

NYTT OPERAHUS I OSLO

NOTAT 95047000-G-000-N-120

GEOTEKNIKK

Sikringa av Operaen mot skipsstøt
(Fase 1 – Skisseprosjekt)

C02	31.08.01	Oversendelse Statsbygg	KK	RAL	TAS
A01	29.08.01	Intern utgivelse	KK	RAL	TAS
Rev	Dato	Tekst	Laget	Kontr.	Godkj

Utarbeidet av Reinertsen Engineering ANS Ingeniør Per Rasmussen AS Erichsen & Horgen AS Prosjekteringsgruppe for Nytt Operahus Thunesvei 2 N-0213 Oslo Telefon Telefax 22 56 10 20 22 56 10 19		Oppdragsgiver: Statsbygg Prosjekt: 95047 Nytt operahus i Oslo Tittel: GEOTEKNIKK Sikring av Operaen mot skipsstøt (Fase 1 – Skisseprosjekt)					
Prosjekt	Område	Fag	Systemkode	Type	Løpenr.	Rev	
95047	000	G	000	N	120	C02	

Til: Reinertsen Engineering ANS

v/: Tore Steigen

Fra: Norges Geotekniske Institutt

Dato: 2001-08-24

Prosjekt: 20001583 Ny Opera i Bjørvika

Utarbeidet av: Kjell Karlsrud

Kontrollert av: Rolf Lauritzen

Tittel: Sikring av Operaen mot skipsstøt (Fase 1- skisseprosjekt)

1 INNLEDNING

Dette notatet behandler mulige tiltak for å sikre Opera bygget mot skipsstøt. Det refereres i denne sammenheng til Statsbygg's ordrebekreftelse av 07.08.01 på RREH-endringsordre H-042 E004 som gir en beskrivelse av problemstillingen og de utredninger man er blitt enige om skal utføres.

2 RISIKOVURDERING - DIMENSJONERENDE HENDELSER

Figur 1 viser Operaens beliggenhet i Bjørvika. Her fremgår også den prosjekterte E18 tunnelen og den barrieren som inntil nylig var planlagt for å beskytte denne tunnelen mot skipsstøt. Den 30 august 2000 besluttet imidlertid Statens vegvesen i Oslo å senke tunnelen inn mot Havelageret slik at E18-tunnelen ikke lenger gir behov for noen skipsbarriere i det hele tatt. Vi har ikke fått sett i detalj på konsekvensene av dette for Operaen, men det antas foreløpig ikke å få særlig vesentlig betydning. Dette må sees på og behandles videre enten gjennom en forlengelse av Fase 1 og revisjon av dette notatet eller tas med i Fase 2.

DNV har i forbindelse med E18 tunnelen gjort en ganske omfattende vurdering av skipstrafikken i Bjørvika området og risikoen for ulike hendelser som kan føre til at skip kommer ut av kontroll, ref.1. DNV har også utført noen supplerende vurderinger spesifikt knyttet til Operaen.

DNV's konklusjon var at Operaen måtte dimensjoneres for skip som kommer ukontrollert rett inn mot bygget fra syd som er identiske med hva som ble lagt til grunn for å dimensjonere barrieren rundt E18 tunnelen, kfr. vedlegg A.

Disse hendelsene er som angitt i tabell 1 for noen ulike karakteristiske skipstyper.

Eneste aktuelle metode å stoppe de største skipene på er med en barriere/fylling som skissert i fig.1. Hvis toppen av den fyllingen legges på kote -2,0 slik som planlagt for tunnelen, vil små ferger/båter kunne gå over og fortsatt kjøre inn i Opera konstruksjonene. DNV har i vedlegg B foreløpig angitt dimensjonerende hendelse i denne sammenheng som karakterisert ved scenario F i tabell 1.

DNV har også sett på mulige scenarier for skip som vil kunne komme inn fra vestsiden av Operaen og skli oppå den skrå "kaiplaten som her går ut i sjøen. For denne hendelsen har de foreløpig anbefalt å legge til grunn en hendelse som angitt ved scenario G i tabell 1, vedlegg B.

Tabell 1- Sammenstilling av dimensjonerende skipsstøt hendelser

Scenario	Støtenergi (MJ)	Hastighet (m/s)	Bredde (m)	Lengde (m)	Dypgang (m)	Kote vannstand ¹⁾ (m)
A – Ferge/cruiseskip, Deplasement = 25,000 tonn	225	4	30	122,2	7,5	-0,60 → -0,15
B – Linje/Ro-Ro-skip Deplasement = 20,000 tonn	100	3	26	118,3	6,5	-0,60 → -0,15
C – Tilfeldige skip Deplasement = 3,000 tonn	42	5	11	75,7	3,5	-0,80 → +0,10
D – Passasjerferge Deplasement = 700 tonn	10	5	10	55,6	2,6	-0,80 → +0,10
E - Andre planlagte skip Deplasement = 900 tonn	13	5	9	69,7	3,1	-1,20 → +0,60
F – Små båter som går over barriere Operaen (kote -2.0) Deplasement = 320 tonn	4,6	5	7,7	35	2,0	-1,20 → +0,60
G – Båter inn fra vest mot Operaens "kaiplate" Deplasement = 700 tonn	0,8	1,5	10	45	2,6	1,20 → +0,60

1) Kotene refererer seg til NGO's null der middelvannstanden ligger på kote -0,4

3 UTFORMING OG PLASSERING AV BARRIERE FOR Å STOPPE STORE SKIP

3.1 Generelt

Det er foreløpig lagt til grunn å bygge en barriere med topp på kote -2.0 som vist i plan i fig.1 og typisk snitt i fig2.

Barrierens utforming skal både ivareta krav til stabilitet av barrieren i seg selv og kravet til å stoppe skip slik at det ikke kan komme i kontakt med Operaen. I det etterfølgende er det kort beskrevet hvorledes disse to faktorene har påvirket utforming og plassering av barrieren.

3.2 Utforming og plassering av hensyn til stabilitet

Ved stabilitetsberegningene er det for leira lagt til grunn et udrenert styrkeprofil som er det samme som ble benyttet for E18- tunnelen over Bjørvika. Disse strykene er noe lavere enn hva NGI generelt har anbefalt for Opera bygget, kfr. vedlegg C.

Både av hensyn til stabilitet og energiopptak er det valgt å mudre ut til kote -8,0 under hele barrieren og frem til uttrauingen for senketunnelen før den bygges.

For å ivareta stabilitet av barrieren må grunnen forbedres ved installering av vertikaldren ned til 15 m dybde under sjøbunn og utlegging av en armeringsduk, fig. 2. Oppfylling til kote -4,0 utføres så, og må få ligge i ca. 6 måneder før det kan fylles opp til toppen (kote -2,0). Det er i stor grad stabiliteten som har avgjort bredden på nivåene som ligger på kote -4,0, selv om disse partiene også påvirker energiopptaket.

Det er forventet at barrieren for Operaen må bygges før arbeidene med E18-tunnelen tar til. Det innebærer at man må ivareta stabiliteten når det traues ut for tunnelen på utsiden. Denne uttrauingen vil på det dypeste gå ned til kote -19,5. For denne tilstanden, som kan være ganske kritisk, er det valgt å dimensjonere ut fra valgt materialfaktor (sikkerhetsfaktor) på 1,5. Det krever en minste avstand fra ytterste fot av barrieren til topp av graveskråning på 15 m, kfr. resultat av stabilitetsberegningene i vedlegg C. Det er også denne plasseringen som er forslått i fig.1 og 2. Merk at det i denne sammenheng også er regnet med at barrieren har fått konsolidere under full belastning (kote -2,0) i så lang tid at man har oppnådd minst 90% konsolideringstid. Det vil med foreslått avstand på vertikaldrenene på 1,3 m ta ca. 6 måneder.

3.3 Utforming og plassering for å ivareta energiopptak og fare for direkte treff med større skip

Beregning av energiopptaket for en slik barriere er utført med en regnemodell utviklet av NGI og beskrevet i ref.1. For E18-tunnelen ble det utført en rekke parameterstudier med denne modellen for å se på hvorledes ulike forutsetninger eller antagelser vil påvirke energiopptaket og skipets inntrenging i barrieren (ref. 1).

Alle tidligere beregninger med denne modellen viser at det er skipsstøt scenario A) som generelt er avgjørende. I relasjon til valg av dimensjonerende forutsetninger/parametre kan det kort nevnes at vi har valgt en friksjonsvinkel på 40° for fyllingen (som er forutsatt å være sprengstein) og en midlere udrenert styrke den underliggende leira på 8 kPa. Merk at dette er en representativ udrenert styrke for den sonen som blir utsatt for plastiske bruddforskjvninger under skipets inntrenging i barrieren.

De valgte styrkeparametere ansees å være forsiktig anslåtte karakteristiske styrkeparametere. Merk også at fordi skipsstøt er å betrakte som en ulykkeshendelse er det

ikke lagt noen materialfaktor på styrkeverdiene. Dessuten viser tidligere paramterstudier at beregningene ikke er særlig sensitive for valg av styrkeparametere.

Figur 3 viser beregningsresultater for den valgte utforming av barrieren i form av energiopptak og løft av baugen under penetrasjonen inn i barrieren for scenario A). Det fremgår at når energiopptaket har nådd den dimensjonerende energien på 225 MNm ligger forkant av skipets kjøll (representert ved bulben) i en posisjon tilsvarende ca. 2 m bak forkant av barrierens kote -2,0 nivå.

Ekstreme cruiseskip kan iflg. Vedlegg A ha en midlere helning på baugen regnet fra overgangen mellom bulb og kjøll på 30° med horisontalen. Det innebærer at fremste punkt på et slikt skip kan ligge ca. 23 m foran fremste punkt på bulben.

På dette grunnlag vil avstanden mellom skipets fremste punkt og Opera bygget være 17 m når fullt energiopptak er nådd og skipet har stoppet. Denne situasjonen er skissert i figur 4.

