© 1988 Svenska Bergteknikföreningen och författare

FJELLINJEN - MOTORVÄGSTUNNLAR UNDER CENTRALA OSLO

Ragnar Carlson, Nitro Consult AB, Göteborg

Oslo:s trafiksituation:

Bakgrunden till Fjellinjen ser man bäst om man ger sig ut i Oslotrafiken, framför allt den öst-västliga genomfarten E 18. En timmas köande för att komma igenom Oslo ger många tillfällen till att önska sig en ny och bättre trafikled - svaret på önskningen är på gång och heter FJELLINJEN.

Trafiken i och genom Oslo består, förutom av europavägarna E 6 och E 18, av en stor lokal trafik. Bild 1 visar Oslo:s huvudvägar. (Samtliga bilder har samlats efter textdelen). Standarden på gator och genomfarter i Oslo är låg jämfört med våra större svenska städers.

För närvarande pågår en mycket stor utbyggnad av Oslos trafiknät. Mångmiljardbelopp satsas i ett program som sträcker sig fram mot sekelskiftet. Många av de nya trafiklederna går i tunnlar under jord.

Projekt "Fjellinjen" - Allmän info.

Det största enskilda projektet -"Fjellinjen"- är kostnadsberäknat till över 2 miljarder kronor. Fjellinjen är inte bara Oslos, utan hela Norges största och tekniskt mest komplicerade pågående vägprojekt. Projektet kommer att finansieras genom upptagande av bompeng, något som ju förekommer på många ställen i Norge.

Fjellinjen byggs ut och kommer att tagas i bruk etappvis. Bild 2. Totalt är det en sträcka på ca 3,3 km av E 18 som byggs helt ny med motorvägsstandard, sex körfält, tre åt vardera hållet jämte flera trafikplatser. 2,6 km av den nya vägen kommer att gå i tunnel under Björviken samt de centrala delarna av Oslo. Merparten av tunneln går i berg, varifrån benämningen "FJELLINJEN" kommer.

I den första etappen är bergtunneldelen, på drygt 1,5 km, den största. Bergtunneln börjar öster om Akershus fästning, går under fästningsområdet, Rådhusplatsen, Vestbanestationen och slutar nordväst om Aker Brygge.

© 1988 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Första etappen skall tagas i bruk den 1 februari 1990 och ingår i projektkostnaden med ca 1,4 miljarder kronor. I andra etappen ingår ett stort 2-planskryss i västra delen. I tredje etappen ingår en 400 meter lång sänktunnel under Björvika i öster. Både etapp 2 och 3 skall tagas i bruk år 1993.

En tidplan för hela Fjellinjen visas på bild 3 medan entreprenaduppdelningen i etapp 1 framgår av bild 4.

Budgeten för Fjellinjen redovisas på bild 5.

Geologin i området är märklig, bild 6 . I öster har vi ett urberg som är ca 2 000 miljoner år gammalt och som huvudsakligen består av Gnejs och Maenaitt med inslag av bland annat alunskiffer. I väster har vi ett mycket yngre berg, endast ca 500 miljoner år gammalt som i huvudsak består av kalk- och lerskiffrar.

De två olika bergartsområdena möts i den djupränna som finns under rådhuset. I djuprännans förkastningszon är bergkvalitéen mycket dålig, så dålig att frysning är ett alternativ för att ta sig igenom detta område. Bergtunneln kommer här att gå ca 45 meter under marknivån med en bergtäckning på ca 10 meter.

Tunnelns lutning ner till lägsta punkten kommer att vara ca 1:20.

Huvudtunnlarna har en area på ca 100 m^2 och rymmer tre körfält. Arean är något varierande beroende på metod för vattentätning, bild 7 och 8. Vid av- och påkörningar i huvudtunneln är denna ökad till fyra körfält och har då en area som varierar från 100 m^2 till ca 170 m^2. Av- och påfartstunnlarna har normalt en area på 40-50 m^2 och är gjorda för ett körfält.

Tunnlarna kommer att ventileras med hjälp av axialfläktar och ventilationsschakt. Belysningen kommer att vara högklassig och hela tunneln kommer att TV-övervakas, bild 9.

Byggherre är "Statens Vegvesen" genom "Veisjefen i Oslo". För projektet är det bildat ett särskilt bolag "A/S Fjellinjen". Namnet "Fjellinjen" används också av entreprenörkonsortiet som utför bergtunnelentreprenaden. Konsortiet består av de norska företagen; Astrup Höyer och AF/Oslo Entreprenör samt det svenska företaget ABV. Nitro Consult är sprängteknisk konsult åt Fjellinjenkonsortiet, bild 10.

© 1988 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Speciella krav och restriktioner:

På grund av bergtunnelarbetenas närheten till ovanför- och kringliggande bebyggelse har byggherren ställt stora krav på utförandet med hänsyn till bland annat vatteninläckning, markskakningar och bergförstärkning.

Arbetsutförande allmänt:

En generell beskrivning av arbetsutförandet framgår av bild 11.

