

NSB. teknikk

1
1980

Teknisk informasjon fra Norges Statsbaner



OSLO-TUNNELEN

Glimt fra anleggsarbeidene.



Informasjonsblad
for Norges Statsbaner

Årgang 6, 1980
Nummer 1

Utgiver:
Norges Statsbaner
Hovedadministrasjonen
Storgt. 33
Oslo 1

Telefon: (02) 20 95 50.



Redaksjonsutvalg:
P. Bøyum (formann)
O. Evenmo
F. Holom
K. Igelkjøn
H. Karlsson
I. Rustad
S. Tennebø.

Avdelingskontakter:
J. Svendsen, B.
A. Enerud, M.
A. Nordby, M/Tekn. lab.
T. Vasset, D/Pla.
S. E. Grønland, S.org.
K. Mathisen, Plak.
T. Hannisdahl, OSA.

Distriktkontakt:
J. N. Ly, Oslo d.

Sats, repro og trykk:
Grøndahl & Søn Trykkeri

Opplag: 4 000
Ettertrykk tillatt når kilde opp-
gis.

Omslagsbilde:
Forside: Tunnelmunningen ved
Oslo S.
Bakside: Vestre tunnelinnslag
ved Olav Kyrres plass.

Cover:
Front: Tunnel entrance at Oslo S.
Back: Western tunnel entrance.

Innhold

UDK 624.19:625.1(481.13)

Svennar, Odd, Mathisen, Kjell og Knudsmoen, Morten:
Oslo-tunnelen. Teknisk beskrivelse. (The Oslo-tunnel.
Technical description.) (NSB-teknikk, Oslo, v.6 (1980),
no. 1, pp. 1 – 44)

The opening of the Oslo Tunnel on June 1 1980 is the first step in a large renewal scheme for NSB's railway network, in Oslo. The 3,6 km long tunnel links the eastern and western railway networks, enabling the two old main stations to be closed down and replaced by a central station now under construction adjacent to the old East Station. Long distance passenger and freight traffic will benefit from the new link. However, local services will experience the greatest benefits, being enabled to operate cross-city trains between the eastern and western suburbs of Oslo. Two local stations on the tunnel alignment will increase the catchment area for commuters.

This special issue of «NSB-teknikk» gives a technical description of the tunnel link. Summary in English.

Forord. Av teknisk direktør Eivinn Løvseth	s. 4
Planleggingsgrunnlaget	s. 5
Trasébeskrivelse	s. 6
Nationaltheatret stasjon	s. 10
Elisenberg stasjon	s. 14
Grunnforhold	s. 14
Grunnundersøkelser	s. 16
Bygningsobservasjoner	s. 18
Spesielle tekniske problemer	s. 19
Tiltak mot drenering og setninger	s. 19
Grunnbruksproblemer i leire	s. 21
Statisk beregning av tunnelutstøpning i fjell	s. 22
Anleggsavsnitt, byggemetoder og fremdriftsplaner	s. 23
Del 1. Jernbanetorget – Eidsvolls plass	s. 24
Del 2. Studentertunden	s. 26
Del 3. Nationaltheatret stasjon	s. 29
Del 4. Slottsparken – Olav Kyrres plass	s. 30
Del 5. Transporttunnel til Nationaltheatret stasjon	s. 32
Del 6. Tunnelinnføring mot Oslo S	s. 32
Overbygning	s. 33
Vann, avløp og ventilasjon	s. 34
Elektrotekniske installasjoner	s. 35
Byggekostnader	s. 35
Konsulenter, byggeledelse og entreprenører	s. 37
Litteratur	s. 38
Summary in English	s. 40

Forord

Arbeidet med Oslo-tunnelen har lagt beslag på en stor del av jernbanens investeringsmidler i 1970-årene. Det er derfor med store forventninger jernbanen tar i bruk det nye anlegg, som riktignok ikke vil få sin fulle effekt før også Sentralstasjonen står ferdig i siste halvdel av 1980-årene.

Tunnelforbindelsen vil gjøre slutt på den gjennomgående godstrafikk over Havnebanen, som krysser viktige gateløp i plan. Godstogene på Havnebanen har irritert byens bilister i mange år, men trolig har ulempene allikevel vært størst for jernbanen. Om man regner med de nødvendige skifteoperasjoner i begge ender, krever godstogenes overføring over Havnebanen minst fire–fem timer, hvilket for enkelte godstransporter kan bety inntil et døgn tillegg i fremføringstid.

Nærtrafikken i Oslo-området vil ved tunnelåpningen bli tilgodesett med pendelgående tog mellom Hovedbanen og Drammenbanen. I løpet av noen år vil også Gjøvikbanen og Østfoldbanen bli ført gjennom tunnelen.

Fjerntrafikken kan først få nytte av tunnelen når Oslo Sentralstasjon er fullt utbygget. Vestbanestasjonen vil da bli nedlagt, og alle fjerntog vil få Sentralstasjonen som terminal.

Det bød på store vanskeligheter å komme fram til en finansieringsplan for tunnelen, og det var nødvendig å gjøre betydelige innskrenkninger i tunnelplanene. Således ble det besluttet at Elisenberg stasjon ikke skulle bygges i første omgang. Man fikk likevel anledning til å sprengte og støpe ut stasjonshallen, slik at stasjonen senere kan fullføres uten å forstyrre togdriften.

Verre er det nok at vestre oppgang for Nationaltheatret stasjon også måtte tas ut av planene. Alle forberedelser er imidlertid gjort for å sikre en raskest mulig gjennomføring på et senere tidspunkt.

Enda et forhold svekker Nationaltheatret stasjon i åpningsfasen. Hovedutgangen fra stasjonen skal koordineres med utgangene fra den nærliggende kommunale tunnelbanestasjon, men det har trukket i langdrag med vedtak om hvordan tunnelbanen skal utformes ved Nationaltheatret. Det har derfor ikke vært mulig for jernbanen å bygge hovedutgangen fra sin stasjon. I første omgang har man måttet nøye seg med en provisorisk utgang gjennom den eksisterende utgangspassasje fra Holmenkolbanens stasjon. Forholdene vil derfor nødvendigvis bli svært utilfredsstillende i den første periode.

Med den struktur jernbanetrafikken har i vårt land, vil avviklingen av driften i Oslo-området ha betydning for hele landsnettet. Oslo-tunnelen og den nye Sentralstasjonen med sine effektive operasjonsmuligheter må derfor ikke betraktes som en ren Oslo-sak. Nyttvirkningene vil forplante seg utover hele jernbanelanettet.

* * *

I dette hefte redegjør Plankontoret for Oslo Sentralstasjon for tunnelens planlegging og prosjektering. Den anleggsmessige gjennomføring av arbeidene i marken vil bli nærmere behandlet i senere artikler av Jernbaneanlegget Oslo Sentralstasjon.

Eivinn Løvseth
Teknisk direktør

Oslo – tunnelen. Teknisk beskrivelse

Av plansjef Odd Svennar, overingeniørene Kjell Mathisen og Morten Knudsmoen

Planleggingsgrunnlaget

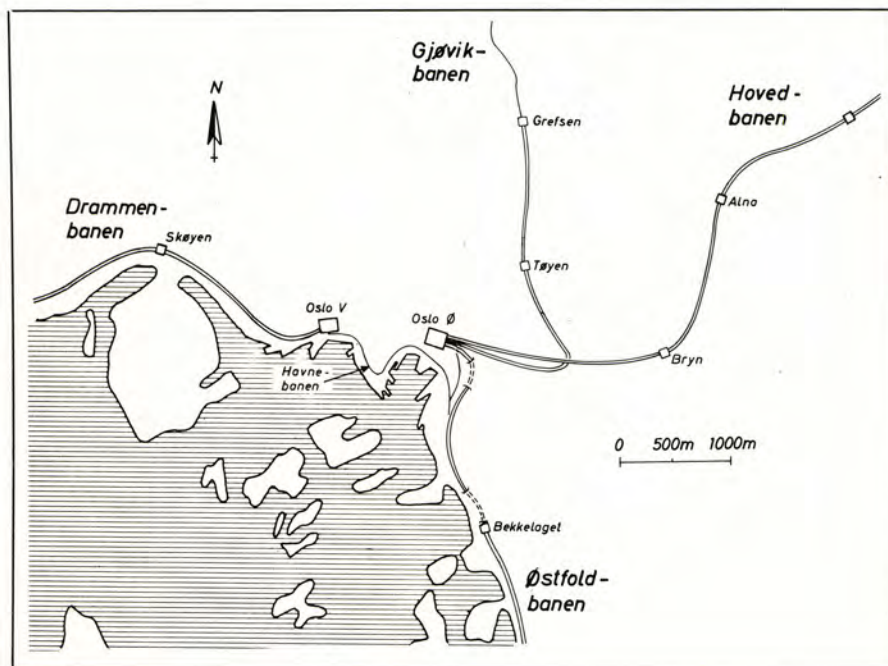
Oslo-tunnelen er en del av det samlede prosjekt som går under fellesbetegnelsen Oslo Sentralstasjon. Tunnelforbindelsen danner innledningen til en omfattende fornyelse av jernbanens anlegg i Oslo-området og dermed også til en omstrukturering av hele trafikkopplegget.

Det østlige og vestlige jernbanelnett har hittil hatt Havnebanen som sin eneste direkte forbindelse. Det har vært et gammelt ønske å få etablert en bedre forbindelse mellom de to deler av jernbanelnettet for å få effektivisert driften. En slik forbindelse er også en forutsetning for anlegg av en sentralstasjon i Oslo til avløsning av de to nåværende, foreldede stasjonsanlegg (fig. 1).

Det har gjennom årene vært fremmet en rekke forslag til hvordan forbindelsen mellom de to deler av jernbanelnettet skulle utføres. Det har vært utarbeidet mange forskjellige utkast til linjeføring for en tunnel gjennom byen og dessuten forslag om å føre de vestlige baner inn til Oslo Ø via en ringlinje rundt byen. Ringlinjen har dels vært betraktet som et supplement til tunnelforbindelsen, dels som en selvstendig løsning som skulle gjøre det unødvendig å bygge tunnelen.

Det viktigste bidrag til planleggingen av Oslo Sentralstasjon og tilhørende anlegg ble levert av *Oslo Stasjonskomité av 1938* (Granholmkomitéen), som fastslo at det østre og vestre jernbanelnett måtte bindes sammen ved en tunnel gjennom bykjernen og at Oslo Ø og Oslo V måtte erstattes av en ny sentralstasjon som burde bli liggende omtrent på det sted hvor Oslo Ø ligger. Innstillingen ble vel mottatt, men krigen satte en stopper for gjennomføringen.

Planene ble bearbeidet videre innen jernbanen og ble i 1952 fremlagt for Samferdselsdepartementet. Men i den etterkrigstid hvor man da befant seg var det ikke mulig å avse bevilgninger til slike formål. Da det i 1960 igjen var blitt aktuelt å tenke på gjennomføringen, var det gått mer enn 20 år siden de opprinnelige planer var lagt fram. En ny komité, *Stasjons- og*



trafikkomitéen av 1960 (Halvorsenkomitéen), som fikk i oppdrag å undersøke hvorvidt de gamle planer fremdeles var aktuelle, kom til det resultat at planene i hovedtrekkene burde fastholdes, men at man måtte ta hensyn til en rekke nye forutsetninger som var kommet til.

Stortingets vedtak om Oslo Sentralstasjon ble fattet i 1962. En *Plankomité* med representanter for Samferdselsdepartementet, Oslo kommune og NSB ble opprettet, og *Plankontoret for Oslo Sentralstasjon* trådte i virksomhet i 1963. Arbeidene i marken har hele tiden vært ledet av *Jernbaneanlegget Oslo Sentralstasjon*, som dels har benyttet sin egen arbeidsstokk og dels har satt arbeidene ut i entreprise. Internt innen jernbanen har *Koordineringsutvalget for Oslo Sentralstasjon* medvirket til innpassing av tunnelprosjektet i totalplanen for den samlede jernbaneutbygging i Oslo-området.

Betydningen av øst-vestforbindelsen

Motivene for å etablere en forbindelse mellom de to deler av jernbanelnettet har variert gjennom årene med de skiftende trafikkkrav. I den foreliggende trafikksituasjon kunne Plankontoret summere opp behovet for

Fig. 1. Jernbanelnettet i Oslo-området før 1980.

The Railways in Oslo before 1980. A harbour line (Havnebanen) is the only link between the eastern and western railway networks.

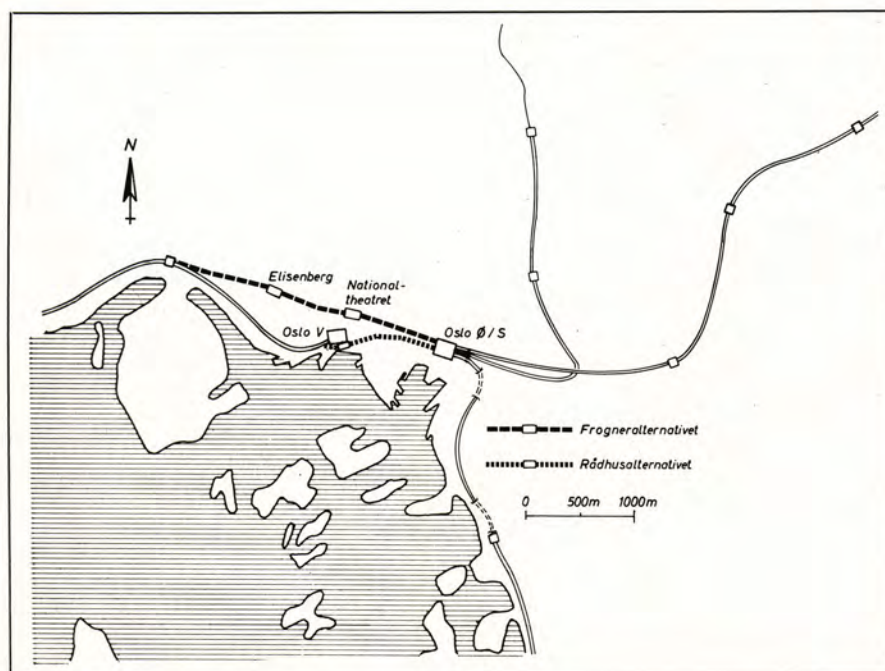
en sammenknytning i følgende punkter:

1. Den muliggjør en rasjonalisering og effektivisering av den samlede jernbanedrift i Oslo-området og vil virke betydelig inn på jernbanedriften i landsmålestokk.
2. Den er et viktig ledd i utviklingen av Sentralskiftestasjonen på Alnabru og av godsterminalanleggene i samme område.
3. Den skaper forutsetninger for byggingen av en tidsmessig felles terminal (Sentralstasjon) for fjerntrafikken og mellomdistansetrafikken til og fra Oslo.
4. Den gjør det mulig for jernbanen på en mer effektiv måte å delta i utviklingen i nærtrafikken i Oslo-området.

Valg av tunneltrasé

Mens Granholmkomitéens forslag gikk ut på å bygge en tunnel langs en kortest mulig linje fra Oslo Ø til Oslo

Fig. 2. De to mest aktuelle alternativer til en tunnelforbindelse mellom det østlige og det vestlige jernbaneløp.
Alternative tunnel routes. The longer route with two local underground stations was chosen.



V (Rådhusalternativet), antydte Halvorsenkomiteén at det var ønskelig å forskyve tunnelen nordover, slik at man kunne oppnå flere omstigningsmuligheter mellom jernbanen og den kommunale tunnelbanen. Videre anbefalte komiteén en forlengelse vestover for å få etablert en underjordisk stasjon under Frogner-området, som har en høy utnyttelsesgrad både når det gjelder boliger og næringsvirksomhet (fig. 2).

Initiativet fra Halvorsenkomiteén ble fulgt opp og resulterte i den tunneltrasé som ble vedtatt av Stortinget i 1968 (Frogner-alternativet). I forhold til de tidligere planer var denne tunneltrasé lengre og ca. 50% dyrere,

Trasébeskrivelse

Ifølge den plan som ble vedtatt av Stortinget i 1968, går den ca. 3,6 km lange tunnelen fra Oslo Sentralstasjon gjennom de sentrale deler av Oslo og Frognerområdet fram til Olav Kyrres plass, hvor sporet løper ut i dagen og føres inn på Drammenbanens eksisterende linje ca. 700 m øst for Skøyen stasjon.

På figur 4 kan traséen følges mer i detalj. 12 av stasjonssporene på Oslo S er forbundet med tunnelen via et traktformet tunnelparti under nordre

men den innebar vesentlige byplanmessige, kommunikasjonsmessige og jernbanetekniske fordeler:

1. Byen får en godt beliggende lokalstasjon — Nationalteatret stasjon — i vestre del av sentrumsområdet.
2. På grunn av den bedre beliggenhet av denne lokalstasjon vil passasjerstrømmen gjennom tunnelen bli betydelig større enn etter det tidligere tunnelalternativ. Tunnelen kommer således til å få større betydning for nærtrafikken.
3. Frogner-alternativet legger forholdene til rette for et nært samvirke mellom jernbane og tunnelbane.

del av Jernbanetorget. Her løper sporene sammen, slik at tunnelen har et vanlig dobbeltsporet tunneltverrsnitt omtrent ved Fred. Olsens gate. En stor del av de byggverk som inngår i den fremtidige stasjonsbebyggelse på Oslo S blir plassert på tunneltaket i dette området.

Deretter passerer tunnelen under Basarhallene, Domkirken og Stortorvet. Videre løper den fram under Egertorvet og Stortingets nordre fløy, syd for Karl Johans gate under Eids-

4. Traséen gir anledning til bygging av en lokalstasjon — Elisenberg stasjon — midt i et område som har en høy utnyttelsesgrad både med hensyn til boliger og virksomhet.
5. Traséen får en bedre jernbaneteknisk kurvatur.
6. Man unngår den kompliserte tunnelbygging gjennom Vestbanestasjonens sporområde, hvilket ville ha påført den daglige jernbandedrift atskillige ulemper.
7. Jernbanens tunnelarbeider koordineres med de tilsvarende arbeider for den kommunale tunnelbane på strekningen gjennom Studentertunden.

I Plankontorets forslag inngikk både en dobbeltsporet og en tresporet tunnelforbindelse. Under forhandlingene om utgiftsfordelingen mellom stat og kommune ble det imidlertid klart at det ikke var mulig å finansiere en tresporet tunnel. For å komme fram til en akseptabel utgiftsfordeling fant Plankomiteén og Forhandlingsutvalget dessuten at det var nødvendig å holde Elisenberg stasjon og den vestre oppgang for Nationalteatret stasjon utenfor drøftelsene. På dette grunnlag kom man fram til enighet om utgiftsfordelingen.

Spørsmålet om ferdigstilling av Elisenberg stasjon og vestre oppgang for Nationalteatret stasjon står fortsatt åpent. Det inngikk imidlertid i vedtaket at stasjonshallen for Elisenberg skulle utsprenkes og sikres, slik at forholdene ligger til rette for senere fullføring av stasjonen [10].

volls plass og Studentertunden, langs nordsiden av Nationalteatret og videre fram under Abelhaugen til Nationalteatret stasjon. Herfra går tunnelen gjennom Frognerområdet hvor den passerer Elisenberg stasjon. Tunnelen ender vest for Olav Kyrres plass, og sporene knytter seg her til Drammenbanens eksisterende trasé.

Anleggstekniske vurderinger

Før tunneltraséen ble endelig fastlagt, var det nødvendig å foreta en

Tabell 1.
Oversikt over bygnings- og banetekniske data for tunneltraséen.
Table 1.
Construction and track data for the tunnel alignment.

rekke avveininger mellom på den ene side kravet om en best mulig horisontal- og vertikaltrasé rent jernbaneteknisk, og på den annen side hensynet til byggekostnader og ønsket om minimale inngrep i bybildet under byggearbeidene. Beliggenheten og utformingen av tunnelstasjonene har også vært av betydning i denne forbindelse. Videre har det vært nødvendig å ta hensyn til en rekke eksisterende anlegg under terreng, så som tunneler for T-bane og forstadsbane, tilfluktsrom, bekkekulverter, avløpsledninger m.m.

Alt dette har nødvendiggjort et nært samarbeide med en rekke kommunale etater både under planleggingen og gjennomføringen av tunnelarbeidene.

Den overveiende del av tunnelen ligger i fjell. Krysningen av flere leirfylte dyppenner har imidlertid vært bestemmende for traséens beliggenhet, idet byggearbeidene her måtte foregå i åpen byggeplog. Traséen følger derfor fortrinnsvis ubebygget

Dimensjonerende hastighet	100–120 km/h
Design speed	
Minste kurveradius	600 m
Minimum curve radius	
Største stigning mot vest	12 ‰
Max. rising gradient towards west	
Stigning inn mot Oslo S (mot øst)	25 ‰
Rising gradient towards Oslo S	
Tunnel i fjell	2 695 m
Rock tunnel	
Tunnel i leire og fjellskjæring	940 m
Cut-and-cover	
Sum tunnellengde	<u>3 635 m</u>
Total tunnel length	

område på disse strekninger. Tunnelarbeidene gjennom dyppennen ved Jernbanetorget gjorde det likevel nødvendig å rive enkelte eldre bygninger.

Fra byens side var det et spesielt ønske at Studenterlunden skulle bevares mest mulig uberørt. Flere metoder for tunneldrift som ikke medførte

Fig. 3. Typiske tunneltverrsnitt.

1 = det normale laste- og konstruksjonprofil

2 = minste tverrsnitt A. Ingen faste gjenstander tillates å røge inn i dette profil.

Typical cross-sections of the tunnel a), b) and c) in rock and d) cut-and-cover.

1 = Normal loading gauge and vehicle gauge.

2 = Structure gauge. No fixed objects may project into this profile.

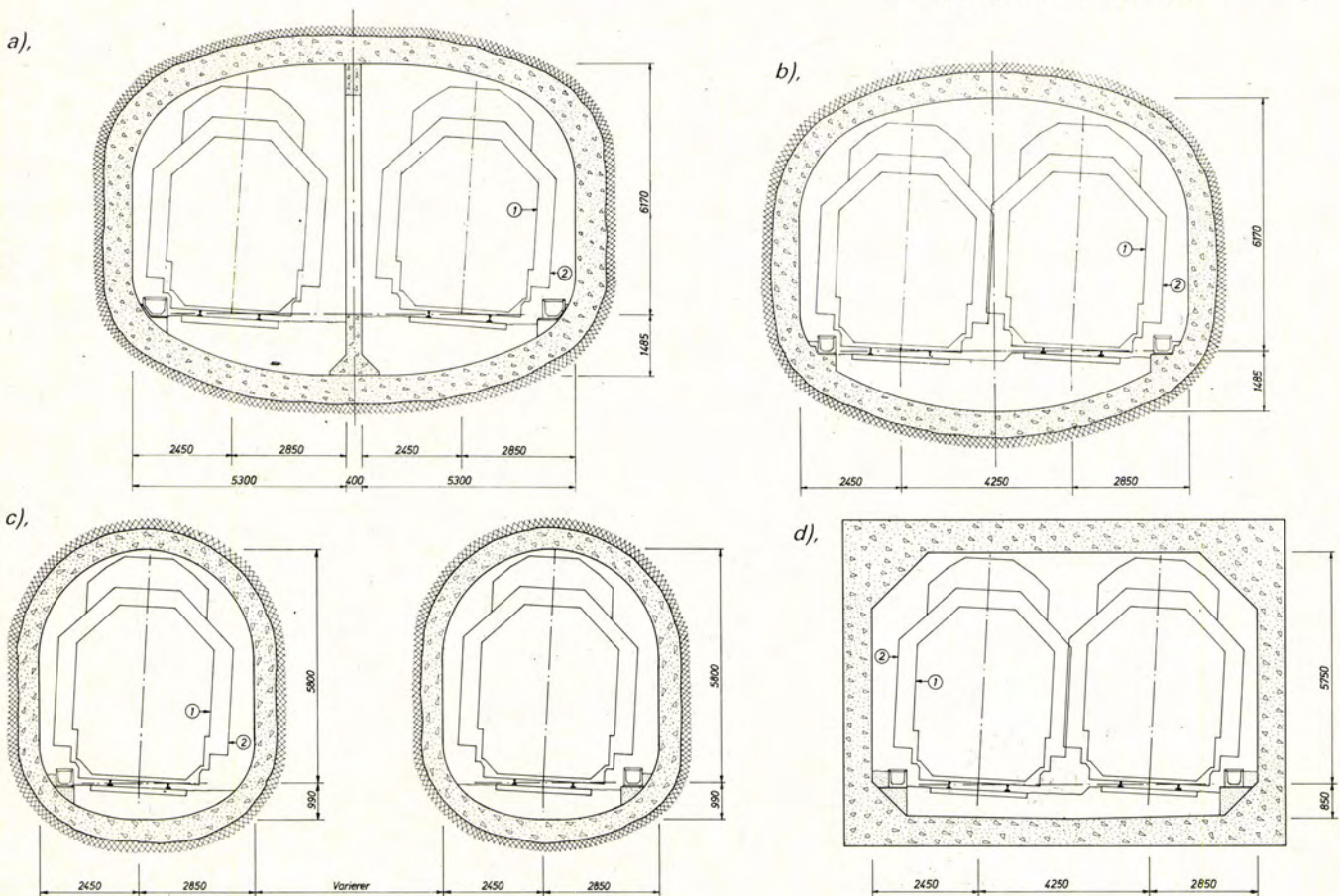
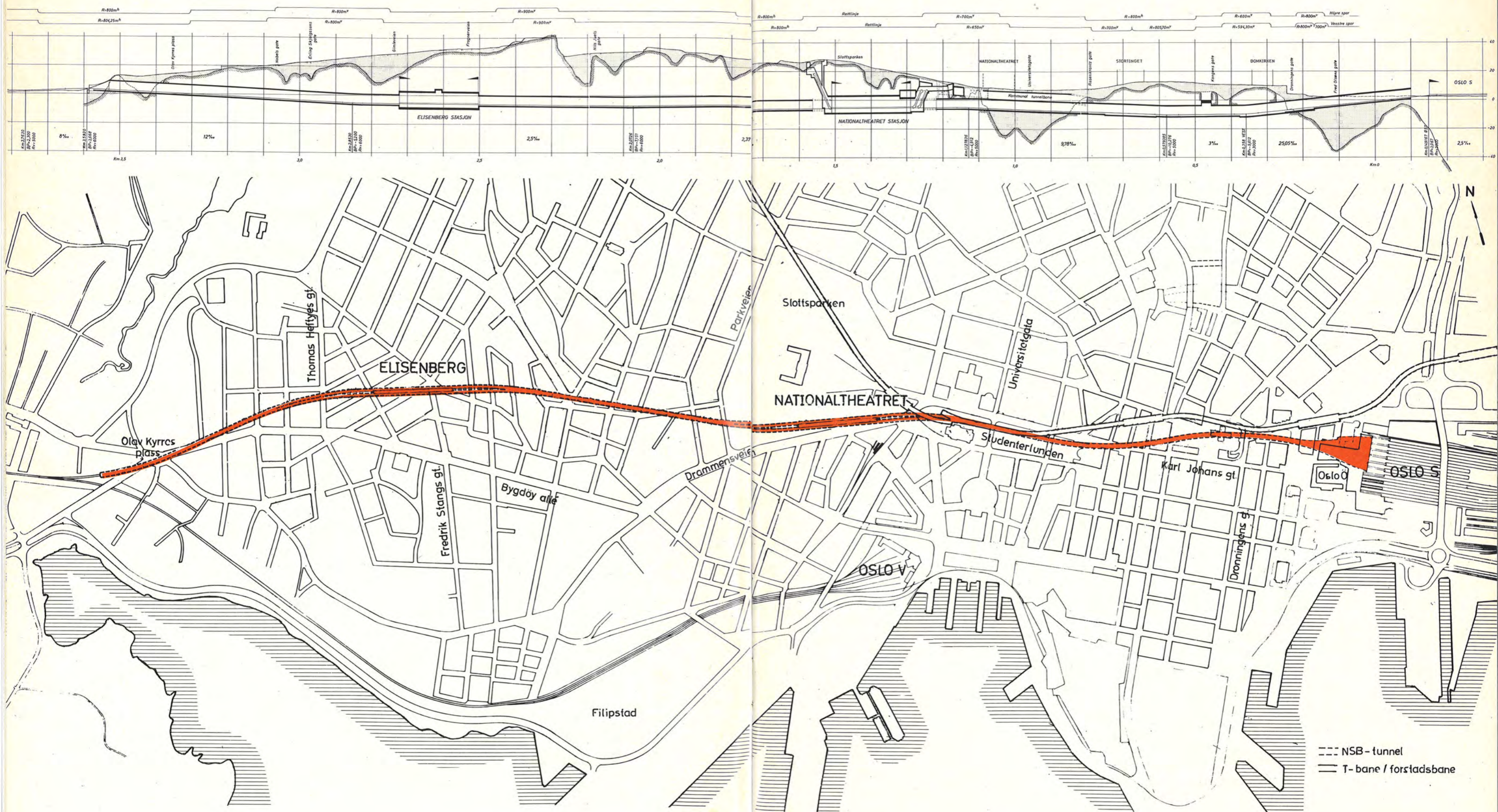


Fig. 4. Oslo-tunnelen. Plan og lengdeprofil.
Plan and longitudinal section of the Oslo tunnel.



graving fra dagen ble således vurdert for krysning av dyprennen på dette sted. Ingen slik metode ble imidlertid funnet teknisk og økonomisk forsvarlig under de rådende forhold.