Figur 4 kan kanskje for noen gi et noe skremmende bilde av de marginer man har å gå på. Til dette kan det imidlertid nevnes at beregningene i figur 3 viser at skipets støtenergi måtte økes til hele 495 MNm før fremste punkt på baugen vil nå helt frem til Opera bygget.

3.4 Utforming for å ivareta støt med mindre skip

Som det fremgår av fig. 2 har barrieren blitt gitt en svak helning på 1:4 i toppen mellom kote - 2,0 og -3,0. Hensikten med dette er som beskrevet i ref.1 å sørge for at mindre skip blir presset opp på barrieren uten å pløye seg inn i den. Skulle man for disse skipene tatt opp energien ved en pløyemekansime slik som for de store skipene måtte barrieren gjøres vesentlig bredere på toppen.

For å sikre at de små skipene ikke penetrerer skråflaten er den forutsatt beskyttet av krysslagte Gabioner, eventuelt en betongkappe.

Tidligere beregninger viser at scenario C i tabell 1 gir den største "bremselengden". Figur 5 viser beregningsresultater for dette tilfellet. Det fremgår at skipet stopper ca 13 m etter første treffpunkt med barrieren, noe som innebærer at fremkant av bulben da ligger ca. 2 m bak fremkant av fyllingens kote -2,0 nivå. Det er følgelig meget god margin mot at et slikt skip skal kunne treffe Operaen.

3.5 Fare for at hekken på skip hekk når ned på tunneltaket

Under inntrenging av skipet i barrieren vil baugen løftes samtidig som hekken presses noe ned. Det er derfor kontrollert om det er noen fare for at bakre del av skipenes kjøll kan komme i kontakt med tunneltaket. Tidligere beregninger viser at det er scenario A) som er mest kritisk i denne sammenheng.

I det aktuelle området ligger tunneltaket på det høyeste på kote $-8,65$. Beregningene for skip A) i figur 3 viser at når skipet stopper har baugen hevet seg $2,5$ m og hekken senket seg $1,3$ m. Det innebærer at det fortsatt vil være en minste klaring på 80 cm mellom skipets kjøll og tunneltaket. Det er da lagt til grunn at skipet har en lengde på 180 m, og at hekken vil ligge 48 m lenger ut i sjøen enn ytterkant av tunneltaket, kfr. fig. 6.

Beregningen over tar ikke hensyn til at et skip i fart skyver vann til siden, noe som gir et vannspeil inntil skipet som er lavere enn den generelle sjøtilstanden (dette kalles på fagspråket "squat-effekt"). Det vil si at skipet blir liggende tilsvarende dypere i forhold til den generelle vannstanden. Denne "squat-effekten" utgjør iflg. DNV bare ca. 10 cm for skip A) med en hastighet på 4 m/s. Det vil derfor fortsatt være en minste klaring til mellom kjølen og tunneltaket på 70 cm.

Beregningene over gjelder for et skip som treffer barrieren på høyeste dimensjonerende vanntilstand (kote $-0,15$), og som er dimensjonerende med hensyn til inntrenging i barrieren. Vi har imidlertid også kontrollert for en sjøvannstand på kote $-0,6$. Det gir mindre inntrenging, løft og rotasjon enn en sjøvannstand på kote $-0,15$, og omtrent samme minste klaring til tunneltaket.

4 SIKRING MOT SKIP FRA SYD SOM GÅR OVER BARRIEREN

Dette tilfellet er dekket av scenario F i tabell 1. Foreløpige beregninger utført av DNV i vedlegg B viser at den oppgitte støtenergier på $4,6$ MNm vil gi en støtkraft mot Opera konstruksjonen på maksimalt 6 MN hvis konstruksjonen betraktes som uforskyvelig. Det innebærer at hele energiopptaket tas opp ved knusing/plastiske deformasjoner i skipet.

I følge overslagsberegninger RREH har utført, vedlegg D, vil en slik støtkraft kreve en viss forsterking eller tilpassing av konstruksjonene som vender ut mot sjøen. Detaljer omkring dette vil bli sett nærmere på i Fase 2 av denne utredningen.

Man kan selvfølgelig også velge å bygge et frittstående fenderverk på toppen av barrieren eller heve toppen til for eksempel kote $-1,0$. En slik løsning bør i tilfelle først vurderes i en reguleringsmessig og arkitektonisk sammenheng.

5 SIKRING MOT SKIP FRA VEST INN I KAIPLATEN

Støtnergien som i dette tilfellet skal tas opp er $0,8$ MNm, vedlegg B. Hvis "kaiplaten" forutsettes helt stiv vil dette gi en støtkraft på 3 MN mot kaiplaten. En slik kraft kan kaiplaten relativt enkelt dimensjoneres for. Detaljer vil bli utarbeidet i Fase 2.

REFERANSER



DNV (2000) , Oppdatering av Bjørvika Risikoanalyse, Rapport nr. 99-3240, rev.03

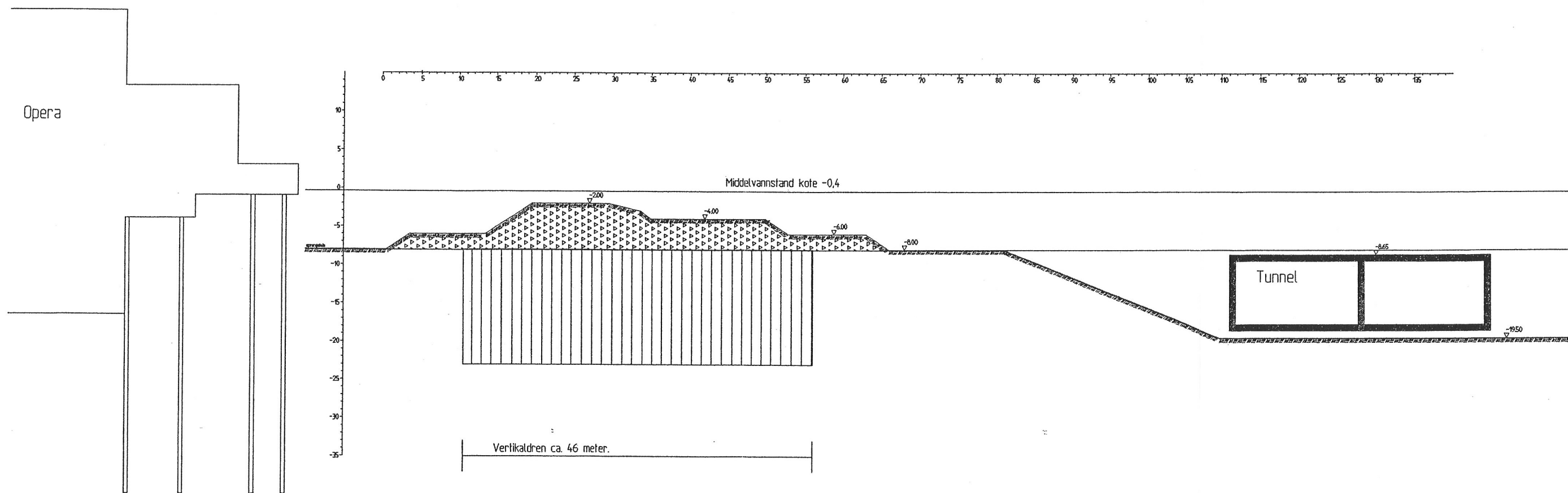
NGI (2000), Detalj-og reguleringsplan E18 Bjørvika- Sammenstilling og dokumentasjon av geotekniske beregninger for sjødelen. Rapport 990016-5 av 10.10.2000




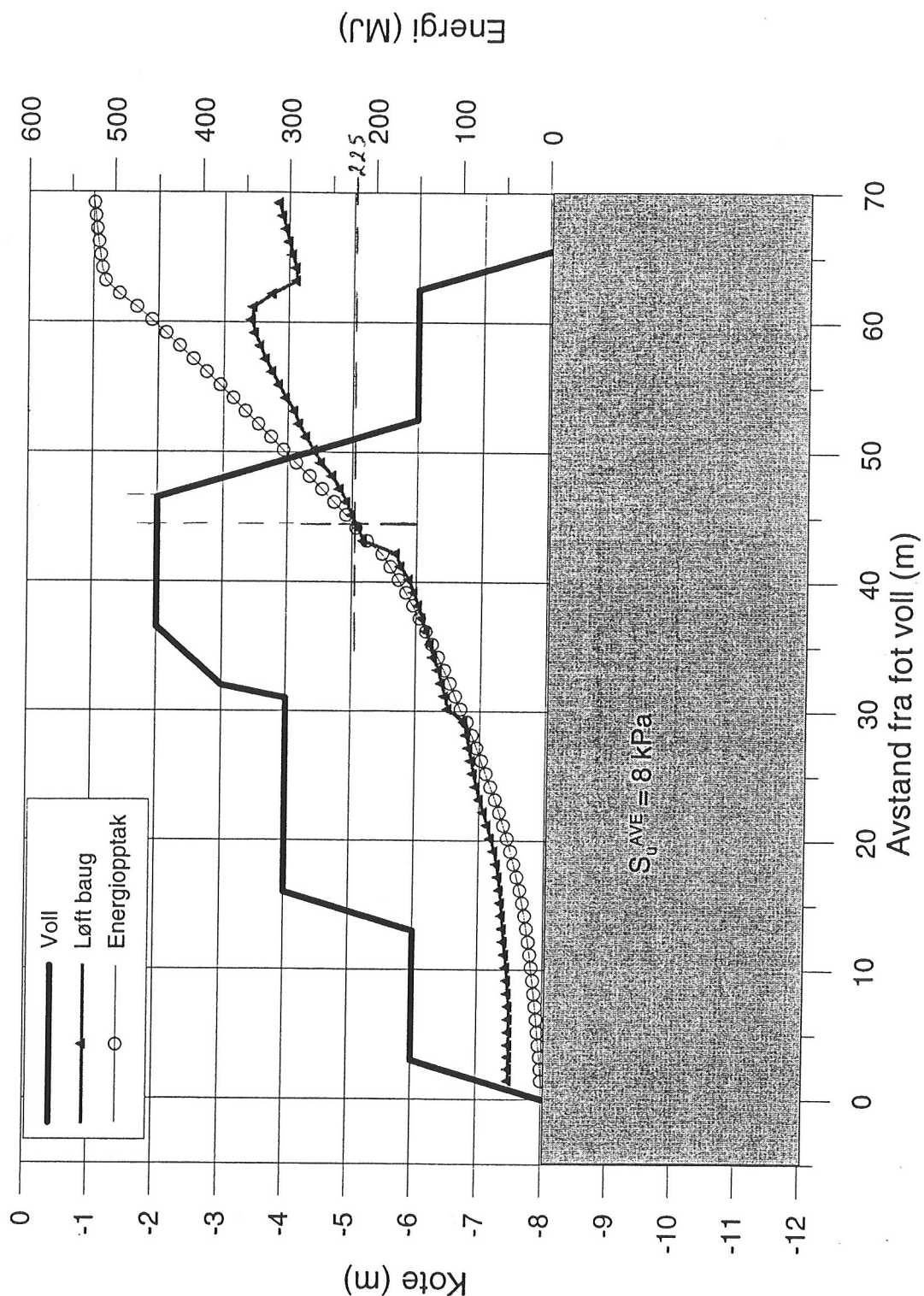
BEMERKNINGER:

1. BUNNKOTEKARTET REFERERER TIL SjøKART NULL, DVS. CA. KOTE -0,7.

Rapport nr. 20001583	Figur nr. 1	<div><div>00</div><div>UTKAST TIL DETALJPLAN</div><div>12.10.00</div></div>			
		<div><div>Rev.</div><div>Endring - erstating</div><div>Dato</div><div>Rev. av/Ktr. av</div><div>Sig.</div></div>			
Tegner RAL	Dato 01-08-30	<div><div></div><div>Statens vegvesen Oslo</div><div><div>Tegn.</div><div>TH, 12.10.00</div></div><div><div>Ktr. av.</div><div>SAH</div></div><div><div>Sign.</div><div></div></div></div>			
Kontrollert		<div><div><div>AAS-JAHOBSEN</div><div>Detachable Engineering AS</div><div>Målepunkter og planer for bygging av veier</div></div><div>Navn på fil: K201-05.dwg</div><div>Målestokk: 1:1000</div><div>Ark nr. 6500</div></div>			
Godkjent		<div><div>E18 MELLOM FESTNINGSTUNNELEN OG EKEBERGTUNNELEN</div><div><div>BUNNKOTEKART OVERSIKT PLAN</div><div>DETALJPLAN</div></div><div><div>Tegn. nr.</div><div>Rev.</div></div><div><div>K201-05</div><div>00</div></div></div>			



NY OPERA I BJØRVIKA	Rapport nr.	Figur nr.
	20001583	2
	Tegner	Dato
	TGJ	01.08.28
Snitt A - A	Kontrollert	
	Godkjent	



F:\P\2000\15\20001583\Div\skipsstot\SkipA.xls]pr1-10-15-10

Ny opera i bjørvika

Skipsbarriere for skip A (Ferge/Cruiseskip). Barrierebredde ved kote -2.0: 10 m. Tilfelle middelvann + 0.25 meter gir vanddyp 7.85 m fra kote - 0.15. Dypgang 7.5 m. Støtenergi = 225 MJ. Grafene viser fremste punkt på skipets forflytning gjennom barrieren og tilhørende energioptak.