- **Förinjektering** utförs genom borrning Ø 64 mm borrhål och injektion med mobil utrustning som möjliggör injektion av 1 - 6 hål samtidigt.
- **Borrning** utförs med 3-boms borraggregat, de flesta av typen Atlas Copco Boomer 178.
- **Lastning** utförs med hjullastare och berget transporteras bort på lastbil.
- **Skrotningen** utförs till övervägande delen med mekaniserad utrustning - grävmaskinsburen hydraulspettutrustning.
- **Bergbultning** utförs med borraggregaten.
- **Fiberarmerad** sprutbetong.
- **Betongingjutning** utförs antingen som vattentät eller dränerande inklädnad.
- **Vägbyggnad**
- **Installationer**

Vatteninläckning:

Byggnaderna över Fjellingen är grundlagda både på berg och på lösa massor. Lösmassorna har en mäktighet från 0 - ca 30 meter, bild 12. För att vatteninläckningen i tunnlarna inte skall medföra förändringar av porvattentryck och grundvattennivåer som skulle innebära risk för sättningsskador på bebyggelsen har vatteninläckningen i de färdiga trafiktunnlarna begränsats till mellan 3-7 liter/minut och 100 meter tunnel. Variationerna är beroende av geologin och grundvattentrycken.

© 1988 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Begränsningen av vatteninläckningen utförs i huvudsak genom åtgärderna

- Injektion
  och
- Betongingjutning med vattentät betong

Injektionsarbetet utförs främst som förinjektering med cement och kemiska medel och då
antingen

som "tillfällig" förinjektering, bild 13, i väntan på betongingjutning. Borrhålsdjupet är då 20 meter och skärmavståndet 12 meter

eller

som "permanent" förinjektering, bild 14, då utan efterföljande betongingjutning med borrhålsdjupet även då 20 meter men nu med endast 8 meters skärmavstånd.

Av bild 15 framgår att mer än halva tunnellängden kommer att ingjutas med vattentät betong. Alternativt kommer ända upp till ca 80% av tunnellängden att betongingjutas, något som avgörs först under sprängningstiden. Den resterande delen av tunnlarna kommer att tätas genom "permanent" injektering.

Åtgärderna för vattentätning är en mycket tung del i totalkostnaden för bergtunneldelen.

Vatteninfiltration är förberedd för att vid behov kunna utföras i infiltrationsbrunnar med god kontakt med de vattenförande zonerna, se bild 16.

Markvibrationer:

För markvibrationerna gäller att bergtunnlarna går mellan 8-45 m under befintlig bebyggelse och att denna dessutom till vissa delar består av historiska byggnader från 1700-talet och framåt. Beställaren har därför genom sina konsulter åsatt varje byggnad separata gränsvärden för markvibrationer.

Gränsvärdena är indelade i 4 olika nivåer och utgörs av en begränsning av

- svängningshastigheten (v) vid frekvenser över 80 Hz
  och
- amplituden (A) vid frekvenser under 80 Hz

© 1988 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Följande olika gränsnivåer gäller:

v =	40	mm/s och	A = 80	um
v =	20	" "	A = 40	"
v =	15	" "	A = 30	"
v =	10	" "	A = 20	"

Av bilderna 17 och 18 framgår vilka markvibrationsrestriktioner som gäller för olika byggnader i tunnelns närhet.

För att klara de hårda kraven på markvibrationer hade beställaren genom sin konsultgrupp utarbetat ett förslag till sprängningsutförande som innebar att tunnelarean uppdelades i ett antal delsprängningar med samverkande laddningar på 5,0 2,0 1,0 eller 0,5 kg. Detta förslag skulle prissättas i anbuden.

Under anbudstiden kontaktades Nitro Consult och undertecknad av entreprenörkonsortiet Fjellinjen med en förfrågan om det var möjligt att spränga på ett enklare och rationellare sätt med full area och med bibehållna "stora" indrifter. Största problemet var att inga tändare finns med tillräckligt många intervallnummer för att detta skulle vara möjligt utan risk för samverkan.

För mig var problemet inte nytt. Vid utsprängningen av Fredhällstunnlarna i Essingeleden i Stockholm för många år sedan, mötte jag samma problem. Då löste jag det genom ett speciellt sprängningsförfarande. Lösningen var och är, ett noggrannt utarbetat program för borrning, laddning, tändning och koppling. Genom en mycket noggrann och detaljerad styrning av sprängningsarbetet begränsas och sprids markvibrationerna i tid på sådant sätt att interferens inte uppstår i oönskad omfattning mellan de olika markvibrationsvågorna. Detta är möjligt att utföra genom bland annat speciella metoder för koppling och fördröjning av olika tändarserier.

Tändning och fördröjning utfördes på Fredhällstunnlarnas tid med elektriska tändare och speciell tändapparatur. Idag kan samma sak utföras på ett enormt mycket enklare, bättre och säkrare sätt genom tillgången på Nonelsystemet.

Bergförstärkning:

Bergförstärkning utförs på traditionellt sätt med bult kompletterad med våtsprutad fiberarmerad sprutbetong.

