

| | | | |
|--|----------------------------|--|--------------------|
| Rapport nr. | 90.099 | ISSN 0800-3416 | Åpen/Fortrolig-til |
| Tittel: Refleksjonsseismiske undersøkelser av skredaktivitet i Trondheim havn, Sør-Trøndelag | | | |
| Forfatter: K. Bjerkli H. A. Olsen | | Oppdragsgiver: Trondheim kommune | |
| Fylke: Sør-Trøndelag | | Kommune: Trondheim | |
| Kartbladnavn (M. 1:250 000) Trondheim | | Kartbladnr. og -navn (M. 1:50 000) 1621.4 | |
| Forekomstens navn og koordinater: | | Sidetall: 11 | Pris: 70,- |
| | | Kartbilag: 2 | |
| Feltarbeid utført: Mai/juni 1990 | Rapportdato: 04.07.1990 | Prosjektnr.: 66.2301.20 | Seksjonssjef: |
| Sammendrag: <p>På oppdrag fra Trondheim kommune, Teknisk avdeling, har NGU utført en refleksjonsseismisk undersøkelse i østlig del av Trondheim havneområde. Formålet med undersøkelsen er å bidra til klargjøring av årsak og skadeomfang i forbindelse med skredaktivitet ved Ladehammeren den 25.04.90.</p> <p>Skredet, som vurderes å være et retrogressivt flyteskred i de øvre sandmassene, synes ikke å ha påvirket underliggende leiravsetninger. Utløsende årsak antas å være rystelser fra sprengningsarbeider i Ladehammeren. Skredets omfang nær land kan være betinget av svært lav lav-vannstand. Det er utviklet markerte raviner i sjøbunnen utenfor Nyhavna.</p> <p>Videre utfyllingsarbeider i strandsonen bør innstilles.</p> <p>Det anbefales å opprette et overvåkingsprogram for hele sjøbunnsområdet langs Trondheim havn.</p> | | | |
| Emneord | Maringeologi | Rasfare | |
| Mektighet | Erosjon | Refleksjonsseismikk | |
| | | | |

INNHOOLD

1. INNLEDNING
2. DATAGRUNNLAG
3. HOVEDTYPER, FORDELING OG MEKTIGHET AV SEDIMENTER
4. KONKLUSJONER VEDR. SKREDAKTIVITETEN 25.04.90.
5. FORSLAG TIL OVERVÅKINGSPROGRAM FOR HAVNEOMRÅDET
6. LITTERATUR

Appendix:

1. Refleksjonsseismiske målinger.
2. Automatisk posisjonering.

KARTBILAG.

- 90.099-01: Datagrunnlag og mektigheter (målinger 1986/87),
1:10.000.
- 90.099-02: Datagrunnlag og mektigheter (målinger mai/juni 1990),
1:10.000.
- 90.099-03: Omfang av raset 25.04.90, 1:20.000.

1. INNLEDNING

På oppdrag fra Trondheim kommune, Teknisk avdeling, har NGU utført en refleksjonsseismisk undersøkelse i østlig del av Trondheims havneområde. Formålet med undersøkelsen er å bidra til klargjøring av årsakssammenheng og skadeomfang i forbindelse med undersjøisk skredaktivitet ved Ladehammeren den 25.04.90.

Feltarbeidet ble utført fra NGUs forskningsfartøy SEISMA den 15., 16. og 19. mai og 7. juni. Datainnsamlingen er basert på refleksjons-seismisk profilering med signalkilde ELMA. Posisjonering er utført ved hjelp av Motorola Falcon 484 automatisk posisjoneringssystem. Metodikk og datatolkning er nærmere bestrevet i Appendix 1 og 2.

Følgende har deltatt under feltarbeidet:

K. Amundsen/O. Longva (skipper)
R. Bøe (geolog/navigatør)
P. T. Moen (ing./maskinist)

Trondheim, 04.07.90

Kristian Bjerkli
Kristian Bjerkli
programleder for maringeologi

Heidi A. Olsen
Heidi A. Olsen
avd. ingeniør

2. DATAGRUNNLAG

Vurderingene er basert på to ulike datasett:

- Utsnitt av data innsamlet i 1986/87 fra en regional undersøkelse av de maringeologiske forholdene i strandsonen fra Trondheim havn til Hommelvik (kfr. NGU rapport nr. 89.047) er retolket og sammenstilt i tegning nr. 90.099-01. Dette datasettet, hvor transponderkoordinatene ved Motorola-posisjonering ble angitt ved innmåling i kart (1:50.000), ble opprinnelig innsamlet med tanke på presentasjon i målestokk 1:20.000 - 1:50.000.

- Datasettet innsamlet i mai/juni 1990, hvor profillinjenes plassering ble valgt i samråd med Trondheim kommune, Geoteknisk seksjon, er presentert i tegning nr. 90.099-02. Motorola-posisjoneringen av dette datasettet er basert på 3 transponderoppsett. Ved to av oppsettene (Ladehammeren og Pir 1) ble koordinatene innmålt i felt av Trondheim kommune, mens det tredje oppsettet (Munkholmen) ble innmålt i kart 1:50.000.