Rapport nr.
20001583

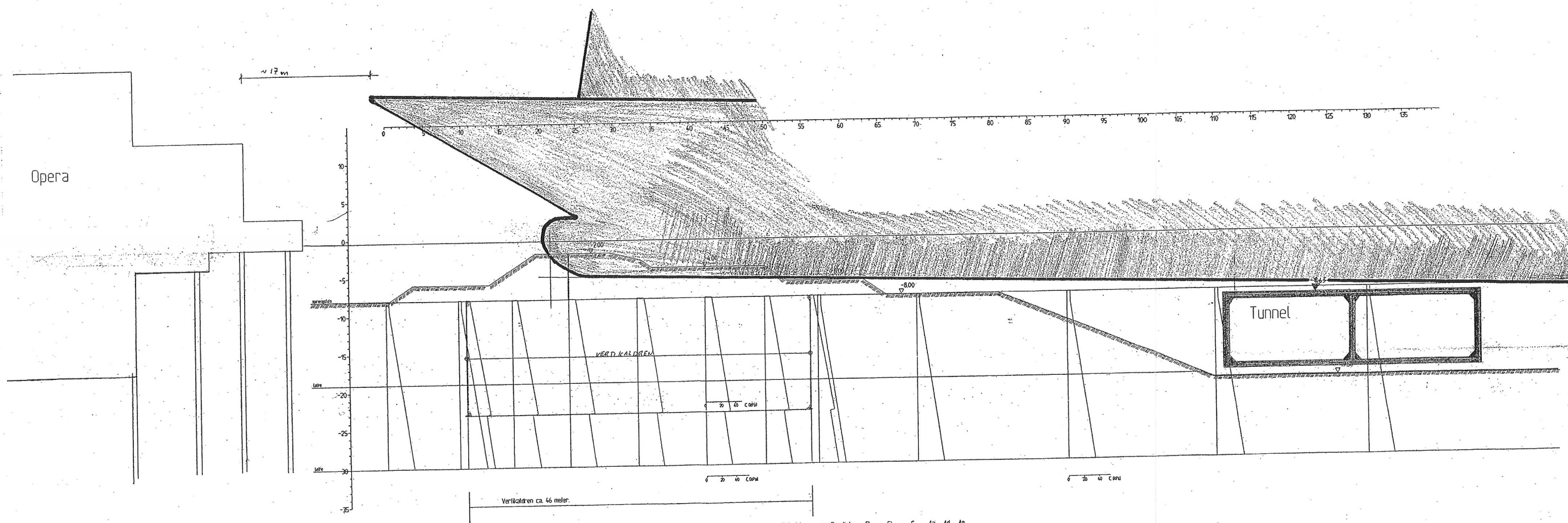
Figur nr.
3

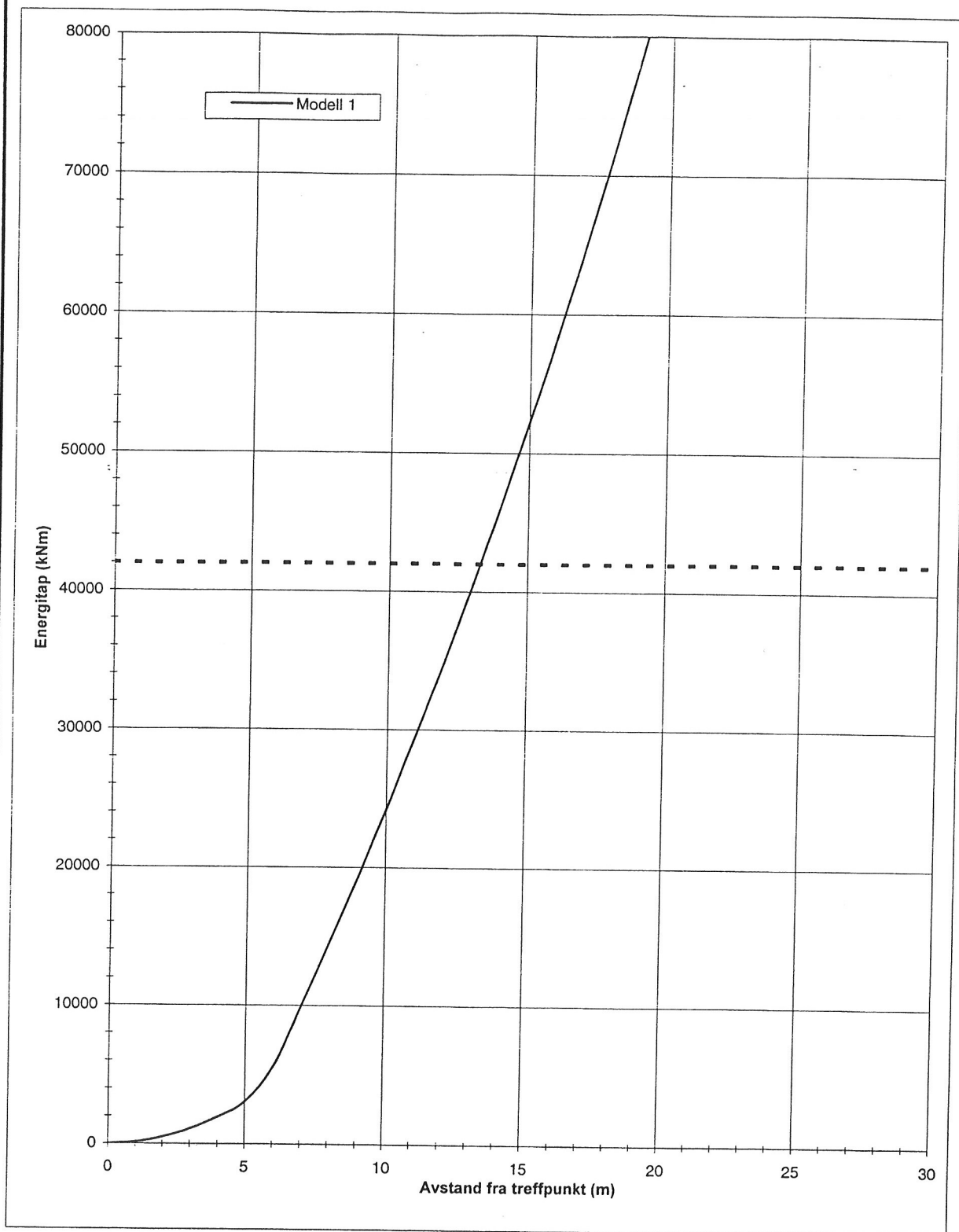
Tegner
TGJ

Dato
28.08.2001

Kontrollert
[Signature]
Godkjent




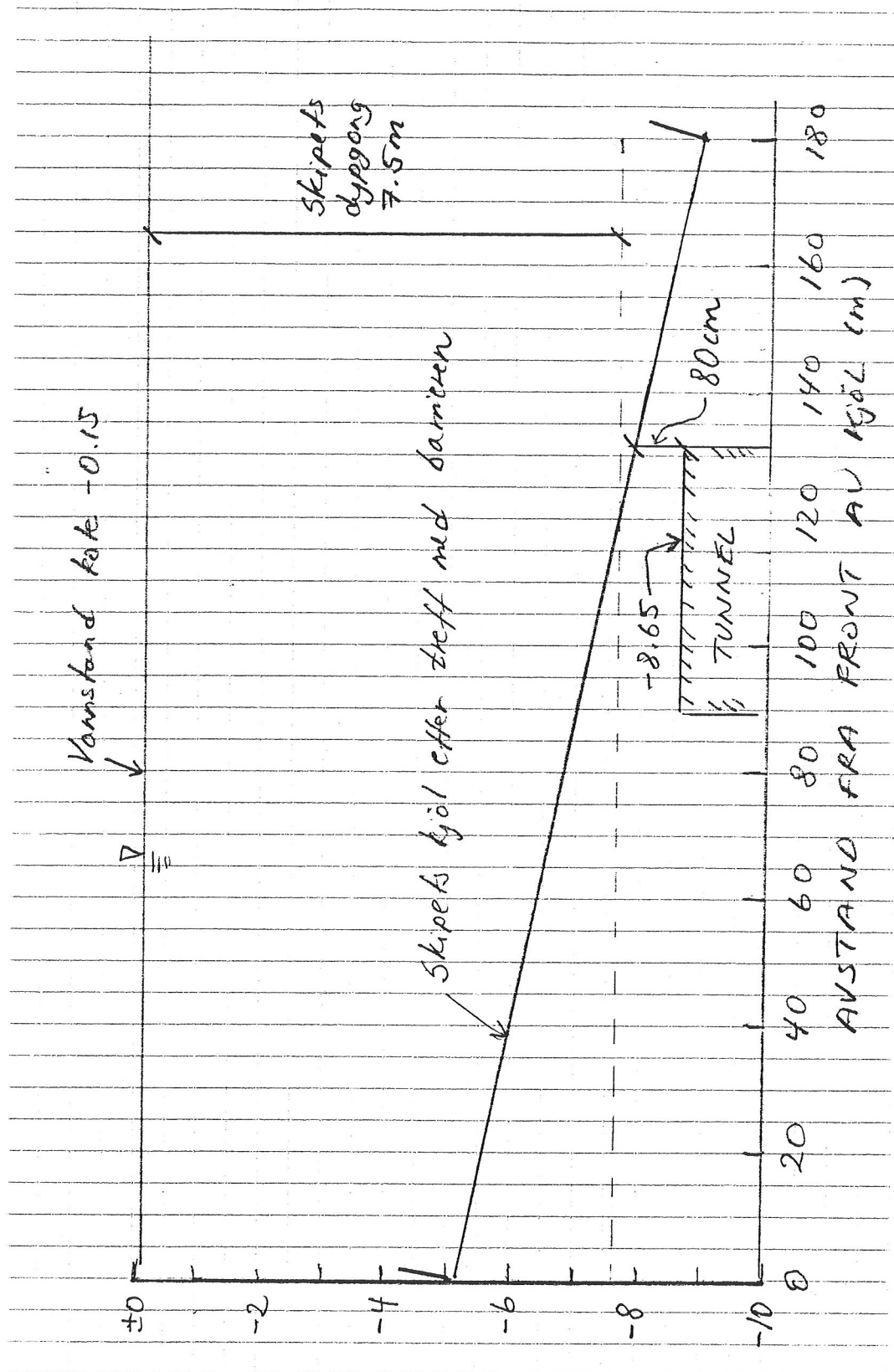




Bredde skip:	11 (m)	Kote topp voll:	-2 (m)
Lengde skip:	78 (m)	Vannstand:	0.1 (m)
Dypgang skip:	3.5 (m)	Helning voll (1:?):	4

F:\P\2000\15\20001583\Div\skipsstot\skipC.xls\Plott energi

DETALJ - OG REGULERINGSPLAN E18 - BJØRVIKA	Rapport nr.	Figur nr.
	20001583	5
	Tegner	Dato
	TGJ <i>TJS</i>	28.08.2001
Energioptak ved skipsstøt, Skip C	Kontrollert	
	Godkjent	



NY OPERA I BJØRVIKA

Posisjon av skipet i forhold til senketunnelen etter treff med barrieren.

Rapport nr.
20001583

Figur nr.
6

Tegner
KK

Dato
01-08-30

Kontrollert
RM

Godkjent



Vedlegg A –Skipsstøt notat fra DNV av 18.07.2001

Postal address: P. O. Box 3930 Ullevaal Stadion, N-0806 OSLO, NORWAY

Street address: Sognsveien 72, OSLO

Internet: \nansen\p\15200015\20001583\div\forside vedlegg notat skipsbarriere.doc

Telephone: (+47) 22 02 30 00

Telefax: (+47) 22 23 04 48

ngi@ngi.no

Bank account: 5096 05 01281

Business No.: 958 254 318 MVA

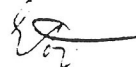
NOTAT TIL: NGI

NOTAT NR. : ead/01aaaad2

FRA : Sikkerhets- og prosessrådgivning

DATO : 2001-07-18

SAKSBEH. : EMIL AALL DAHLE



Kopi: -

Bjørvika. Støt mot operaen (51010361)

1. INNLEDNING

NGI har anmodet DNV om å belyse forholdene vedrørende skipsstøt mot operabygningen som er planlagt plassert i Bjørvika. Årsaken til anmodningen er at vegtunnelen, som i henhold til tidligere planer lå over havbunnen skulle beskyttes av en voll over hele Bjørvika. I de siste planen er imidlertid deler av tunnelen lagt under havbunnsnivå, og behovet for beskyttelse av tunnelen med en voll for denne delen faller dermed bort. Fordi tunnellen nedføring til havbunnsnivå strekker seg et stykke ut i Bjørvika er denne delen beskyttet av en voll, som dekker omtrent 50% av Bjørvika i omtrent øst-vest-retning. Det gjenstående, ubeskyttede området gir adgang for skip, som under gitte forutsetninger kan treffe en skipsstøtbarriere foran operabygningen.

Det er i utgangspunktet hensikten å evaluere relevansen for de samme utgangscenariene som i Ref./1/. Risikoreduserende tiltak ombord i de aktuelle skipene blir behandlet i notatet.

Et utsnitt av det aktuelle området er vist i Figur 1.

2. FREKVENSESTIMERING

Estimering av støtfrekvens for vollen som beskytter den vestre del av tunnellen er presentert i Ref. /1/. Frekvensene baserer seg på at 50% av skip som har mistet kontroll treffer vollen, men de øvrige 50% treffer åpningen i vollen. Denne frekvensen kan ikke anvendes uten videre fordi:

- Ikke alle skip med kurs inn mot den åpne delen av Bjørvika vil kunne treffe operaen av geometriske årsaker
- Potensialet for å gjenopprette kontroll før skipet når frem til operaen er tilstede fordi det er en relativt lang avstand fra enden av den eksisterende vollen og operaen (ca. 180m)
- For skip som har normale anløp inne i Bjørvika vil faren for å treffe en voll foran operaen være relativt større enn for å treffe vollen som beskytter tunnelen.

Disse forholdene er behandlet nedenfor.

1.1 Frekvensreduksjon av geometriske og andre årsaker

I Ref./1/ er de aktuelle skipene inndelt i 6 grupper, og for hver gruppe er det vurdert 4 skipsstøttyper. På grunnlag av dette er det i Ref./1/ beregnet en kumulativ kurve for støtfrekvens mot støtenergi. Ved åpningen av den opprinnelige vollen er det gitt mulighet for passasje inn i Bjørvika for skip som har mistet kontrollen av tekniske eller menneskelige årsaker.

For bevegelser i langskipsretning (baustøt) er det forholdsvis enkelt å beregne frekvensreduksjonen.

For bevegelser i tverrskipsretningen (sidestøt) kompliseres vurderingen av at skip kan treffe vollen med skipets midtpunkt utenfor (den østre) enden av vollen. Skipet vil da rotere, og fortsetter inn i Bjørvika med bauen eller hekken først. Dersom skipet ikke berører vollen vil det fortsette innover sideveis. Sannsynligheten for de ulike muligheten avhenger av skipenes lengde.

Det er her valgt å benytte den totale frekvens (uavhengig av støtenergi) fordi en konstruksjon som operaen ikke i utgangspunktet er konstruert for å motstå skipsstøt. Dersom det er ønskelig kan frekvensen deles inn for ulike støtenergier på et senere tidspunkt.

Det er forutsatt at skipsoperasjonene forgår som i dag. Spesielt bemerkes at taubåter ikke benyttes i Oslo for større skip. En taubåt er imidlertid bestilt av Oslo Havnevesen. Det er ikke tatt hensyn til dette i dette notatet.

1.1.1 Drivende skip

Når det gjelder geometriske forhold vil gruppene Cruiseskip, Linje RO/RO og Ferger, er disse så lange at de bare i ca. 10% av tilfellene vil kunne dreie, og gå inn i Bjørvika dersom de driver. Denne dreingen skjer relativt langsomt slik at skipet før det driver videre inn enten har nødankret eller taubåt har kommet til. Muligheten for å feste i trosse i Bjørvikautstikkeren er også tilstede (dersom den ikke rives i forbindelse med utbyggingen). For andre skipstyper som skal inn til Bjørvika kan de begynne å drive inne i Bjørvika, eller like utenfor. Nødankring vil imidlertid være mulig også for disse.