© 1988 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Två typer av betongingjutning används, se de redan nämnda bilderna 7 och 8.

- Den ena typen av ingjutning kallas "dränerat betongvalv" och innebär att betongkonstruktionen inte är vattentät utan vatten som kommer igenom injektionsmanteln dräneras bort genom en ledning i tunnelns botten. Tunnelbottnen är i detta utförandet horisontellt sprängd.

- Den andra ingjutningen är utförd med vattentät betong runt hela tunneln. Tunnelbottnen har då en bågformad profil.

Undersökningar, uppföljning och uppföljningsområden:

Före projektets start har noggranna undersökningar utförts för att utgöra grunden för uppföljningar och kontroll. Kontrollen och uppföljningarna syftar främst till att förhindra skador på omgivning samt utgöra underlag för eventuella skadeståndskrav.

En uppfattning om denna typ av undersökningsinsatser framgår av bilderna 19 till 21 som visar områdena för grundvattenobservation, sättningsmätning och syneförrättning. På bild 22 visas det område inom vilket markvibrationer mätes.

Erfarenheter:

Arbetena påbörjades våren 1987. Hittills har ungefär 1/3 av hela bergtunnelarbetet utförts. Arbetet bedrivs från två påslag, ett i öst och ett i väst. Vid varje påslag pågår arbete på 3-4 fronter.

Arbetena framskrider i stort sett planenligt med variationer i tid på endast plus/minus någon vecka på de olika fronterna. Ett par fronter ligger dock relativt långt före tidplanen.

Arbetena för att täta mot vatteninläckning, har i starten bedrivits efter varierande metoder för att söka uppnå ett tekniskt - ekonomiskt optimum. Tätningsresultaten har hittills fungerat enligt de uppställda målsättningarna.

På den sprängtekniska sidan har det visat sig att både när det gäller borrbarhet och sprängbarhet är det en mycket stor skillnad mellan arbetena i väst och öst. Dimensioneringen av laddningarna för sprängning sker alltid med ledning av gränsvärdena för amplituden. I Sverige är det vanligen svängningshastigheten som brukar vara dimensionernade. Detta innebär att arbetena bedrivs i realiteten mot mycket låga svängningshastigheter.

© 1988 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Styrningen av sprängningsarbetena, med hänsyn till markvibrationerna, har fungerat över förväntan bra. Enligt min uppfattning är detta mycket beroende på den omfattande insats av utbildnings- och styrningsåtgärder som vidtagits. Bland åtgärdena kan nämnas:

- En omfattande information till all personal som berörs av sprängningen.

- En speciell utbildning av alla arbetsledare och bergarbetare före starten av sprängningsarbetena på såväl väst som öst.

- En detaljerad planering och arbetsberedning av alla sprängningar vilket bl a innefattar detaljerade planer för borrning, laddning, tändning, koppling och sprängning av **alla** salvor.

- Ett omfattande instruktionsarbete på plats nere i tunneln vid starten av alla nya typer av sprängningsarbeten och vid startopp för nya bergarbetslag.

- Uppföljning av sprängningsarbetet genom sprängningsprotokoll och vibrationsmätning från alla salvor.

- Ett speciellt skrivet "kvalitetssäkringsprogram" som bl a innehåller riktlinjer, instruktioner och toleransgränser för utsättning, borrning, laddning, tändning och uppföljning.

- Analys av uppföljningsresultaten, revidering och utveckling av sprängteknik och arbetsmetoder.

Sammanfattning:

Som sammanfattning vill jag påstå att ett sprängtekniskt och markvibrationsmässigt besvärligt tunnelsprängningsarbete är på väg att genomföras på ett som det ser ut mycket lyckat sätt, beroende till viss del på nya sprängtekniska idéer men också till mycket stor del på det öppna positiva engagemanget hos alla deltagande, alltifrån de högsta ledarna till gräsrotsnivå.

Om intresse finns är jag beredd att vid ett kommande Bergsprängningskommittemöte redovisa mera detaljer tillsammans med vunna erfarenheter när Fjellinjens bergtunnlar är färdigsprängda.

© 1988 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Bild 1. Oslo:s huvudvägar

