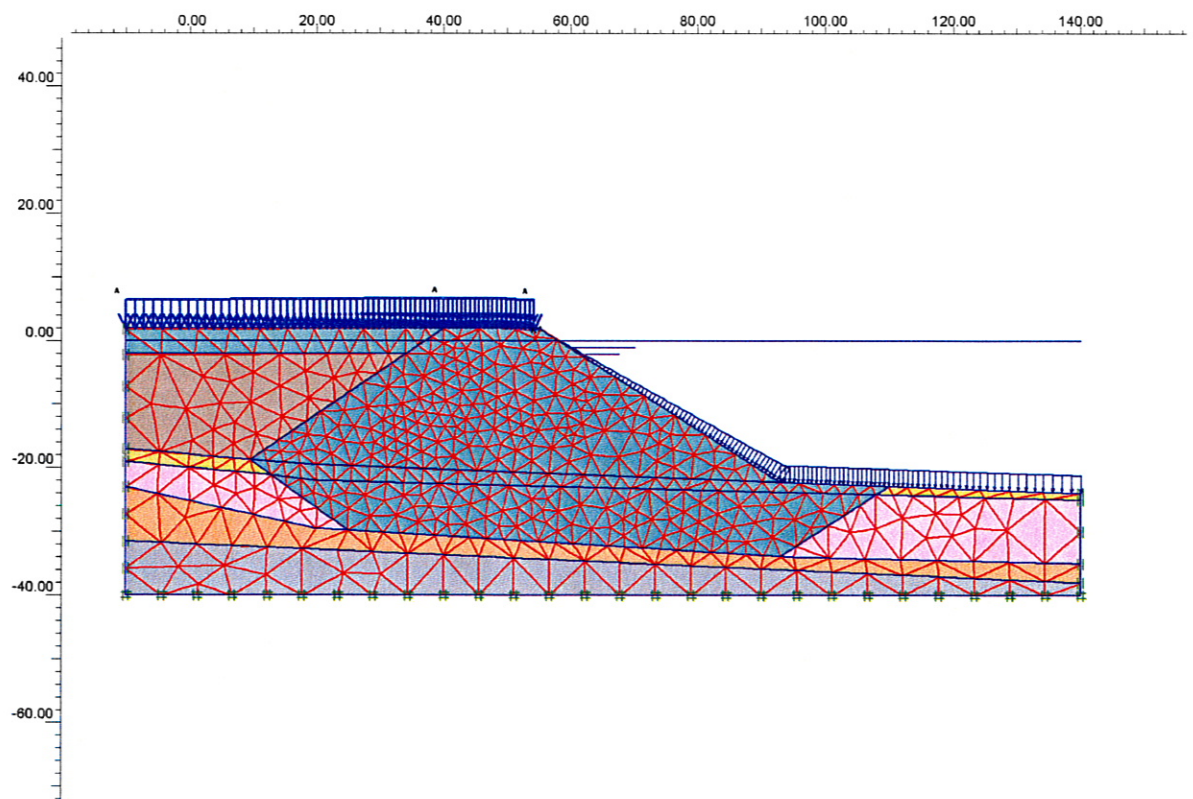
		Gode fyllmasser bak fangdam	Meget gode fangdam-masser	Dårlige fyllmasser bak fangdam	Overflate-lag av sand	Bløt leire	Fast grunn av sand/morene
Jordmodell	-	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb
Tilstand	-	Drenert	Drenert	Drenert	Drenert	Udrenert	Drenert
$\gamma_{\text{sat and unsat}}$	kN/m <sup>3</sup>	20	20	20	19	18	20
E	kN/m <sup>2</sup>	15000	15000	1000	10000	5000	15000
$\nu$	-	0,3	0,3	0,3	0,3	0,35	0,3
$c_{\text{ref}}$	kN/m <sup>2</sup>	4,5	10	0	0,5	0	3,5
$\phi$	°	42	43	15	35	25	35
$\psi$	°	0	0	0	0	0	0
k	m/day	10	10	0,1	10	0,02	1

hvor

$\gamma$  = Densitet                      E = E-modul                       $\nu$  = Poissons tall

c = Kohesjon (attraksjon  $a * \tan \phi / \gamma_m$ )                       $\phi$  = Karakteristisk friksjonsvinkel

$\psi$  = Dilatansvinkel                      k = Permeabilitetskoeffisient



Figur 2 Figuren viser plasseringen av de ulike lagene beskrevet i tabell 1 for profil 400 i ekspansjonsområdet, beregnet ved hjelp av dataprogrammet PLAXIS v8.1.



