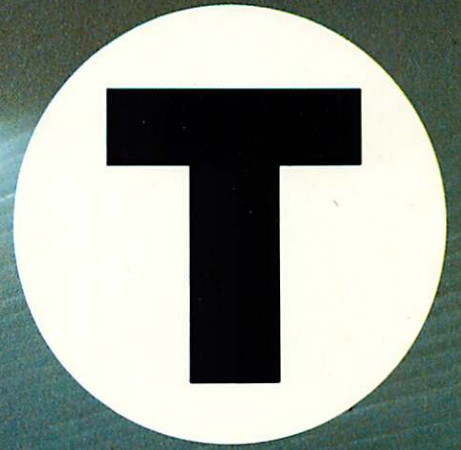
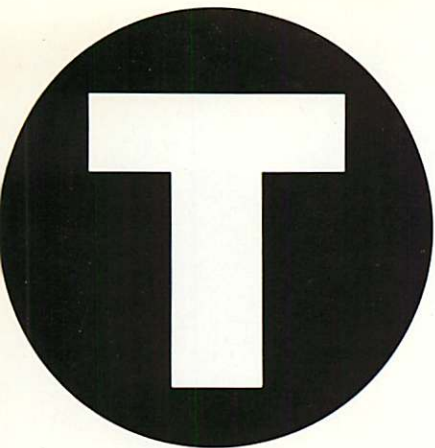


Stockholms tunnelbanor 1975



teknisk beskrivning





Stockholms tunnelbanor 1975

I samband med öppnandet av den centrala sträckan Slussen–Hötorget på Stockholms första tunnelbana 1957 och öppnandet av den andra tunnelbanan 1964 utgavs tekniska beskrivningar över anläggningen. Ytterligare en betydelsefull etapp i tunnelbanenätets utbyggnad fullbordas i och med att huvuddelen av den tredje tunnelbanan, Järvabanan, tages i trafik. Sedan den föregående beskrivningen utgavs har vidare den andra banan förlängts till Botkyrka och Universitetet. Fortsatt utbyggnad av såväl andra som tredje tunnelbanan pågår.

I enlighet med beslut av trafiknämnden i Stockholms läns landsting har föreliggande beskrivning utarbetats. Härvid har behandlats såväl de senast tillkomna sträckorna som tekniskt intressanta delar av tidigare tunnelbanebyggnad. Syftet är att ge en koncentrerad men samtidigt allsidig dokumentation av de tekniska metoder som kommit till användning under cirka trettio års tunnelbanebyggnad. Verket har tillkommit under medverkan av främst tjänstemän i Stockholms gatukontor och AB Storstockholms Lokaltrafik. Redaktionskommittén har utgjorts av gatudirektören vid Stockholms gatukontor, verkställande direktören i AB Storstockholms Lokaltrafik och förvaltningschefen vid landstingets trafikkontor.