Et kompliserende moment var det at også T-banens tunnel skulle krysse dyprennen i det samme område. Den endelige løsning ble at man valgte å legge T-banens tunnel over NSB-tunnelen på dette sted. Det ble derved bare nødvendig med ett anleggsområde for begge prosjekter, og byggegropens bredde kunne innskrenkes til et minimum. Byggegroppen ble på den annen side meget dyp (maks. 18 m). Dette medførte særlige anleggsmessige problemer.

Baneteknisk standard

Den valgte tunneltrasé har minste kurveradius på 600 m og er sporteknisk dimensjonert for en største hastighet på 100-120 km/h. Av hensyn til kapasiteten ved kjøring med avvekslende gammelt og nytt togmateriell er tillatt maksimalhastighet i tunnelen foreløpig satt til 70 km/h. Bakgrunnen for valget av traséstandard har vært at sporet i seg selv ikke skulle være

den begrensende faktor ved fastleggelse av den aktuelle kjørehastighet.

For å oppnå tilstrekkelig fjelloverdekning under Domkirken var det nødvendig å legge tunnelen inn mot Oslo S i 25 ‰ stigning. Da den lange stigningen i Brynsbakken øst for Oslo S er av samme størrelse, må de gjennomgående godstog mot Alnabru under enhver omstendighet ha nok trekkraft til å klare en slik stigning.

Største stigning mot vest, 12 ‰, er benyttet i vestre ende av tunnelen. Dette var nødvendig for å oppnå tilstrekkelig fjelloverdekning under dyprennene ved Nobels gate og Erling Skjalgssons gate samtidig som tunnelsporene skulle krysse over Frognerbakkens kulvert vest for tunnelportalen.

En oversikt over bygnings- og banetekniske data for tunneltraséen er satt opp i tabell 1.

Tunneltverrsnitt

Tunnelen er dobbeltsporet. Over det meste av strekningen går begge spor i én tunnel, delvis med og delvis uten midtvegg. På grunn av liten fjelloverdekning og for lettere å kunne oppta tilleggslast og skjevbelastning fra

Fig. 5. Nationaltheatret stasjon. Plan og lengdesnitt.

Nationaltheatret station. Plan and longitudinal section. The western ticket hall will be built at a later stage.

eventuelle senere nybygg over tunnelen, er det valgt en utførelse med midtvegg på fjellstrekningen gjennom Oslo sentrum. På strekningene inn mot tunnelstasjonene føres sporene fra hverandre i separate tunneler inn til toghallene som har mellomplattform.

Spørsmålet om tunnelstasjonene skulle utformes med mellomplattform eller sideplattformer var av avgjørende betydning for sporføringen. Når mellomplattform i dette tilfelle ble valgt, skyldtes det at man da får en enklere og oversiktligere stasjonsløsning og et mer konsentrert oppgangsarrangement. På den annen side vil utgreningspartiet mellom dobbeltsporetunnelen og enkeltsporetunnelene på begge sider av stasjonene bli kostbarere, særlig i dårlig fjell. Bl.a. kravet om sporsløyfer gjorde det nødvendig å trekke sporene sammen i dobbeltsporetunnel mellom stasjonene.

Tunnelprofilens dimensjoner er basert på gjeldende bestemmelser og normaler for lasteprofil og minste tverrsnitt. En del typiske tunneltverrsnitt er vist på figur 3.

Nationaltheatret stasjon

Denne stasjon får en god beliggenhet i vestre del av Oslo sentrumsområde med kort avstand til en rekke arbeidsplasser. Det blir dessuten overgang til de kommunale forstads- og tunnelbaner og til flere buss- og trikkelinjer (fig. 5).

Fullt utbygd får stasjonen oppgang både fra østre og vestre ende. Av økonomiske årsaker er imidlertid bare østre oppgang blitt fullført i denne omgang.

Toghall

Stasjonen ligger i rettløp og har en mellomplattform med bredde 11 m og lengde 220 m. Dette gir plass for tog med 8 vogner à 25 m, dvs. 4 lokal-togsett av type 69.

Toghallen ligger i sin helhet utsprenget i fjell (fig. 6). For at utstøpningen skal kunne oppta det store vanntrykk utenfra, er også bunnen utført hvelvformet.

Som på tunnelstrekningene for øvrig er konstruksjonsbetongen utført som kontaktstøp mot fjell. En mulig løsning med forstøp mot fjell og isolasjonsfolie mellom denne og konstruksjonsbetongen ble ikke ansett fordelaktig. Dette ville komplisere og fordyre anleggsarbeidene vesentlig. Erfaringene viser også at det under utførelsen lett kan oppstå upåaktede skader på folien som medfører alvorlige lekkasjer på et senere tidspunkt. Slike lekkasjer viser det seg også meget vanskelig å ettertette [20].

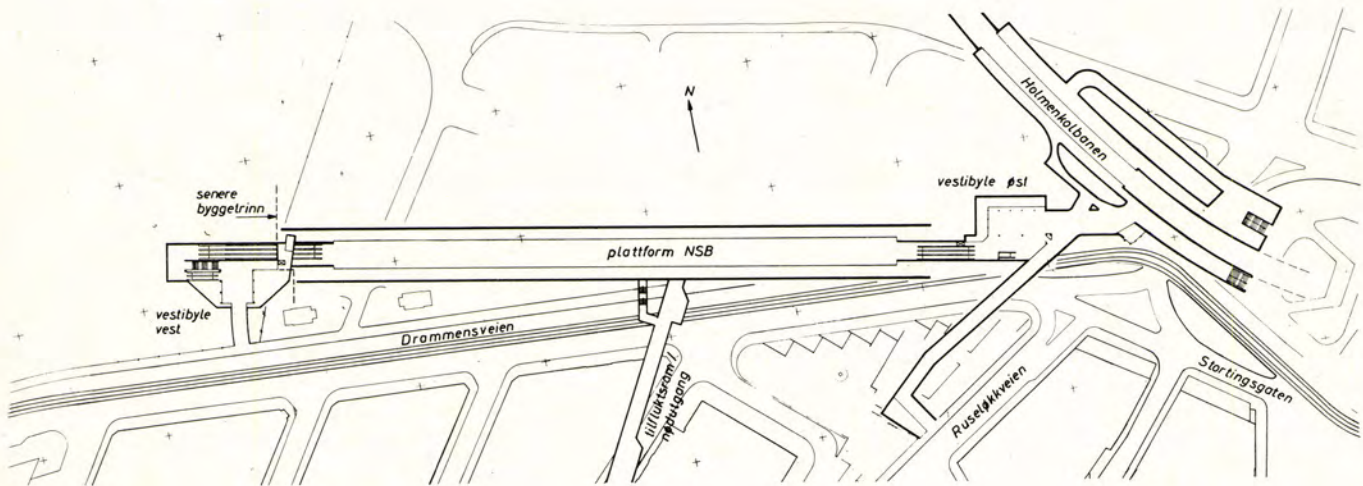
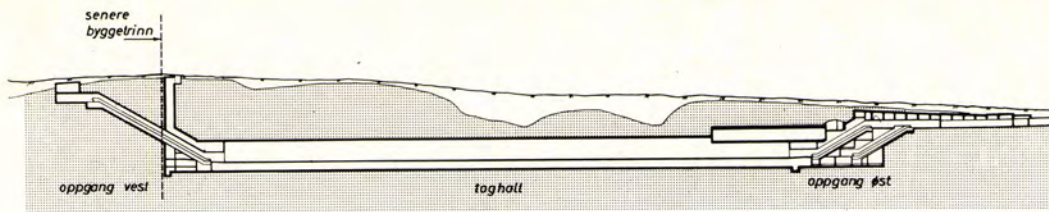
Ved den valgte løsning med kontaktstøp mot fjell må man i en viss utstrekning regne med fuktgjennomslag og lekkasjer i støpefuger og svinnsprekker. Her ligger likevel forholdene bedre til rette for ettertetting.

Ved utformingen av Nationaltheatret stasjon er det tatt konsekvensen av at det kan forekomme mindre lekkasjer gjennom konstruksjonsbeton-

gen. Over hele plattformen er der således en himling av korrugerte stålpåler som vil fange opp eventuelle takdrypp. Denne himlingen gir også plass for lysarmaturer, toganviserskilt, ur og TV-kameraer.

Til forskjell fra T-banestasjoner og de fleste underjordiske S-banestasjoner man kjenner fra andre land, får man her passerende fjerntog og godstog. Det har derfor vært lagt vekt på å få en effektiv støydemper. På ytterveggene i toghallen og under himlingen er det montert akustisk panel. Langs sporet og over himlingen er det en rekke støyabsorbenter i form av innkledd mineralullmatter.

For vestre oppgang kommer til utførelse, er det nødvendig med en nødutgang fra stasjonen i tilfelle brann og ulykker. Langs plattformen er det derfor plassert i alt 5 trappe- nedganger som fører til en langsgående gangvei på toghallens bunn-



hvelv. Herfra er det videre undergang under søndre spor og gjennom en transporttunnel som fører ut i Kronprinsens gate. Denne transporttunnel er primært bygd for anleggstekniske formål. I en del av tunnelen vil det imidlertid også bli innredet et tilfluktsrom som NSB er pålagt å bygge for stasjonens trafikanter.

I tilknytning til en av trappenedgangene er det også innredet et vaktrom og sykrom. Langs plattformens senterlinje er det med visse mellomrom plassert stålrammer hvor det er påmontert benker, informasjonstavler, stasjonsnavn og papirkurver.

Oppganger

Fra østre ende av toghallen fører det et oppgangsarrangement, som består av 4 rulletrapper med løftehøyde 10,7 m opp til en vestibyle som ligger under Drammensveien ved foten av Abelhaugen. På grunn av begrenset bredde mellom de to enkeltportunnelene var det nødvendig å legge den 4. rulletrappen bak de 3 øvrige (fig. 7).

Rulletrappene har trinnbredde på 1,0 m, stigning på 30° og kjøres med en hastighet på 0,65 m/sek. De er alle reversible slik at kapasiteten best mulig kan tilpasses retningen på rushtrafikken.

For de trafikanter som ikke kan benytte rulletrapper, er det installert heis. Rom for de fleste av stasjonens tekniske installasjoner har videre fått plass i tilknytning til denne oppgang.

Stasjonens billettekspedisjon ligger i vestibylen ved toppen av rulletrappene og heisen. Selv om stasjonen bare vil bli betjent av lokaltog og muligens enkelte mellomdistansetog, vil innredning og utstyr i billettekspe-

disjonen bli tilrettelagt slik at det om ønskelig kan foretas plassreservering og salg av billetter til alle innenlandske tog.

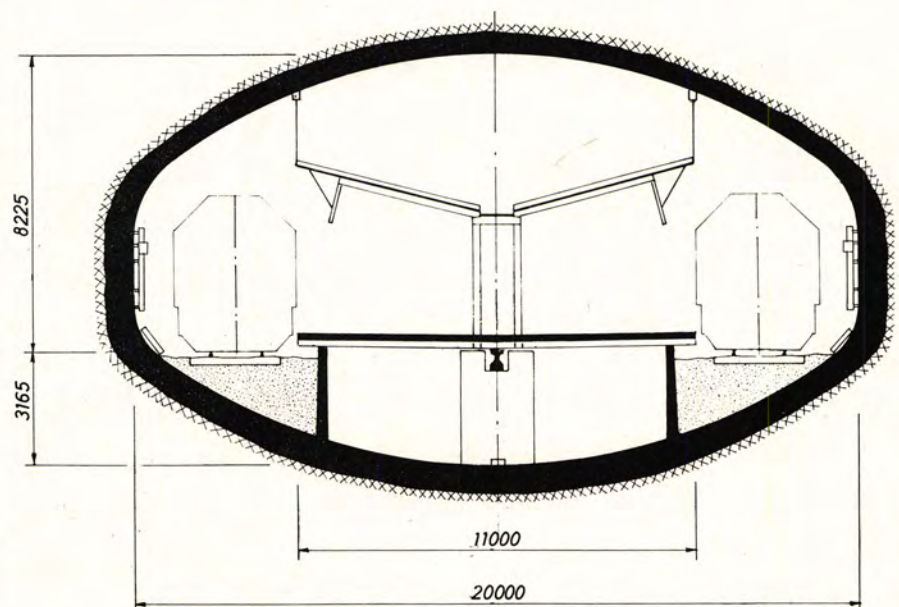
Vestibylen er utformet slik at det kan installeres sperrer for billettkontroll, dersom det senere skulle vise seg hensiktsmessig å gå over til lukket billettsystem på nærtrafikkstrekningene.

I vestibylen er det også salgskiosk for Narvesen A/S, oppbevaringsbokser og publikumstelefoner. Det vil eventuelt senere bli montert billettautomater. Ved Holmenkolbanens stasjon og under 7. juni-plassen er det allerede offentlige toalettanlegg. Det har derfor ikke vært ansett nødvendig å bygge ytterligere publikumstoletter ved stasjonen.

Fra vestibylen fører det en gangtunnel i stigning 1 : 13 opp til en utgang i Ruseløkkveien. En del av råbygget for denne tunnel ble bygget i 1972 i forbindelse med kommunens opparbeidelse av 7. juni-plassen.

Hovedutgangen fra vestibylen blir østover mot Studenterlunden. Denne vil bli innpasset i et felles inngangsparti med den moderniserte og utvidede Nationaltheatret stasjon på det kommunale forstads- og tunnelbanenett. Planene for denne stasjon er imidlertid ennå ikke avklart. Foreløpig er det derfor bare utført en provi-

Fig. 6. Nationaltheatret stasjon. Tverrsnitt av toghallen.
Nationaltheatret station. Cross section of the station tunnel.



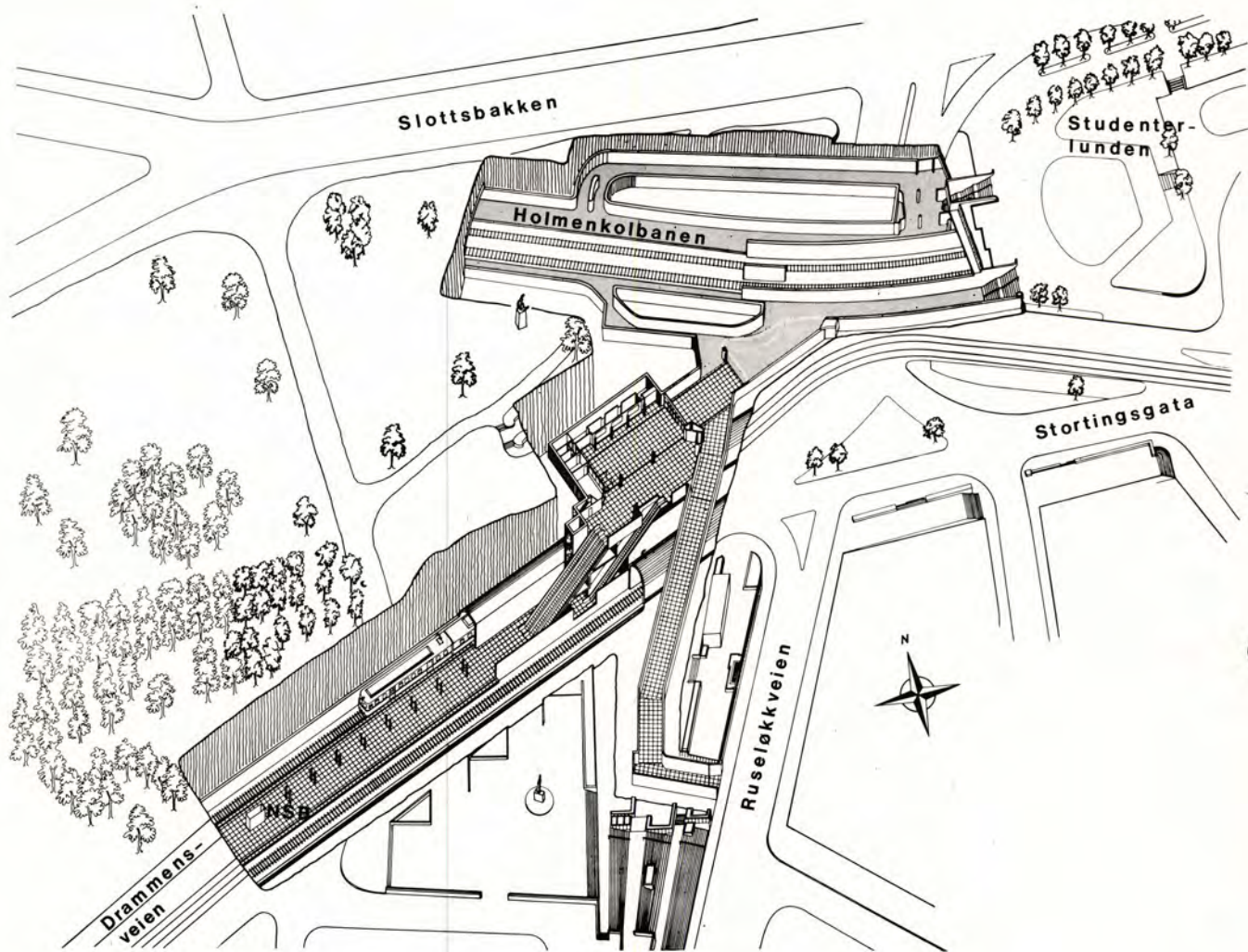


Fig. 7. Østre del av Nationaltheatret stasjon med forbindelse mellom NSB og Holmenkolbanen. Forbindelsen er provisorisk. Ved ombygging av den gamle undergrunnstasjonen til T-bane stasjon vil NSB og T-banen få et felles inngangsparti ved eksisterende trappeoppgang fra Holmenkolbanen.

The eastern part of Nationaltheatret station with connection between NSB and the municipal underground station. The passage between the two stations is temporary, until completion of rebuilding of the municipal station. A common entrance is planned, at the existing underground station stairs.

sorisk forbindelse inn til Holmenkolbanens utgangspassasje.

Stasjonen vil også få en oppgang fra vestre ende av toghallen, men denne vil av bevilgningsmessige årsaker ikke bli fullført i første omgang. Oppgangen er forutsatt å få en vestibyle i gatenivå med atkomst inn fra Drammensveiens nordre fortau vest for Slottets vaktstuer. Det er her et høydedrag i terrenget som gjør at inngangspartiet og vestibyle kan inn-

passes på en mest mulig diskret måte i parkområdet (fig. 10).

Mellom toghallen og den vestre vestibyle blir det en høydeforskjell på hele 28,0 m. Denne høydeforskjell overvinnes ved hjelp av rulletrapper. I tillegg blir det også direkte heisforbindelse mellom toghall og vestibyle.

Vestibylen vil bli utført på en slik måte at muligheten for å bygge en undergang under Drammensveien på et senere tidspunkt vil bli holdt åpen.

For at vestre oppgang skal kunne fullføres senere uten at togtrafikken i tunnelen sjeneres, er en del av råbygget utført allerede i forbindelse med byggingen av stasjonens toghall. I oppgangsarrangementet inngår dessuten en ventilasjonssjakt og visse tekniske rom for strømforsyning, ventilasjon m.v., som er nødvendig for stasjonens drift også i den nåværende fase av utbyggingen.

Tekniske installasjoner

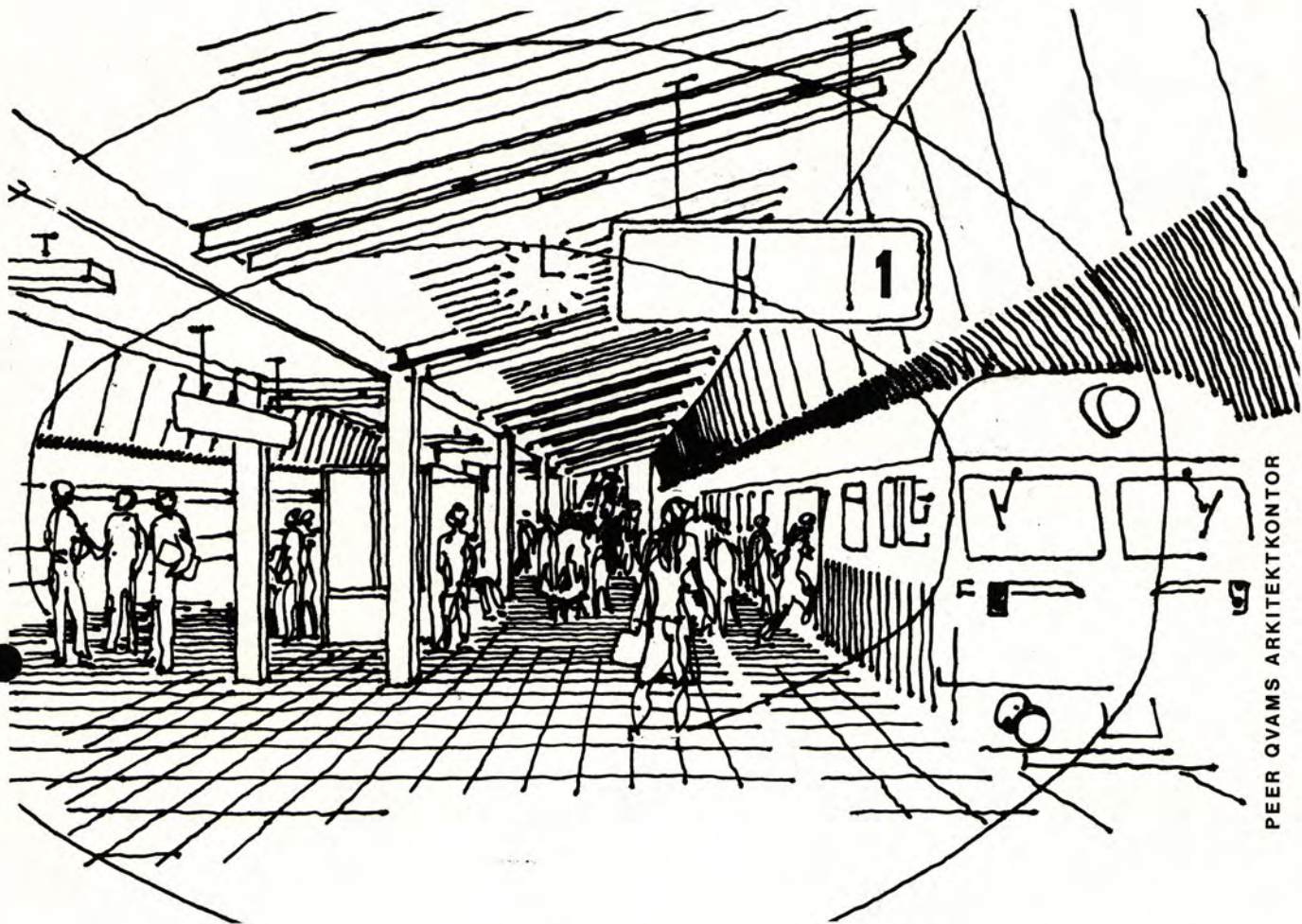
For strømforsyningen til stasjonen er det plassert en høyspent nettstasjon og et lavspent hovedfordelingsrom ved hver oppgang. Nettstasjonene

ligger på spornivå under rulletrappløpene, slik at utstyr og transformatorer kan inntransporteres direkte fra jernbanespor gjennom dør i tunnelveggen.

Oslo Lysverker har bekostet levering og montasje av nettstasjonene og har lagt fram 11 kV tilførsel- og signalkabler. Dersom den ene nettstasjonen faller ut, vil den andre fortsatt gi strøm til heisen og en del av lysarmaturene i stasjonen. Hvis begge nettstasjoner svikter, vil et batteridrevet nødlys automatisk tre i funksjon.

Avløpsvann fra østre vestibyle samles i atskilte pumpekummer for spillvann og overvann under vestibylegolvet. I toghallen er det 3 pumpekummer som samler opp drens- og spylevann. Alt avløpsvann pumpes ut til kommunens ledningsnett i Ruseløkkveien.