Av hensyn til forskjellig nøyaktighetsgrad i posisjonering og forskjell i retninger i og tetthet av profilnettene, bør det ikke trekkes for detaljerte konklusjoner ved sammenligning av de to datasettene. Konturintervallene i mektighetskartene i tegning nr. 90.099-01 og 90.099-02 er satt til 10 millisekund (ms) 2-veis gangtid idet signalkildens oppløsning er 5 - 7 ms.

Vanddypsdata i tegning nr. 90.099-01 er gjengitt fra Statens Kartverk, div. Norges Sjøkartverks hydrografiske original VII-109. I tegning nr. 90.099-02 er vanddypsdata hentet fra målinger utført av Fjellanger-Widerøe i mai 1990. Vurdering av endringer i vanddyp er i noen grad trukket inn i vurderingen av skredaktiviteten den 25.04.90 under forbehold av at de to datasettene for vanddyp tillater slik sammenligning.

3. HOVEDTYPER, FORDELING OG MEKTIGHET AV SEDIMENTER

Hovedtrekkene i sjøbunnens geologiske oppbygging, skredaktivitet og ravinerings samt helningsvinkler på sjøbunnsoverflaten innen Trondheims havneområde er bekrevet i NGU rapport 89.047 (tegning nr. 89.047-05).

Innen det undersøkte området består sjøbunnsavsetningene over morene/fjell av silt-/leirdominerte sedimenter som er overlagret av sandige, i vesentlig grad elveavsatte, sedimenter. Sandlaget ligger på en tildels strømerodert overflate av silt-/leiravsetningen.

De største sedimentmektighetene (sand og silt/leir) over morene/fjell er lokalisert i strandsonen (nær nåværende kote

- 25) like nordøst for Pir 1 med verdier opp til 175 ms (tegning nr. 90.099-02). Et annet større sedimentbasseng (ca. 110 ms) er lokalisert rett nord for innseilingen til Nyhavna ved nåværende kote - 60.

Sandlagets mektighet ligger mellom 20 - 25 ms, stedvis opptil ca. 30 ms.

Området begrenset av Ladehammeren, Pir 1, Munkholmen og den gamle skredgropa samt området mellom skredgropene utenfor Brattøra og Ilsvika bør betraktes som erosjonsrester med særlig potensiale for skredaktivitet (NGU rapport nr. 89.047).

4. KONKLUSJONER VEDR. SKREDAKTIVITETEN 25.04.90

Undersøkelsene utført i mai/juni 1990 gir ingen indikasjoner på at det har skjedd større endringer innen de silt-/leirdominerte sedimentene, verken m.h.t. forløpet av den gamle skredgropa mellom Munkholmen og Ladehammeren eller setningsbruddene like syd for denne (kfr. NGU rapport 89.047, side 6). Skredet den 25.04.90 antas ut fra dette å være et flyteskred i de øverst liggende sandavsetningene.

Skredgropas omfang under vann (tegning nr. 90.099-03) er i hovedsak avgrenset til utbredelsen av signatur for utraste og forstyrrede overflatesedimenter i de refleksjonsseismiske målingene.

Skredgropas form kan tyde på en retrogressiv skredutvikling (Andresen og Bjerrum, 1968) som har startet et stykke fra strandsonen. En utløsende årsak til skredet kan være sprengningsarbeider i forbindelse med Ladehammeren renseanlegg som ble igangsatt noen dager tidligere. En medvirkende årsak til skredets omfang inn mot land antas å være at bevegelsen fant sted i begynnelsen av en periode med svært lave lav-vannsverdier.

Skredaktiviteten har medført en markert overfordypning i sjøbunnen tvers av fyrlykta ved innseilingen til Nyhavna. Det er utviklet 2 markerte raviner, henholdsvis mot nord og nordvest, i ytre del av det overfordypte området. Mellom ravinene har det funnet sted en oppgrunning ved NSKVs kote ca. -40. Oppgrunningen antas å skyldes en resedimentasjon, i hovedsak, av de utraste grove vegmassene fra Ormen Langes vei. Like nord og nordøst for oppgrunningen er det påvist ny overfordypning i sjøbunnen. Også i sydlig del av denne overfordypningen ligger det resedimentert grovere masser som gir totalrefleksjon av den utsendte akustiske energien. Det antas at den initierende flyteskredsaktiviteten fant sted her ute.

En sammenligning mellom nye og gamle vanddypsmålinger kan tyde på at det har foregått en liten nivåsenkning av sjøbunnens overflate i området mellom skredgropas vestkant og Munkholmen. Nivåforskjellen er såvidt liten (ca. 1 - 2 m) at den ikke er registrerbar på refleksjonsseismikk. Dersom denne nivåsenkningen er reell, d.v.s. ikke har sin årsak i forskjeller i

målemetodikk/-nøyaktighet, kan den skyldes setning i sedimentene eller en massebevegelse ved f.eks. spontan fluidisering i sandlaget (Andresen og Bjerrum, 1968). En eventuell massebevegelse i dette området behøver ikke nødvendigvis å ha funnet sted samtidig med skredet 25.04.90 ved Ladehammeren, men kan ha sin årsak i tidligere rystelser i sjøbunnen.