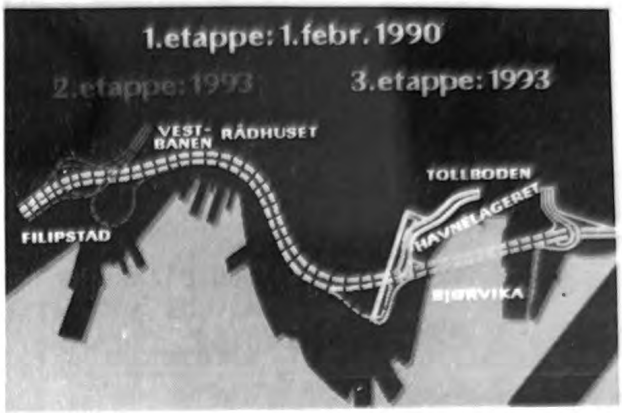

Bild 2. Fjellinjens etappindelning

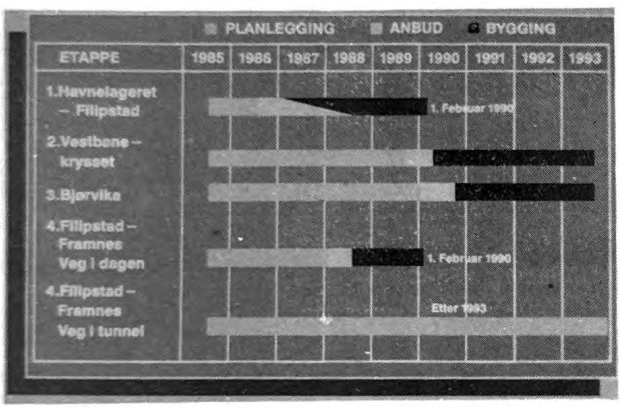

Bild 3. Tidplan hela Fjellinjen-projektet

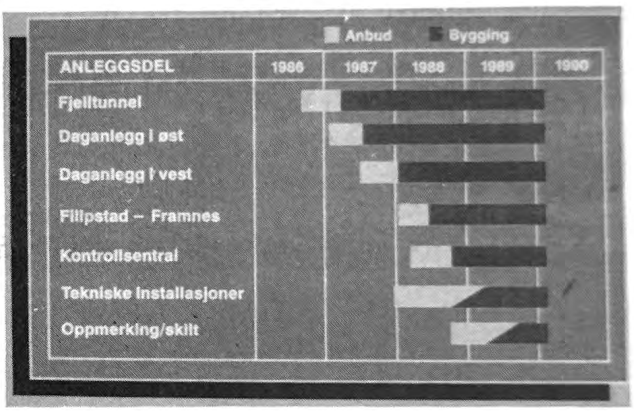

Bild 4. Entreprenaduppdelning i etapp 1

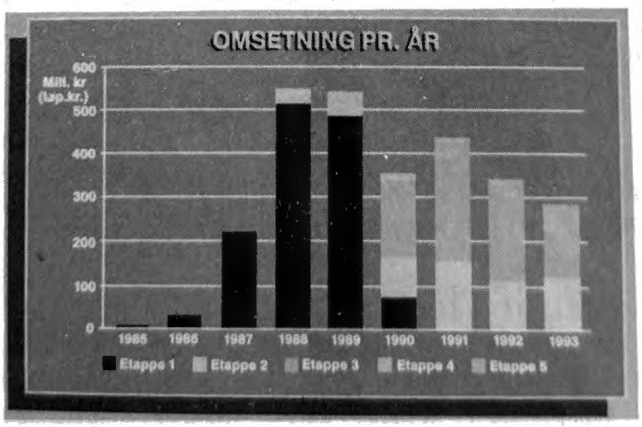

Bild 5. Budget Fjellinjen

© 1988 Svenska Bergteknikföreningen och författare

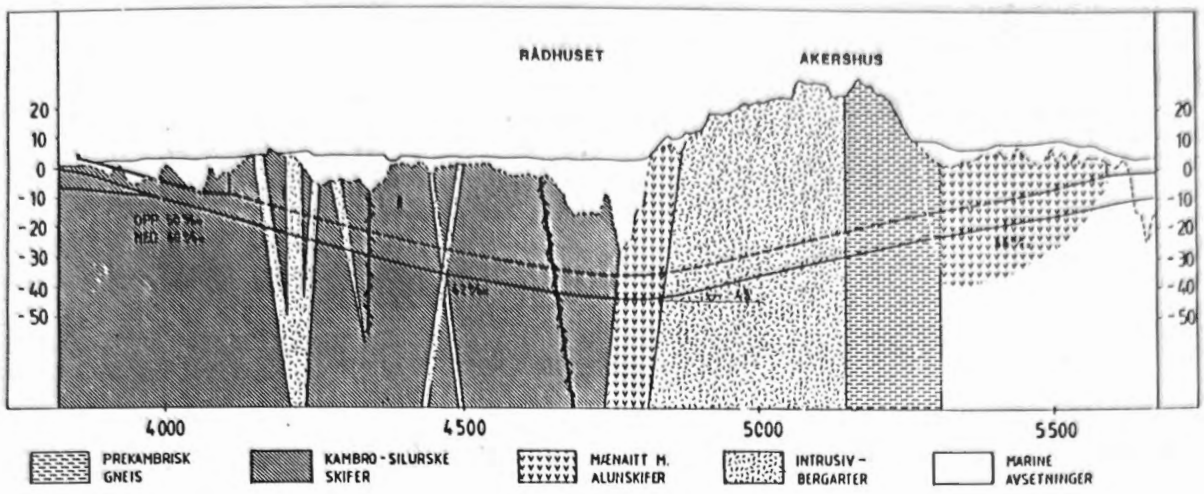