Ventilasjonsanlegget i toghallen er basert på innblåsing av filtrert, og om nødvendig forvarmet, friskluft oppe under takhvelvet fra østre ende av hallen og tilsvarende avtrekk i vestre ende. Ved siden av de ordinære avtrekksviftene er det også installert



PEER QVAMS ARKITEKTKONTOR

egne røkgassvifter som trer i funksjon i tilfelle brann. Ventilasjonsluften tas inn gjennom en rist i støttemuren mot Ruseløkkveien og trekkes ut gjennom ventilasjonssjakten i Dronningparken. Billettkontor og salgskiosk ved østre vestibyle er forsynt med egne ventilasjonsanlegg. Her er det også installert kjøleanlegg for å lede bort overskuddsvarme fra lys og tekniske installasjoner.

De nødvendige signaler for overvåking av ventilasjonsanlegg, pumper, rulletrapper, heis, røk- og varmedetektorer m.v. overføres til egen tavle i billettekspedisjonen og delvis også til vaktentralen på Oslo S. For at stasjonsbetjeningen til enhver tid skal ha oversikt over trafikk- og ordensforholdene, er det montert TV-kameraer på stasjonen. Bildene overføres til monitører i billettekspedisjonen og til vaktentralen på Oslo S.

I vestibylen er det plassert en automatisk anvisertavle som til enhver tid viser destinasjon, avgangstid og spornummer for de neste togavganger. I toghallen er det anviserskilt som gir tilsvarende opplysninger. Dette anlegg styres fra stillverket på

Oslo S. I tillegg til dette er stasjonen forsynt med vanlig høyttaleranlegg.

Tilgjengelighet for funksjonshemmede

Stasjonen er utformet slik at de reisende kan komme fra gatnivå til plattform uten å benytte trapper. Dette er av stor betydning både for bevegelseshemmede og reisende med barnevogn.

Av andre praktiske tiltak som kan være til hjelp for personer med forskjellige fysiske handicap kan nevnes: Håndlister i to høyder langs rampene, striper i golvbelegget som markerer plattformkanten og teleslynger som overfører høyttalermeldinger direkte til dem som benytter høreapparat. Som en detalj kan det også nevnes at golvristerne er utformet slik at de er mest mulig skånsomme for hundepoter. Dette er av betydning for blinde og svaksynte som benytter førerhund.

Til behandling av disse spørsmål har det vært engasjert en egen konsulent.

Fig. 8. Inntrykk fra toghallen til Nationalteatret stasjon.
From the Nationaltheatret station tunnel.

Fig. 9.
Utsmykking i passasjen mot Ruseløkkveien er utført av billedhuggerne Bård Brevik og Ola Enstad.
Artistic embellishment in the pedestrian tunnel to Ruseløkkveien. Four Norwegian artists are represented in the station.





Design, kunst, reklame

NSB arbeider nå med et eget design-program som bl.a. omfatter skilting og annen visuell informasjon. Selv om planene for Nationaltheatret stasjon ble utarbeidet før designprogrammet forelå, er det så langt det er mulig søkt å foreta en tilpassing mellom stasjonens arkitektur og intensjonene bak dette program.

Fra «Fondet for kunstnerisk utsmykking av nye statsbygg» er det bevilget kr. 410 000,— til utsmykking

av stasjonen. Dette beløp er benyttet til

- utsmykking av prefabrikerte vegg-elementer av betong og av håndlister i passasjen mot 7. juni-plassen (Bård Breivik og Ola Enstad)
- relieff i støpt aluminium på sydveggen i vestibulen over rulletrappen (Siri Aurdal)
- non-figurativ skulptur støpt i bronse plassert i vestibulen (Erwin Löffler)

Fig. 10. Fremtidig inngang til vestre del av Nationaltheatret stasjon fra Drammensveien ved portnerstuene til Slottet. Future western entrance to Nationaltheatret station.

Stasjonen er bare i moderat utstrekning forsynt med reklame og da fortrinnsvis i form av belyste montre eller transparente reklamefelter som inngår som en del av arkitekturen.

Elisenberg Stasjon

Stasjonen ligger dypt i fjell under den sentrale del av Frogner-området. I likhet med Nationaltheatret stasjon ligger også denne i rettlinj og har plattformlengde på 220 m. På grunn av mindre trafikk er mellomplattformens bredde her redusert til 9,3 m (fig. 11 og 12).

Oppgangsarrangementet er plassert midt i toghallen. Ved hjelp av rulletrapper, heis eller faste trapper kommer man opp til en bro som fører

over søndre spor inn i en gangtunnel. Fra enden av gangtunnelen fører det 3 store heiser med løftehøyde 30 m opp til stasjonens vestibule med billettekspedisjon som ligger på gate-nivå. Vestibulen er innpasset i et planlagt nybygg og vil få sin hovedadkomst fra Balchens gate. Den vil også bli tilknyttet en gangpassasje gjennom kvartalet mot Elisenbergveien. Stasjonen vil således få en sentral plassering i Frognerområdet mellom

hovedtrafikkårene Bygdøy allé, Fredrik Stangs gate og Frognerveien.

I likhet med vestre oppgang fra Nationaltheatret stasjon vil Elisenberg stasjon av bevilgningsmessige årsaker ikke bli fullført i første omgang. Det meste av råbygget i toghallen inkludert plattformen og broen over søndre spor er likevel utført slik at stasjonen senere kan fullføres uten at jernbanedriften i tunnelen vil bli vesentlig hindret.

Grunnforhold

Geologisk historie

Tunneltraséen ligger i den del av Oslofeltet hvor fjellgrunnen består av kambrosiluriske sedimentbergarter som ble dannet for 550—400 mill. år siden. Disse bergartene ble sterkt deformert under den kaledonske fjellkjedefolding ved slutten av denne periode og dannet da de fjellrygger og dalsenkninger i retning nordøst-sydvest, som er karakteristiske for denne del av Oslofeltet.

I Permtiden for 280—250 mill. år siden ble Oslofeltet på nytt utsatt for tektoniske bevegelser. Oslofjorden ble dannet ved at områdene langs vestsiden av fjorden og videre nordover sank ned. Dette resulterte i en serie større og mindre forkastninger og oppsprekning av bergartene.

Disse forkastningene og sprekke er tilnærmet vertikale, går hovedsakelig i retning nord-syd og skjærer gjennom de lagdelte bergartene.

Samtidig med de permiske forkastningene var det vulkansk aktivitet med oppsmeltede bergarter som strømmet opp og størknet i spalter og sprekker. Disse eruptive gangbergartene kan inndeles i fire hovedgrupper:

Mænaitt (Osloporfyr) er de eldste gangbergartene, og som regel ligger disse gangene parallelt med skiferlagene.

Rombeporfyr kom noe senere og opptrer i steiltstående spalter, ofte 10—20 m brede. Begge disse gangbergartene var nesten «tørre»

smelter, dvs. de har trengt opp uten overopphetet vann og vandamp, og gangbergartene størknet med skarpe grenser mot sidebergartene.

Syenitporfyr trengte opp i steile NØ-SV orienterte ganger, ofte med 3—10 m bredde.

Diabasene kom sist i rekken med steile og smale N-S gående ganger med 0,5—3,0 m bredde. Disse to siste gangbergartene kunne være ledsaget av store mengder overopphetet vann og vandamp, som ble presset fram langs gangsidene og til dels inn mellom skiferlagene. De omgivende bergartene ble oppkjust og ofte omdannet, eventuelt med utfelling av nydannede mineraler som hydroglimmer, klo-

Fig. 11. (nederst) Elisenberg stasjon. Plan og lengdeprofil.
Elisenberg station. Plan and longitudinal section.

ritt og i noen tilfelle svellende leirmineraler som montmorillonitt.

Kvartærtiden de siste 2 mill. år har vært preget av mange istider. Terengformasjonene og fjelloverflaten ble da utsatt for intens erosjon. Svakhetssoner i bergartene som var dannet ved folding, overskyvning og forkastning, ble av isen utgravet til dyprenner. Etter siste istid for ca. 10 000 år siden, da havet sto opp til 220 m høyere enn i dag, er dyprennene etter hvert blitt fylt med leire som er avsatt i saltvann.

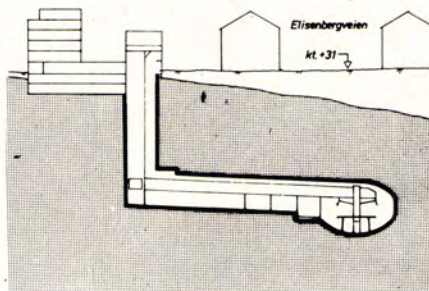
Fjellstrekningene

Tunneltraséen ligger omtrent i retning øst-vest og skjærer derfor stort sett på tvers av lagdeling, forkastningssoner og eruptivganger. Rent stabilitetsmessig er dette en fordel, men det medfører også at de geologiske forhold kan variere sterkt langs tunneltraséen (fig. 13).

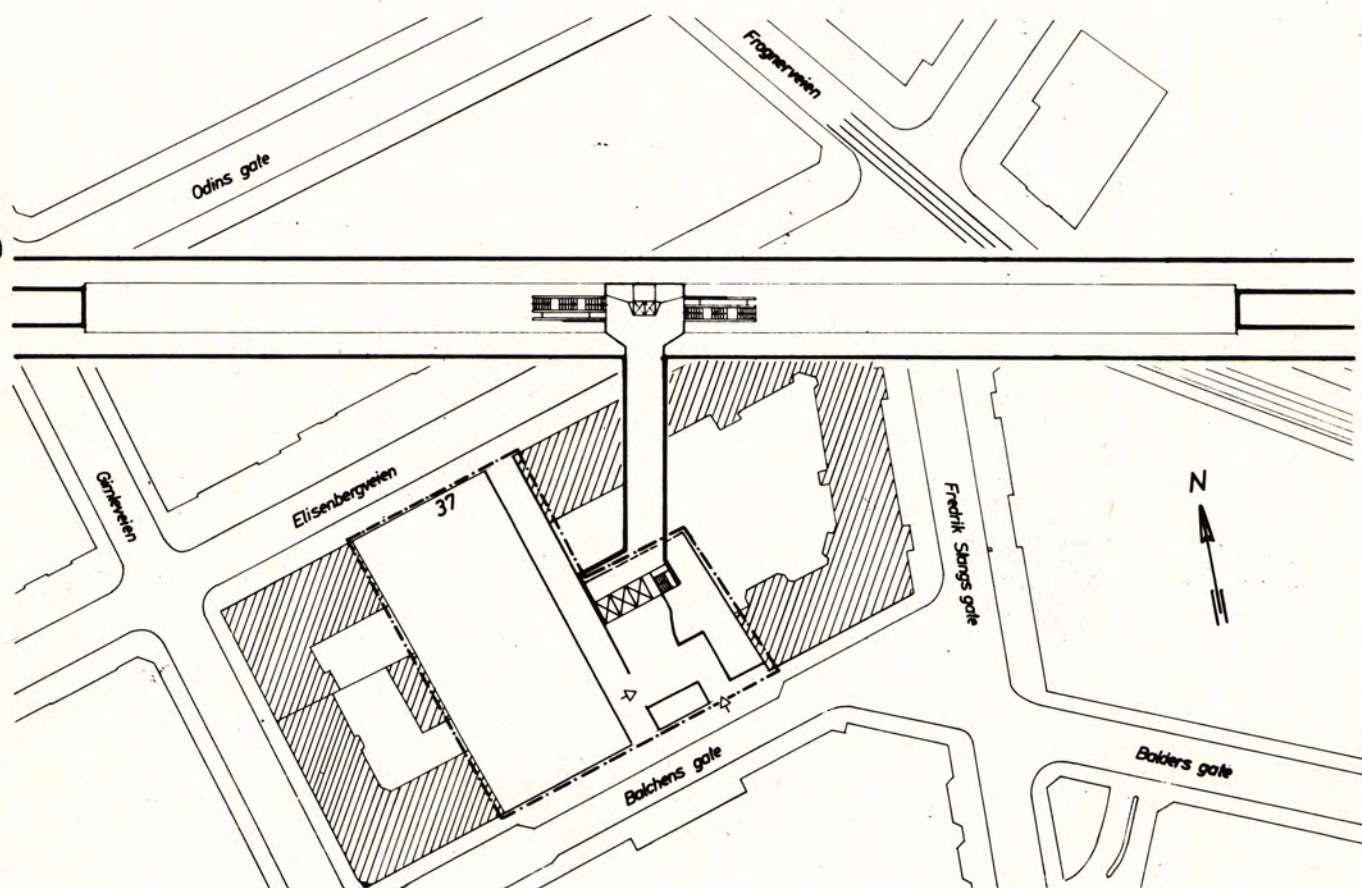
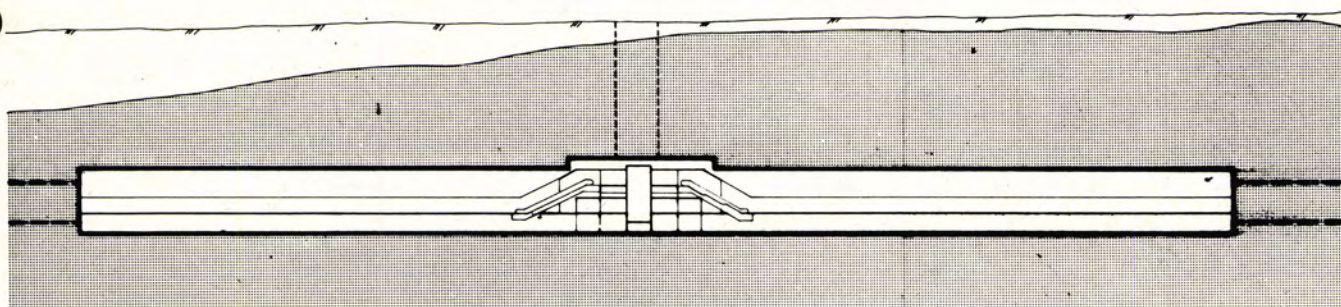
Som følge av en forkastning ved dyprennen i Studenterlunden, er de sedimentære bergarter av forskjellig alder på hver side av denne. På østsiden i Oslo's sentrumsområde består

Fig. 12. Elisenberg stasjon. Tverrsnitt gjennom oppgangspartiet. Vertikale heiser med 30 m løftehøyde formidler forbindelse fra et plan over plattformnivå til en vestibyle i gatennivå.

Elisenberg station. Cross section through the access. Vertical lifts carry passengers 30 m from a foyer above platform level to the ticket hall at street level.



Tverrsnitt gjennom oppgang



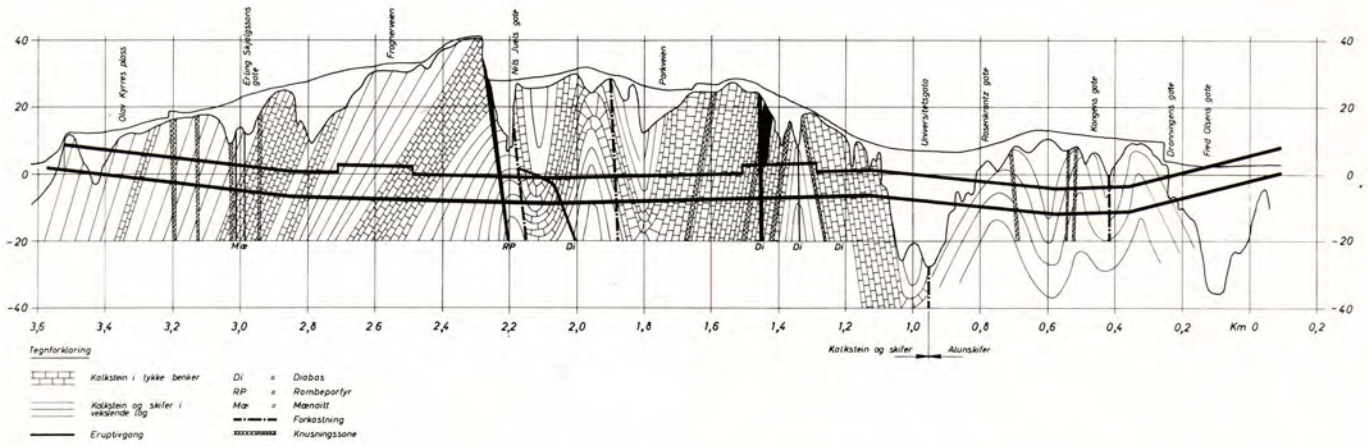


Fig. 13. Geologisk lengdeprofil. Geological section.

bergarten av alunskifer, som hører til de eldre og dypere lag av den sedimentære lagrekke. Alunskiferen er særlig karakteristisk ved sitt svovelinnhold og sin aggressivitet overfor betong. Dette forhold har nødvendiggjort spesielle tiltak som vil bli omtalt i senere avsnitt.

Fjellpartiet langs tunneltraséen vest for Studenterlunden består av yngre sedimentbergarter i form av leirstein/leirskifer vekslende med mer kalkrike bergarter. Skiferlagene som ligger mellom de kalkrike lagene har under foldingen i mange tilfelle blitt intenst småfoldet, oppknust og sammenpresset av de stivere lagene. I

enkelte tilfelle har foldeprosessen vært så kraftig at lagene har brukket tvers av, og bergartene er blitt skjøvet over hverandre. Figur 14 viser den råsprengte fjelltunnel på en tilsvarende strekning.

Løsavleiringer

I store trekk er jordlagene i dypprenene oppbygd på følgende måte: Øverst ligger et tørrskorpelag av varierende tykkelse, fra 2 til 4 m. Til dels består også det øvre jordlag av oppfylte masser. Tørrskorpelaget har relativt høy skjærfasthet som følge av uttørring og forvitring. Under dette laget finnes overalt i dypprenene plastisk og stort sett homogen leire med gjennomgående lavere skjærfasthet. Leiren kan være mer eller mindre sensitiv (tildels også kvikk), hvilket er en

geoteknisk betegnelse for den nedsettelse i fastheten som finner sted ved omrøring. Umiddelbart over fjellet er i regelen konstatert sand- og grusholdig morène-materialer, spesielt i de dypere deler av forsøkningsene. Disse lag er, sammenlignet med leiren, meget vanngjennomtregelige.

Tabell 2 viser karakteristiske data for de dypprenner som berøres av tunnelarbeidene. Det fremgår her at forholdene i hovedtrekkene er ensartet i dypprenene, bortsett fra en sone med kvikkleire ved Olav Kyrres plass.

Grunnundersøkelser

Både av hensyn til den endelige fastleggelse av tunneltraséen og til valg av byggemetoder var det nødvendig å få kartlagt grunnforholdene best mulig på forhånd. Det var derfor nødvendig å få opplysninger om fjelloverflatens beliggenhet, beskaffenheten av løsavleiringene i dypprenene, fjellkvaliteten og poretrykkene i grunnen.

Registrering av foreliggende data om grunnforhold

I første omgang ble det samlet inn data fra tidligere grunnundersøkelser, fra utførte bygg og anlegg og fra blottlagt fjell i området. Oslo kommune har utarbeidet et eget undergrunnskartverk, som dekker de sentrale byområder. Dette viser fjelloverflaten med god nøyaktighet og var til stor hjelp ved prosjekteringen av østre del av tunneltraséen. I dette



Fig. 14. Fra sprengingsarbeidene i fjelltunnelen 30 m under Frognerområdet. The tunnel face 30 m beneath the surface in the Frogner area.

Fig. 15. Typisk borkjerneprofil.

F.K.B. = lengde sammenlagt av kjernebiter større enn 10 cm pr. m.

R.Q.D. = fjellkvalitet etter en spesiell skala.

Typical core drilling profile. During site investigation more than 800 m of rock cores were taken from 26 drillings along the tunnel alignment.

F.K.B. = total length of cores, larger than 10 cm per m.

R.Q.D. = rock quality designation according to a special scale.

område går NSB-tunnelen og T-banens tunnel nær hverandre, og det var derfor naturlig med et samarbeid mellom NSB og Oslo kommune om supplerende grunnundersøkelser.

Langs tunneltraséen lenger vestover i Frognerområdet var det langt mer sparsomme opplysninger om grunnforholdene. Det ble her nødvendig med ganske omfattende grunnundersøkelser, særlig for å kartlegge fjelloverflatens beliggenhet i bunnen av dypprenene og for å få klarlagt fjellens beskaffenhet (lagdeling, oppsprekking, forkastningssoner, eruptivganger m.v.).

Seismiske målinger

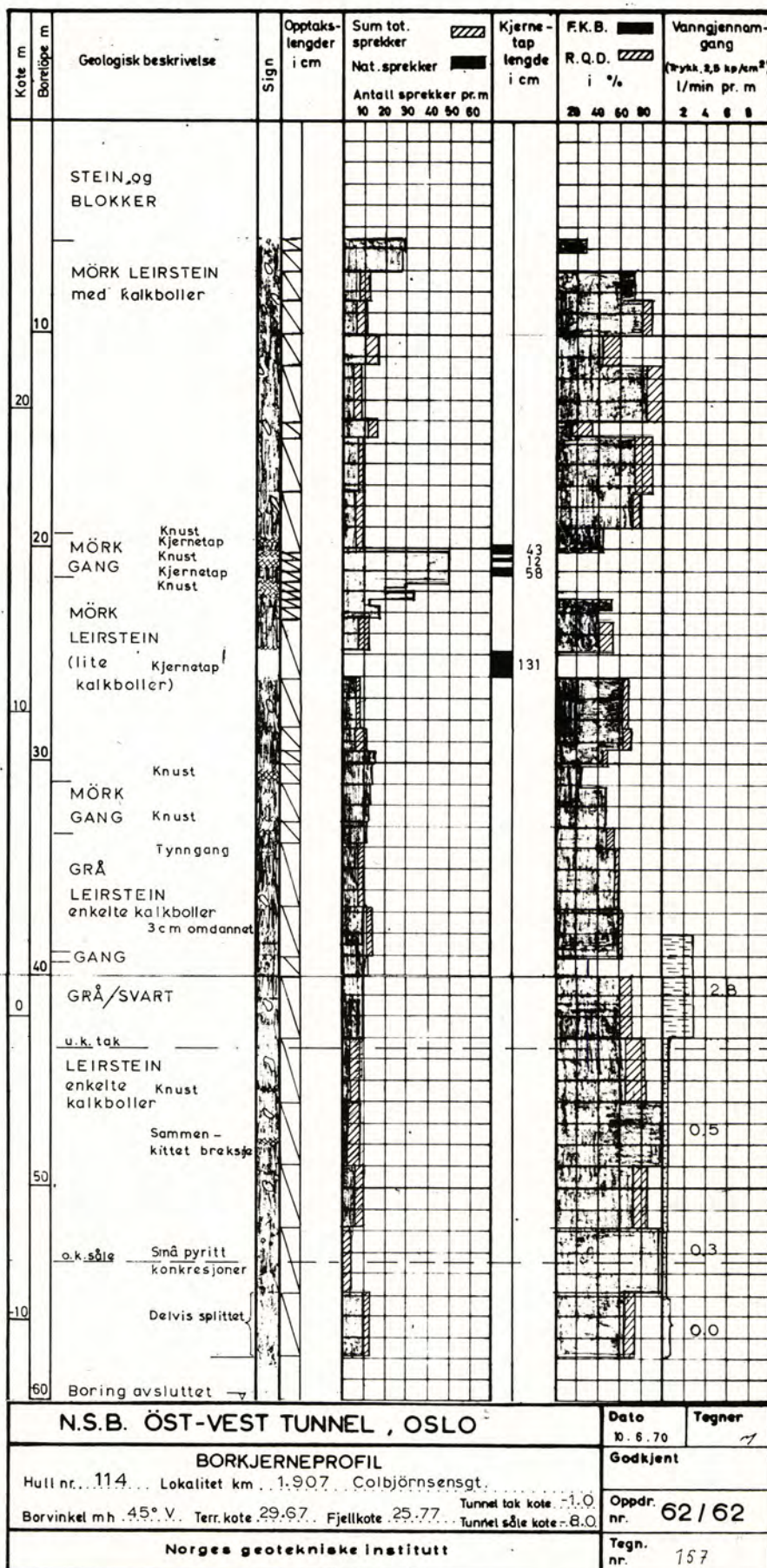
For å skaffe grunnlag for det endelige trasévalg i Frognerområdet og for å få kartlagt svakhetssonene i fjellet, ble det foretatt seismiske målinger. Tilsvarende målinger ble også foretatt langs tunneltraséen i sentrumsområdet. Disse målingene registrerer lydbølgenes forplantningshastighet i de forskjellige fjellformasjoner og i løsavleiringer og gir på dette grunnlag en relativt grov beskrivelse av fjelloverflaten og fjellkvaliteten. Det ble i alt tatt seismiske profiler over en strekning på ca. 3000 m.

Fjellkontrollboringer

Særlig på de steder hvor tunnelen passerer like under en dypprenne, var det nødvendig å kartlegge fjelloverflaten nøyere. Dette foregikk ved hjelp av slagsonderinger til fjell, til dels også ved boringer noe ned i fjell. I alt ble det utført ca. 500 slike fjellkontrollboringer.

Kjerneboringer

Fjellet langs tunneltraséen ble kartlagt nærmere ved hjelp av kjerneboringer. Det ble i alt tatt opp ca. 800 m borkjerner fordelt på 26 hull (fig. 15). Disse boringene ble fortrinnsvis plassert på de steder hvor det var indikasjon på at man ville treffe på forkastningssoner eller eruptivganger. Hullene ble satt an slik at man såvidt mulig både boret gjennom sidefjellet og forkastningssonen eller eruptivgangen. Det ble også foretatt vanntapmålinger i kjerneborhullene. I en del av hullene, fortrinnsvis hvor man hadde kjernetap, ble borhullsveggen observert ved hjelp av TV-kamera.



Dyprenner depressions	Krys- nings- lengde length of crossing m	Grave- dybde Ex cava- tion depth m	Maks. dybde til fjell Max. depth to rock m	Udrenert skjær- fasthet Undrained shear strength t/m ²	Sensitivitet Sensitivity
Jernbanetorget	160	10	38	2-3	3-6
Stortorget	35	10	10	2,8	—
Studenterlunden	220	18	40	2-4	3-6
Olav Kyrres plass	40	12	17	1,5-2,5/4*)	3-6/50-70*)

*) På 15 m dyp ble det påtruffet kvikkleire med $s = 4 \text{ t/m}^2$ og sensitivitet på 50-70.
At 15 m depth quick clay, $s = 4 \text{ t/m}^2$ and sensitivity 50-70, was encountered.

Tabell 2. Dyprenner langs Oslo-tunnelen. Clay-filled depressions along the Oslo tunnel.

Vingeboring og prøvetaking

For å kunne fastlegge byggemetoder og for å få et pålitelig dimensjoneringsgrunnlag for tunnelvegger m.v., var det nødvendig å få kartlagt de geotekniske egenskaper for leiren i dyprennene. For dette formål ble det utført en rekke vingeboringer og prøvetakinger (fig. 16).