1.1.2 Pådragsfeil, styremaskinfeil

Det er i Ref./1/ antatt at skip i 50% av tilfellene har kurs mot skipsbarrieren. Dette gjelder skip som ikke skal inn i Bjørvika. Ved pådragsfeil (skipet går forover i stedet for akterover grunnet trykktap i hydraulikksystemet til vripropellanlegget slik at propellen(e) låses i foroverposisjon) vil den godt og vel 150m større avstanden inn til vollen foran operaen gi mulighet for å redusere pådraget eller slå av motoren, men tiden er likevel kort, og farten til et større skip reduseres ikke særlig mye selv om pådraget reduseres eller motoren slås av. Frekvensen for støt blir derfor omtrent som i Ref./1/ for pådragsfeil. Ved feil i styremaskineri for store skip gjelder de samme forholdene, skipenes hastighet vil reduseres noe ved at pådraget reduseres eller motoren slås av, men støtfrekvensen blir omtrent som i Ref./1/. (Motoren kan slås av ved en spesiell avstengningsanordning som egentlig er beregnet for å kutte brennstofftilførslen ved brann i maskinrommet. Det tar imidlertid noe lengre tid å betjene denne på passasjerskip enn på andre skip fordi anordningen av naturlige grunner ikke er plassert inne på kommandobroen).

For mindre skip er forholdene omtrent som for store skip når det gjelder pådragsfeil, men det er i større grad mulig å styre slik at skipet treffer kaia og ikke barrieren foran operaen hvis pådragsfeil skjer i god avstand. Når det gjelder styremaskinfeil vil slike feil være mer kritiske fordi mindre skip som skal inn i Bjørvika er avhengig av at styremaskinen virker når de har passert barrieren og skal svinge til babord forbi operaen. Disse forholdene veier mot hverandre, men styremaskinfeil er tillagt større vekt slik at frekvensen er øket noe for mindre skip som skal inn i Bjørvika.

1.1.3 Menneskelige feil

Denne gruppen er den dominerende i Ref./1/. Den relativt store avstanden fra barrieren som beskytter tunnelen til barrieren foran operaen gjør at muligheten for å gripe inn i tide øker. For store skip som er kommet i godt sig vil det likevel være begrensede muligheter for å klare å stoppe i tide hvis man ikke griper inn tidlig i utviklingen. Muligheten for dette er langt større for mindre skip. Dette er det tatt hensyn til.

For den type menneskelige feil som er mest aktuelle her vil muligheten for helt eller delvis å rette opp feilen ofte være tilstede selv om det bare er en person på broen. Den mest sentrale feilmuligheten vil bestå i at offiserene tar helt feil av fergeleiets plassering ved dårlig sikt og ditto radarforhold (snøtykke eller kraftig regn kombinert med mørke).

1.2 Resultater

Med de momentene som er nevnt ovenfor er frekvensene for de ulike scenarier fra Ref./1/ revidert som vist i Tabell 1. Den første reduksjonsfaktoren dekker geometriske og andre årsaker, den andre dekker menneskelige forhold.

Tabell 1. Frekvens per år for støt mot operaen. Frekvensen dekker alle støtenergier

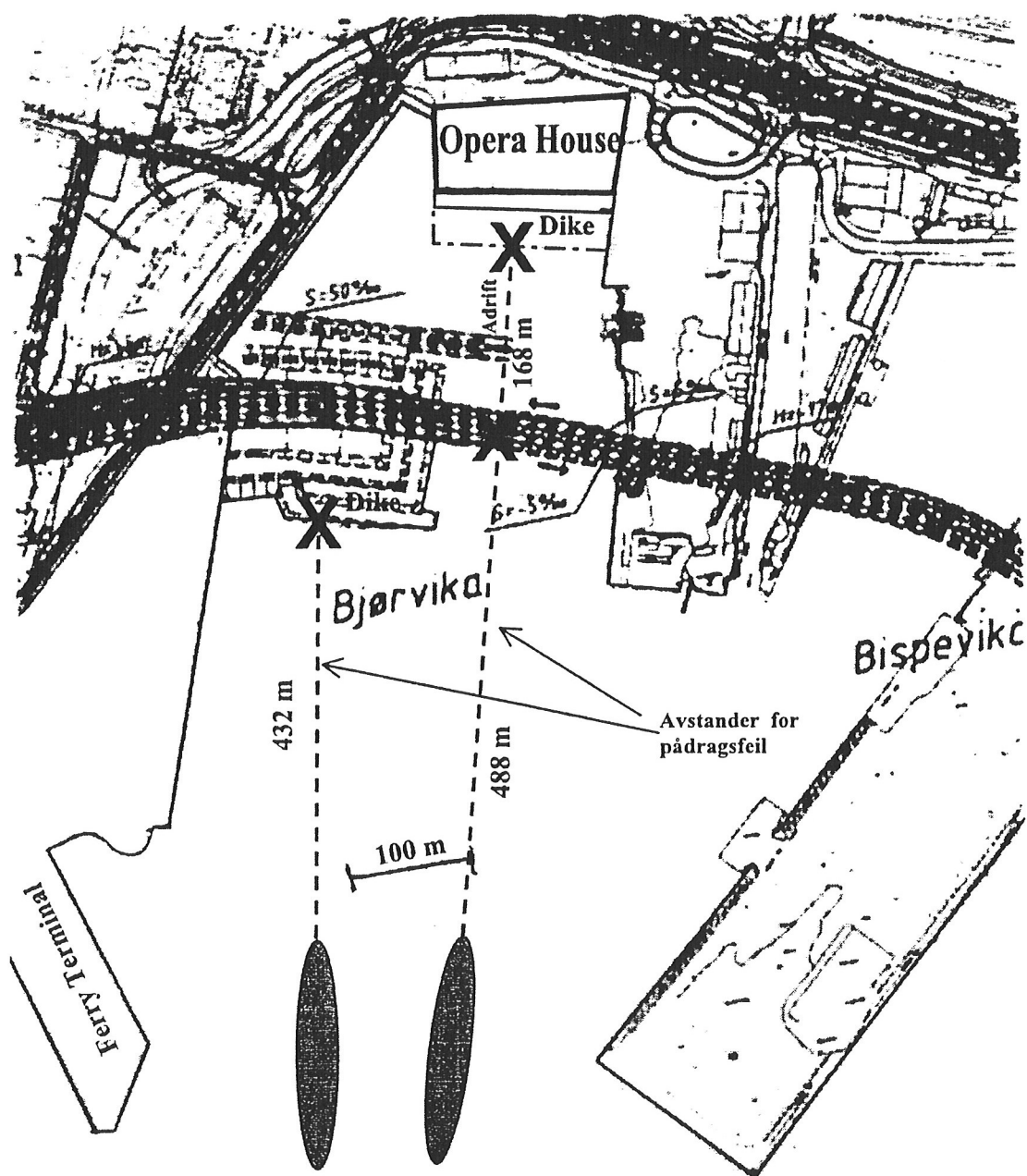
Skips-type	Drivende skip Tabell C-5 fra Ref./1/.				Pådragsfeil, Styremaskinfeil Tabell C-8 og C-9 fra Ref./1/.				Menneskelig svikt Tabell C-11 fra Ref./1/.				Total årlig støtfrekvens mot opera
	Frekvens fra Ref./1/, Tab C-7	Korr. Pga. geometri etc.	Korr. Pga. øket avstand	Korrigert frekvens	Frekvens fra Ref./1/, Tab C-7	Korr. Pga. geometri etc.	Korr. Pga. øket avstand	Korrigert frekvens	Frekvens fra Ref./1/, Tab C-7	Korr. Pga. geometri etc.	Korr. Pga. øket avstand	Korrigert frekvens	
Cruise	1,40E-4	0,1	0,7	9,8E-6	8,71E-5	0,3	0,7	1,83E-5	1,50E-3	0,3	0,6	2,7E-4	2,98E-4
Linje RO/RO	3,75E-3	0,1	0,7	2,95E-4	2,27E-3	0,3	0,7	4,76E-4	4,00E-2	0,3	0,6	7,2E-3	7,97E-3
Ferge	6,83E-3	0,2	0,7	9,56E-4	4,28E-3	0,3	0,7	9,00E-4	7,30E-2	0,3	0,6	1,31E-2	1,50E-2
Nesodd- ferge	8,20E-2	0,4	0,4	1,31E-2	4,92E-2	0,5	0,5	1,23E-2	8,76E-2	0,5	0,9	3,94E-2	6,55E-2
Annen båt i fast rute	6,83E-3	0,4	0,4	1,10E-3	4,14E-3	0,5	0,5	1,04E-3	7,30E-2	0,5	0,9	3,29E-2	3,50E-2
Marine- fartøy	1,40E-4	0,3	0,5	2,1E-5	8,80E-5	0,5	0,5	2,2E-5	1,50E-3	0,6	0,9	8,1E-4	8,53E-4

Sum 0.124

Tabell 2 Støtfrekvens, støtenergi og skipsdata

	Total årlig støt- frekvens mot opera	Deplase- ment (t)	Støt-energi (MJ)	Hastig-het (m/sek)	Bred-de (m)	Lengde (m)	Dyp-gang (m)	Av-vik fra MV (m)
Cruise	2,98E-4	25000	225	4	30	182	7.5	-0.20 +0.25
Linje RO/RO	7,97E-3	20000	100	3	26	118.3	6.5	-0.30 +0.25
Ferge	1,50E-2	3000	42	5	11	75.7	3.5	-0.40 +0.50
Nesodd-ferge	6,55E-2	700	10	5	10	55.6	2.6	-0.40 +0.50
Annen båt i fast rute	3,50E-2	900	13	5	9	69.7	3.1	-0.40 +0.50
Marinefartøy	8,53E-4	2300	32	5	11	35.4	3.6	-0.55 +0.70

Avvik fra MV er hentet fra Tabell C-1, Ref./1/.