En sammenligning av mektighetskartene, tegning nr. 90.099-01 B og 90.099-02 B, kan tyde på at total mektighet til morene/fjell i området ved ca. kote -30 nord for Pir 1 er blitt redusert ved de siste målingene. Såvidt en kan se viser ikke de gamle og nye vanndyps-målingene en tilsvarende signifikant nivåsenkning av sjøbunnen. En har derfor foreløpig valgt å tilskrive mektighetsforskjellene ulik posisjoneringsnøyaktighet og datatett mellom de to refleksjonsseismiske datasettene (kfr. kap. 2 DATAGRUNNLAG).

Ved en befaring i anleggsområdet ved Ladehammeren den 03.07.90 ble det observert mindre utrasninger i sjøen fra utlagte tunnelmasser. Bevegelsene i fyllmassene vurderes å være forårsaket av utglidning i de underliggende sandige sjøbunnsavsetningene.

Isolert sett medfører ikke en skredaktivitet på land langs Ladehammeren noen særlig alvorlige konsekvenser. Området er, med unntak av Maritime Skolesenters boligplattform, ikke bebygget.

Imidlertid bør de endringene i den utenforliggende sjøbunnen som skredaktivitet har medført, ved stedvis overfordypning med kraftig ravinering og opphoping av resedimenterte masser, betraktes med alvor. Det er kjent fra andre områder med tilsvarende geologiske forhold som de en har i Trondheims havneområde, f. eks. Orkanger, at et mindre skred i strandsonen kan forårsake betydelig skredaktivitet med stort omfang (Karlsruud, 1979).

På denne bakgrunn advares det mot videre utfyllingsarbeider av vesentlig omfang både utenfor Ladehammeren og langs strandsonen i havneområdet forøvrig.

5. FORSLAG TIL OVERVÅKINGSPROGRAM FOR HAVNEOMRÅDET

På bakgrunn av de skredaktivitetene som allerede har funnet sted samt områdets geologiske oppbygging, anbefales det å tilrettelegge et overvåkingsprogram for havneområdet i Trondheim. Programmet, som i detalj bør utarbeides av både geologisk og geoteknisk fagkompetanse, bør omfatte området mellom Ladehammeren, Pir 1 og Munkholmen og området utenfor Brattøra - Ilsvika. Overvåkingen bør omfatte både de geologiske/geotekniske forholdene ved gamle skredkanter (silt/leire) og i det øverste sandlaget.

Datainnsamlingen bør baseres på ekkolodd, refleksjonsseismikk og sidesøkende sonar. Det bør også anlegges et stasjonsnett for prøvetaking/sondering. Alle de akustiske målingene bør utføres langs et på forhånd fastlagt profilnett. Krav til nøyaktighet av

posisjonsdata bør være den samme for all datainnsamling.

Normalt vil det være tilstrekkelig å utføre overvåking en gang pr. år. Imidlertid bør det i perioder med større anleggsaktivitet i området (sprengninger, vibrasjoner m.m.) utføres overvåking 2 - 3 ganger årlig. Dersom ny skredaktivitet observeres, bør overvåking igangsettes umiddelbart.

6. LITTERATUR

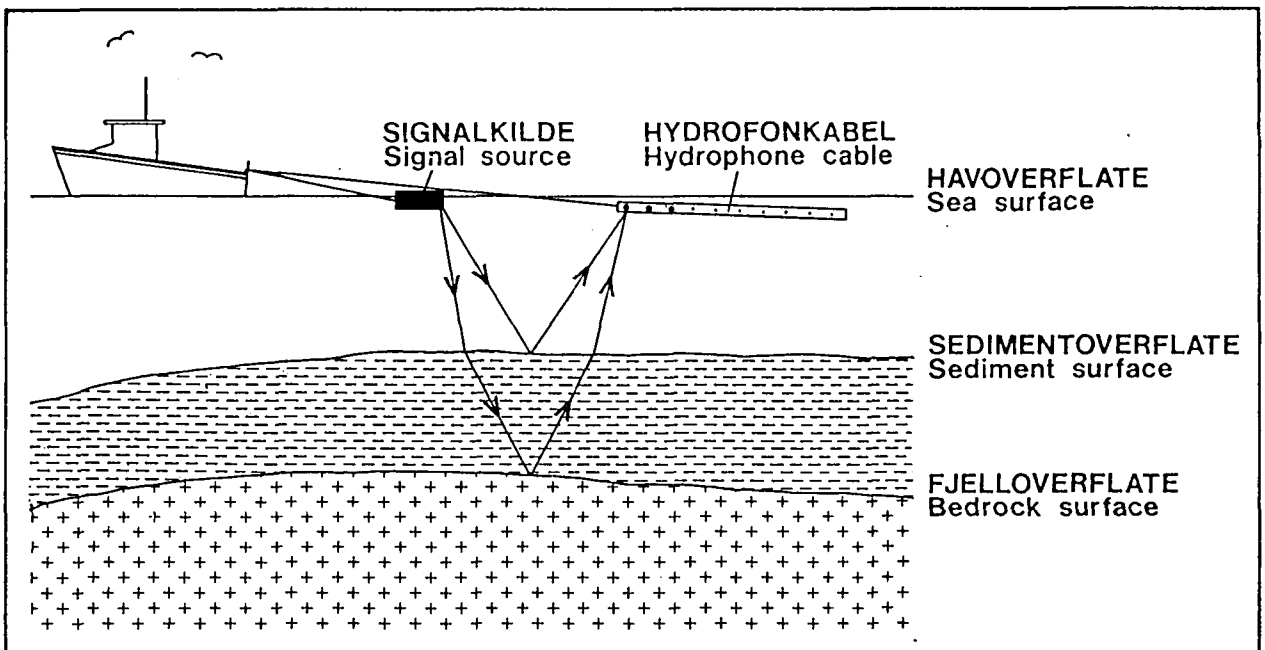
- Andresen, A. & Bjerrum, L. 1968: Slides in subaqueous slopes in loose sand and silt. Norges Geotekniske Institutt. Publikasjon 81.
- Bjerkli, K. & Olsen, H. A. 1989: Maringeologisk kartlegging i området Trondheim - Hommelvik, Sør-Trøndelag. NGU rapport nr. 89.047.
- Karlsruud, K. 1979: Undersjøiske utglidninger og skred. NGI-rapport 52200-1.