Bild 6. Geologi

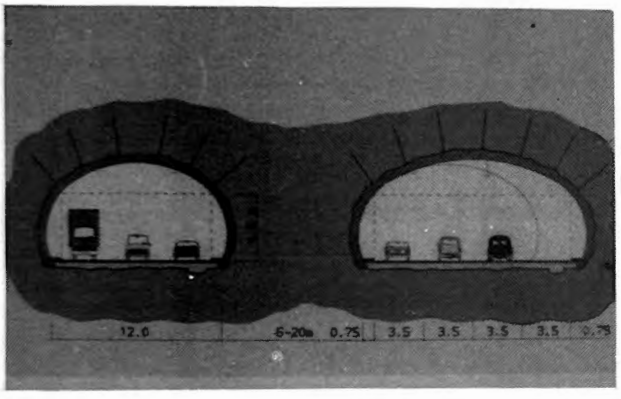

Bild 7. Huvudtunnel med 3 resp 4 körfält

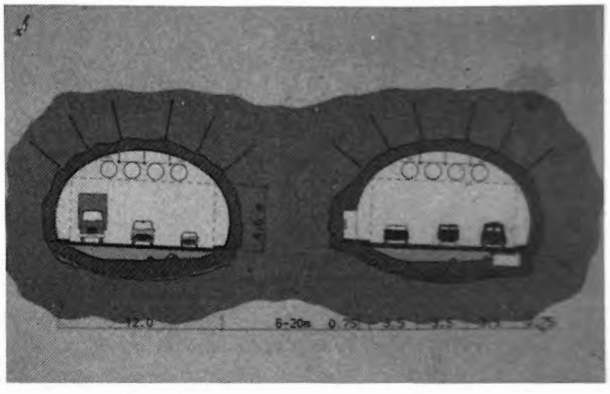

Bild 8. Huvudtunnlarna vid vattentät betongingjutning

Bild 9. Färdig huvudtunnel

© 1988 Svenska Bergteknikföreningen och författare

BYGGHERRE

STATENS VEGVESEN
v/ VEISJEFEN I OSLO

TUNNELENTREPRENÖR

FJELLINJEN

ASTRUP HOYER A | AF OSLO ENTREPRENØR | ABV