Poretrykksmålinger

Poretrykksmålingene ble igangsatt i god tid før tunnelarbeidene startet opp. Disse målingene tjente to for mål. For det første var det nødvendig å få kartlagt det referansenivå som poretrykkene lå på i utgangspunktet og hvilke virkninger tunnelarbeidene hadde på dette. For det annet måtte man vite hvilket hydrostatisk trykk man skulle dimensjonere den permanente utstøpning etter.

Poretrykkene ble målt delvis ved hjelp av peilebrønner i fjell og delvis ved hjelp av piezometre som fortrinnsvis ble plassert i morenelaget ved overgangen mellom fjell og leire. En del av de allerede utførte kjerneborhull ble også benyttet som peilebrønner. I tillegg ble det boret en del egne peilebrønner i fjell noe til side for tunneltraséen. Ved hjelp av senkborhammerutstyr ble det boret i alt 13 hull for peilebrønner, samtidig som 11 av kjerneborhullene ble benyttet til samme formål. Av piezometre var det i alt installert ca. 85 stk. (fig. 17).

Bygnings observasjoner

For å ha oversikt over i hvilken grad tunnelarbeidene innvirker på nærliggende byggverk, ble det både før, under og etter anleggsperioden foretatt omfattende registreringer og besiktigelser av bygninger langs tunneltraséen. På grunnlag av disse opplysninger og av de løpende poretrykksmålinger og lekkasjemålinger i tunnelen,

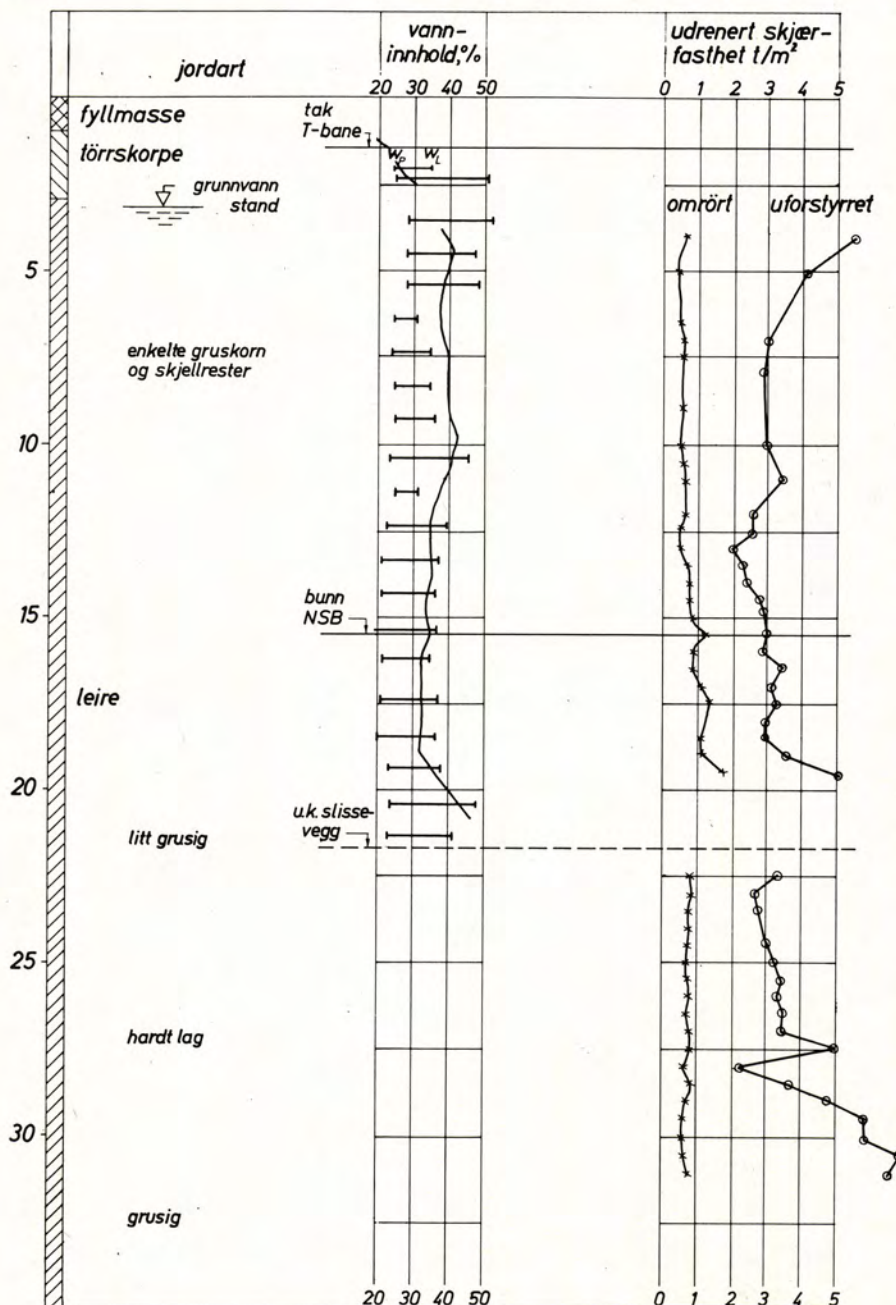


Fig. 16. Leirens egenskaper i et typisk prøvetakingshull (Studenterlunden). Physical properties of clay in a typical boring. Water content, % and undrained shear strength, t/m².

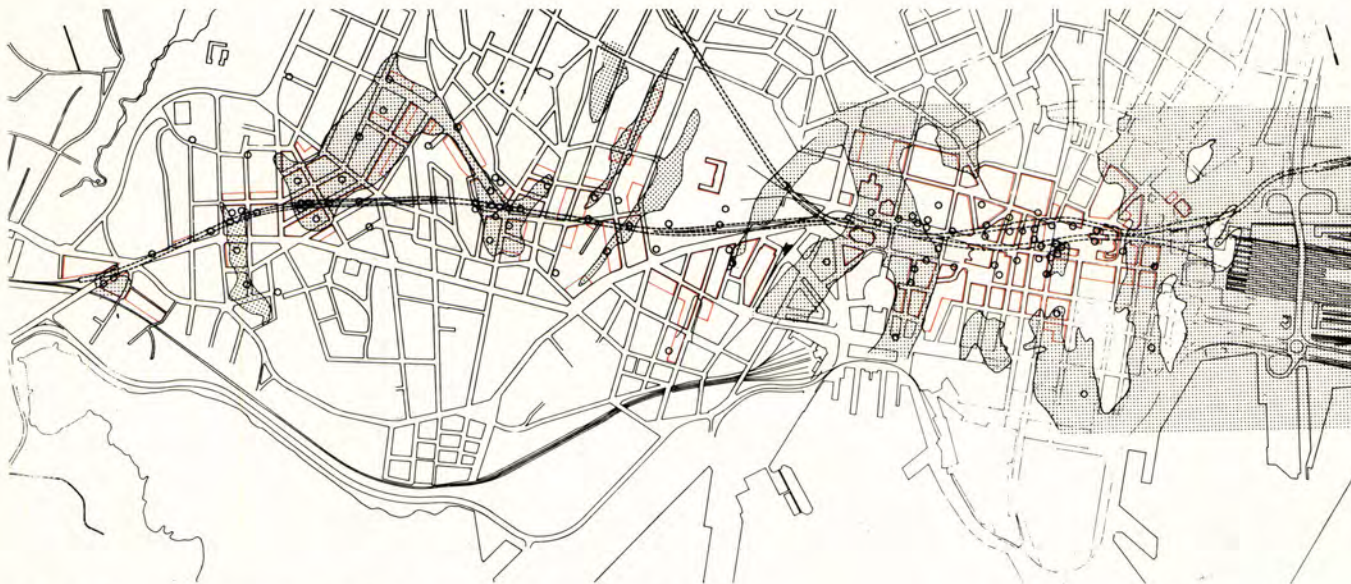


Fig. 17. Dyprenner, poretrykksmålere og nivelerte bygninger langs traséen.
Depressions, piezometers and settlement observations along the tunnel alignment.

▨ dyprenner, > 10m til fjell
depressions, > 10m to rock
○ poretrykksmålere og peilebrønner
piezometers and observation wells

□ kvartaler der flertallet av bygningene
inngikk i halvårlige nivellementer
areas of settlement levelling performed
twice each year

var det således mulig å legge opp til en fremdrift som til enhver tid var mest mulig skånsom overfor omgivelsene.

Nivellement

Regelmessige nivellement ble igangsatt på en rekke bygninger langs tunneltraséen flere år før tunnelarbeidene startet opp. Terrengets egen-setninger, dvs. de setninger som skyldes leirlagenes naturlige konsolidering, ble på denne måte kartlagt.

I alt er det satt inn over 3000 nivellementsbolter i bygningene. Dessuten hadde Oslo kommune ansvaret for nivellement av et tilgrensende område ved Sentrum stasjon på den kommunale tunnelbane. Det ble normalt utført halvårlige nivellementer

av samtlige bolter. Under tunnelarbeidene ble nærliggende bygninger nivellert med intervaller ned til 1 måned og i spesielle tilfeller ukentlig.

Rystelsesmålinger

Under sprengningsarbeidene ble det for hver salve foretatt rystelsesmålinger på utvalgte bygninger i nærheten. I anbudsbeskrivelsene ble det generelt angitt en største tillatte rystelsesamplitude på bygningene på 150 μ . For spesielt følsomme byggverk, som f.eks. Domkirken, Stortinget og Televerkets automatsentraler, var kravene enda strengere. Størrelsen på salvene og sprengstoffmengden pr. tennervintervall ble avpasset slik at de angitte maksimalrystelser ikke ble overskredet.

Bygningsbesiktigelser

Selv om tunnelarbeidene drives fram med den største forsiktighet, kan det ikke utelukkes at det kan oppstå skader på den nærliggende bebyggelse. Problemet er imidlertid å kunne skjelne mellom skader som forårsakes av tunnelanlegget og skader som skyldes andre forhold. Mange av de bygninger som ble registrert før anleggsarbeidene begynte, var i dårlig forfatning med skjevsetninger og sprekker i murverket. For å oppnå en objektiv vurdering av skader og skadeårsaker ble det i samarbeid mellom byggherre (NSB), gårdeier og entreprenør foretatt bygningsbesiktigelser før, etter og delvis under anleggsarbeidene. I alt 700–800 bygninger ble besiktiget på denne måten.

Spesielle tekniske problemer

Kombinasjonen av ugunstige grunnforhold og tett bebyggelse gjør at tunnelarbeider i Oslo's sentrale bystrøk blir særlig vanskelige og krever spesielle forholdsregler. Graving i åpen byggegrop kompliseres av det store antall ledninger i grunnen (vann, avløp, strøm, telefon og gass) som må sikres eller legges om.

I de følgende avsnitt vil det bli redegjort for en del av de viktigste og mest karakteristiske tekniske problemer under prosjekteringen og utførelsen av Oslo-tunnelen.

En del problemer som særlig er knyttet til de enkelte delstrekninger av tunnelen, vil bli omtalt under be-

skrivelsen av de forskjellige anleggsavsnitt.

De mer anleggstekniske sider ved gjennomføringen av tunnelprosjektet vil eventuelt bli behandlet i senere artikler.

Tiltak mot drenering og setninger

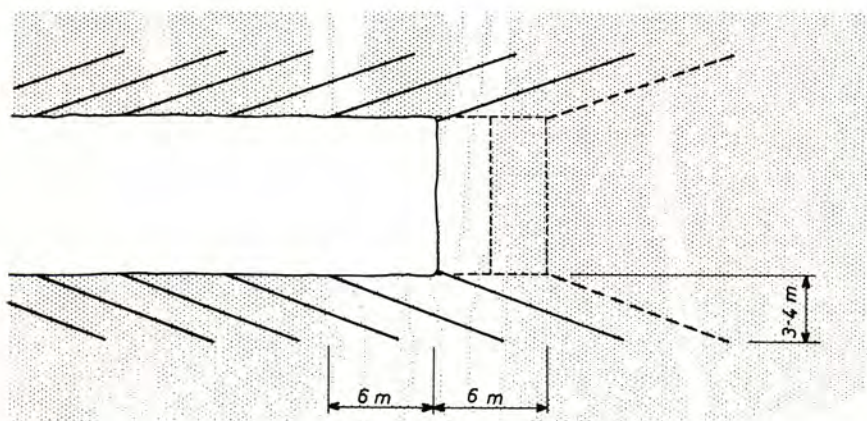
Ved tunnelarbeider i et tettbygd byområde må alle tiltak som kan hindre skader på omgivelsene, gis høy prioritet. Grunnen i tunnelens influensområde er sterkt utnyttet til bygnin-

ger og andre faste anlegg, og eventuelle skadekrav kan bli betydelige. De fleste bygninger langs Oslo-tunnelen er dessuten fra like før århundreskiftet, med dårlig fundamentering til dels på mektige løsavleiringer. På grunn av tidligere setninger står også mange av bygningene med spenninger i murverket, slik at de er meget ømfintlige for rystelser og ytterligere setninger.

Ved arbeider i åpen byggegrop i leire vil deformasjon av støttekonstruksjonene rundt byggegropen forårsake setninger langs tunnelen. Slike deformasjoner og setninger er søkt motvirket ved bruk av stivest

Fig. 18. Vanlig prosedyre ved systematisk injeksjon. 12 m lange injeksjonsskjermer for annenhver salve à 3 m.

Normal procedure for systematic grouting. Trumpet-formed zones of 12 m length were drilled and grouted for every other blast of 3 m length.



mulige veggkonstruksjoner rundt byggegropen og ved forspenning av tverrstiverne. Den senere beskrevne slissveggmetoden som i stor utstrekning har vært benyttet, har vist seg meget gunstig i så måte.

Denne setningseffekt er imidlertid av mer lokal karakter. Langt alvorligere er setning som forårsakes av utdrenering av grunnvannet. Denne årsaksammenheng ble man smertelig klar over under anlegget av Holmenkolbanens tunnel mellom Majorstua og Nationaltheatret i årene 1912–14 og 1926–28, hvor store vannlekkasjer i tunnelen førte til utdrenering av leirlagene og alvorlige setninger på en rekke bygninger. Senere erfaringer har også vist at selv små lekkasjer kan gi store poretrykksreduksjoner og setninger.

Utstøpning

Ved prosjekteringen av Oslo-tunnelen var man klar over at det måtte legges avgjørende vekt på å få tunnelen mest mulig vanntett. Det ble derfor på et tidlig tidspunkt besluttet at hele tunnelen skulle forsynes med betongutføring, også i bunnen, dimensjonert for et vanntrykk tilsvarende det opprinnelige porevannstrykk.

Dette gir en utførelse som på mange måter er forskjellig fra tidligere fjelltunneler ved NSB, hvor utstøpningen har vært begrenset til områder med dårlig fjell eller store vannlekkasjer. Hensikten med utstøpningen har i disse tilfeller vært å sikre tak og vegger og unngå sjenerende lekkasjer og frostproblemer. Utføringen har derfor vanligvis vært utført med bakenforliggende drene-

ring og ikke vært dimensjonert for vanntrykk.

Injeksjon

Selv om utstøpningen således forhindrer en permanent uttapping av grunnvannet langs traséen, kan det være fare for midlertidige poretrykksreduksjoner i byggetiden før betongutføringen er kommet på plass. Spesielle tiltak var derfor nødvendige for så vidt mulig å unngå slik uttapping.

Hvor vanntaps- eller lekkasjemålinger på tunnelstuppen viste at det var nødvendig, ble det foretatt forinjisering ved at det ble etablert injeksjonsskjermer i fjellet rundt tunnelprofilen før utsprenningen. Denne injeksjonen ble stort sett utført som vist på fig. 18. For innpressing av injeksjonsmasse ble det fra stuppen boret 12 m lange hull i en trompetsone fremover. Hullene ble satt an i avstand av ca. 1,0 m langs omkretsen av tunnelprofilen. En slik skjerm ble boret og injisert for annenhver salve.

Det ble hovedsakelig benyttet sement som injeksjonsmiddel, men i en viss utstrekning også kjemiske midler, som har den fordel at de lettere trenger inn i finere sprekker i fjellet. Det var i en periode vanskelig å skaffe egnede kjemiske injeksjonsmidler, idet to av de mest brukte midlene — lignin og AM9 — ble forkastet av hensyn til arbeidsmiljøet. Etter en del eksperimentering med tilsetningsstoffer ble et vannglass-basert middel benyttet med forholdsvis gode resultater.

Vanninfiltrasjon

Erfaringene har vist at man til tross

for den utførte injeksjon likevel på sine steder har fått lekkasjer som har medført poretrykksreduksjoner i de overliggende dyprenner. For å heve poretrykket ble det derfor etablert et omfattende system for kunstig infiltrasjon av vann i flere av dyprennene.

Vanninfiltrasjonen ble først forsøkt gjennom lange fjellhull boret fra den råsprenge tunnelen. Forsøkene ga ikke de ønskede resultater, idet det viste seg vanskelig å oppnå en hensiktsmessig plassering av hullene ved boring fra tunnelen. Dessuten kom kraner, reduksjonsventiler og vannmålere i veien for den etterfølgende utstøpning.

På den utstøpte del av tunnelen ble det på en strekning boret hull gjennom betongen for infiltrasjon av vann. Her ble resultatet mer vellykket, idet vanntrykket raskt bygget seg opp rundt betongutføringen. Ettertetting av utstøpningen medførte imidlertid at disse infiltrasjonshull etter hvert gikk tapt.

Som erstatning for infiltrasjonen fra tunnelen ble det besluttet å prøve infiltrasjon fra dagen. Dermed ville man kunne opprettholde infiltrasjonen uavhengig av arbeidene i tunnelen, og uten å forsinke disse.

I første omgang ble det forsøkt å infiltrere vann direkte inn i morenelaget mellom fjell og leire under dyprennene. Det ble boret brønnspisser ned i fjell, og pakningen ble plassert ved overgangen mellom fjell og leire (fig. 19). For å unngå utvasking i løsmassene ble infiltrasjonstrykket holdt på et moderat nivå. Det forekom likevel et tilfelle av utvasking som medførte en kraterdannelse på gatenivå. Etter dette ble trykket redusert ytterligere i de øvrige infiltrasjonshull i løsmasser. Infiltrasjonskapasiteten ble dermed lav sammenliknet med lekkasjene i tunnelen.

For å øke infiltrasjonskapasiteten ble det så boret lange fjellhull fra dagen på skrå inn under dyprennene. Disse ble fortrinnsvis satt an slik at de kunne formidle passasje av vann til morenelaget mellom fjell og leire. Pakningene ble her plassert relativt dypt i fjell, og man kunne derfor operere med større trykk. Disse hullene ble derfor langt mer effektive enn løsmassehullene og bidro sterkt til en gunstig poretrykksutvikling (fig. 20).

Fig. 19. Vanninfiltrasjonshull i løsmasser. Brønnspissen plasseres i overgangen morene/fjell eller den bores noen meter ned i fjell som vist her.

Artificial infiltration of water into sandy layer between rock and clay. The well point is drilled a few metres into the rock. Small amounts of water was recharged in this way because only a small head of water was allowed due to the risk of piping action.

Ettertetting

Etter at utstøpningen var kommet på plass, har det riktignok også vært en del problemer med lekkasjer gjennom betongen, særlig i støpeskjøtene. Ved sementinjeksjon umiddelbart bak støpen har det imidlertid lyktes å stoppe disse lekkasjer i tilstrekkelig grad.

De foreliggende erfaringer har understreket betydningen av en omhyggelig forinjisering for å hindre lekkasjer etter sprengningen. Den permanente utstøpning bør også følge så tett som mulig etter utsprengningen. I praksis var avstanden 50–100 m.

På de strekninger hvor tunnelen i sin helhet ligger i leire, har lekkasje-problemene vært av underordnet betydning. Den omliggende leire er så tett i seg selv at den hindrer lekkasjer.

Ettertettingen har foregått i flere etapper. I første omgang er større hulrom og passasjer for vann bak utstøpningen fylt med sementvelling som ble injisert gjennom betongen (kontaktinjeksjon). Deretter ble det injisert sement med stort trykk ved støpefuger som fortsatt viste lekkasje. I en viss utstrekning er det også brukt kjemiske injeksjonsmidler der kravet til tetthet var stort. Spesielt kan det her nevnes at i Nationaltheatret stasjon er medgått store mengder kjemisk injeksjonsmasse på basis av vannglass tilsatt en spesiell herder.

Grunnbrudds-problemer i leire

Tidligere har man — ikke minst i Oslo-området — gjort den erfaring at det ikke lar seg gjøre å grave dypere ned i leire enn til en viss kritisk dybde. Dersom man forsøker å grave dypere, vil tyngden av leirmassene utenfor presse bunnen i byggegroppen opp. I heldigste fall inntreffer det en begrenset heving av bunnen i byggegroppen, i verste fall en katastrofeartet opppressing av leire som kan fylle større eller mindre deler av byggegroppen.

Selve grunnbruddsfenomenet var altså velkjent, og man hadde også en erfaringsmessig forståelse av at den kritiske gravedybde var avhengig av leirens fasthet og utgravingens form og dimensjoner. Men noen lovmessig sammenheng som kunne gi grunnlag for en beregningsmessig behandling

av problemene, kjente man ikke før Norges geotekniske institutt i 1956 publiserte resultatene av et forskningsarbeid utført i forbindelse med dyputgravingene for den kommunale tunnelbane i Oslo [1]. Instituttets beregningsmetode gjorde det mulig å kalkulere stabiliteten av byggegroper i leire med forholdsvis stor nøyaktighet.

Stabilitetsberegninger etter denne metode viser at i vanlig Oslo-leire kan man for en dobbeltsporet banetunnel ikke grave dypere enn 5–8 m (fig. 21). I alminnelighet vil byggearbeidet kreve betydelig dypere utgraving, og den gjenstående del av gravearbeidet må da stabiliseres ved spesielle metoder.

Ved byggingen av de kommunale tunnelbaner ble det benyttet forskjellige metoder for stabilisering mot grunnbrudd. Erfaringene med overtrykksmetoden var særlig gode, og det var derfor denne metode som ble lagt til grunn for de første prosjekter for jernbanetunnelen. Imidlertid var det i utlandet blitt konstatert at arbeidet i overtrykk kan ha visse uheldige langtidsvirkninger på den menneskelige organisme. Som følge av dette ble forskriftene for arbeider i overtrykk så kraftig skjerpet at det også av økonomiske grunner ble nødvendig å finne andre løsninger.

I samråd med de bygningstekniske og geotekniske konsulenter ble en rekke metoder studert. De viktigste forslag omfattet stabilisering ved

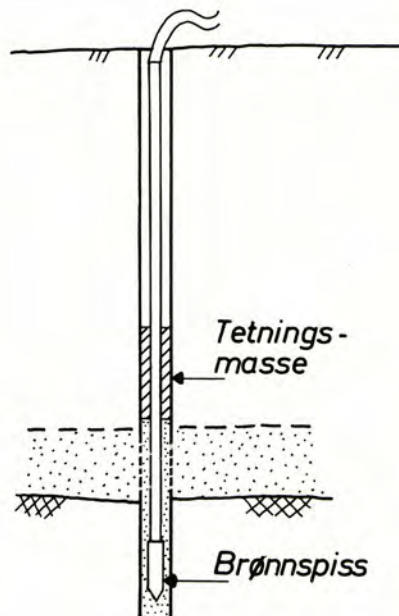
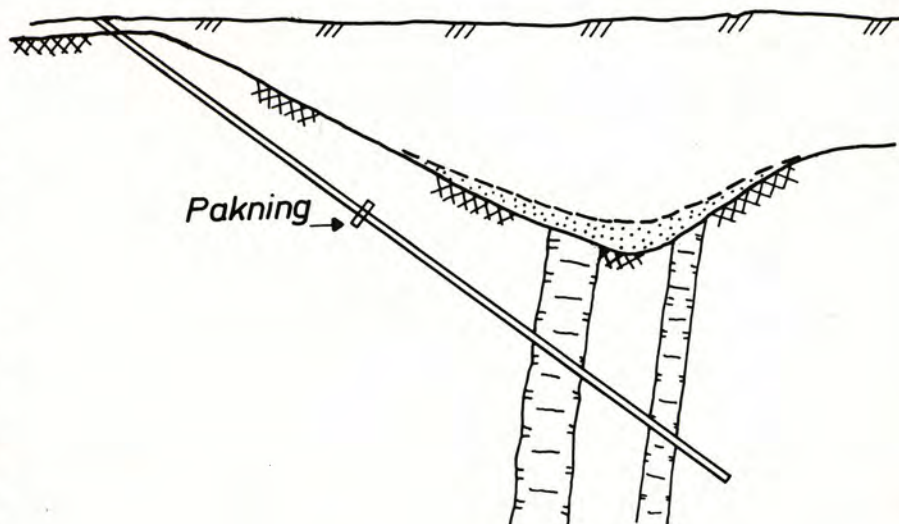


Fig. 20. Vanninfiltrasjonshull i fjell. Det ble tatt sikte på å bore gjennom oppsprekingsoner i fjellet, fortrinnsvis i forbindelse med eruptivganger som kunne formidle passasje av vann til morenelaget. Infiltration of water through a hole drilled into rock, preferably in areas of highly fissured rock in conjunction with igneous intrusions. Water will percolate through the fissures to the sandy layer above the rock surface. The method proved to be successful.



sikkerhetsfaktor
mot grunnbrudd,

$$F = \frac{c N_c}{\gamma H}$$

kritisk gravedybde,

$$H_{crit} = \frac{c N_c}{\gamma} \quad (F=1,0)$$

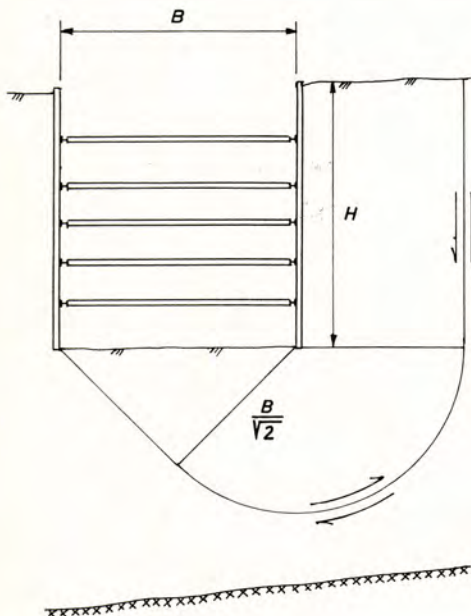


Fig. 22. Modeller for statisk beregning av tunnelutforingen ved elementmetoden (venstre) og ved forenklet bjelkemodell (høyre).

Models for static design of concrete lining by the method of finite elements (left) and a simplified method in which the concrete lining is divided into short elements. Rock support is simulated by struts of rock (right).