APPENDIX 1

REFLEKSJONSSEISMISKE MÅLINGER.

Ved den refleksjonsseismiske målemetoden sendes en seismisk bølge (lydpuls) ut fra ett punkt, og mottas i et annet punkt.

I praksis skjer dette ved at det sendes lydsignaler ut fra en signalkilde. Lyden vil forplante seg i det mediet den sendes ut i, for så å reflekteres ved overgangen til et annet medium. Mottak av det reflekterte signalet skjer ved hjelp av en hydrofonkabel ("lyttekabel").



Ved refleksjonsseismiske målinger registreres den utsendte lydimpulsen "2-veis gangtid". Dette er tiden lydimpulsen bruker på å forplante seg fra lydkilden, ned til en reflekterende horisont, og derfra tilbake til hydrofonkabelen. De reflekterende horisontene representerer grenseflater mellom medier med forskjellige fysiske egenskaper, blant annet forskjell i tetthet og seismisk hastighet. Eksempel på slike grenseflater er overgangen mellom vann/sediment og overgangen sediment/fast fjell.

Dersom en kjenner den seismiske hastigheten for et lag, kan en ved å måle tiden fra utsendelse til mottak av en lydimpuls, finne lagets mektighet.

Beregningseksempel:

Lydhastighet for laget: 2000 m/s
Målt 2-veis gangtid : 100 ms = 0.1s

Lagets mektighet: $2000 \text{ m/s} * 0.1 \text{ s} / 2 = 100\text{m}$

Vanlige lydhastigheter (seismiske hastigheter) for sedimenter i sjøen vil være:

| | | |
|-----------|---|-----------------|
| Vann | : | ca. 1500 m/s |
| Leir | : | 1500 - 1800 m/s |
| Sand/grus | : | 1500 - 1700 m/s |
| Morene | : | 1500 - 2800 m/s |
| Fjell | : | > ca. 4000 m/s |

Penetrasjonsevne (evne til å trenge ned i løsmasser/bergarter) vil være avhengig av type signalkilde, men også av geologiske forhold. Lydpulsen vil generelt forplante seg lett gjennom silt/leir- holdige sedimenter, selv om disse kan inneholde en del sand og grus. En større del av energien vil derimot reflekteres fra overflaten av morene og godt sortert sand/grus.

Den vertikale oppløsningen (detaljeringsgraden) vil hovedsakelig avhenge av type signalkilde. Seismiske signalkilder som Uniboom, Sparker, Luftkanon og Elma, gir registreringer med vertikal oppløsning mellom ca. 5 - 15 ms.

Den refleksjonsseismiske metoden kan gi en del uønskede reflektorer som vil være vanskelig å skille fra reelle reflektorer. De viktigste av disse er multipler og sideekko.

Multipler: Noe av energien fra en lydbølge som er reflektert til havoverflaten vil bli reflektert ned igjen fra grenseflaten hav/luft. Lydbølgen vil dermed gå en, eller normalt flere ganger ned til underliggende grenseflater for så å bli reflektert til overflaten og bli registrert på nytt. På de seismiske profilene vil dette bli tegnet ut som nye horisonter mot økende dyp. Disse "falske" horisontene kalles multipler. I mange tilfeller vil det være vanskelig å identifisere geologiske grenseflater under 1. multippel.

Sideekko: Sideekko eller siderefleksjoner oppstår fordi lydbølger etter utsending sprer seg i alle retninger i stedet for ideelt sett bare å gå loddrett ned. I smale og dype fjorder kan lyden bli reflektert fra fjordsidene og forårsake uønskede ("falske") reflektorer. Det samme kan skje ved svært kuperte bunnforhold. Slike "falske" reflektorer kan dels skygge helt over, og dels være vanskelig å skille fra reelle reflektorer.