### 3.7 Spenningsforandringer og poretrykksutvikling med tid

Når et mettet jordmateriale belastes med en tilleggslast  $q$  (i dette tilfellet vekt fra fyllmasser og eventuelle overflatelaster), oppstår spenningsforandringer i jorda. Dersom pålastningen  $q$  skjer på sand, blir lasten direkte opptatt av kornskjelettet, som får en effektiv spenningsøkning  $\Delta\sigma' = q$ . Porevannet presses ut etter hvert slik at setningene  $\delta$  kommer i takt med pålastningen. Setningene er i store trekk utviklet når pålastningen er avsluttet.

Dersom pålastningen skjer på mettet leire (som vi har under "tå" og "hæl" fangdam her), vil tilleggslasten  $q$  i første omgang i stor grad bæres av økt poretrykk  $\Delta u$ . Praktisk sett gjør dette leiren svakere, og sikkerheten mot grunnbrudd avtar. Det oppståtte poreovertrykket  $\Delta u$  medfører en gradvis utpressing av porevann, og kornskjelettet presses sammen. Denne dreneringen gjør at poreovertrykket  $\Delta u$  gradvis avtar igjen, med det resultat at lasten  $q$  gradvis overføres til kornskjelettet, med økt effektivspenning  $\Delta\sigma'$  til følge. Dette betyr at også leiren vil få tilbake sin opprinnelige styrke, men dette er normalt en tidkrevende prosess. Denne tar i størrelsesorden måneder til mange år - avhengig av tykkelsen på leirlaget og av hvor tett leiren er.

Dette forholdet er hensyntatt under mudringsprosessen og i fyllingsfasen. I permanentfasen vil poreovertrykket i innen- og utenforliggende leire (i forhold til fangdammen) i hovedsak være drenert ut.

### 3.8 Beregningsmetoder

#### 3.8.1 PLAXIS v.8

PLAXIS er et "endelig elementmetodeprogram" (FEM-analyse) utviklet i Nederland, som i tillegg til stabilitetsberegninger også kan kombineres med andre problemstillinger som for eksempel setninger og poretrykksutvikling.

Ved bruk av elementmetodeprogram kan man få en antagelse om hvor eventuelle forskyvninger og poretrykksutvikling vil oppstå, og dette kan være nyttig dersom man for eksempel planlegger instrumentering og ønsker å måle størst forskyvning eller poretrykk.

Programmet kan beregne stabilitetsforholdene både på total- (udrenert) og effektivspenningsbasis, samt kombinert analyse. For å beregne materialkoeffisienten benyttes funksjonen "phi-c reduction".

Ved en ren stabilitetsberegning er deformasjoner av mindre interesse, og da kan Mohr-Coulomb (MC) jordmodellen benyttes. Kun tyngdetetthet  $\gamma$ , kohesjon  $c$  (eller attraksjon  $a$ ), karakteristisk friksjonsvinkel  $\phi$  og dilatansvinkel  $\psi$  er relevante parametere i MC-modellen for stabilitetsanalyser. Poissons tall  $\nu$  og E-modulen kan velges fritt og påvirker ikke sikkerhetsfaktoren (kun deformasjonene).  $k$  benyttes for vurdering av dreneringstid og setningsutvikling.

Drenert skjærstyrke angis med drenert friksjonsvinkel  $\phi'$  og  $c = a * \tan\phi / \gamma_m$ . Dilatansvinkelen  $\psi$  vil påvirke resultatene slik at økende  $\psi$  gir økende sikkerhetsfaktor.