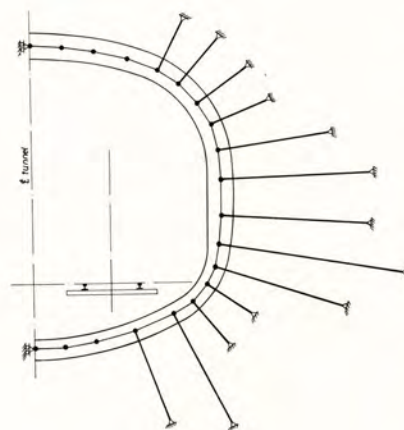
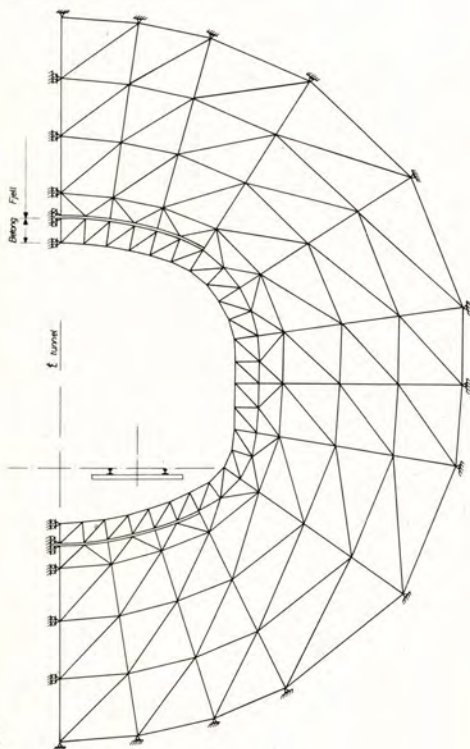


Fig. 21. Illustrasjon av grunnbruddsproblemet. I en spuntavstivet byggegrop med stor avstand til fjell vil bunnen bli presset opp dersom gravedybden overstiger en viss verdi. Denne dybden avhenger av leirens skjærefasthet c , tetthet γ og forholdet mellom høyde og bredde, N_c .

hjelp av vannfylling i byggegropen, frempressing av prefabrikerte seksjoner av tunnelen, frysing av grunnen og nedsenkning av tunnelseksjoner bygget på terreng (caissonmetoden).

For utgravingsarbeidene på Jernbanetorget og i Studentertunden valgte man imidlertid til slutt slisseveggmetoden etter en idé fra Norges geotekniske institutt. Metoden var tidligere utviklet i utlandet, men det var første gang slissevegger ble benyttet for stabilisering av en byggegrop mot grunnbrudd.

Statisk beregning av tunnelutstøpning i fjell

Som nevnt tidligere er det forutsatt at vanntrykket skal kunne bygge seg opp rundt utstøpningen tilsvarende det opprinnelige porevannstrykk. På de ugunstigste strekningene vil dette gi en belastning på betongkonstruksjonen på over 0,3 MPa tilsvarende 30 m vanntrykk. På de fleste strekninger vil dette vanntrykket bli den dimensjonerende belastning for utstøpningen.

En stor del av anleggskostnadene

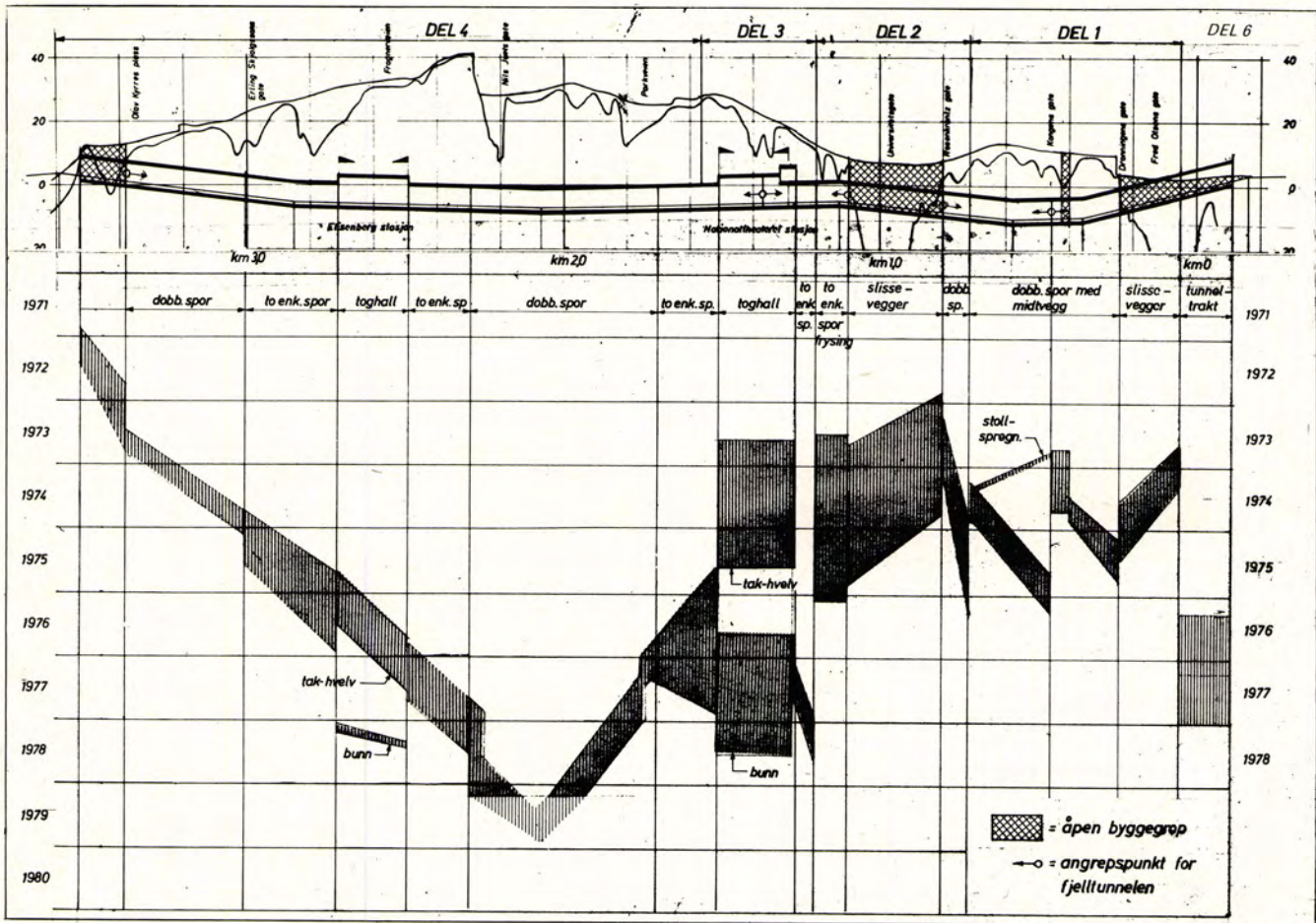
Ground failure by bottom heave. Stability in a braced cut in clay depends on the shear strength c and the density, γ of the clay and the ratio B/H , N_c . The critical depth that may be excavated before bottom heave occur in Oslo clay ranges from 5 to 8 m for a double track railway tunnel.

ligger nettopp i denne utstøpningen, og det er derfor av stor økonomisk betydning å finne fram til en mest mulig nøyaktig dimensjonering og hensiktsmessig utførelse. Konstruksjonens geometri og fjellets elastiske egenskaper gjør det imidlertid urealistisk å foreta en eksakt analytisk beregning av utstøpningen.

Ved hjelp av den såkalte elementmetoden kan det likevel foretas en tilnærmet beregning av det statiske system. Systemet, som forutsettes å omfatte både utstøpningen og det omgivende fjell i nødvendig utstrekning, deles inn i et endelig antall trekantformede elementer (fig. 22). Den gjensidige avhengighet mellom elementene med hensyn til deformasjoner og belastninger gjør det mulig å stille opp likningsett hvis løsning gir de nødvendige data for dimensjonering av betongutstøpningen. Moderne EDB-teknikk gjør det nå mulig å løse såvidt store likningssystemer at tilstrekkelig elementinndeling og nøyaktighet kan oppnås. Statistiske beregninger for enkelte karakteristiske tverrsnitt av tunnelen er utført av Institutt for statikk ved Norges tekniske høgskole etter dette opplegg.

For tilsvarende tunneltverrsnitt er det også av den rådgivende ingeniør foretatt en sammenliknende beregning på grunnlag av et enklere statisk system hvor utstøpningene er delt inn i bjelke-elementer. Det er foretatt sammenliknende beregninger som viser at uoverenstemmelsen mellom regnemethodene ligger innenfor akseptable grenser [11].

På dette grunnlag ble det derfor funnet forsvarlig å legge den enklere bjelkemodellen til grunn for den statiske beregning av de øvrige tunneltverrsnitt i fjell. Denne metode medfører en betydelig reduksjon i arbeidsmengde og kjørekostnader på datamaskin. Disse gjennomregninger viste at det var fordelaktig å øke pilhøydene i tak- og bunnhvelv i de dobbeltsporede tunneler og stasjonshallene, i forhold til det som først var antatt. Dette medførte riktignok større sprengningsmasser men mindre påkjenninger på utstøpningen. Sett under ett ble de økte sprengningskostnader mer enn oppveiet av de reduserte betong- og armeringskostnader.



Anleggsavsnitt, byggemetoder og fremdriftsplaner

For å få en rimelig størrelse på byggekontraktene og en hensiktsmessig inndeling av anlegget, ble tunnelarbeidene delt inn i følgende anleggsavsnitt (fig. 23):

- Del 1: Strekningen fra Jernbanetorget til Eidsvoll's plass (km 0,052 – km 0,720 = 668 m).
 - Del 2: Strekningen fra Eidsvoll's plass til krysset Drammensveien/Stortingsgaten inklusive fellesstrekningen med T-banen i Studentertunden (km 0,720 – km 1,200 = 480 m).
 - Del 3: Nationaltheatret (Abelhaugen) stasjon inklusive tilstøtende tunneler samt vestibyle og utganger (km 1,200 – km 1,560 = 360 m).
 - Del 4: Strekningen fra Slottsparken vestover til tunnelportalen ved Olav Kyrres plass inklusive råbygget for toghallen i Elisenberg (tidligere kalt Frogner) stasjon (km 1,560 – km 3,530 = 1 970 m).
- I tillegg omfatter anleggsavsnittet forskjæring og planering for tilknytning til eksisterende spor på Drammenbanen.

- Del 5: Transporttunnel fra krysset Kronprinsensgate/Dronning Mauds gate til Nationaltheatret stasjon.
- Del 6: Tunnelinnføring fra Jernbanetorget mot Oslo S (km 0,052 – km 0,105 øst = 157 m).

Fig. 23. Fremdriftsplan med inndeling i anleggsavsnitt. Progress chart, showing contract divisions.

Fig. 24. Fra tunneldriften i alunskifer. Alun er svart som kull og svovelholdig. Sulfatresistent betong ble benyttet ved utstøpningen. Tunneling in alum shale. The shale is black as coal and sulphuric. Sulphate resistant cement was employed for the concrete lining.



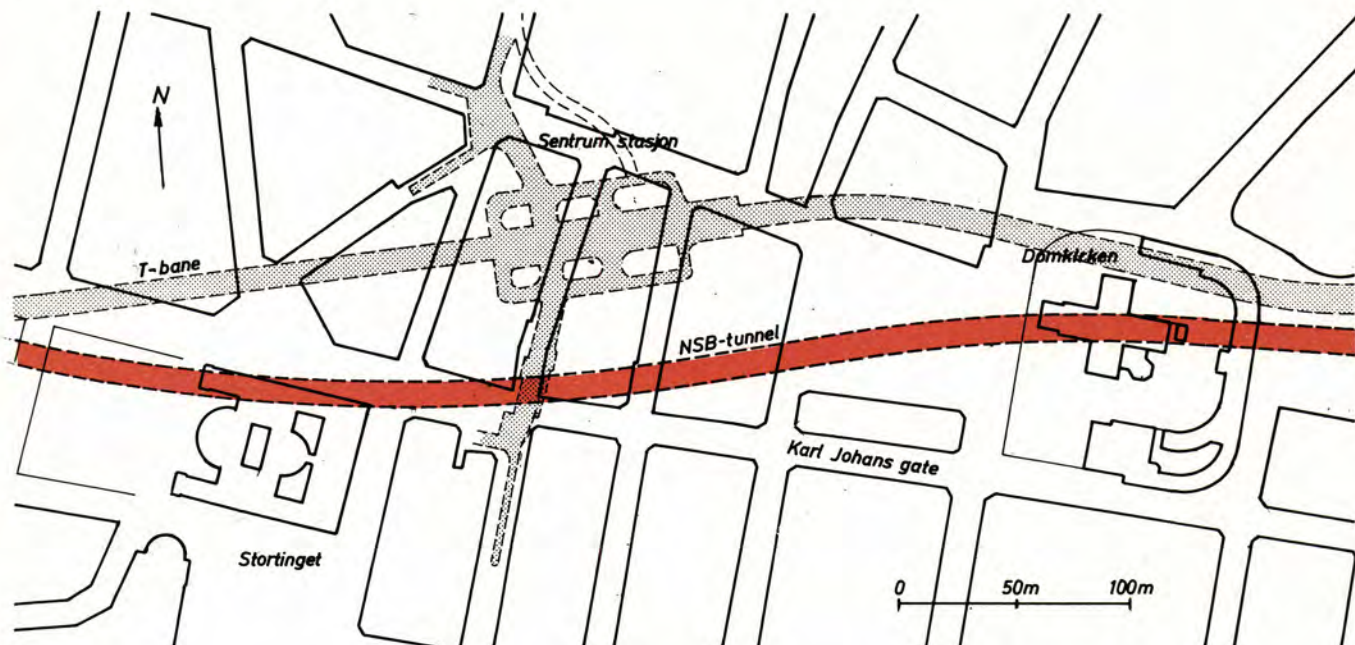


Fig. 25. Utsnitt av tunnelstrekningen i fjell i sentrumsområdet. Sentrum stasjon på den kommunale tunnelbane ble bygget samtidig. Massetransport fra NSB-tunnelen gikk gjennom denne stasjonen.

Part of the rock tunnel beneath the city centre was driven at the same time as Sentrum station on the municipal metro system. Rock excavated from the NSB tunnel could thus be taken through this station.

Del 3, Nationalteatret stasjon, ble utført av NSB i egen regi ved Jernbaneanlegget Oslo Sentralstasjon.

De øvrige delstrekninger er satt bort på anbud til private entreprenører. Del 1, 5 og 6 er utført av Ingeniør Thor Furuholmen A/S, del 2 av Dipl. ing. Kaare Backer A/S og del 4 av A/S Ingeniørbygg.

Under arbeidets gang oppsto det såvidt store forsinkelser på del 4 at ferdigstillelsen av dette avsnitt ville bli kritisk for åpningen av tunnelen. Det ble derfor besluttet at skillet mellom del 3 og 4 skulle forskyves vestover, slik at jernbaneanlegget skulle drive ca. 500 m av tunnelstrekningen på del 4 med angrepspunkt fra Nationalteatret stasjon.

Del 1. Jernbanetorget — Eidsvolls plass

Denne strekning omfatter både tunnel i leire gjennom dyprennen ved Jernbanetorget og fjelltunnel gjennom Sentrumsområdet lenger vestover.

Tunnel i dyprenne

Tunnelseksjonen i leire ved Jernbanetorget ble utført med slissevegger etter et tilsvarende prinsipp som vil bli beskrevet for Studentertunden i et senere avsnitt. Tunnelen er dels fundamentert direkte på fjell og dels på stålpeiler til fjell. Maksimal dybde til fjell var ca. 38 m på vestre del av Jernbanetorget og største grave-dybde i leire ca. 10 m.

Fjelltunnel

Der tunnelen ligger i fjell, er det for det meste overliggende bebyggelse og liten fjelloverdekning. Spesielt kan nevnes Domkirken, hvis fundamenter var i dårlig forfatning, og Stortinget der det også ble stilt strenge krav til forsiktig sprengning. Dessuten ligger tunnelen helt oppunder bunnplaten i en rulletrappsjakt ved Sentrum stasjon på T-banen.

Kreditkassens nybygg i Karl Johansgate 15 ble reist mens tunnelen var under planlegging, men før vedtak om bygging var fattet i 1968. Da bygget lå umiddelbart over den fremtidige trasé, var det nødvendig med spesielle tiltak for ikke å hindre en senere gjennomføring av jernbanens planer. Det ble derfor gitt spesiell bevilgning til støp av en 2 m tykk fundamentplate under Kreditkassens bygg, konstruert slik at den ville utgjøre et tak over jernbanens tunnel, samtidig som den ville føre fundamentlastene ut til side for tunnelen.

Fjellet langs parsellen er hovedsaklig alunskifer, som har vært utsatt for intens folding og som flere steder er sterkt oppsprukket. Skiferen inneholder svovelkis, og grunnvannet er sulfatholdig. Dette medfører at alunski-

feren er sterkt aggressiv ovenfor betong og stål (fig. 24).

Betongkonstruksjonen måtte utføres med sulfatresistent sement. I tillegg ble det utsprengte fjellprofil isolert ved en påsprøytet film av tjære-epoxy i 2 lag.

Strekningen med fjelltunnel fra Domkirken til Stortinget (km 0,26 — 0,72) ble utført samtidig med Sentrum stasjon på den kommunale tunnelbanen, som ligger bare noen meter nord for jernbanetraséen (fig. 25). Da det var samme entreprenør som sto for de to anleggene, var det naturlig å angripe jernbanetunnelen fra en kort stoll mellom de to anlegg. De utsprengte masser i jernbanetunnelen ble således transportert ut gjennom Sentrum stasjon. På grunn av liten overdekning og av anleggstekniske årsaker ble det først drevet en bunnstoll med redusert tverrsnitt til hver side for påhugget ved Sentrum stasjon.

Mellom Basarhallene og Domkirken og på et parti på Stortorvet måtte det graves og sprenges i åpen grop, fordi fjelloverdekningen var for liten til å bære de overliggende løsmasser. Utstrossing til fullt tunneltverrsnitt startet ved Stortorvet, der det var mulig å senke den ferdigbygde forskalingsformen ned i tunnelen. Strossing og utstøpning ble deretter utført seksjonsvis, støpeavsnittene ble her valgt 6 m lange.

Basarhallene

Spesielle problemer knyttet seg til utførelsen under Basarhallene, som ikke er fundamentert til fjell. På grunn av liten og til dels manglende fjelloverdekning over tunneltaket, ble arbeidene utført i åpen skjæring. Basar-

Fig. 27. Fundamenteringen av Basarhallene ble permanent overført til betongdragere på tvers av tunnelretningen. Dragene har opplegg på langsgående vegger som ble gravet og støpt gjennom bygningen.

The arcades of the historic building are permanently supported on concrete beams across the tunnel cut. Longitudinal walls constructed in excavations beneath the building support the heavy beams.

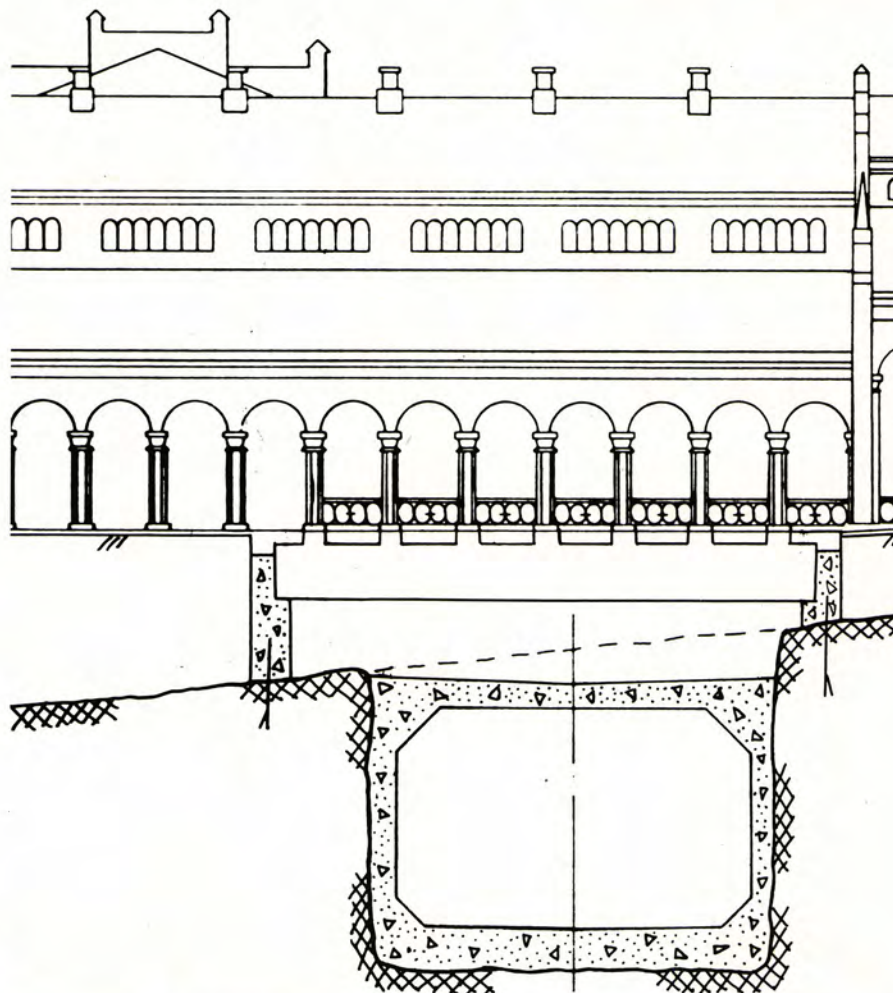


Fig. 26. Midlertidig understøttelse av Basarhallene ved Domkirken mens tunnelarbeidene pågår.

Temporary support of a historic building during tunnelling.



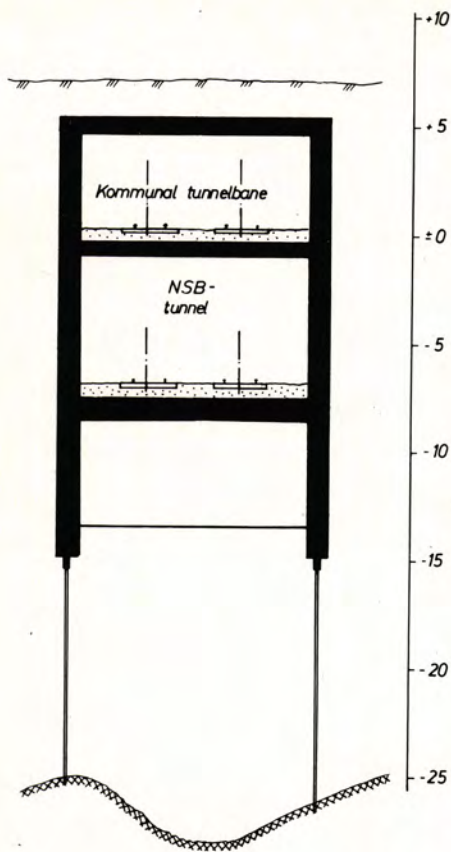


Fig. 29. Tverrsnitt av fellesstrekningen med T-banen i Studenterlunden. Cross section of the municipal metro and NSB tunnel in the deep clay-filled depression of Studenterlunden.

hallene skulle av antikvariske årsaker bevares intakt og ble derfor understøttet av fagverkskonstruksjoner som spente over byggegropen mens arbeidene pågikk. Den berørte delen av Basarhallene ble så fundamentert direkte på tunneltaket (fig. 26 og 27).

Del 2. Studenterlunden

Dette anleggsavsnittet omfattet 480 m NSB-tunnel, hvorav 280 m er en fellesstrekning med den kommunale tunnelbane (fig. 28). På fellesstrekningen er det en toetasjes tunnelkonstruksjon, hvor T-banen ligger i øvre og jernbanen i nedre tunneletasje (fig. 29).

Fig. 28. (nederst) Plan og lengdeprofil av del 2. Studenterlunden. Plan and longitudinal section of the diaphragm walls (slissevegger) of Studenterlunden.

Anleggsarbeidet på denne strekning var av uvanlig karakter. De dype utgravninger på opptil 18 m ga et jordtrykk mot støttekonstruksjonene av en helt annen størrelsesorden enn man var vant til. Dessuten oppstår det i en så dyp byggegropp et alvorlig grunnbruddsproblem i byggeperioden. Maksimal dybde til fjell i dyprennen er over 40 m ved Universitetsgaten.

Slissevegger

Etter vurdering av en rekke forskjellige byggemetoder valgte man slisseveggmetoden som det beste alternativ for gjennomføring av dyputgravningene i Studenterlunden. Den etappewise fremdrift er vist på figur 30.