De signalkilder NGU benytter er:

| | | |
|-----------|--------------|-----------|
| Luftkanon | , oppløsning | 8 - 10 ms |
| Elma | , oppløsning | 5 - 7 ms |

APPENDIX 2

POSIJONERING.

Automatisk posisjonering.

Utstyr: Motorola Miniranger , Falcon 484
HP 9836 datamaskin med 2 diskettstasjoner

Posisjonering ved hjelp av Motorola Miniranger er basert på å måle avstanden fra båten til to koordinatbestemte punkter på land.

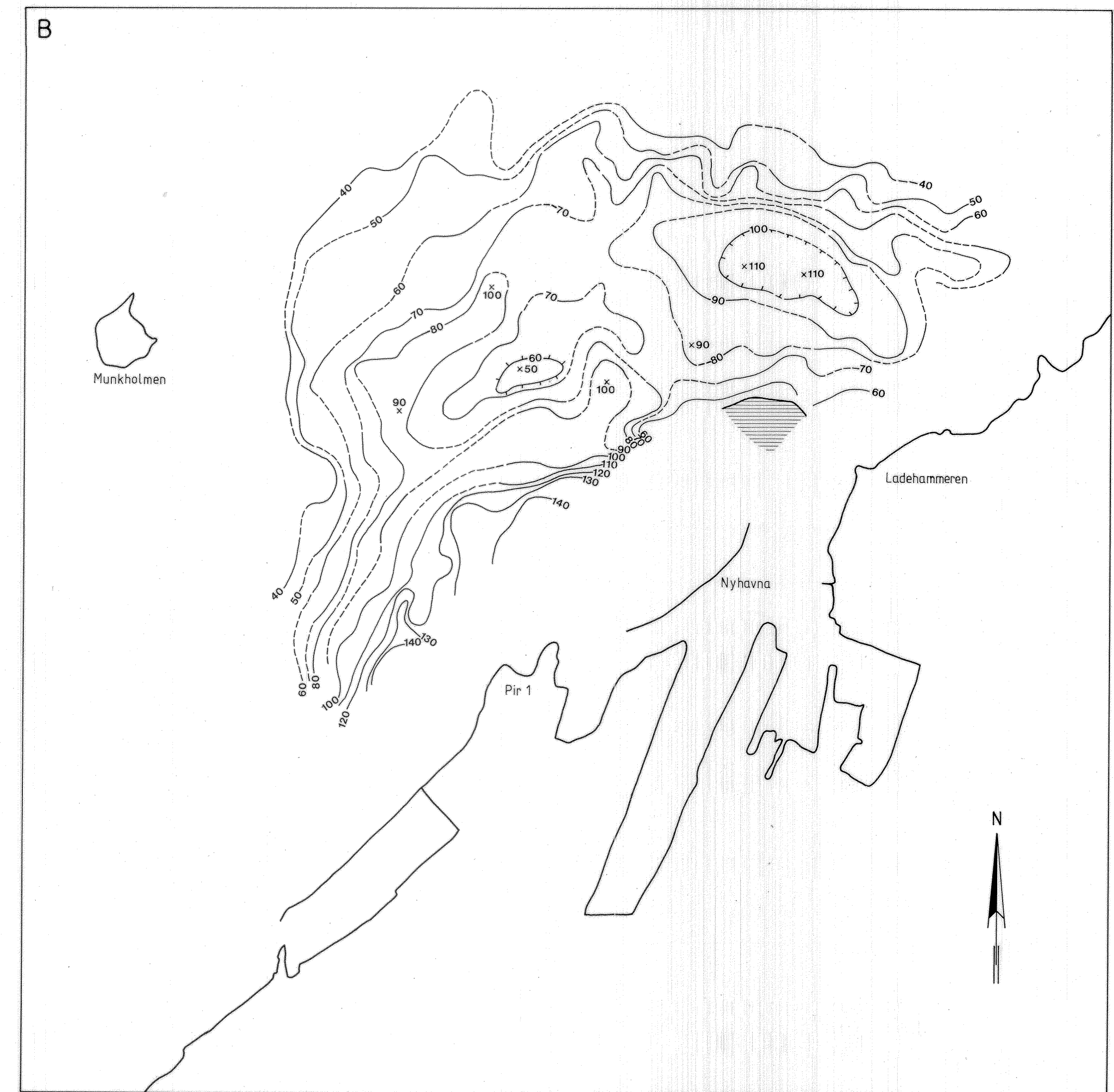
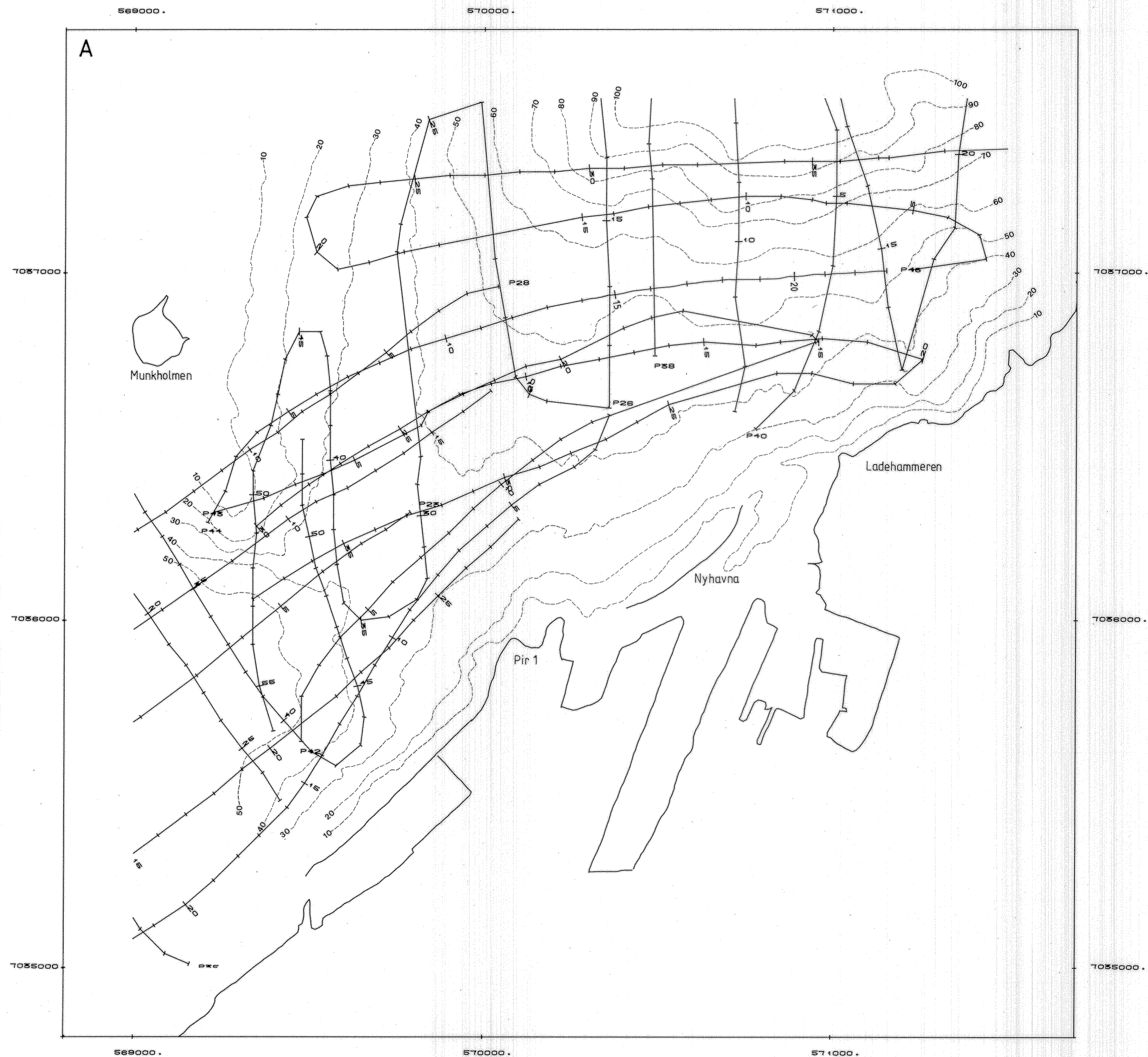
En sender/mottaker-enhet ombord i båten sender ut radiopulser til transpondere (peilestasjoner) plassert på land. Transponderne "svarer" med å sende pulser tilbake via sender/ mottaker-enheten til en prosessor-enhet ombord i båten hvor radiopulsenes gangtid omgjøres til avstander i meter. Posisjoneringssystemet styres fra en HP 9836 datamaskin koblet til prosessor-enheten.