SPRÄNGTEKNISK KONSULT

Nitro Consult AB

Bild 10. Bergtunnelentreprenaden

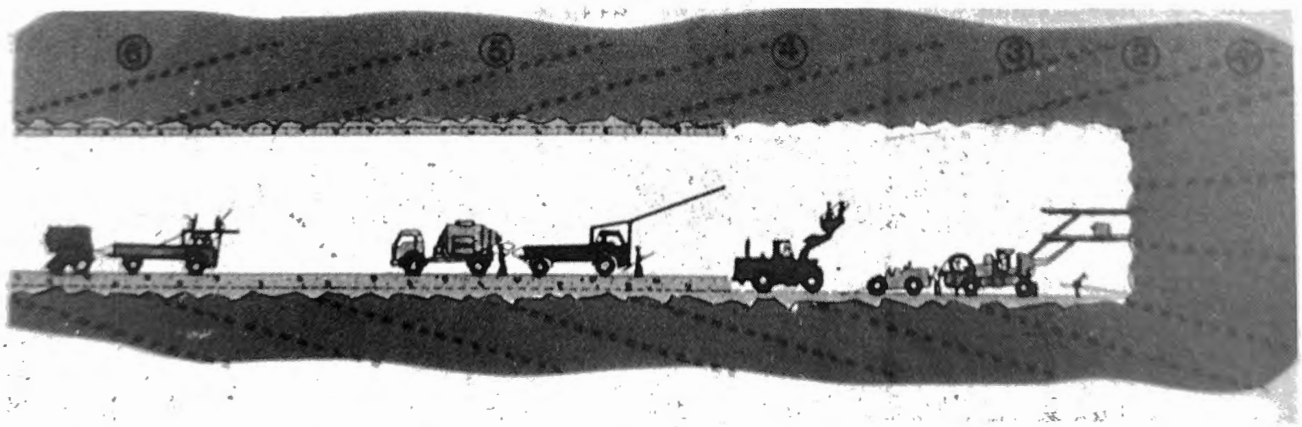

Bild 11. Arbetsutförande - principskiss

© 1988 Svenska Bergteknikföreningen och författare

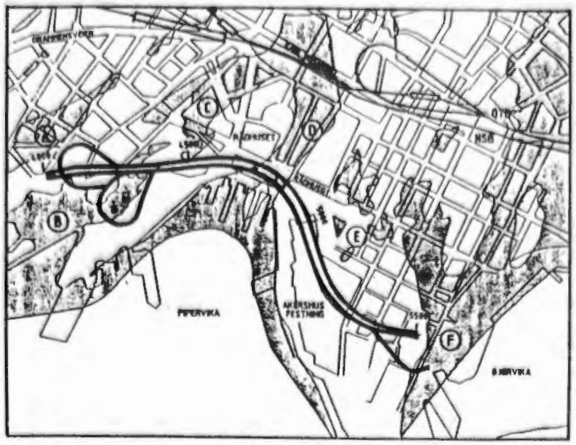

Bild 12. Lösmassor >10 meter

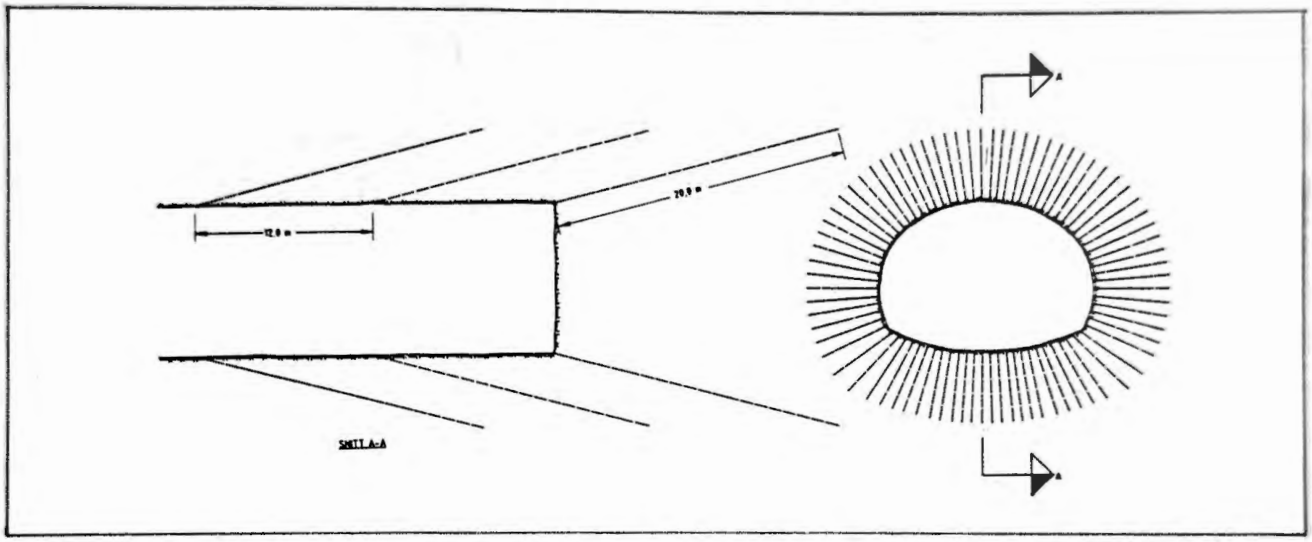

Bild 13. "TILLFÄLLIG" INJEKTION kompletteras med BETONGINGJUTNING