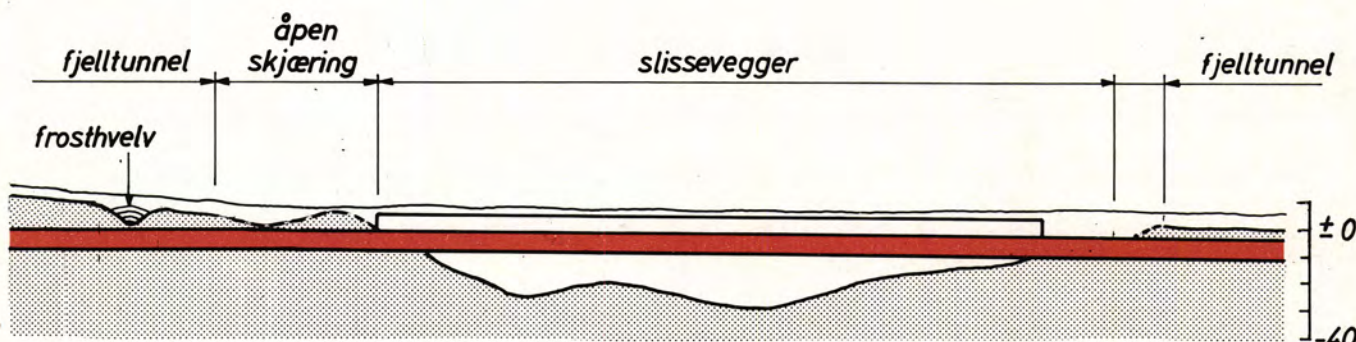
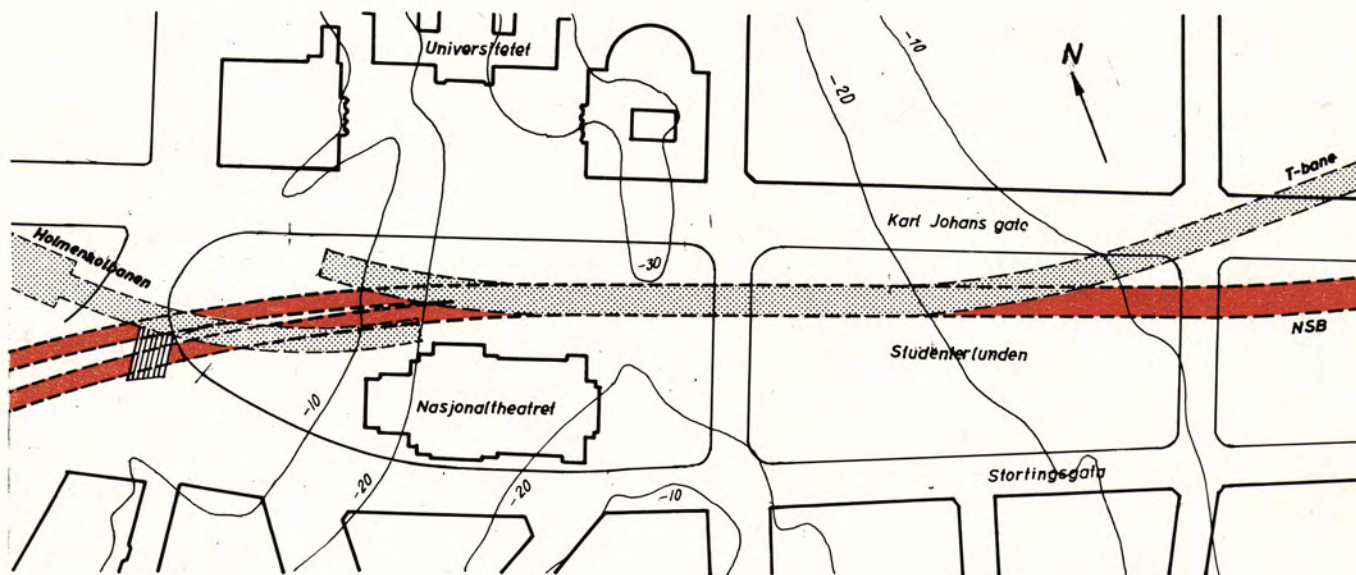


Fig. 31.

Armeringskurv under nedføring i et slisseveggpanel i Studenterlunden. Lengden er 22 m.

A reinforcement cage being lowered into a slurry trench at Studenterlunden. The length of the cage is 22 m.

Slisseveggmetoden ble basert på plasstøpte betongvegger utført som undervannstøp i 22 m dype grøfter stabilisert med en støttevæske (vann eller en suspensjon av leire, bentonit eller microsil). De 1 m brede grøftene ble gravd etappevis i ca. 4 m lange «paneler» ved hjelp av spesialkonstruerte gravemaskiner. Ferdiglagde armeringskurver ble senket ned i den utgravde «sliss» umiddelbart før støping (fig. 31). I dyprennen er veggene ført ned til ca. 6 m under tunnelbunn.

Innbyrdes avstivning av sideveggene ble utført før man startet selve tunnelgravingen ved å anordne tverrgrøfter, en for hvert lengdepanel i tunnelveggene. Tverrgrøftene ble gravd til omtrent samme dybde som sideveggene og støpt opp til underkant av bunn i NSB-tunnelen. I tverrgrøftene ble det også plassert en midlertidig stål- eller betongstiver under mellomdekkets plan.

I sideveggene (slisseveggene) ble det støpt inn vertikale rør for ramming av massive stålpeiler til fjell etter at veggene var støpt. På de grunnere partier av dyprennen ble det meislet fot i fjell for slisseveggene.

Etter at slisseveggarbeidene var fullført, kunne tunnelgravingen begynne. I og med at sideveggene og avstivningssystemet således i stor utstrekning var etablert før gravearbeidene tok til, ble innpressingen av veggene og tilhørende terrengsetninger minimale (fig. 32).

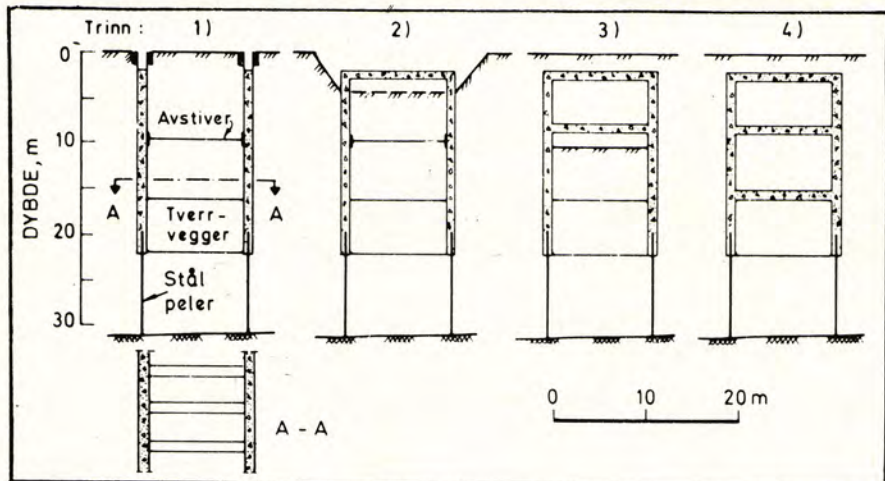
Grunnbruddsproblemet ble i dette tilfelle løst ved at bunnoppressing under tunnelutgravingen ble forhindret ved den adhesjon som ble mobilisert mellom leire og de nedstikkende side- og tverrvegger.

I vestre del av dyprennen ligger

Fig. 30. Prinsipp for utførelse av slissevegger gjennom Studenterlunden.

Principles for construction of diaphragm walls by the slurry trench method. The walls are constructed in short sections by excavation and concreting under water or slurry of higher density. Bracings between the walls are placed in trenches at right angles before excavation of the tunnels.

Trinn 1: Etappevis graving og utstøping av langsgående slissevegger. Tverrslisser graves og støpes opp til underkant NSB-tunnel. Montasje av avstiver under mellomdekke. Peling til fjell gjennom innstøpte rør i slisseveggene.



Trinn 2: Graving til underkant toppdekke. Støping av toppdekke på avrettet underlag. Tilbakefylling og istandsetting av terreng over toppdekke.

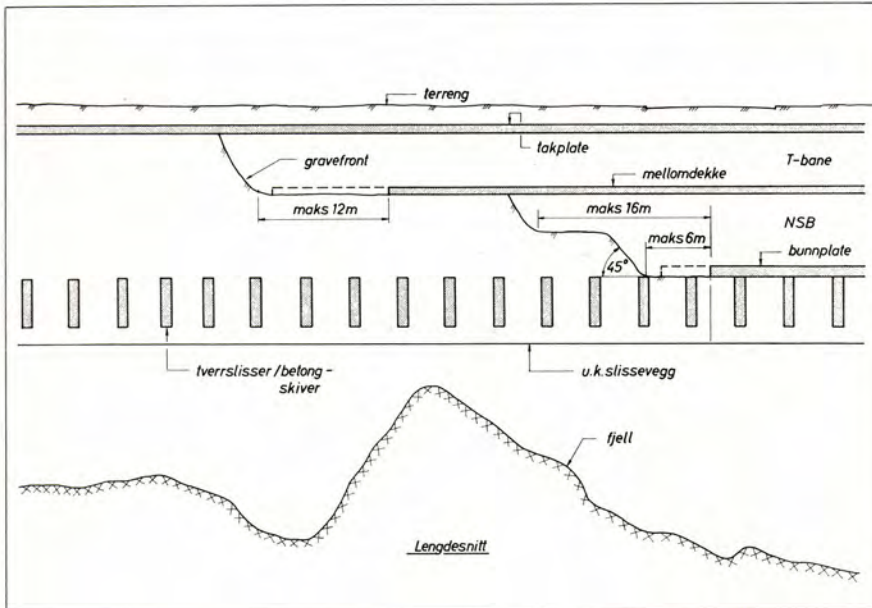
Trinn 3: Graving under toppdekke til

underkant mellomdekke. Støping av mellomdekke.

Trinn 4: Graving under mellomdekke for NSB-tunnel (etappevis). Støp av bunnplate.

Fig. 32. Lengdeprofil i Studenterlunden. Takplaten støpes først. For å hindre grunnbrudd graves suksessivt i etapper for de to tunneler.

Scheme for excavation between diaphragm walls. The roof slab is concreted first. Short sections of the two tunnels are excavated successively to avoid ground failure by bottom heave.



tunnelen i liten avstand fra Nationaltheater-bygningen. Bygningen var opprinnelig fundamentert på svevende trepeler, men ble i forbindelse med ombygningsarbeidene i 1972–73 fundamentert på stålpeiler til fjell. Denne omfundamentering var ikke nødvendig for gjennomføringen av tunnelarbeidene, men medførte at gravearbeidene kunne gjennomføres under gunstigere stabilitetsbetingelser.

Fjellstrekningene

Fjelltunnelen mellom Rosenkrantz gate og Stortinget ble drevet fra anleggsområdet i Studenterlunden og ble sprengt ut i sterkt oppsprukket alunskifer med dårlig overdekning. På den 80 m lange strekningen ble sprengningsarbeidene utført meget forsiktig. Der overdekningen var minst – ned til 2 m – var det nødvendig å etablere støttebuer under den etappevise fremdriften.

Vest for dyprennen i Studenterlunden måtte tunnelkonstruksjonen føres under Holmenkolbanens eksisterende uttrekkspor fra Nationalteatret stasjon. Underføringen bød på anleggsmessige problemer, idet banen måtte være i drift i anleggstiden samtidig som det måtte støpes ny bunnplate i Holmenkolbanetunnelen.

Frysestabilisering under Abelhaugkrysset

Øst for Nationalteatret stasjon passerer de to enkeltsporetunnelene under en ca. 30 m bred dyprenn, der fjelloverdekningen over takhvelvet praktisk talt forsvinner. Tunnelene kunne derfor ikke drives fram som vanlige fjelltunneler. På grunn av stor trafikk i gatekrysset over dyprennen var det heller ikke ønskelig å bygge tunnelen i åpen byggegrop. Slik forholdene lå an på stedet med en smal dyprenn som skulle forseres, valgte man å stabilisere løsmassene i dyp-

Fig. 33. Forskaling av enkeltsporet tunnel vest for Studenterlunden. Utstøpning nær opptil stoff på grunn av dårlig fjell og liten overdekning.

Formwork for single track tunnel west of Studenterlunden. Concreting near tunnel face due to fissured rock and limited overburden.

rennen med frysing. Deretter kunne jernbanetunnelen drives fram under det frosne parti.

Prinsippet for frysestabilisering består i at grunnvannet i løsmassene fryses. Derved øker jordens fasthet, og dens evne til å ta opp belastninger øker tilsvarende.

Forholdene for frysing av denne dyprennen lå dessuten vel til rette fordi man fra Holmenkolbanens tunnel, som passerer på skrå over NSB-tunnelen, kunne bore fryserørene gjennom sydveggen og ut i løsmassene (fig. 34). Fryserørene ble plassert i vertikale plan med 80 cm innbyrdes avstand, slik at de samtidig dannet konsentriske sirkelbuer parallelt med frosthvelvets overflate. Maksimal lengde på fryserørene var 26 m. Det ble i alt montert 54 fryserør. På denne måten fikk de frosne løsmasser form av et ca. 5 m tykt hvelv, som spente over dyprennen med opplegg på begge sider av denne [14].

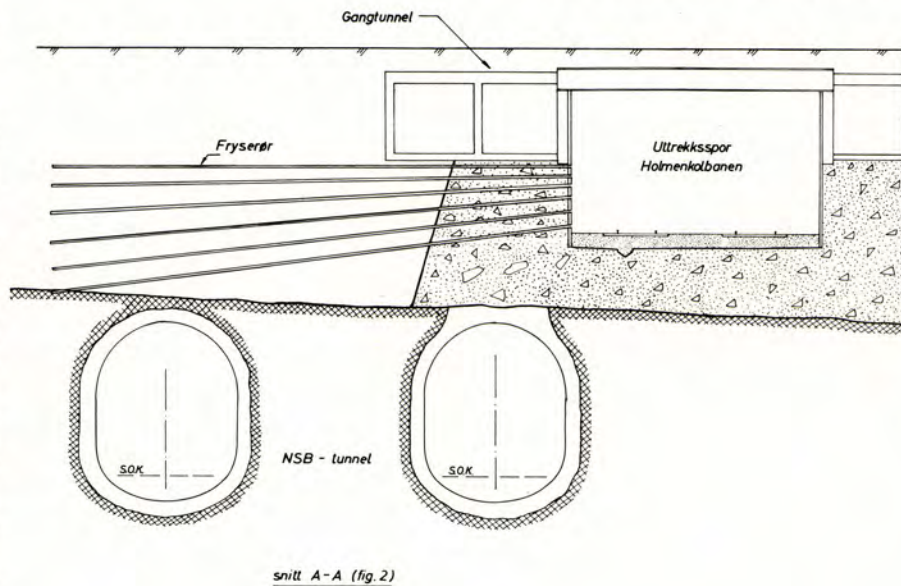


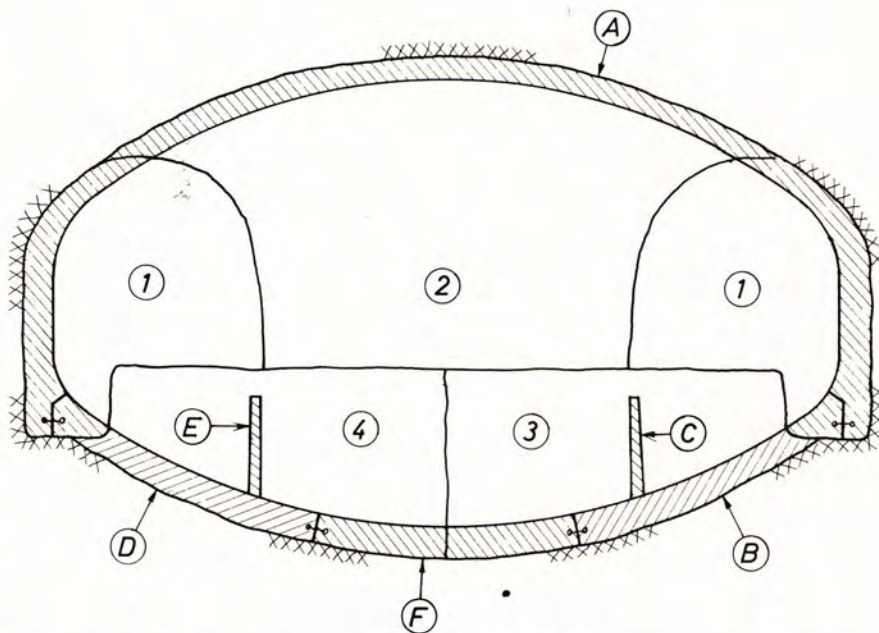
Fig. 34. Tverrsnitt av tunnelen ved fryseparti. Åpen byggegrop måtte unngås i det sterkt trafikkerte gatekryss. Ground freezing to support soil in depression extending down close to the tunnel roof. Cut-and-cover working was undesirable due to heavy street traffic at this point. Freezing pipes were drilled from an existing municipal underground tunnel.

Del 3. Nationaltheatret stasjon

Toghallen er innvendig 20 m bred og 220 m lang og ble i sin helhet utsprenget i fjell. En transporttunnel fra Kronprinsens gate utført i en tidligere entrepris tjente som adkomstvei under disse arbeider. I likhet med hele tunnelstrekningen vest for Studentlunden består fjellet her av leirstein/leirskifer vekslende med mer kalkrike bergarter.

På grunn av stor spennvidde og til dels meget liten fjelloverdekning (min. 5 m), ble toghallen sprenget ut i etapper som vist i fig. 35. For å sikre taket fulgte utstøpningen av hvelvet umiddelbart etter utstrossing av midtstabben (fig. 36).

Først når øvre del av toghallen på denne måten var utsprenget og sikret i hele sin lengde, ble bunnen strosset ut. For at tunnelarbeidene vestover fra Nationaltheatret stasjon ikke skulle forsinkes, måtte det til enhver tid holdes åpen transportvei gjennom toghallen. Den ene halvdel av bunnpartiet ble derfor først strosset ut, etterfulgt av hvelvstøp og plattformvegg. Etter oppfylling bak plattformveggen kunne transportveien flyttes



hit. Midtre parti av bunnhvelvet ble støpt ut til slutt.

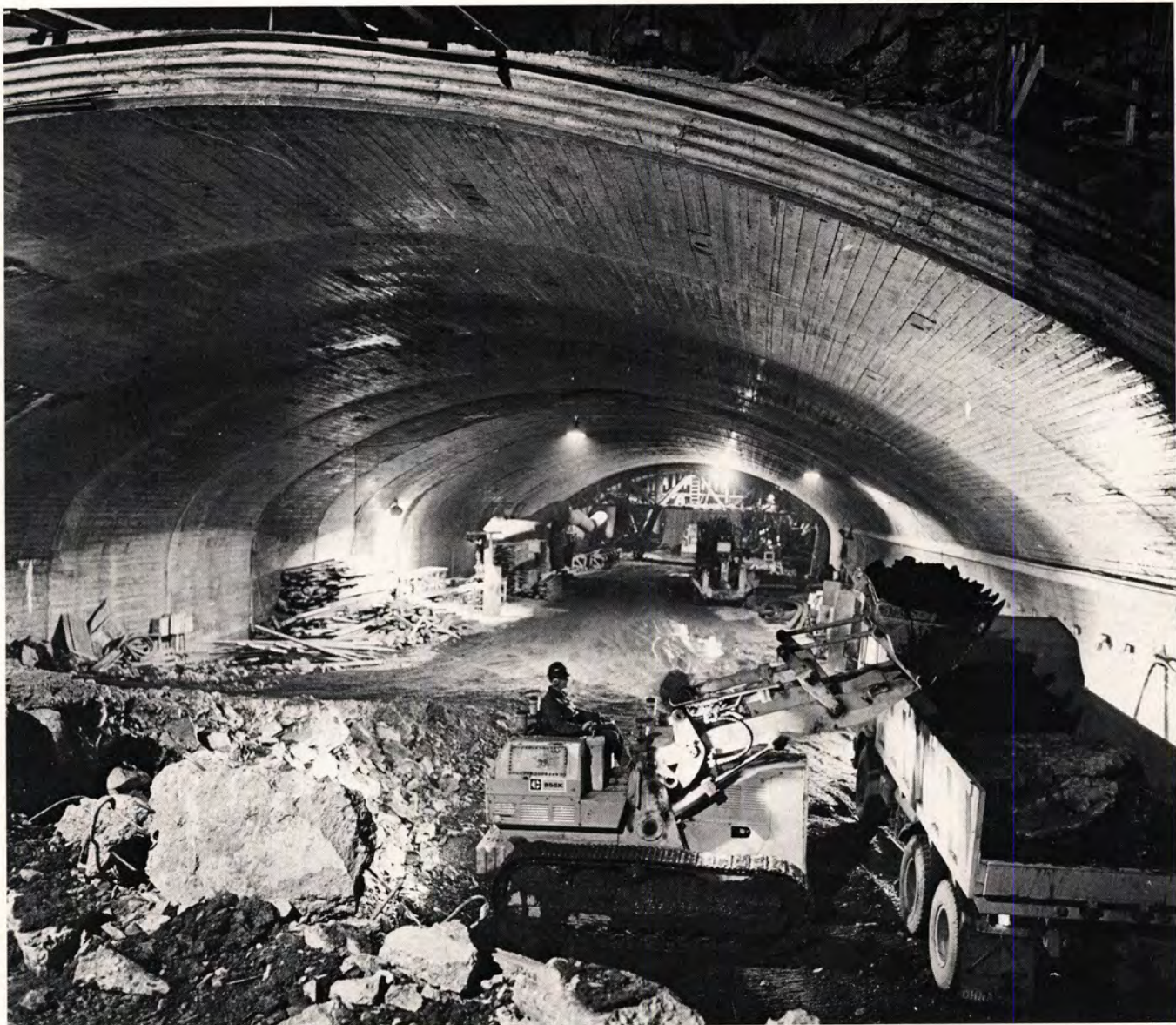
Som forskaling for vegg og hvelvstøp ble benyttet en skinnegående forskalingsvogn av stål fagverk kledd med plank og med hengslede vegger.

Lengden på støpetetappene var 5 m. Overforskalingen for sidefeltene av bunnhvelvet ble også utført av stålrammer med plankehud.

I østre del av stasjonen brøt man på skrå igjennom et eksisterende tilfluktsrom i 2 etasjer. Dette kompliserte sprengnings- og sikringsarbeidene ved rulletrappsjaktene og den tilstøtende del av toghallen betydelig. Tilfluktsrommet ble forøvrig leid av Jernbaneanlegget i byggetiden og benyttet til kompressorlegg, verksted, lager, mannskapsrom m.v.

Fig. 35. Sprengings- og støpe-etapper i toghallen i Nationaltheatret stasjon. Procedure for rock blasting and concrete lining in Nationaltheatret station.

Østre vestibyle er sprenget ned i fjell i Drammensveien og delvis inn under



Abelhaugen. Da selve Abelhaugen og skjæringen ned mot Drammensveien utgjør et karakteristisk og vakkert innslag i bybildet, fant man det ønskelig å bevare dette, selv om det kompliserte anleggsarbeidene. Fjellpartiet ble sikret med forspente forankringsstag, samtidig som vestibyen ble sprengt ut seksjonsvis i små stoller med følgende utstøpning i etapper.

I Drammensveien ble det etablert provisoriske broer, slik at sporvogns- og biltrafikken kunne gå uhindret i byggeperioden.

Del 4. Slottsparken — Olav Kyrres plass

Dette anleggsavsnitt omfatter forskjæring og en tunnallengde på ca. 2 km. Tunnelen ligger i fjell over det meste av strekningen. Anleggsavsnittet var i sin helhet forutsatt drevet fra

vest. Imidlertid oppsto det etterhvert såvidt store forsinkelser under inndriften at man senere besluttet å avkorte entreprisen og drive ca. 500 m av dette avsnitt vestover fra Nationalteatret stasjon.

På grunn av tett bebyggelse langs traséen og stor høydeforskjell mellom terreng og tunnel var det ikke realistisk å etablere ytterligere angrep punkter på denne tunnelstrekning.

Tunnelinnslag ved Olav Kyrres plass

Gjennomføringen av byggearbeidene ved tunnelinnslaget fra vest bød på spesielle problemer. På grunn av en dyprenne måtte arbeidene utføres i åpen byggegrop over en lengde på ca. 150 m. På dette sted krysset dessuten traséen den sterkt trafikkerte Bygdøy allé. Ved å dele byggearbeidene i etapper og samtidig foreta visse provisoriske gateomlegginger,

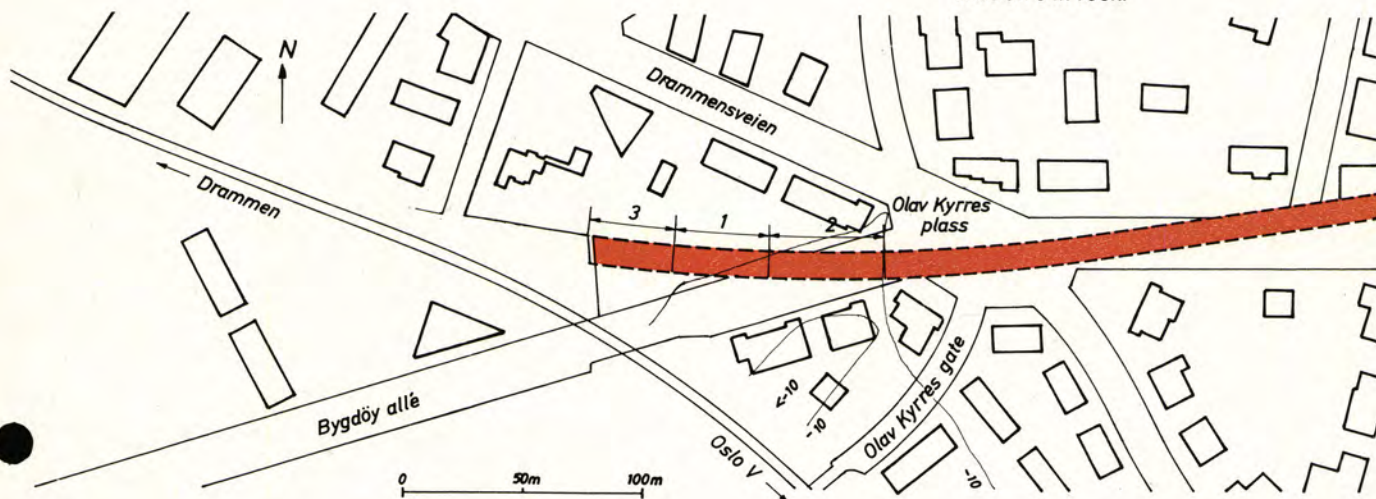
var det likevel mulig å opprettholde trafikken forbi arbeidsstedet (fig. 37).

I de dypere deler av dyprennen var det en sone med kvikkleire. Gravedybde på opptil 12 m og lav skjærfasthet i leiren ga meget store belastninger på spuntvegg og avstivninger. Det ble således nødvendig å installere hele 6 stiverlag i byggegropen. Utgravings bunn lå langt under kritisk gravedybde, og sikring mot grunnbrudd skjedde ved solid forankring av spuntfoten mot fjell.

For å sikre spuntfoten hvor fjellet falt av under dypeste gravenivå, ble det støpt 4 tværgående betongstivere mellom spuntveggene nær fjelloverflaten. Disse ble utstøpt i bunnen av vannfylte slisser som ble gravet ut i leiren mens byggegropen enda bare var delvis utgravd (fig. 38) [17].

Gravearbeidene i området ble ytterligere komplisert ved at en nedgravd høyspentkabel på 60 kV og en rekke vann- og avløpsledninger måtte legges om.

Fig. 36. Toghallen i Nationaltheatret stasjon under arbeid.
Construction of Nationaltheatret station tunnel.



Fjelltunnel gjennom Frognerområdet

Fjellet består på denne strekning av vekslende lag av leirstein/leirskifer og mer kalkrike bergarter. Løst og oppsprukket fjell nødvendiggjorde atskillige sikringsarbeider i taket i form av bolter, bånd og sprøytebetong. Tunnelen ble likevel stort sett sprengt ut i fullt tverrsnitt.

Påhugget for fjelltunnelen ble plassert umiddelbart vest for Olav Kyrres plass. Under Drammensveien var fjell-overdekningen så liten at det ble nødvendig med seksjonsvis utsprengning og omfattende sikringsarbeider. Tunneltraséen løp dessuten umiddelbart under en av Oslo Lysverkens transformatorstasjoner.