I datamaskinen omregnes båtens posisjon til koordinater i det koordinatsystem som på forhånd er definert. Ut fra båtens posisjon, beregnes også slepets posisjon. Posisjonsdata lagres på diskett. Båtens seilingslinje framkommer på datamaskinens grafiske skjerm sammen med digitalisert kystkontur og punkter som viser transpondernes plassering.

Motorola Miniranger er et radioposisjoneringssystem som er avhengig av fri sikt mellom sender/mottaker-enheten ombord og transponderne på land. Posisjoneringssystemet er også avhengig av tilfredsstillende skjæringsvinkler mellom transponderne og båten for god posisjonsbestemmelse.

Utstyrets nominelle nøyaktighet er +/- 2m. Ved å plassere transponderne på oppmålte fastpunkter (NGO), kan en operere i det nominelle nøyaktighetsområdet. I områder hvor det ikke er tilgang på egnede oppmålte punkter, vil en måtte foreta innmåling ut fra lokalisering av punkter i kart, og nøyaktigheten vil bli noe mindre.

Etter feltarbeidet blir posisjonsdata overført til NGU's data-anlegg for lagring. Posisjonsdata (utseilte profillinjer) kan deretter plottes ut i ønsket målestokk sammen med digitalisert kystkontur.



DATAGRUNNLAG. UTSEILTE REFLEKSJONSSEISMISKE PROFILER 1986 / -87. VANNDYP IFLG. STATENS KARTVERK, DIV. NSKV: HYDROGRAFISK ORIGINAL NR. VIII - 109

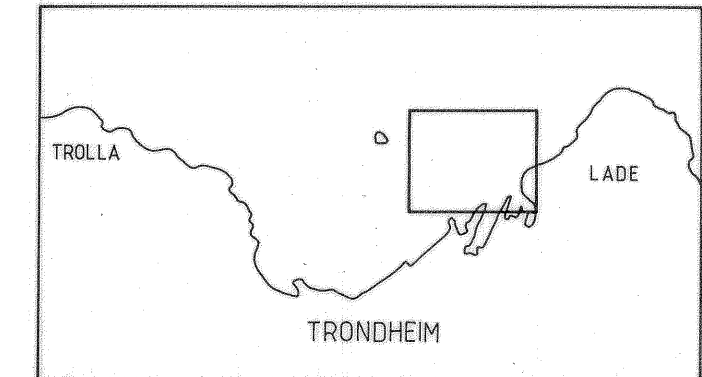
MEKTIGHET AV SJØBUNNSSEDIMENTER OVER MORENE / FJELL, (MILLISEKUND 2-VEIS GANGTID)

TEGNFORKLARING (A)

REFLEKSJONSSEISMISK PROFIL MED PROFILNUMMER OG POSISJONSPUNKTER
 VANNDYP I METER, EKVIDISTANSE 10 m
 KOORDINATER: UTM, SONE 32
 POSISJONERING: MOTOROLA FALCON 484

TEGNFORKLARING (B)

MEKTIGHETSKOTE (SIKKER / USIKKER TOLKNING)
 PUNKTOBSERVASJON
 BASSENG
 RYGG
 OMRÅDE MED TOTALREFLEKSJON



| | | | |
|---|-------------|-----------|------------|
| NGU - TRONDHEIM KOMMUNE DATAGRUNNLAG OG MEKTIGHETSKART (MÅLING 1986 / -87) TRONDHEIM HAVN SØR-TRØNDELAG FYLKE | MÅLESTOKK | OBS. KB | 1986 / -87 |
| | 1 : 10 000 | TEGN. HAO | JUNI 1990 |
| | | TRAC. IL | JULI 1990 |
| NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM | TEGNING NR. | 90.099-01 | |



DATAGRUNNLAG. UTSEILTE REFLEKSJONSEISMISKE PROFILER MAI / JUNI 1990. VANNDYPP IFLG. FJELLANGER-WIDERØE, MAI 1990

TEGNFORKLARING (A)