Figur 1 Utsnitt av Bjørvikaområdet

3 RISIKOREDUSERENDE TILTAK OMBORD I SKIPENE

Når det gjelder nødankring for drivende skip vil dette normalt bli forsøkt, men er ofte ikke mulig på meget kort tid for "dødt skip". Ved at mindre skip pålegges å kunne ankre raskt ved "dødt skip" kan en bedring oppnås, størrelsesorden 10-20% for denne frekvensgruppen. Enkelte store skip har en ekstra "take-me home" thruster, men denne har liten effekt, og det anses å ha liten betydning om slike innføres på alle større skip.

Som allerede nevnt benyttes ikke taubåter i Oslo, innføring av slike for større skip vil redusere faren for at drivende skip kommer inn mot operaen. Av geometriske årsaker har imidlertid drivende, store skip svært liten sannsynlighet for å komme inn i Bjørvika. Bruk av taubåt er heller ikke et skipsinternt tiltak.

For reduksjon av frekvensen for tekniske feil (styremaskinfeil og pådragsfeil) er det lite som kan gjøres. Større skip kjører normalt begge hydraulikkpumpene til rormaskinen(e), eller har redundante ror. DNV har undersøkt en rekke scenarier med pådragsfeil på store skip i ulike avstander fra barrieren foran operaen. Pådragsfeil er et spesielt farlig scenario fordi det kan ta tid før offiserene forstår problemet. Hvis man ønsker å redusere hastigheten vil offiserene naturlig nok sette propellen i akteroverstilling, og gi pådrag. Dersom vripropellen (grunnet manglende hydraulikktrykk forårsaket av rørbrudd/lekkasje/pumpefeil/kontrollsystemfeil) står låst i foroverstilling ("fail-safe" for slike tilfeller), vil offiserene naturlig nok øke pådraget ytterligere for å bremse opp. Resultatet er da, hvis en pådragsfeil er oppstått, at skipet akselererer forover i stedet for å retardere. En tanke er at de aktuelle rederiene tar denne spesielle tekniske feilen opp med sine offiserer slik at man i alle fall kan fokusere på den ved anløp. Resultatet kan da bli at offiserene rask skjønner hva som skjer, og raskt kan redusere pådraget eller slår av motoren. Dette vil ikke redusere frekvensen for støt, men vil bidra til at hastigheten ikke øker eller går noe ned, og vil på den måten redusere støtenergien dersom en slik meget sjelden hendelse skulle inntreffe. Som før nevnt benyttes ikke taubåt for de aktuelle fergene, noe som heller ikke er tilfellet i de andre havnene som fergene anløper.

Skal en teknisk pådragsfeil som beskrevet ovenfor føre til støt mot vollen foran operaen må skipet ha kurs mot vollen. Sannsynligheten for dette er i seg selv lav fordi en slik pådragsfeil normalt vil oppstå mens skipet har kurs mot fergeleiet. Kombinasjonen kurs mot vollen og pådragsfeil er dermed en hendelse med svært lav sannsynlighet, og frekvensestimatet for hendelsen som oppgitt i dette notatet anses å være konservativ.

Når det gjelder menneskelige feil er det for de store skipene alltid to offiserer på broen under inn- og utsegling. Dette gjelder også marinefartøyer. For Nesoddbåtene og andre båter i fast rute er det ikke nødvendigvis rutine med to offiserer på bro, men det kan ofte være en rormann sammen med en offiser. Dersom havnereglementet krever to personer på bro vil sannsynligheten for utvikling av menneskelige feil på mindre skip bli sterk redusert. Normalt ligger reduksjonen på 60-80%, men i dette tilfellet anslås reduksjonen å bli bare 20-30% både fordi tiltaket allerede er delvis gjennomført, og fordi marginene for å gripe inn er små dersom feilen oppstår under ordinær innseiling i Bjørvika.

Som det fremgår kan skipsinterne tiltak, spesielt krav om to personer på bro på mindre skip ha relativt stor virkning på støtfrekvensen fordi menneskelige feil dominerer.

4 KONKLUSJON

Som det fremgår av Tabell 1, blir den totale årlige frekvens for å treffe en voll foran operaen (for alle støtenergier) på omtrent:

$F = 0,124$ per år, eller returperiode ca. 8 år.

Til sammenlikning er frekvensen for å treffe skipsbarrieren som beskytter tunnelen, i henhold til Ref./1/:

$F = 1,325$ per år, eller en returperiode på ca. 9 måneder.

Frekvensen for støt mot vollen foran operaen kan reduseres ved innføring av operasjonelle krav om to personer på bro for mindre fartøyer under innseiling til Bjørvika, og/eller obligatorisk krav om taubåt som er gjort fast ved alle anløp av større skip i området. Mulighetene for å gjennomføre disse kravene anses i praksis som lite realistiske.

Det anses som langt sikrere og bedre å konstruere en skipsstøtbarriere ("dike", Figur 1) med tilstrekkelig motstandsevne for beskyttelse av operaen. Fordi den årlige støtfrekvensen for hver enkelt av de aktuelle skipstypene ligger over E-4-nivå anbefales det å konstruere barrieren slik at den beskytter mot bau støt fra samtlige av de aktuelle skipstyper med de tilhørende støtenergier som er oppgitt i Tabell 2 i dette notatet. Skipene forutsettes naturligvis å stoppes av barrieren før bauen kommer i kontakt med operabygningen.

4. REFERANSER

Ref./1/. Dr. ing. A. Aas-Jakobsen A.S. Appendix C. Skipsstøtrisiko-Driftfasen. Rapport Nr. 2000-3305. Revisjon nr. 4.

- oOo -



NORGES
GEOTEKNISKE
INSTITUTT
NORWEGIAN
GEOTECHNICAL
INSTITUTE

Vedlegg B – Skipsstøt notat fra DNV av 29.08.2001

Postal address: P. O. Box 3930 Ullevaal Stadion, N-0806 OSLO, NORWAY

Street address: Sognsveien 72, OSLO

Internet: \nansent\p\1200015\20001583\div\forside vedlegg notat skipsbarriere.doc

Telephone: (+47) 22 02 30 00

Telefax: (+47) 22 23 04 48

ngi@ngi.no

Bank account: 5096 05 01281

Business No.: 958 254 318 MVA

NOTAT TIL:

Norges Geotekniske Institutt

NOTAT NR. : ead/01aaaami

FRA : Sikkerhets- og prosessrådgivning

DATO : 2001-08-29

SAKSBEH. : EMIL AALL DAHLE

Kopi:-

**Operaen i Bjørvika-skipstøt. DNV Prosjektnummer 51010390.
Revisjon 2.**

1 INNLEDNING

Det vises til henvendelse (mail av 20 og 24 august d.å.), telefonsamtale den 27 august (Karlsrud/Dahle) og mail til Dahle 29 august angående ønske om data vedrørende:

1. Bauutforming for cruisebåter (som kommer fra sør).
2. Skipsstørrelse/type fartøyer med dypgang $\leq 2\text{m}$ (som kommer fra sør). I tillegg kraft-deformasjonskurve.
3. Skipsstørrelse/type fartøyer som kommer inn mot "kaiplaten" (fra vest). I tillegg kraft-deformasjonskurve.

Fremstillingen nedenfor bygger på det tidligere DNV-notatet "Bjørvika. Støt mot operaen" datert 2001-07-18.

Ved beregning av støtenergi legges 10% til massen av skipet ("medrevet vannmasse"). Ved støt mot betong vil en stor del av energien absorberes av skipets bauparti. Konservativt regnes ofte med at hele støtenergien opptas av skipet, og støtkraft beregnes ut fra det. DNV har tidligere utarbeidet enkle kurver for skip med vanlig bau (ikke bulbbau) ned til deplasement på 5000 tonn. For skip med mindre masse må det foretas en skalering av kraft-deformasjonskurvene. I dette tilfellet er skaleringen basert på at små og store skip (med masse lik eller mindre enn 5000tonn) har platetykkelse proporsjonal med lengden.

2 BAUTFORMING FOR CRUISEBÅTER

Utforming av geometrien for skip under og like over vannlinjen er bestemt av ingeniører mens utformingen over vannet domineres av arkitekter slik at skipene får et særpreg. Nyere cruiseskip vil dermed ha bulbbau av ingeniørmessige årsaker (reduert bølgemotstand), mens bauens helning med vertikalen bestemmes av arkitekter.

Etter å ha sett på en del typiske, moderne cruiseskip er den største helning med vertikalen funnet å være nær 60 grader. Sett fra siden vil bauprofilen være rett.

Man kan ta utgangspunkt i profilen av det skipet som tidligere er benyttet ved dimensjonering av vollen. Det trekkes en linje i forlengelse av øvre del av skanseledning og forover. Så trekkes en linje fra krysningspunkter mellom eksisterende bauprofil og øvre del av bulben. Denne linjen skal ha en vinkel med vertikalen på 60 grader. Der disse linjene skjærer hverandre får man spissen av en ekstrem, men ikke helt uvanlig bau (inklusive skanseledningen, som er en relativt sterk stålkonstruksjon).

Bauens endepunkt vil ligge ca. 5m lenger frem enn på det skipet som tidligere er benyttet ved dimensjonering av vollen. Støtet i forbindelse med dette skipet er i tidligere rapporter og notater betegnet som "Scenario a)", og "Ferge".

Skipet er forutsatt å ha følgende dimensjoner:

Lengde = 180m, Bredde = 30m, Dypgang = 7.5m, Deplasementet (vekten av fortrengt væskemengde) = 25000 tonn.