Vest for ca. km 3,0 var fjellet jevnt over tett, og det var ikke behov for injeksjon. Videre østover ble fjellet mer vannførende, og det ble påkrevet med en konsekvent forinjeksjon over det meste av den resterende tunnelstrekning. Til tross for dette ble det en del poretrykksreduksjoner og setninger i den store dyprennen ved ca. km 2,8. Stort underskudd på nedbør i den samme periode medførte dessuten at den naturlige vanninfiltrasjon fra dagen ble redusert. Dette bidro ytterligere til reduksjon av poretrykket.

Et relativt omfattende opplegg for infiltrasjon av vann i fjell og dyprenner medførte imidlertid at utviklingen etterhånden ble vendt i positiv retning. Etter at utstøpingen var kommet på plass, steg poretrykkene yt-

terligere og nådde raskt utgangsnivået.

I de mindre dyprenner lenger østover lyktes det å oppnå så stor kapasitet på vanninfiltrasjonen at man til tross for en del lekkasjer i byggetiden stort sett klarte å holde poretryknivået oppe.

Den samlede problemstilling vedrørende drenering, setninger, vannetting og vanninfiltrasjon er omtalt nærmere i et tidligere avsnitt.

På samme måte som ved Nationaltheatret stasjon ble også øvre del av toghallen i Elisenberg stasjon sprengt ut først. Som følge av større fjelloverdekning, bedre fjellstabilitet og 1,2 m mindre spennvidde, fant man det her forsvarlig å sprengte ut øvre del av toghallen over et lengre parti før utstøping av vegger og hvelv begynte.

Av hensyn til transportene mot stuff ble bunnen av hallen strosset ut i to etapper som ved Nationaltheatret stasjon. I en tre måneders periode mens utstøpingen av bunnhvelvet foregikk, ble all virksomhet på stuff stoppet. Dette medførte en betydelig forenkling av støpearbeidene.

Under dyprennen ved krysset Nils Juels gate/Gyldenløves gate er det en større forkastningssone. Kjerneboringene viste at fjellet var gjennombrutt av flere store og små eruptive gangbergarter. Under østre side av dyprennen var det en 20 m bred knusningssone i leirskifer og kalk. Samtidig hadde man også liten fjelloverdekning og store overliggende løsavleiringer.

Fig. 37. Tunnelinnslag i vest. 150 m av tunnelen ble drevet i åpen skjæring, etappe 3 i fjell mens etappe 1 og 2 som krysser Bygdøy allé passerer en dyprenne i spuntavstivet byggegrop med 12 m dybde.

Western tunnel entrance. Excavation was made in an open cut in three sections – section 1 and 2 as a braced cut in clay and section 3 in rock.

For å sikre fjelltaket ble det her gyst inn 25 mm kamstål i de 10 hull i injeksjonsskjermen som ligger over tunneltaket. Man forutsatte også om nødvendig å gå fram med redusert tverrsnitt.

De forutsatte tiltak supplert med den vanlige sikring med bolter, bånd og sprøytebetong viste seg imidlertid å binde fjellet så godt sammen at fremdriften likevel kunne fortsette med fullt tverrsnitt. Forinjeksjonen

Fig. 38. Tverrsnitt av byggegropen ved Olav Kyrres plass. Under bunnplatenivå ble det etablert tverrstivere av betong gravet og støpt under vann.

Cross section of the braced cut at Olav Kyrres plass. Below bottom slab level the sheet piles were braced by means of concrete struts. Excavation for and casting of the struts was effected under water to provide sufficient stability.

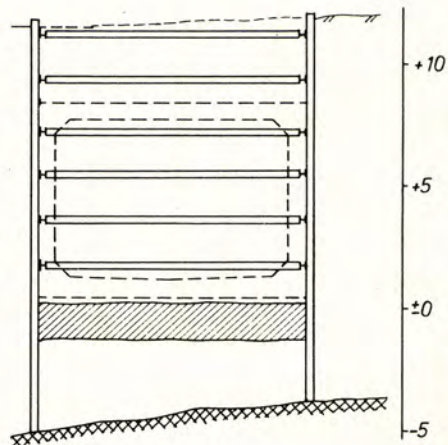
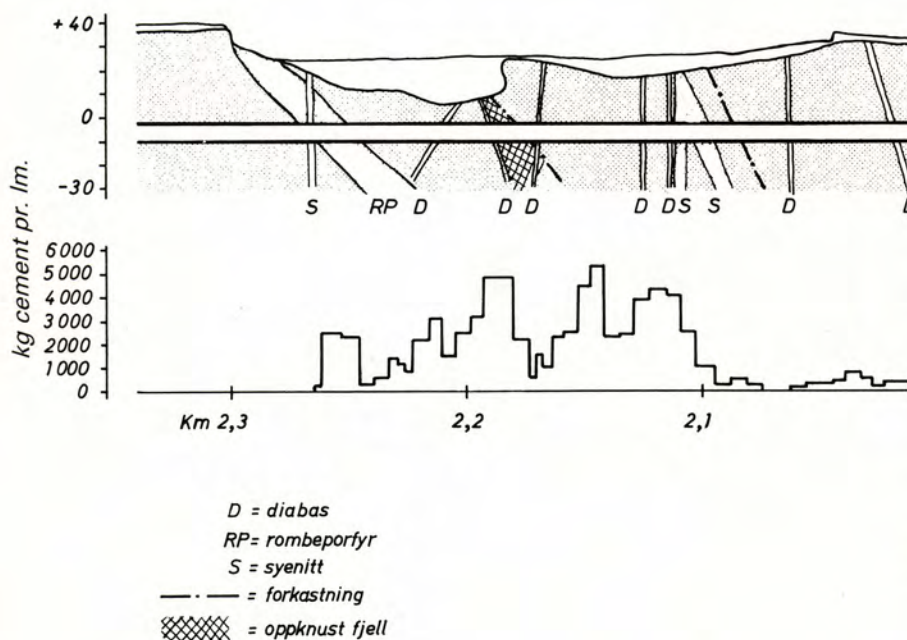


Fig. 39. Tunnelstrekningen ved krysset Nils Juels gate/Gyldenløves gate. Gjennom en forkastningssone med oppknust fjell, flere eruptivganger og liten fjelloverdekning ble det brukt betydelige sementmengder til injeksjon. Fjelltakket ble sikret ved inngyste kamstål i injeksjonskjermene.

Extensive grouting through a fault zone underlying a clay-filled depression. Breccia in the fault zone was supported by long steel bars in the roof grout holes.



Tabell 3. Overbygningssystem.
 Permanent way specifications.

Skinner:	S 54 strekkfasthet min. 880 N/mm ² , kvalitet UIC-B
Sviller:	Betongsviller type ny NSB, avstand c-c 60 cm.
Skinnebefestigelse:	Pandrol med 5 mm tykk mellomleggsplate og isolator.
Pukk:	Linjepukk 20-60 mm på rundhullsikt.
Sporveksler:	Skinnvekt 49 kg/m 1:12, R = 500 ved Oslo S 1:9, R = 300 i tunnelen Alle sporveksler er lagt på tresviller.

Rails:	S 54 tensile strength 880 N/mm ² , quality UIC-B
Sleepers:	Concrete sleepers, l = 2,40 m at 60 cm centres
Rail fastening:	Pandrol with 5 mm insulating pad
Ballast:	Crushed stone ballast 20-60 mm screen
Points:	49 kg/m rails 1:12, R = 500 at Oslo S 1:9, R = 300 in the tunnel All points are laid on wooden sleepers.

Fig. 40. Tunneltrakten ved ferdigstilling for bygging av Sentralstasjonsbygningene tar til.

The funnel-shaped entrance at the Oslo S end of the tunnel, converging from a total width of 94 m to a double track profile.

ble tidkrevende, idet det gikk med store injeksjonsmengder (fig. 39).

I fjelltunnelen på den strekning som ble drevet fra vest, ble det benyttet systemforskaling som i sin helhet var utført av stål. Støpeavsnittene var 10 m lange. I toghallen på Elisenberg stasjon ble vegger og takhvelv støpt for bunnstross og bunnstøp. På de øvrige tunnelstrekninger i fjell ble derimot bunnhvelvet støpt først, etterfulgt av vegg- og takstøp.

På strekningen som ble drevet vestover fra Nationaltheatret stasjon, var støpeavsnittene på 5 m. Det ble her benyttet skinnegående forskalingsvogn bygd opp av stålfagverk kledd med plank.

Del 5. Transporttunnel til Nationaltheatret stasjon

For å få et angrepspunkt for arbeidene ved Nationaltheatret stasjon, ble det på forhånd sprengt ut en egen transporttunnel fra nedre del av Kronprinsens gate til stasjonens toghall (fig. 5).

Tunnelen er ca. 250 m lang og har et maksimalt fall på 1 : 9. Sprengningstverrsnittet er 25 m², som etter utstøpning ga plass til et kjørefelt samt gangvei og rør for frisklufttilførsel til hele anlegget. På 3 steder er tverrsnittet utvidet til møteplasser for anleggstransportene.

Det har bare vist seg nødvendig å støpe ut nedre del av tunnelen. Denne innredes senere som tilfluktsrom for Nationaltheatret stasjon. Transporttunnelen tjener ellers bare som nødutgang fra stasjonen.

Del 6. Tunnelinnføring fra Jernbanetorget mot Oslo S

Dette anleggsavsnitt omfatter de østlige 160 m av det traktformede tunnelparti inn mot Oslo S (fig. 40). Tunnelbredden øker fra ca. 27 m på Jernbanetorget til ca 94 m ved tunnelportalen. I tilknytning til tunnelarbeidene ble det også utført fundamenteringsarbeider for den overliggende stasjonsbebyggelse.



Tunnelen stiger fra en gravedybde på maksimum 6 m, slik at utgravingen for en vesentlig del kunne utføres med naturlige skråninger. Byggegroppen ble bare på enkelte lokale partier avgrenset med stålpuntvegg av hensyn til nærliggende bygninger, spor eller gater.

Dybden til fjell varierer fra 4 til 29 m og fundamenteringsarbeidene har vært omfattende. Tunnel og overliggende bygninger er fundamentert på borede betongpillarer til fjell. I alt er utført 407 borede pillarer av samlet lengde ca. 4000 m og over 3000 m rammede betongpeler.

Overbygning

Dobbeltsporstrekingen gjennom tunnelen blir landets tettest trafikkerte. Det er derfor lagt inn en rikelig dimensjonert overbygning, som samtidig mest mulig følger den standard som benyttes ellers på hovedlinjene ved NSB. Hovedspesifikasjonene fremgår av tabell 3.

Svilleavstanden i tunnelen er redu-

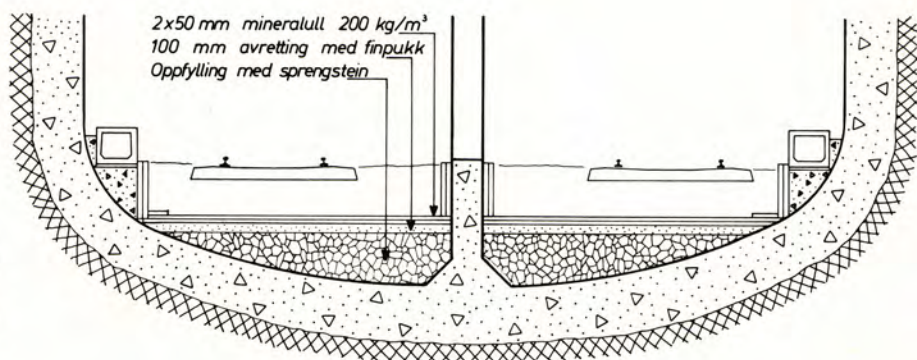
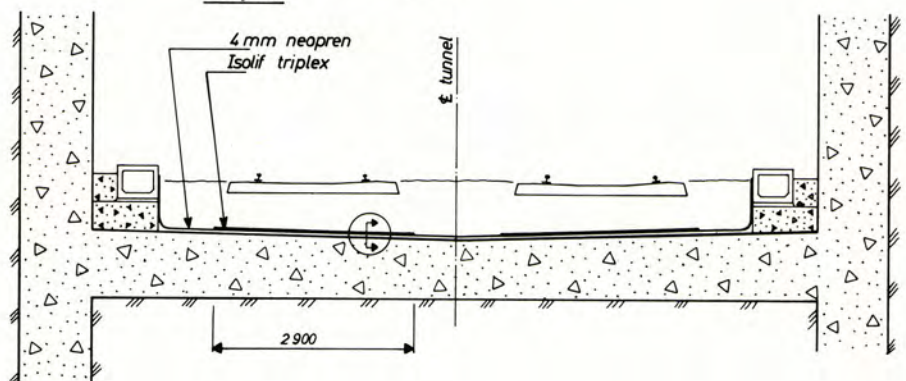
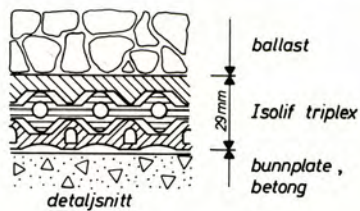
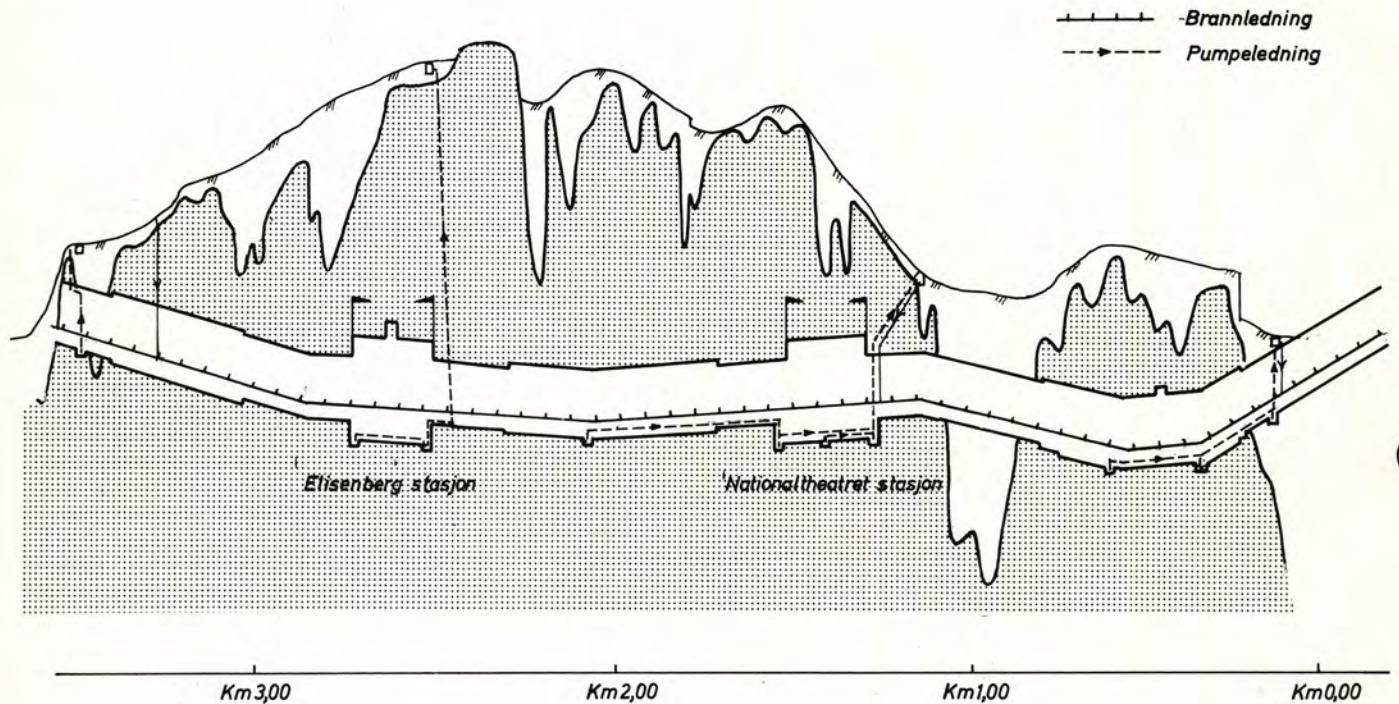


Fig. 41. Støysolasjon ved Nationaltheatret (øverst) og Domkirken (nederst). Precautions against transmission of noise and vibration to adjacent buildings. Rubber mats (Isolif) beneath the ballast (top) and heavy mineral wool on a drainage layer of shingle (bottom).

Fig. 42. Vann- og avløpssystem for tunnelen. Den gjennomgående vannledning for brannsløkking mates fra det kommunale vannledningsnett på tre steder. Drensvann samles i 10 pumpekummer og pumpes ut i avløpsnett på tre steder.

A fire main runs through the tunnel, with firecocks at 100 m intervals. Water is supplied at three points. From 10 drainage sumps water is pumped into the municipal sewers at three points.



sert fra den vanlige normalavstand 65 cm til 60 cm. Dette tiltak anses å gi optimale betingelser for svillepakkingen og mulighet for en god justering på sporet. Støy og rystelser fra togtrafikken vil derved kunne holdes på et lavest mulig nivå.

Under Domkirken og Stortinget ble tunnelens bunnplate senket henholdsvis 50 og 25 cm for å gi plass for øket ballasttykkelse eller eventuelle støydempende spesialkonstruksjoner. Ut fra konsulentenes vurdering ble det valgt å legge inn 50–100 mm

tunge mineralullmatter under samme ballasttykkelse som i tunnelen for øvrig. Under mineralullmattene er det fylt med sprengstein.

På strekningen forbi Nationaltheaterbygningen gjorde de bygningsmessige forhold det vanskelig å få til særlig økning i ballasttykkelsen, og man måtte velge en mindre plasskrevende løsning. Her ble det derfor mellom tunnelens bunnplate og ballasten lagt inn spesielle gummimatter i ca. 30 mm tykkelse (Isolif triplex) (fig. 41) [21].

Tidlig i prosjekteringsfasen ble også muligheten av å benytte ballastfri overbygning i tunnelen vurdert og flere mulige konstruksjonssystemer gjennomgått. Konklusjonen på disse undersøkelser ble imidlertid at innsporingen ved redusert konstruksjonshøyde i tunnelen og enklere vedlikehold ikke oppveiet den betydelige merkostnad ved en slik sporoverbygning. Dessuten vil en konvensjonell overbygning med sviller og ballast være støymessig gunstigere.

Vann, avløp og ventilasjon

Etter krav fra Oslo brannvesen er tunnelen forsynt med en gjennomgående 100 mm vannledning med brannkraner i ca. 100 m avstand. Ledningen ligger nedgravd i ballasten, med kranene vanligvis plassert i egne kummer. Brannledningen ligger normalt tørt, men settes i branntilfelle under trykk fra matepunkter ved Nationaltheatret stasjon eller nær tunnelportalene.

Drensvann i tunnelen samles opp i 10 pumpekummer fordelt langs tunnelstrekningen (fig. 42). I hver kum er det plassert dobbelt sett grunnvannspumper som fører vannet ut i byens

avløpsnett på tre steder. Pumpesystemet ble dimensjonert etter en antatt største drenasjemengde på 10 l/min/100 m (6 l/h/m). Ut fra foreløpige målinger synes det som lekkasjemengdene gjennom tunnelutforingen utgjør 10–20% av dimensjoneringsgrunnlaget.

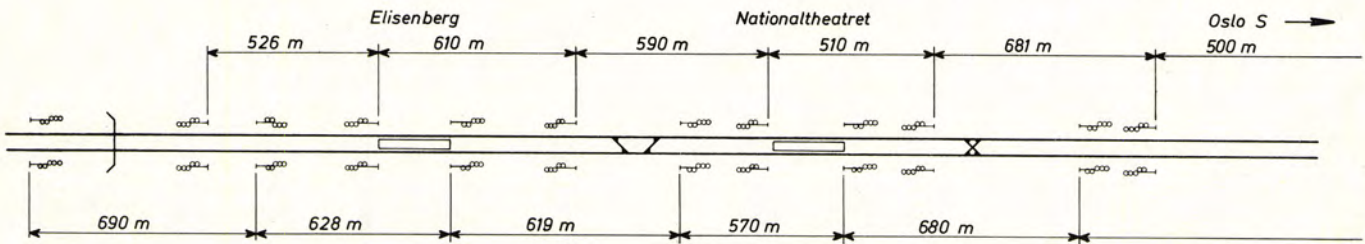
Ved hittil utførte tunneler ved NSB har det vanligvis ikke vært nødvendig med særskilte tiltak for å bedre ventilasjonsforholdene. Den naturlige trekk og toggangen har i seg selv vært tilstrekkelig til å sikre nødvendig frisklufttilførsel. Til forskjell fra vegtunneler, er heller ikke behovet for

luftfornyelse så stort i en jernbaneluft-tunnel, især ikke ved elektrisk drift.

Oslo-tunnelen vil imidlertid få så tett trafikk at spørsmålet om egne ventilasjonstiltak likevel ble vurdert nærmere. I tillegg til hensynet til frisklufttilførselen kommer i dette tilfelle også behovet for å lede bort de store varmemengder som utvikles under toggangen og å dempe trekkforholdene ved tunnelstasjonene.

Det ble bl.a. ansett nødvendig med egne trykkutjevningssjakter på hver side av tunnelstasjonene for å minske luftstøtene ved passering av tog. Av samme årsak var det forutsatt

Fig. 43. Blokkstrekninger og signalplassering.
Block sections and location of signals.



sprengt ut en rekke åpninger mellom de enkeltsporede tunnellop ved innløpet til stasjonene.

Utførte modellforsøk ved NTH viste imidlertid at effekten av disse relativt kostbare tiltak var små. Bortsett fra en åpning mellom hver av enkeltsporetunnelene ble derfor disse besluttet sløffet.

Etter nærmere undersøkelser fant

man det i første omgang heller ikke nødvendig med andre tiltak for å bedre ventilasjonsforholdene i tunnelen. På flere steder langs tunneltraséen er imidlertid forholdene lagt til rette slik at man kan bygge ventilasjonssjakter til dagen på et senere tidspunkt, dersom dette likevel skulle vise seg nødvendig.

Nationaltheatret stasjon har som

omtalt foran likevel eget ventilasjonsanlegg. Elisenberg stasjon vil, når denne senere kommer til utførelse, også bli forsynt med ventilasjonsanlegg, men etter et noe forenklet system.

Elektrotekniske installasjoner

Kontaktledningsanlegget i tunnelen er utført etter gjeldende normer, med 5,0 m som minste høyde på kontakttråden over skinneoverkant. Det er opphengt returledning for begge spor. Kontaktledningsbryterne fjernkontrolleres fra Lillestrøm omformerstasjon.

Tunnelen utstyres med gjennomgående belysning med lysrørarmatu-

rer i høyde 4,20 m over skinneoverkant i avstand 30–40 m. I enkeltsporede tunnellop er armaturene plassert langs den ene veggen, i dobbeltsporede tunneler langs begge vegger. Tunnellyset betjenes fra Oslo S.

Oslo-tunnelen inngår som en del av det nye sikringsanlegg for Oslo Sentralstasjon [23].

Ved ca. km 0,2, 0,9 og 1,9 er det

innlagt vekslere for sporsløyfer. Tunnelen er inndelt i 5 blokkstrekninger (fig. 43).

NSB bygger nå ut et anlegg for vedlikeholdsradio som det første fullautomatiserte mobilradionett her i landet. I tunnelen er det montert gjennomgående antenneledning, slik at dette radioanlegg får kontinuerlig forbindelse.

Byggekostnader

De samlede byggekostnader for arbeidene fram til tunnelåpningen 1.6.80 beløper seg til 630 mill. kr.

Anleggsarbeidene har vært utført i en periode med sterk økning i priser og lønninger (fig. 44). Kostnadene for de enkelte tunnelstrekninger i løpende priser avhenger derfor ikke bare av anleggstekniske forhold, men også av tidspunktet for byggingen av vedkommende strekning.

I figur 45 er byggekostnadene tilnærmet fordelt på de enkelte tunnelstrekninger, både i løpende priser og omregnet til prisnivå 1.7.80. Til sammenligning er også kostnadsoverslaget fra 1969 omregnet til prisnivå 1980. Denne fremstilling omfatter bare de bygningstekniske arbeider. Hertil kommer utgifter til grunnervervelse, jernbanetekniske installasjoner (spor, kontaktledning, sikringsanlegg

o.l.) samt prosjektering, byggeledelse og administrasjon.

For de strekninger som ble fullført sist i byggeperioden, d.v.s. Nationaltheatret stasjon og tunnelstrekningen mellom ca. km 1,7 og 2,3 er byggekostnadene anslått på grunnlag av en foreløpig oversikt.

Fig. 44. Lønns- og prisutvikling i anleggsperioden. Basis 1. kvartal 1969 = 100.
Wage and price development during the construction period. Basis 1st quarter 1969 = 100. Curves show from top: hourly wages (timelønn) for labour based on statistics for average of the last four quarters; building materials and steel.