- P1-... REFLEKSJONSEISMISK PROFIL MED PROFILNUMMER OG POSISJONSPUNKTER
- 10-... VANNDYPP I METER, EKVIDISTANSE 10 m

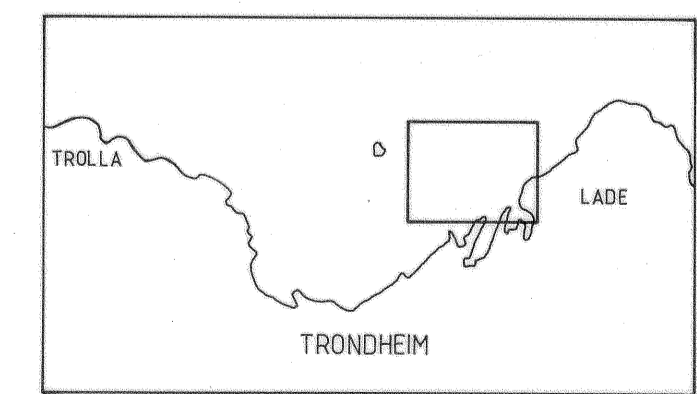
KOORDINATER: UTM, SONE 32
 POSISJONERING: MOTOROLA FALCON 484



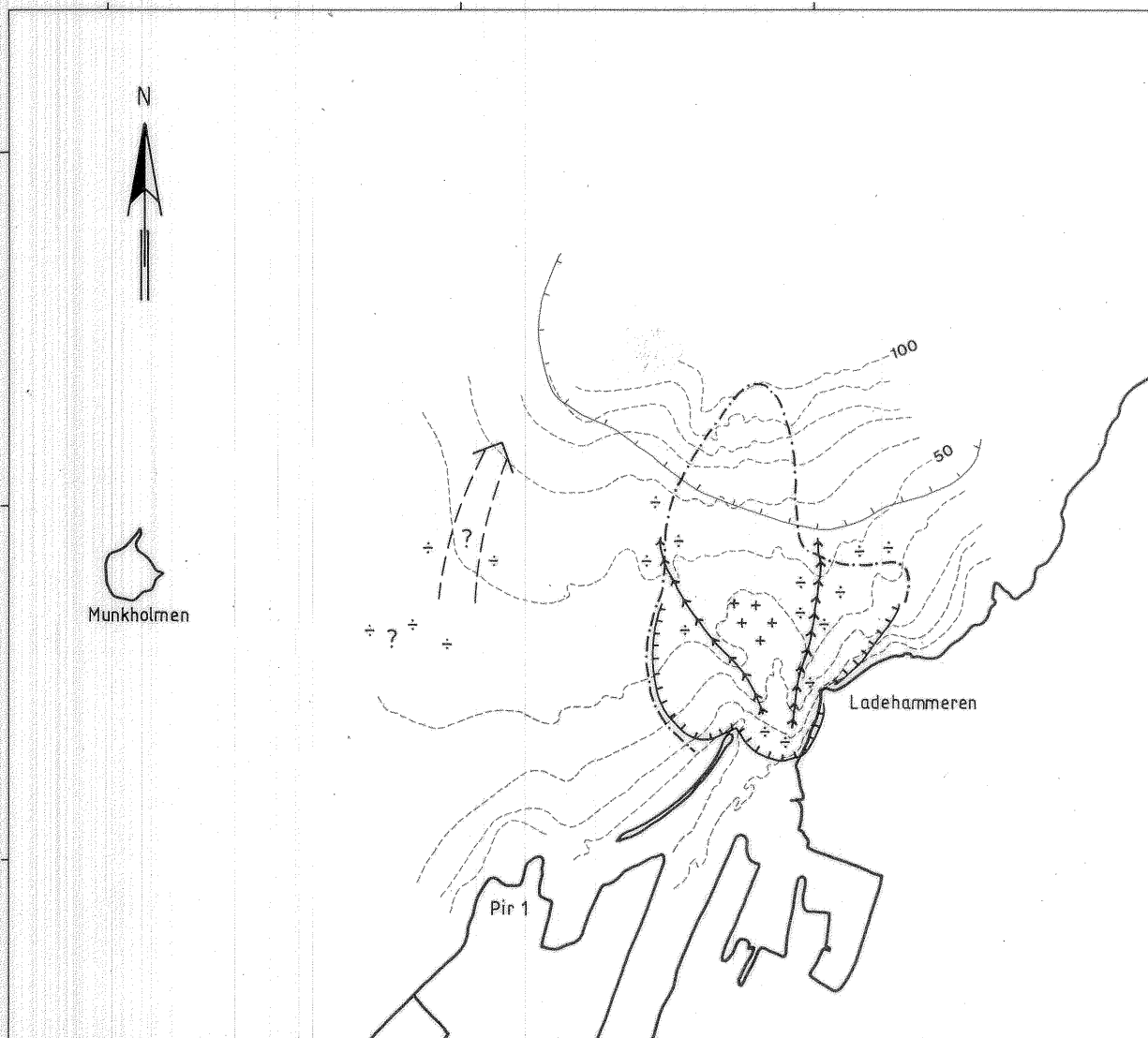
MEKTIGHET AV SJØBUNNSEDIMENTER OVER MORENE / FJELL, (MILLISEKUND 2-VEIS GANGTID)

TEGNFORKLARING (B)

- MEKTIGHETSKOTE (SIKKER / USIKKER TOLKNING)
- x150 PUNKTOBSERVASJON
- 80 BASSENG
- 60 RYGG
- OMRÅDE MED TOTALREFLEKSJON



| | | | |
|---|-------------|-----------|-----------------|
| NGU - TRONDHEIM KOMMUNE DATAGRUNNLAG OG MEKTIGHETSKART (MÅLING MAI / JUNI -90) TRONDHEIM HAVN SØR - TRØNDELAG FYLKE | MÅLESTOKK | OBS. RB | MAI / JUNI 1990 |
| | 1 : 10 000 | TEGN. HAO | JUNI 1990 |
| | | TRAC. IL | JULI 1990 |
| NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM | TEGNING NR. | 90.099-02 | |



TEGNFORKLARING

- 50----- VANNDYPSKOTE (IFLG. FJELLANGER - WIDERØES MÅLINGER APRIL 1990)
- GAMMEL SKREDKANT I SILT / LEIR
- +++++ ANTATT SKREDKANT ETTER SKRED I APRIL 1990
- ←←←← RAVINER ETTER SKRED APRIL 1990
- GRENSE FOR UTBREDELSE AV SKREDMASSER, APRIL 1990
- + OMRÅDE MED AKKUMULASJON AV MASSER, APRIL 1990
- ÷ OMRÅDE MED EROSJON AV MASSER, APRIL 1990
- > MULIG MINDRE OVERFLATEEROSJON UTENOM HOVEDSKREDET (BASERT HOVEDSAKELIG PÅ VANNDYPSFORSKJELLER)

NGU - TRONDHEIM KOMMUNE
 OMFANG AV RASET 25.04.1990
TRONDHEIM HAVN
 SØR-TRØNDELAG FYLKE

MÅLESTOKK

1: 20 000

OBS. RB

TEGN. KB

TRAC. IL

KFR.

JULI 1990

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
 TRONDHEIM

TEGNING NR.
 90.099-03

KARTBLAD NR.