#### 3.8.2 STABIL v.3

STABIL v.3 er et egenutviklet FORTRAN-program for stabilitetsanalyser, med et Visual Basic interface for grafisk grensesnitt til input og output.

Det genereres en lamelleinndeling hvor hver enkelt lamell kontrolleres for kraft- og momentlikevekt. Programmet tar blant annet hensyn til terrenglaster og hydrodynamiske laster.

Brukeren definerer de mest kritiske skjærflatene, og programmet beregner materialkoeffisienten for hver av dem. Skjærflatene kan være sirkulære eller vilkårlige.

### 3.8.3 Samspill mellom PLAXIS og STABIL

PLAXIS er benyttet til å identifisere de kritiske skjærflatene og å beregne poreovertrykket i grunnen som følge av mudring og fylling. Samtidig er sikkerhetsnivået for disse flatene beregnet. Deretter er STABIL benyttet for å kontrollregne de samme skjærflatene og et utvalg av andre skjærflater.

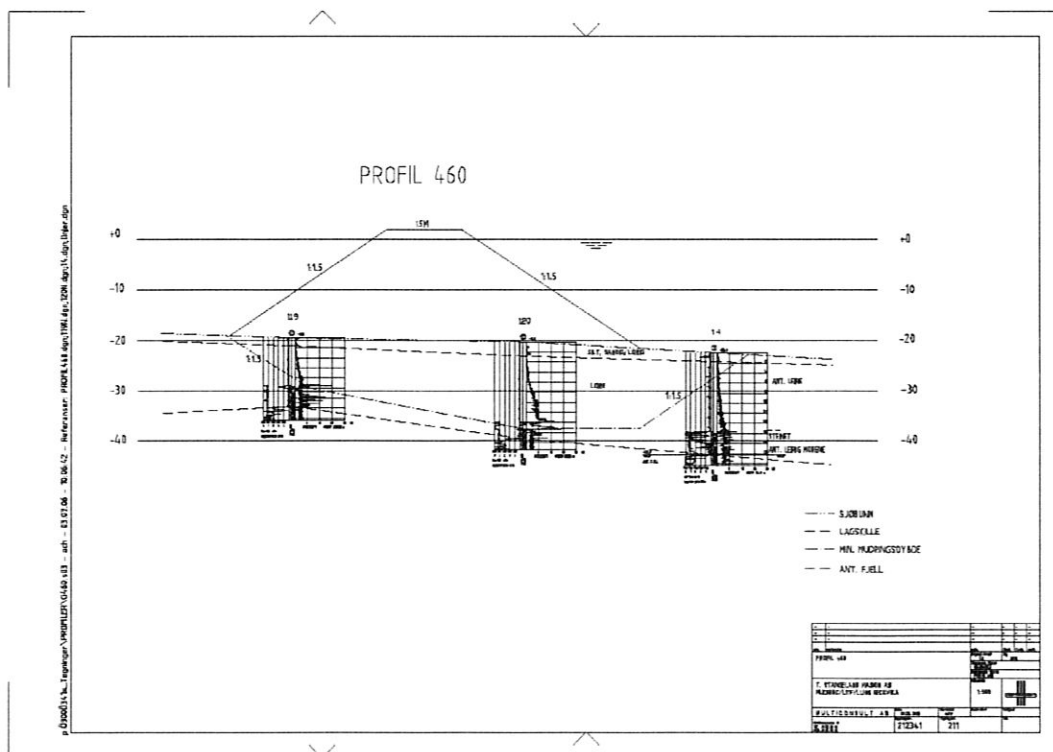
STABIL gir gjennomgående et 4-12 % høyere sikkerhetsnivå enn PLAXIS. PLAXIS finner som regel den mest kritiske skjærflaten. Det antas at PLAXIS gir mest pålitelige resultater i forhold til de parameterene som er benyttet.

STABIL er videre benyttet for å kontrollere at utførte profiler er stabilitetsmessig forsvarlige i permanenttilstanden.

### 3.9 Beregningsresultater og anbefalte mudringsprofiler

Av hensyn til gjennomføringen av fyllingsarbeidene ble det tidlig besluttet å utføre fangdammen 15 m bred i toppen.