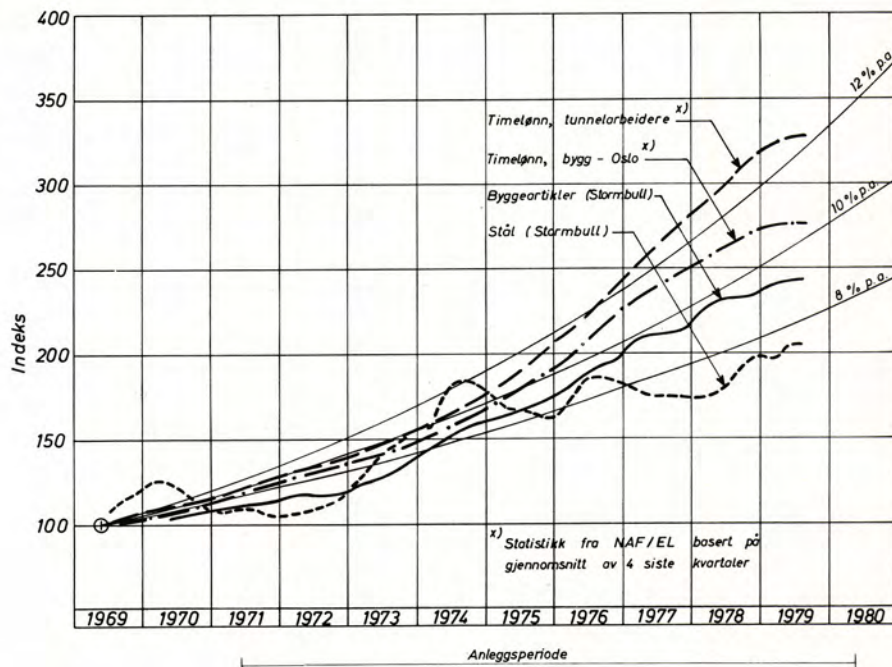
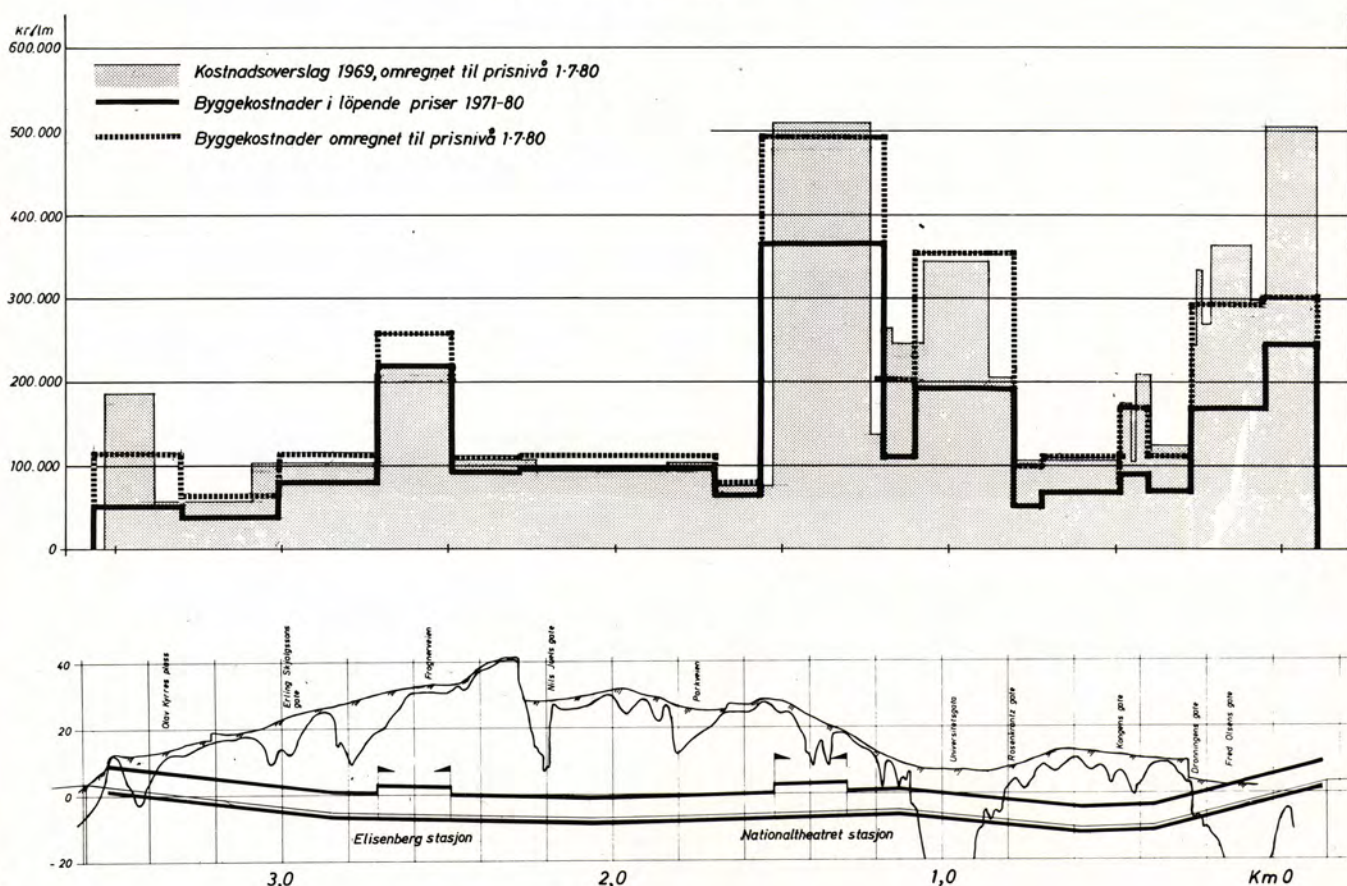


Fig. 45. Kostnadsoverslag og faktiske byggekostnader omregnet til kr. pr. lm. tunnel for bygningstekniske arbeider inkl. avgift. Utgifter til grunnervelver, sporoverbygning, kontaktlednings- og sikringsanlegg prosjektering, byggeledelse og administrasjon er ikke medtatt.

Costs per metre of tunnel length. The table gives a 1969 cost estimate converted to 1980 prices (1), actual costs in current prices (2) and actual costs converted to 1980 prices (3). The figures include construction costs and taxes (approx. 15%). Expenses for land purchase, permanent way, catenary and safety installations, project management and administration are not included.



Konsulenter, byggeledelse og entreprenører

Plankontoret for Oslo Sentralstasjon som er underlagt Teknisk direktør i NSB's Hovedadministrasjon, har hatt ansvaret for planlegging og prosjektledelse for Oslo-tunnelen.

Planleggingsarbeidene har vært utført ved hjelp av en rekke konsulenter. Av disse har de viktigste vært:

Bygningsteknikk: Arkitekt (Nationaltheatret og Elisenberg stasjon): Geoteknikk/geologi:	Ingeniørene Bonde & Co Peer Qvams arkitektkontor Norges geotekniske institutt NSB, Geoteknisk kontor Noteby, Norsk Teknisk Byggekontroll A/S
Fjellsprenningsteknikk: Ventilasjon, sanitæranlegg: Ledningsomlegninger ved Olav Kyrres plass: Elektroteknikk:	Kontor for fjellsprenningsteknikk Ingeniørene Erichsen & Horgen Sivilingeniør R. Brusletto A/S NSB, Hovedadministrasjonen, Elektroavdelingen
Akustikk, støymålinger: Rystelsesmålinger: Seismiske grunnundersøkelser: Kjerneboringer:	Universitetslektor Wilhelm Løchstør Sivilingeniør Per A. Madshus A/S Sivilingeniør O. Kjøseth A/S Grunnboring Noteby, Norsk Teknisk Byggekontroll A/S
Nivellement av bygninger:	Bloms Oppmåling A/S Nerdrums Opmaaling A/S
Konsulent for bevegelseshem- mede:	Arkitekt Kåre Adler

Foruten de nevnte konsulenter har også flere andre kontorer innen NSB deltatt i planleggingen, blant annet: Datasentralen, Kontoret for regnskaps- og kontororganisasjon (Kontororg.), Designsekretariatet og flere kontorer innen Hovedadministrasjonens baneavdeling.

Jernbaneanlegget Oslo Sentralstasjon har vært byggeleder for tunnelarbeidene, bortsett fra strekningen gjennom Studenterlunden (del 2),

som var et fellesanlegg for NSB og den kommunale T-bane. Etter nærmere avtale med Oslo kommune ble det bestemt at Plankontoret skulle stå for prosjekteringen av denne strekning, mens kommunen ved Prosjekteringskontoret for by- og forstadsbaner skulle ivareta byggeledelsen.

Hovedentreprenørene på de forskjellige delstrekninger av tunnelen har vært følgende:

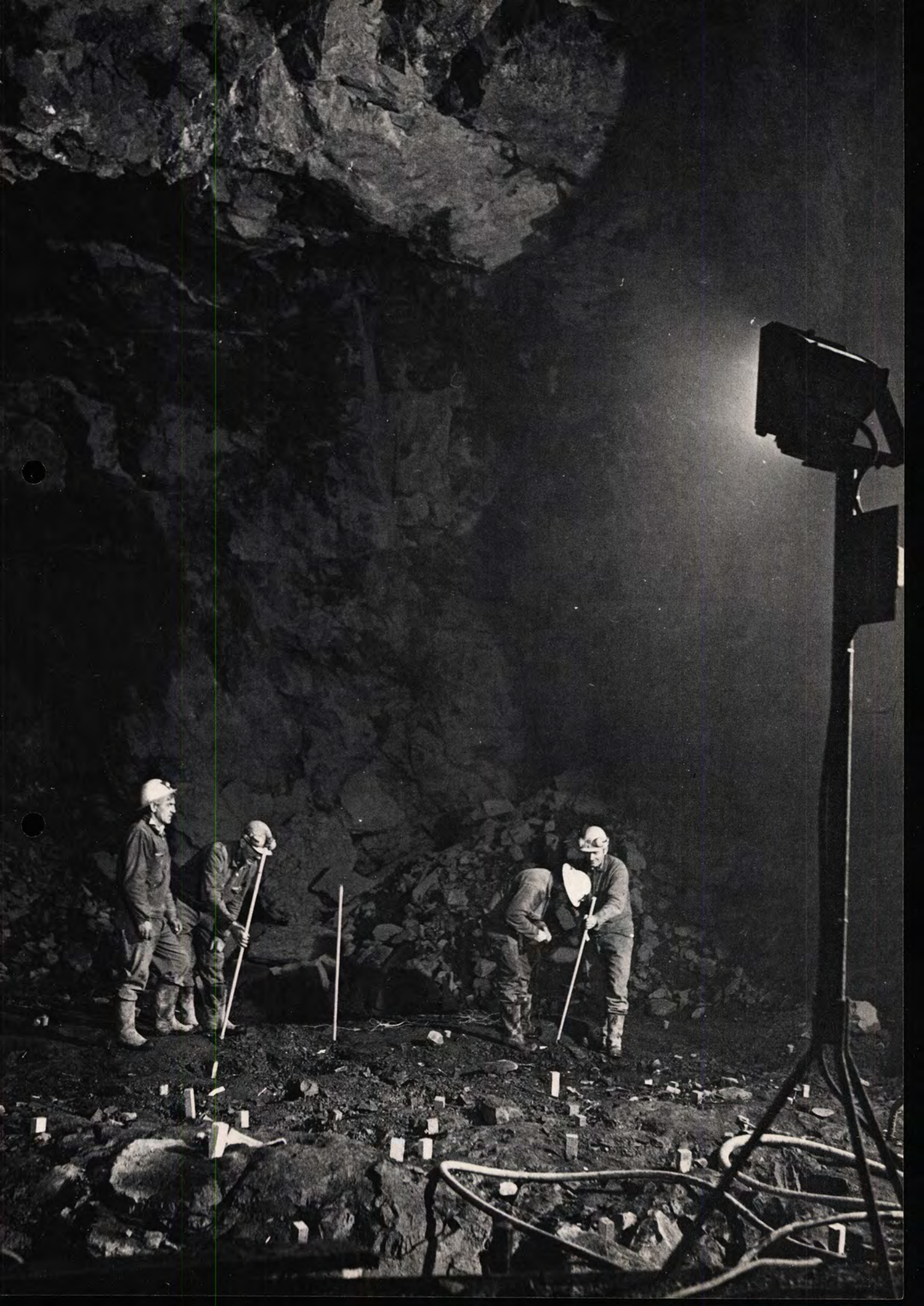
Del 1: Ingeniør Thor Furuholmen A/S	Del 4: A/S Ingeniørbygg
Del 2: Dipl.ing. Kaare Backer A/S	Del 5: Ingeniør Thor Furuholmen A/S
Del 3: NSB, Jernbaneanlegget Oslo S	Del 6: Ingeniør Thor Furuholmen A/S

Sporleggingen i tunnelen er utført av Jernbaneanlegget Oslo Sentralstasjon. Elektroavdelingen ved NSB's Hovedadministrasjon har utført den

vesentlige del av de elektrotekniske arbeider i tunnelen og ved Nationaltheatret stasjon (kontaktledningsanlegg, lys, sikringsanlegg m.v.)

Litteratur

- [1] L. Bjerrum, O. Eide: Stabilitet av avstivede utgravninger i leire. NGI, Publ. nr. 14, Oslo 1956.
- [2] Odd Svennar: Jernbanens tunnelforbindelse øst—vest gjennom Oslo og den fremtidige nærtrafikk i Oslo-området. Lokaltrafikk, Oslo, 19 (1967), nr. 1, s. 1—5, 10—11.
- [3] Odd Svennar: Frognerlinjen — en ny trasé for jernbanens forbindelsestunnel gjennom Oslo. Tekniske meddelelser — NSB, Oslo, 15 (1967), nr. 4, s. 102—107.
- [4] Håkon Hartmark: Interessant metode for tunnelgraving prøves i Oslo. Nordisk Järnbanetidskrift, Kbh., 97 (1971), nr. 1, s. 37—39.
- [5] O. Eide, G. Aas, T. Jøsang: Special application of cast in place walls for tunnels in soft clay in Oslo. NGI, Publ. nr. 91, Oslo 1972.
- [6] E. Dibiagio, F. Myrvoll: Full scale field tests with a slurry trench excavation in soft clay. NGI, Publ. nr. 91, Oslo 1972.
- [7] Gunnar Aas: Geotekniske problemer ved tunnelbyggingen gjennom Studentertunden i Oslo. Bygg, Oslo, 20 (1973), nr. 9, s. 23—26, 29.
- [8] O.M. Fiskaa: Betong i alunskifer. Resultater av Alunskiferutvalgets forsøksvirksomhet 1963—1972. NGI, Publ. nr. 101, Oslo 1974.
- [9] F. Myrvoll, K. Karlsrud: Skjærforsøk i full målestokk på bløt leire i Studentertunden, Oslo. NGI, Publ. nr. 102, Oslo 1974.
- [10] Odd Svennar: Planleggingsgrunnlaget for jernbanens forbindelsestunnel øst—vest gjennom Oslo. NSB-teknikk, Oslo, 1(1975), nr. 1, s. 3—8.
- [11] Otto Bjørgum, Kjell Eriksen: Dimensjonering av utstøpte tunneltversnitt i fjell. Nordisk betong, Sth., 1975, nr. 5, s. 12—17.
- [12] S. Øverli: Ca. 60 følere overvåker temperaturen i nedfrosset gatelegeme. Teknisk ukeblad, Oslo, 122(1975), nr. 31, s. 8—9.
- [13] Kjell Mathisen, Morten Knudsmoen: Forbindelsestunnel øst—vest gjennom Oslo. Planlegging av de bygningstekniske arbeider. NSB-teknikk, Oslo, 2(1976), nr. 1, s. 9—18.
- [14] Olav Asland: Forbindelsestunnel øst—vest gjennom Oslo. Frysestabilisering av løsmasser. NSB-teknikk, Oslo, 2(1976), nr. 4, s. 87—88.
- [15] Kjell Karlsrud: Practical experience from the excavation of slurry trenches in Oslo. NGI, Publ. nr. 110, Oslo 1976.
- [16] G. Aas: Stability of slurry trench excavations in soft clay. NGI, Publ. nr. 111, Oslo 1976.
- [17] K. Karlsrud, F. Myrvoll: Performance of a strutted excavation in quick-clay. NGI, Publ. nr. 111, Oslo 1976.
- [18] K. Karlsrud: Seksten meter dyp utgravning for tunneler i Studentertunden, Oslo. NGI, Publ. nr. 112, Oslo 1976.
- [19] Halvard Halling, Odd Svennar: Oslo Sentralstasjon og tunnelen (gjennom Oslo) — et nytt tilbud fra NSB. Samferdsel, Oslo, 1977, nr. 1, s. 4—6. nr. 1.
- [20] Tormod Jøsang: Utstøping av tunneler — erfaringer spesielt fra Oslo. Ingeniør-nytt, Oslo, 1977, nr. 91, s. 2—4.
- [21] Lyd-rystelser fra tog i tunnel øst—vest. Bane-nytt (NSB), Oslo, 1978, nr. 1, s. 3—4.
- [22] K. Karlsrud, L. Sander: Subsidence problems caused by rock-tunneling in Oslo. NGI, Publ. nr. 123, Oslo 1978.
- [23] Arne Sakshaug: Geografisk sikringsanlegg og databasert manøversystem ved Oslo Sentralstasjon. NSB-teknikk, Oslo, 4(1978), nr. 3, s. 4—11.
- [24] Morten Knudsmoen: Stikningsplan for Oslo-tunnelen. NSB-teknikk, Oslo, 5(1979), nr. 1, s. 20—22.
- [25] Oslo-tunnelen. En omfattende prosjekteringsoppgave. RIF-nytt, Oslo, 1979, nr. 4, s. 10—13, 21.
- [26] Svein Gardsjord: Planlegging av stasjonsanlegget for Oslo sentralstasjon. NSB-teknikk, Oslo, 2 (1976), nr. 4, s. 74—78.



Preface

The opening of the Oslo tunnel on June 1 1980 marks the completion of the first phase of an extensive renewal scheme for the Norwegian State Railways (NSB) in the Oslo area. Under this scheme the two old main stations will be replaced by a central station over the next 8 years.

Railway commuter services to and from the city will be significantly improved, the suburban passenger services being operated by cross-city trains. Considerable operating benefits will also be achieved in the moving of freight trains between the eastern and western railway networks. The tunnel link will bring to an end the inconvenient transit of freight trains along the harbour line which crosses busy city streets. Several hours of delay involved in the cross-city transfer of the freight will be saved.

Upon the completion of Oslo's new Central station (Oslo S) in the late eighties, long distance passenger trains on the line to Drammen and the south west will use the tunnel. Thus, operation of all long distance traffic will be handled from a single terminus in Oslo.

History

The question of a central station for the two parts of the NSB networks has been discussed ever since the line to Drammen was opened in the 19th century. It was recommended to link the eastern and western networks by means of a tunnel on the shortest possible alignment. In 1962 the project was adopted in principle. However, it was recognized that in the future NSB would be required to participate more strongly in the commuter traffic of the greater Oslo area. A more northerly alignment, extending further westwards, would make it possible to place two local stations in areas of the city having a large commuter traffic potential. Close connections with the municipal metro system could also be achieved at Nationaltheatret station in addition to the nearby metro station at Oslo S. It is intended to link the new municipal metro system of the eastern suburbs with the old western region sub-

urban line system, also municipally owned.

Plans for the two tunnel alignment alternatives were submitted to the government and to Oslo City Council. After financial negotiations relating to division of costs, the final resolutions to build the longer tunnel link was adopted in 1968.

The tunnel alignment

The length of the tunnel is 3,6 km. From Oslo S 12 tracks converge into a double track profile. At the tunnel stations the tracks diverge into two separate bores, emerging on either side of island platforms. This configuration was chosen in order to simplify access arrangements. The depth of the tunnel was determined by geological features and existing structures above ground. Open cuts were preferably made in city parks and squares. The detailed alignment as shown on the map was determined by geological considerations combined with the demand for high track standards. The track is designed for a maximum speed of 120 km/h, with curve radii from 600 to 900 m. Cross sections and dimensions of the tunnel profile are in accordance with existing standards.

Nationaltheatret station

The station is situated at the western edge of the city centre, with a large number of job locations within short reach. There are also convenient interchange facilities with the municipal underground lines and several bus and tram services on the surface.

The island platform is 220 m long and 11 m wide. The station tunnel lining is designed to resist a 25 m head of water. The greatest care has been taken to prevent undesirable noise and draught from the passage of freight and long distance trains. A canopy, fitted with a large number of noise-absorbent panels, provides shelter against possible leakage.

At each end of the platform, escalators and lifts lead up to ticket halls near the surface. The elevation of the eastern ticket hall is 11 m above the platform. Passages lead to street entrances at Ruseløkkveien and Studentertunden. Rebuilding of the old underground station for cross city operation of the municipal under-

ground services has not yet commenced. A temporary passage between the railway station and the suburban station access will relieve the only permanent exit, to Ruseløkkveien.

For financial reasons, construction of the western ticket hall has been postponed until a later stage.

Elisenberg station

Situated in the Frogner area, this station will be 40 m below the surface. It is estimated that traffic here will be far less than at Nationaltheatret. The platform width is 9.3 m. Platform arrangements will otherwise be similar to those at Nationaltheatret station.

Construction of the access facilities and ticket hall have been postponed until later, due to lack of grants. However, measures have been taken to ensure that the station may be completed at a later stage without undue interference with train operation.

Geology

The ground along the tunnel alignment consists of Ordovician shales and limestones. The rocks have been sharply folded, forming ridges and troughs extending north-east/south-west. Tectonic activity resulted in downward movement of the land and a series of faults combined with the intrusion of igneous rocks. During glacial periods weak zones were eroded, the depressions later being filled up with clay sedimented on the seabed. Thus the topography of the east-west tunnel is characterized by rock ridges north-east/south-west, alternating with clay filled depressions.

The deposits in the depressions consist mainly of soft clay, but a layer of moraine sands and silts between rock and clay constitute a water-permeable zone.

Site investigations

Precise data concerning the physical properties of rocks and soils, and detailed knowledge of rock surface levels, were obtained prior to the final choice of alignment and construction methods. An extensive exploration program was performed at an early stage; this included registrations of previous subsoil investigations, seis-

mic surveys, percussion drilling for the determination of rock surface levels and core drilling for detailed studies of rock quality. Clays were subjected to vane tests and sampling for laboratory analysis. Registration of porewater pressure commenced a few years before construction work. Initial porewater pressure in clay and the natural water table was surveyed by means of a large number of piezometers and observation wells.

Observations of existing buildings

Several old houses and historic buildings adjacent to the tunnel alignment were observed before, during and after the construction period. The observation program included settlement levelling, vibration control in conjunction with rock blasting and visual observation of cracks and subsidences. Together with the current registration of porewater pressures and leakage into the tunnel the observation program provided the necessary data for the accomplishment of safe tunneling.

Main technical problems

Difficult subsoil conditions in a heavily exploited urban area gave rise to complicated problems that had to be solved:

- The importance of a *waterproof tunnel* was dramatically demonstrated in the early years of this century, during the construction of the underground section of the Holmenkolbanen suburban line. Extensive leakages into the tunnel drained out the surrounding rock and moraine material at the bottom of the clay-filled depressions. This drainage, causing a lowering of porewater pressures, was accompanied by serious subsidences of buildings founded on clay. Consequently, in building the Oslo tunnel the aim was to achieve the highest possible degree of watertightness. To ensure a permanent solution to the drainage problem the tunnel was provided with a complete concrete lining, cast in place. Provisional waterproofing for the unlined area between the tunnel

face and the lining was achieved by pregrouting. Nevertheless, excessive leakages were experienced in some places. To gain control over porewater pressures a system of artificial recharge wells was put into operation.

- *Ground failure in soft clay* was another serious problem to be solved. It has been established by wide experience in Oslo that a braced cut in clay can only be excavated to a certain critical depth. Deeper cuts, as required in the excavation of the tunnel, had to be made by other methods. Previously, sections of the municipal underground system had been successfully constructed by the pressure chamber method. However, the relatively high pressures required would necessitate extremely long decompression time for workers, with consequent high labour costs. In addition to the heavy cost factor it has recently been discovered that pressures of the required magnitude represent a health hazard, and the method was therefore rejected. Several other methods were studied before the slurry trench method of erecting diaphragm walls was selected for

two sections which involved excavation below the critical depth.

- *Economical design of the concrete lining*, constituting a major contribution to the total cost of the tunnel, required special attention. The static design was based upon the physical properties of rock and soil as established by the site investigation program, and exact analysis of the overburden forces including ground water head and rock stresses. A standard computer program for frames was employed for the calculations. Some cross-sections were designed by a more advanced program using the method of finite elements to check the reliability and accuracy of the simpler method.

Contract letting and tunneling methods

The 3.6 km long tunnel project was divided into six main contracts. Five of these were tunnel sections of lengths from 150 to 1970 m. The last contract comprised a short transport tunnel to Nationaltheatret station. The tunnel section including Nationaltheatret station was undertaken by NSB's construction department. The five other contracts were undertaken by private contractors.





The funnel-shaped entrance from Oslo S to the tunnel bore (Section 6) was dug through clay and fill material by the cut-and-cover method, converging from a total width of 94 m to a double track profile.

Section 1 of the tunnel was constructed across a clay-filled depression by the slurry trench method. The tunnel enters rock at km 0.26 with just sufficient cover to pass beneath Oslo Cathedral (Domkirken). At Stortorvet (km 0.40) it was necessary to make a braced cut because the rock cover was not sufficient to support the overburden in a minor depression.

Section 2 of the tunnel enters a large clay-filled depression at Studenterlunden, the depth to rock being 40 m. The difficulties encountered on this section were common to the Oslo tunnel and the new municipal metro tunnel which was to be constructed at the same time. It was decided to place the two tunnels on top of each other in order to reduce the inconvenience caused by tunneling work in the city's central park. The 18 m deep excavation of the two tunnels was accomplished by constructing diaphragm walls in slurry-filled trenches.

Another minor depression in the

rock surface at km 1.17, extending down to the tunnel vault, was crossed by freezing the subsoil in the depression.

Nationaltheatret station (Section 3) is located in rock, the depth below the surface increasing from 15 m to 25 m. Owing to the large cross-sectional span of the station tunnel and the limited rock cover, the blasting and concreting operations were divided into small sections.

Section 4 of the tunnel comprises the longest stretch of rock bore. The depth beneath the surface, up to 40 m, was determined out of regard for the need to pass below a series of clay-filled depressions. This stretch also includes Eisenberg station.

The westernmost 150 m of the tunnel was constructed on the cut-and-cover principle, part of it through a clay-filled depression. This braced cut reached a depth of 12 m, partly in quick clay.

Tracks and installations

Specifications for track in the tunnel are in accordance with main line standards for the NSB network as a whole. Consideration was given to special track design to reduce transmission of vibrations and noise to ad-

jacent buildings. However, it was concluded that a ballasted track with concrete sleepers and 54 kg/m rails would afford sufficient damping of noise and vibration. Ballast thicknesses in the tunnel were increased near important buildings. In special cases, mats of rubber (Isolif) and mineral wool were inserted between the tunnel bottom slab and the ballast.

Throughout its length, the tunnel is equipped with a water main with firecocks at 100 m intervals. Water seepage collects in sumps at the low points. Pumping capacity permits leakages of up to 10 l/min./100 m. However, actual seepage through the concrete lining is substantially less.

In view of the projected high density of traffic in the tunnel, the question of sinking ventilation shafts arose. It was assumed that it would be necessary to provide shafts for the equalization of pressure waves from trains passing through the tunnel stations. However, laboratory model tests indicated that draught conditions would be acceptable without shafts, and consequently construction of shafts was avoided. The tunnel stations are equipped with fresh air ventilation systems.

Traction power is supplied from catenaries 5.0 m above track level (15 kV AC at 16 2/3 Hz). Lights (2 x 40 w) are mounted at 20–30 m intervals and a VHF antenna running through the tunnel serves the fully automatic radio link for maintenance purposes.

Lokaltogruter ved tunnelåpningen 1.6.80. Senere føres også togene fra Gjøvikbanen (Jaren) og Østfoldbanen (Moss/Sarpsborg) gjennom tunnelen til Skøyen. Oslo V nedlegges når Oslo S er fullført i slutten av 1980-årene.

Commuter services after the opening of the tunnel, June 1, 1980. At a later date trains from Jaren and Moss/Sarpsborg will pass through the tunnel to Skøyen. Oslo West Station will be closed down when Oslo S is completed in the late 1980.