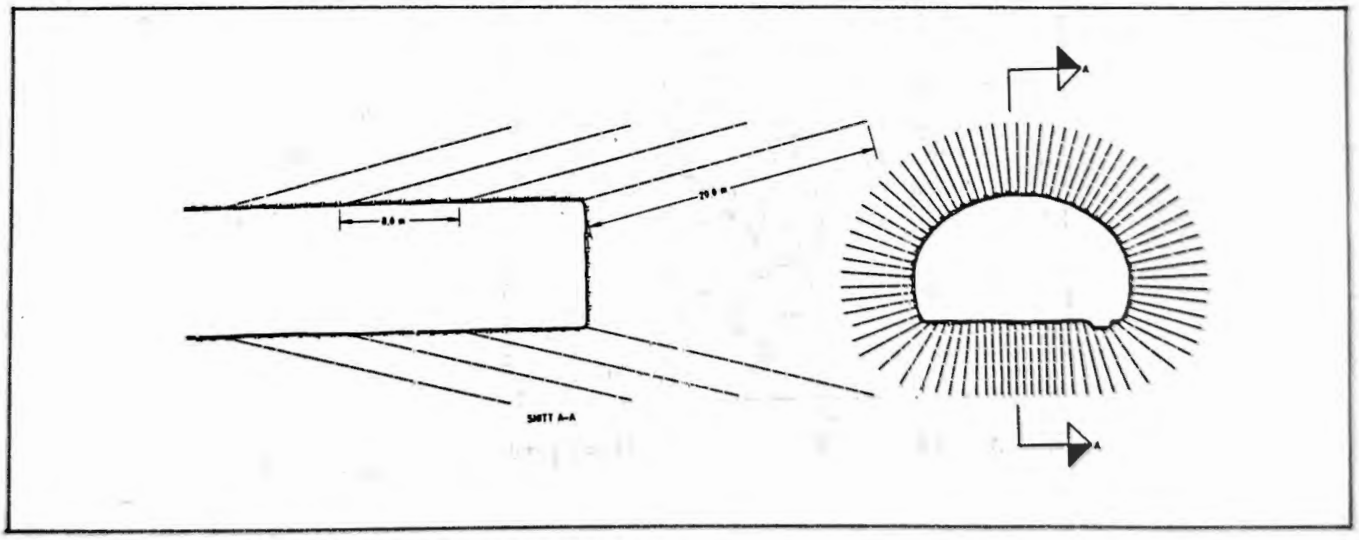

Bild 14. "PERMANENT" INJEKTION

© 1988 Svenska Bergteknikföreningen och författare

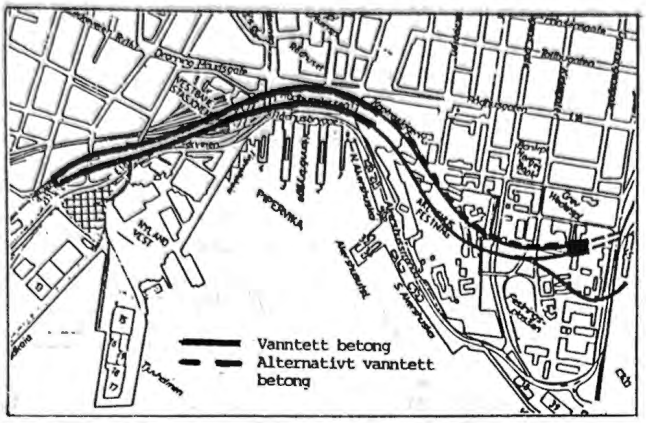

Bild 15. BETONGINGJUTNING

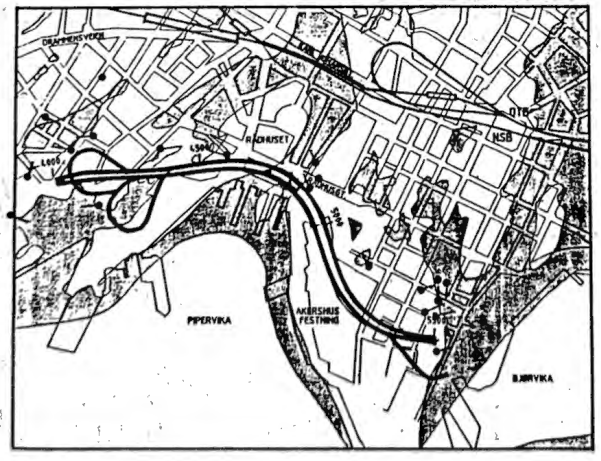

Bild 16. VATTENINFILTRATION

© 1988 Svenska Bergteknikföreningen och författare

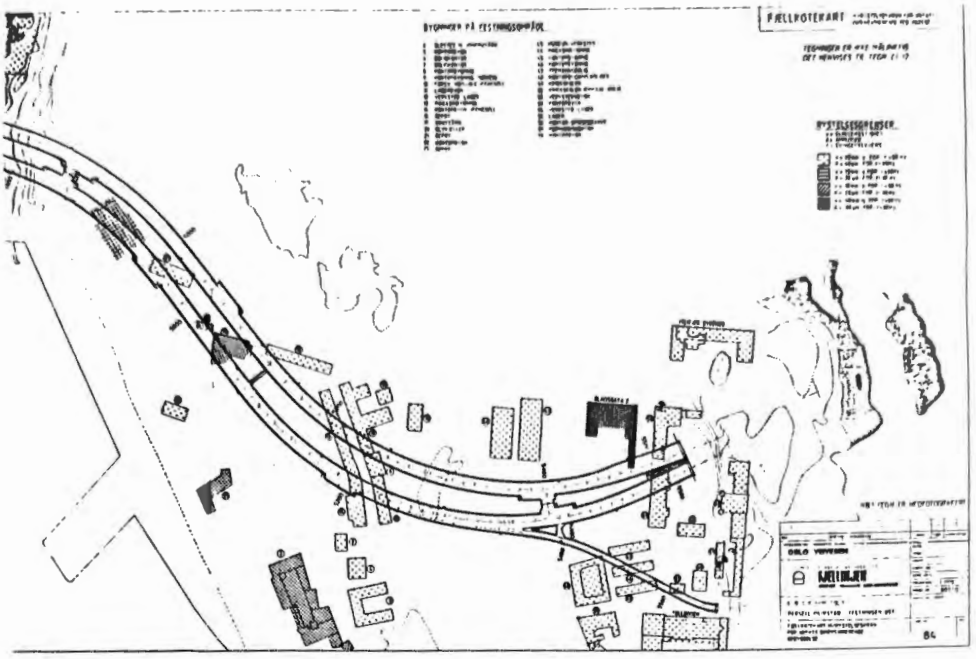

Bild 17. Tillåtna markvibrationer

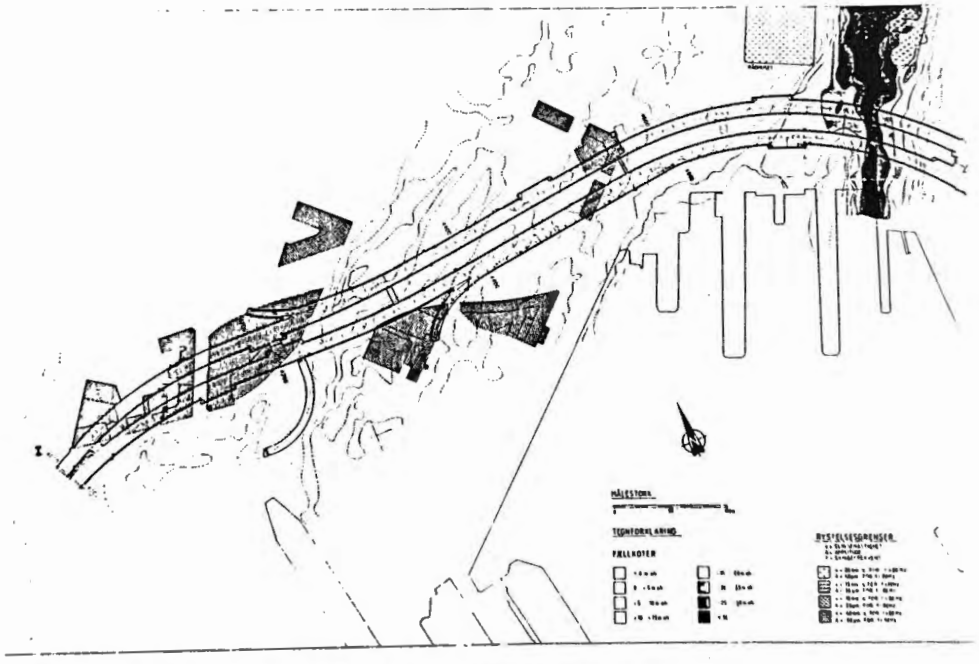