Bruttotonnasjen er omtrent 50.000BRT. Bruttotonnasjen er et volummål (1BRT = 2.83 kubikkmeter).

3 SKIPSSTØRRELSE/TYPE FARTØYER MED DYPGANG \leq 2M SOM KOMMER FRA SØR

En båt med dypgang på omtrent 2m er ikke benyttet tidligere ved vurdering av støt. Det er derfor fortsatt en lineær nedskalering av "Lokal ferge i fast rute", Scenario d).

Dette gir følgende dimensjoner etc.

Lengde = 35m, Bredde = 7.7m, Dypgang = 2m, Deplasement = 320 tonn

Hastighet kan som for Scenario d) settes til 10knop (5.14m/sek). Denne hastigheten svarer omtrent til "grensehastigheten" for et skip av en slik lengde (Froudes tall omtrent 0.3). Grensehastigheten er omtrent den høyeste hastigheten et ikke planende eller halvplanende skip kan oppnå, og scenariet innebærer dermed at skipet går med full fart inn mot operaen. Dette kan tenkes for eksempel ved sterk beruselse hos føreren an skipet.

Ved å benytte tilnærmede, skalerte kraft-deformasjonskurver fås for 10 knop:

$K = 6MN$

$\delta = 1.5m$

Det forutsettes sentralstøt mot en uendelig stiv betongvegg slik at all energi forbrukes til deformasjon (inntrykking av bauen).

Kraften er tilnærmet proporsjonal med hastigheten.

4 SKIPSSTØRRELSE/TYPE FARTØYER SOM KOMMER INN FRA VEST (MOT "KAIPLATEN")

Man kan her se for seg at "partybåter" kan bevege seg noe ukontrollert i området. Slike båter er relativt små i forhold til Nesoddfergene som er mer aktuelle fordi de antagelig skal inn i området på regulær basis (de benyttes også av og til som "partybåter").

Dermed kan en Nesoddferge, eller "Lokal ferge i fast rute", Scenario d) som også er benyttet som betegnelse være den mest konservative båten for dette støtet. Nesoddfergen har følgende data:

Lengde = 45m, Bredde = 10m, Dypgang = 2.6m, Deplasement = 700 tonn

Grunnet relativt kort akselerasjonslengde bør hastigheten reduseres i forhold til Scenario d), der hastigheten var satt til 10knop. Det foreslås å benyttes en hastighet på 3 knop (1.5m/sek). Dersom dette viser seg å være en kritisk parameter bør det foretas en nærmere vurdering basert på akselerasjonslengde og skipsparametere..

Ved å benytte tilnærmede, skalerte kraft-deformasjonskurver fås for 10 knop:

$$K = 3MN$$

$$\delta = 0.6m$$

Det forutsettes sentralstøt mot en uendelig stiv betongvegg slik at all energi forbrukes til deformasjon (inntrykking av bauen).

Kraften er tilnærmet proporsjonal med hastigheten.

- oOo -

Vedlegg C- Stabilitetsberegninger

C1 INNLEDNING

Dette vedlegg gir dokumentasjon av stabilitet for skipsbarrieren.

Det er utført stabilitetsberegninger for ett typisk snitt for å verifisere at barrieren har tilfredsstillende stabilitet under og etter bygging, samt i byggefase for tunnel.

C2 OVERORDNEDE RETNINGSLINJER FOR UTFORMING AV SKIPSBARRIEN

Det er nødvendig med spesielle tiltak for å kunne bygge opp barrieren til nødvendig nivå. Det er valgt å legge til grunn en løsning basert på vertikaldren i kombinasjon med trinnvis oppbygning av barriere med motfyllinger. Ved å bygge opp fyllingene trinnvis oppnås en styrkeøkning i områdene med vertikaldren før neste fyllingstrinn etableres.

Videre er det generelt lagt til grunn at det legges inn et kraftig armeringsnett eller armeringsduk som tar opp alle horisontale krefter i fyllingen. Effekten av armeringen er i stabilitetsberegningene forutsatt å tilsvare opptak av en horisontal kraft som minst er lik aktivt jordtrykk i fyllingen.

Fordi barrieren for operaen er forventet ferdigstilt før arbeidene med E18-tunnelen tar til må man også ivareta stabilitet når det traues ut for tunnelen på utsiden.

Plantegning og snitt med barrieren inntegnet er vist i figur 1 og 2 i rapportens hoveddel.

C3 STABILITETSBEREGNINGER

Hensikten med beregningene i dette vedlegget er å demonstrere at skipsbarrieren er stabil i alle faser av byggearbeidet. Stabilitetsberegninger er utført med programmet Postograf som benytter beregningsverktøyet BEAST. Beregningene er utført for sirkulærsylindriske glideflater. Det er antatt plane tøyings-forhold, uten noen sideeffekter.

Det er i denne fase ikke utført stabilitetsberegninger som inkluderer krefter fra skipsstøt. Vår erfaring fra dimensjonering og utforming av skipsbarrierene for E18-tunnelen er at ingen tilfeller med skipsstøt ga en større reduksjon i beregnet sikkerhetsfaktor enn 0,2 i forhold til stabilitet uten skipsstøt.

Ulykkestilstanden med skipsstøt, som bare krever 1,0 i sikkerhetsfaktor, skulle derfor være i orden så lenge beregnet sikkerhetsfaktor er større enn 1,2.

C3.1 Styrkeparametere

C3.1.1 Stein

Det er lagt til grunn en friksjonsvinkel på 40° for steinfyllingen i barrierene. Verdien anses å være noe på den konservative siden.

C3.1.2 Leire

Ved alle stabilitetsvurderinger som er gjort i dette vedlegg er det lagt til grunn de karakteristiske in-situ styrkeparametere som ble benyttet for E18-tunnelen over Bjørvika. Disse styrkene er noe lavere enn hva NGI generelt har anbefalt for operabygget, men fordi skipsbarrieren strekker seg et godt stykke ut i Bjørvika er det funnet riktig å benytte de noe lavere styrkeprofilene. Supplerende grunnundersøkelser som nå utføres vil trolig gi et bedre grunnlag for vurdering av styrkeprofiler under barrieren for operaen.

Benyttet karakteristisk skjærstyrkeprofil er gitt ved :

$$S_u^{DSS} = -1,5 \cdot kote - 10 \quad \text{og} \quad S_u^{DSS} \geq 4 \text{ kPa}$$

kote = kote i meter med negativt fortegn

Anisotropi er gitt ved :

$$S_u^{DSS} / S_u^A = 0,7$$

$$S_u^P / S_u^A = 0,4$$

Styrkeoppbygning i områder med vertikaldren

I forbindelse med E18-tunnelen har det vært utført en rekke laboratorieforsøk på prøver fra området (både treaks og direkte skjærforsøk) for å bestemme hvorledes udrenert styrke øker med økende konsolideringsspenning. Innenfor de aktuelle spenningsområder for in situ spenninger og tilleggslaster under barrieren er det på dette grunnlag utarbeidet følgende formler for bestemmelse av udrenerte styrke verdier :

$$\begin{aligned} \text{Aktiv styrke, } s_u^A &= 0,32(\Delta\sigma_v' + \sigma_{v0}') \\ \text{Direkte skjær styrke, } s_u^{DSS} &= 0,23(\Delta\sigma_v' + \sigma_{v0}') \\ \text{Passiv styrke, } s_u^P &= 0,18(\Delta\sigma_v' + \sigma_{v0}') \end{aligned}$$

hvor σ_{v0}' = In situ vertikal effektivspenning

$\Delta\sigma_v'$ = Tillegg i effektiv vertikalspenning under konsolidering

Dette innebærer at gjennomsnittlig styrke (gjennomsnitt aktiv, passiv, og direkte skjær) er gitt ved:

$$\text{Midlere styrke, } s_u = 0,243(\Delta\sigma_v' + \sigma_{v0}')$$

Med hensyn til tilleggsspenningen så er det i beregningene lagt til grunn at man har oppnådd 90 % konsolidering etter første oppfyllingstrinn.

C3.2 Krav til sikkerhetsfaktorer

Med hensyn til valg av sikkerhetsfaktor eller materialfaktor er det lagt til grunn at man ved en fremtidig uttrauing for E18-tunnelen skal ha en materialfaktor på minst $\gamma_m = 1,5$ da denne tilstanden kan være ganske kritisk.

Under det første oppfyllingstrinnet ved trinnvis oppfylling er det lagt til grunn en minste materialfaktor på $\gamma_m = 1,4$.