PLAXIS-beregningene viste at det var forsvarlig å mudre ut leiren ned til fast grunn under fangdammen med skråningshelning 1:1.5 i leiren, både i retning inn mot land og i retning ut mot sjøen. I retning inn mot land viste de videre at det jevnt over var tilstrekkelig å starte utmudringen hvor fyllingen med helning 1:1.5 traff opprinnelig sjøbunn. I retning ut i sjøen var det nødvendig å mudre ned til fast grunn ut til nedprojiseringen av det punktet hvor fyllingen med helning 1:1.5 traff opprinnelig sjøbunn. Anbefalt mudringsprofil i profil 460 i ekspansjonsområdet er vist på figur 3.



Figur 3 Endelig krav til mudringsprofil i profil 460 i ekspansjonsområdet

Tilsvarende mudringsprofiler ble beregnet/tegnet opp for alle de tverrprofilene det var utført boringer i (for ca. hver 50 m), både for ekspansjonsområdet og for bulkområde syd. Med grunnlag i disse ble det deretter utarbeidet en mudringsplan som Ingeniørservice AS så la inn i sin terrengmodell og produserte arbeidstegninger (plan og profiler) fra.

### **3.10 Bulkområde nord**

Utfyllingen i bulkområde nord er prosjektert av Norconsult AS, kfr. deres dokument "Lyse Gass, LNG-Fabrikk Risavika, Sola kommune - Utfylling i sjøen. Grunnforhold og stabilitet av fylling", datert 02.02.06.

## **4. Kontroll av mudringsarbeidene**

Mudringsentreprenøren Birken & Co AS benyttet arbeidstegningene fra Ingeniørservice AS som måltegninger på til hvilken dybde det skulle mudres. Under selve fangdammen skulle imidlertid ikke mudringen avsluttes før fast grunn ble nådd, selv om denne skulle ligge dypere enn hva profilene på arbeidstegningene indikerte.

Mudringsentreprenøren hadde GPS-utstyr montert på grabben og således god kontroll med hvor og til hvilken dybde han mudret. I tillegg ble det jevnlig utført profileringer med ekkolodd (utført av Blom AS).

**Under og etter hver mudringsetappe fikk vi oversendt utførte mudringsprofiler. Disse ble sammenlignet med de teoretiske og kommentert/vurdert fortløpende med forslag til eventuelle tiltak. Vedlagte notater nr. G1 t.o.m. G5 og G7 t.o.m. G10 gir disse vurderingene.**

**Notat G11 gir vår vurdering av de utførte arbeidene i bulkområde nord.**

## **5. Erosjonssikring**

Både bulkområdet og ekspansjonsområdet er erosjonssikret i henhold til beskrivelse utarbeidet av Norconsult AS.

**Arkivreferanser:**

Fagområde:	Geoteknikk		
Stikkord:	Sand. Silt. Leire. Morene. Mudring. Fylling		
Land/Fylke:	Norge/Rogaland	Kartblad:	1212 IV
Kommune:	Sola	UTM koordinater, Sone:	32V
Sted:	Risavika	Øst: 3035	Nord: 65364

**Distribusjon:**

- Begrenset (Spesifisert av Oppdragsgiver)  
 Intern  
 Fri

**Dokumentkontroll:**

		Dokument		Revisjon 1		Revisjon 2		Revisjon 3	
		11. september 2008							
		Dato	Sign	Dato	Sign	Dato	Sign	Dato	Sign
Forutsetninger	Utarbeidet	04.09.08							
	Kontrollert	11.09.08							
Grunnlagsdata	Utarbeidet	04.09.08							
	Kontrollert	11.09.08							
Teknisk innhold	Utarbeidet	10.09.08							
	Kontrollert	11.09.08							
Format	Utarbeidet	10.09.08							
	Kontrollert	11.09.08							
Anmerkninger									
Godkjent for utsendelse (Seksjonsleder/Avdelingsleder)					Dato: 11.09.08		Sign.: 		