Bild 18. Tillåtna markvibrationer

© 1988 Svenska Bergteknikföreningen och författare

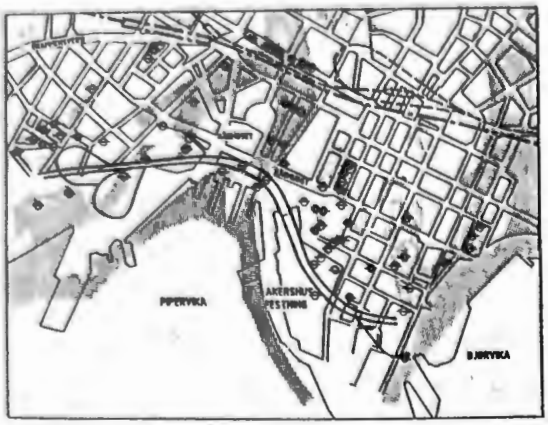

Bild 19. Grundvattenobservationer

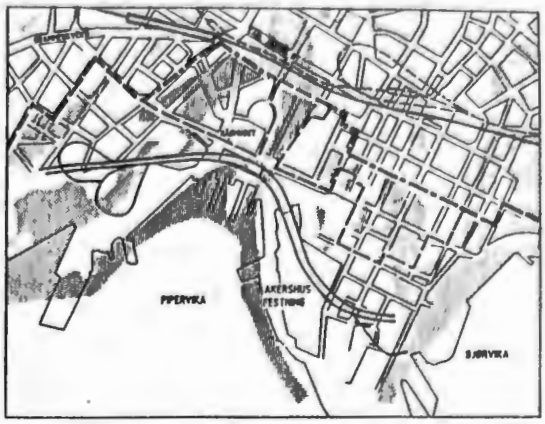

Bild 20. Sättningsmätningar

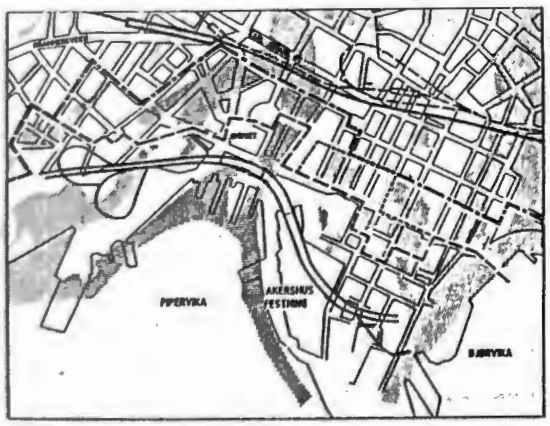

Bild 21. SYNEFÖRRÄTTNINGSOMRÅDE

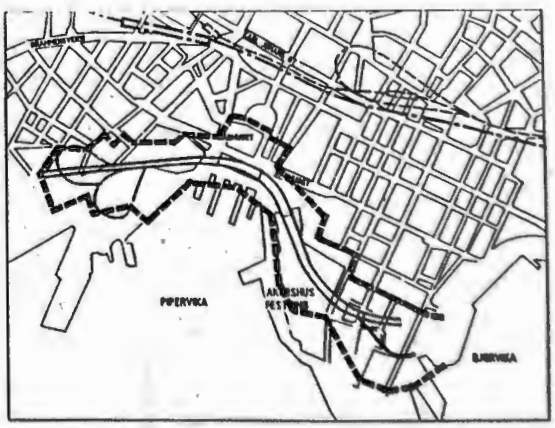

Bild 22. Mätområde för markvibrationer