C4 RESULTATER AV STABILITETSBEREGNINGER

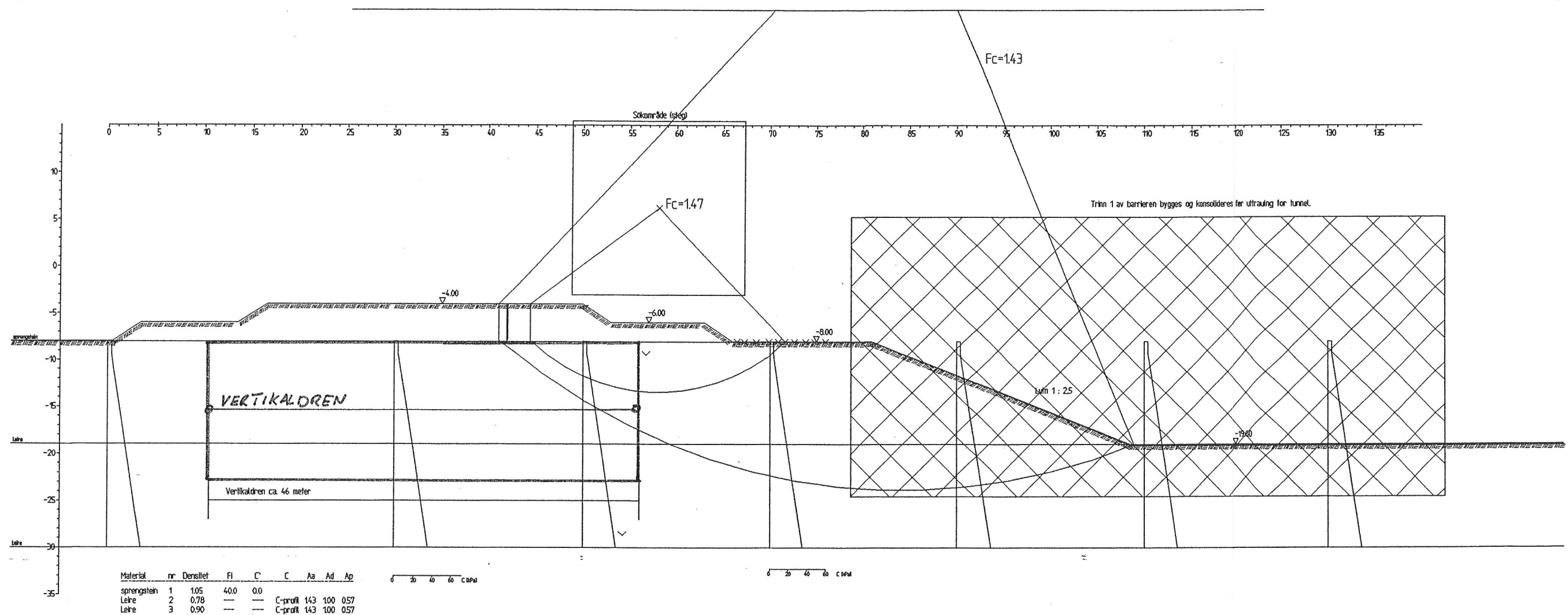
Figurene C1 og C2 viser resultater av stabilitetsberegninger for typisk snitt. Figur C1 viser trinn 1 av barrieren før konsolidering i vertikaldrensonen. Det er forutsatt at det ikke traues ut for E18-tunnelen i denne fasen. Figur 2 viser den ferdige barrieren med uttrauing for E18-tunnelen. Stabiliteten er tilfredsstillende i begge faser. I det etterfølgende er det knyttet noen generelle kommentarer til gjennomføringen av barrieren.

C4.1 Generelle kommentarer

Barrieren etableres trinnvis, og gangen i arbeidene beskrives i det følgende :

- Det mudres ut til kote -8 under hele barrieren og helt fram til toppen av fremtidig graveskråning for uttrauing for E18-tunnelen.
- Det kreves en minste avstand fra ytterste fot av barrieren til topp av graveskråning på 15 meter.

- Det legges et lag med grus/sand under hele området hvor det skal legges ut fylling. Minimum tykkelse 0,5 meter.
- Vertikaldren installeres gjennom gruslaget i de områder hvor vertikaldren er foreskrevet.
- Etter at vertikaldren er installert legges det ut en armeringsduk over hele området hvor det skal fylles.
- Etter at armeringen er lagt ut fylles det opp for trinn 1 av fyllingen og leira under fyllingene får konsolidere til 90 % konsolidering er nådd. Dette vil ta ca. 6 måneder med senteravstand 1,3 meter for vertikaldrenene.
- Etter konsolidering bygges barrieren opp til ferdig profil.



Ny opera i bjørvika

Skipsbarriere
Trinn 1 før konsolidering

Rapport nr.
20001583

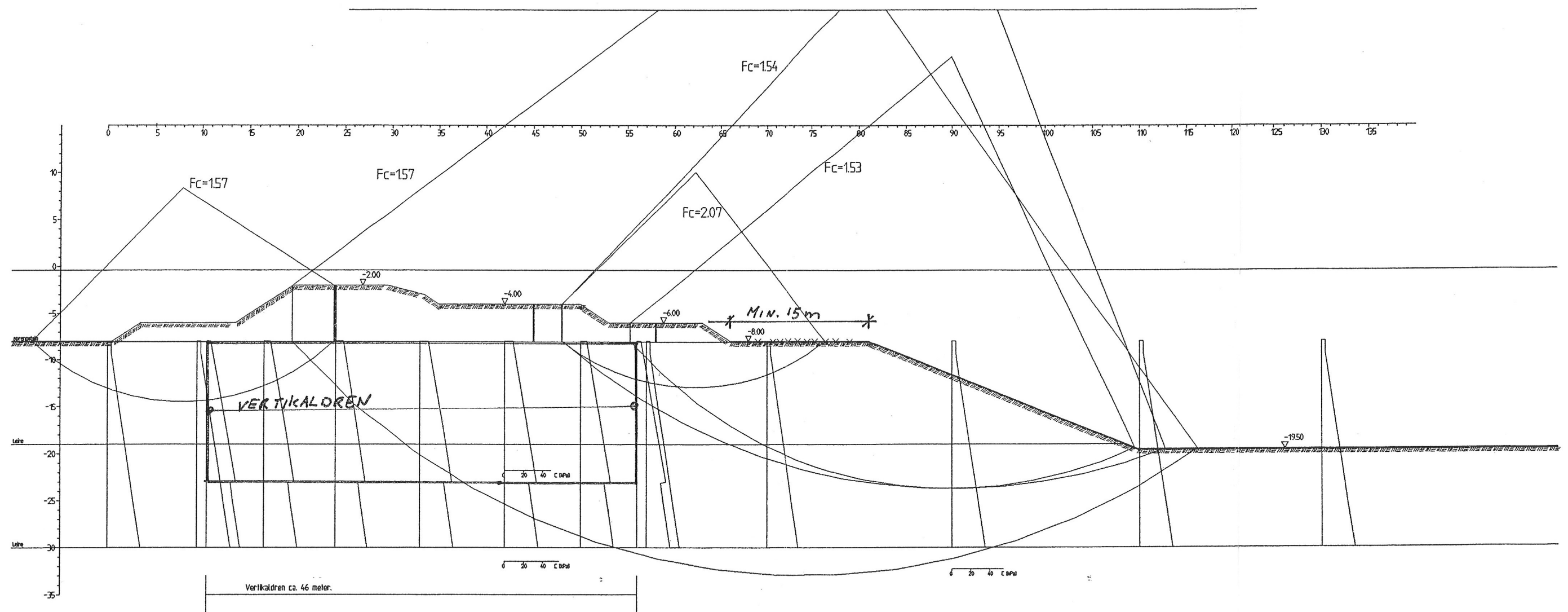
Figur nr.
C1

Tegner
TGJ

Dato
01.08.27

Kontrollert
Godkjent





Material	nr	Densitet	Fi	C'	C	Az	Ad	Ap
sprengstein	1	105	40.0	0.0				
Leire	2	0.78	—	—	C-profil 143	100	0.57	
Leire	3	0.90	—	—	C-profil 143	100	0.57	

NY OPERA I BJØRVIKA

Stabilitet av barriere.
Etter konsolidering.
Med utgraving for tunnel.
IKKE I MÅLESTOKK

Rapport nr.
20001583

Figur nr.
C2

Tegner
TGJ

Dato:
01.08.28

Kontrollert
RAL
Godkjent



Vedlegg D- Konsekvens av støt mot kaifront (notat fra RREH)

Operaen

Skipsstøt fra syd mot kai/foajé

Energiopptak av konstruksjon i kaifronten

Input:

Foreløpig teknisk notat fra KK/NGI datert 24/8 -01

Notat fra EAaD/DNV datert 29/8-01

Skipsstøt fra båt med dypgang 2m, 10 knop, deplasement 320 tonn

Støtenergi 4,65 MNm.

Dersom kaifronten er uendelig stiv vil knusing av baugen oppta all energi med en maks støtkraft på 6000kN og en angitt inntrengning på 1,5 m (må være avhengig av fordelingsflate for støtet).

Alternativ a

Kaifronten er uendelig stiv, og all lasten tas opp som jevnt fordelt trykk i 400 mm tykk kaiplate.

Bredden for en typisk aktuell båt er angitt til 7,7 m. Antas baugbredden etter støtet å være tredjeparten av dette, blir responsen i betongplaten ca. 6 mPa forutsatt jevn spenningsfordeling..

Hvilket dekket vil tåle.

(Men en lite hyggelig situasjon med båten trengt 1,5 innover kaifronten!!)

Alternativ b

Konstruksjonen i kaifronten tar opp all støtenergi.

Konsept-skisse:

Betongskjørt (400mm tykt det også) i forkant av kaiplaten. En konstruksjon (horisontal avstivningsbjelke som fordeler støtet over en viss bredde) i uk skjørt f.eks. kombinert med en brygge sørger for at energien tas opp ved at skjørtet forskyves innunder platen..

Energien opptas ved rotasjon av skjørtet med flyteledd i senter kaiplate.

(Må sørge for god sikkerhetsavstand til ytre pelerad!).

Forutsetninger i beregningene:

- ok betongplate kote 2,0 (sand/gatevarme/heller kommer ovenfor)
- platetykkelse 400 mm
- støtkraften treffer skjørtet 1,3 m under flyteleddet, dvs kote 0,5 = hhv 2000/1år
- betong C55 og armering 2Ø20 c 100 gir flytemoment ca.700 kNm/m

Resultat:

Fordeles støtkraften over 10 m kaifront roterer kaifronten 0,66 rad, dvs at støtpunktet forskyves 0,9 m innunder kaiplaten.

Støtkraft 5400 kN

Alternativ c

Baugen og kaifronten opptar begge støtengi.

Beregningsresultatet i alternativ b tilsvarer omtrent støtkraften fra alt a.
Mao er det nærliggende å anta at med konseptet som skissert ovenfor så bli eneregien opptatt omtrent 50/50 av baug og kaifront.

Baugen skulle da trenge omtrent $0,5 * 0,9 + 0,5 * 1,5 = 1,2$ m forbi treffpunktet.
Dvs. at det bygges en stiv brygge etc. i uk skjørt med en bredde på ca. 1,5 m (etter støtet) så vil baugen stanses før den kommer frem til kaifronten.