Stockholm i augusti 1975

Birger Rosell
Carl Ehrman

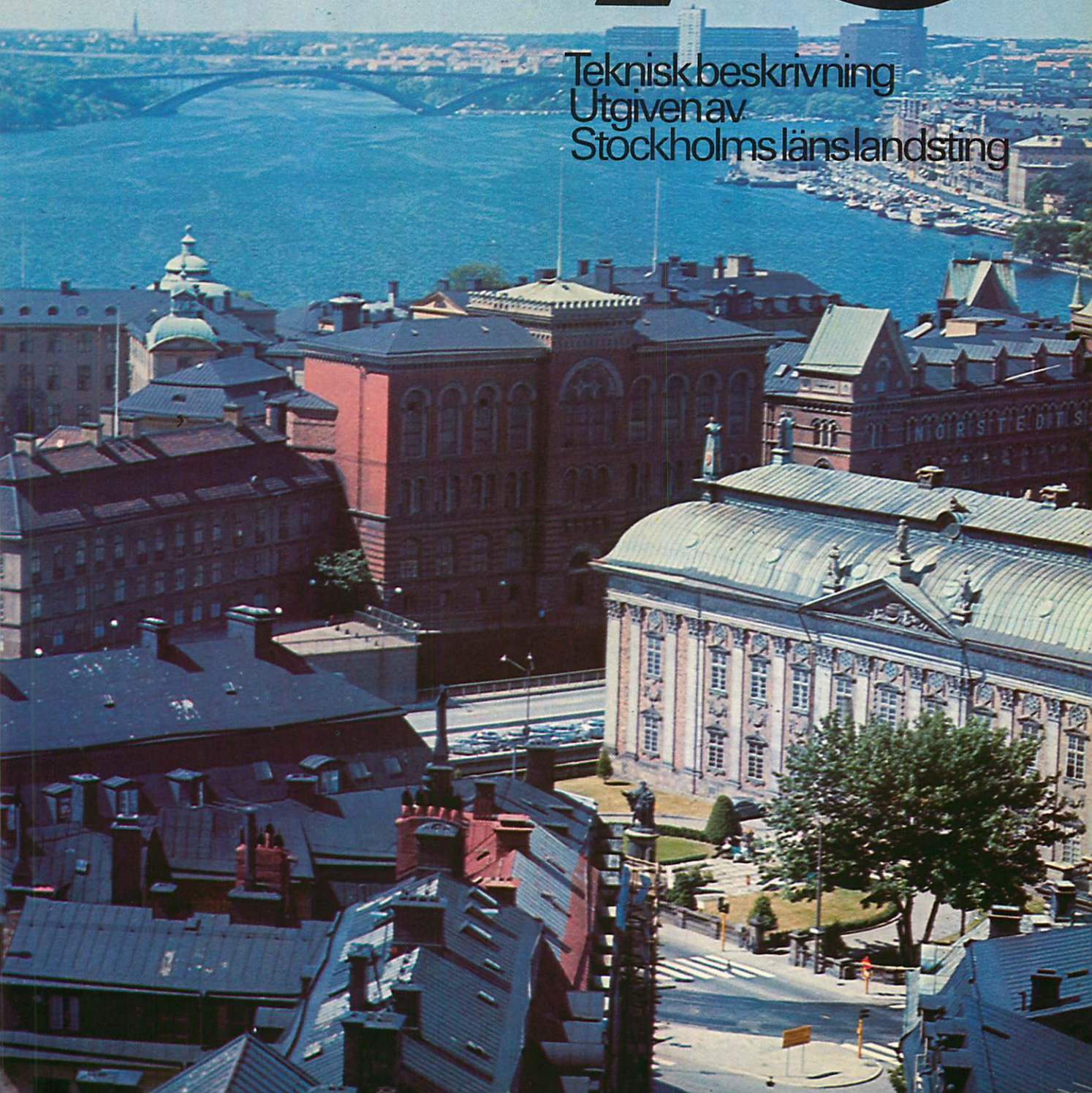
Ingemar Bäckström
Bror Hillbom

Stockholms



tunnelbanor '75

Teknisk beskrivning
Utgiven av
Stockholms läns landsting



- 1** Från hästdrivna fordon till tunnelbana 6
- 2** Förberedelsearbeten för tunnelbanornas byggande
Samarbetsformer, stadsplanering och markförvärv 14 Samarbetsavtal med kommunerna 14 Stadsplanefrågor 14 Anläggningsplanen och markfrågorna 14 Markförvärv genom avtal och expropriation 14 Expropriation eller inlösen enligt byggnadslagen 15 Skyddszon för T-banan 16 Skadeståndsförfrågor till följd av anläggande och drift av T-banan 16
- 3** **Kostnader**
Totalkostnad 17 Råkonstruktion 17
- 4** **Tunnelbanans trafikkapacitet**
Personalbesparande trafikmedel 21 T-banans andel i trafikarbetet 21 Järvabanan, sträckning och kapacitet 22
- 5** **Teknisk standard**
Normalsektion 23 Vagnlängder 23 Tågtäthet 23 Placering av stationer 23 Spårets geometriska form 24 Trafikantvägar 24 Nedbringad ljudnivå 24 Ventilation 24
- 6** **Geoteknisk översikt**
Berggrunden 25 Jordgrunden 25 Grundvattenproblem 27 Sättningsproblem 27 Geotekniska undersökningar 29
- 7** **Beräkningsgrunder**
Ständiga laster 32 Trafiklaster 32 Övriga belastningar 32 Belastning på bergtunnelförstärkningar 33 Säkerhet mot uppflytning 33 Övriga beräkningsprinciper 33
- 8** **Banornas lägen och utformning**
Tb 1 – Hässelby, Farsta, Hagsätra och Bagarmossen 35
Tb 1 – Förlängning till Farsta Strand 38 Tb 2 – Ropsten 41
Tb 2 – Fruängen och Vårberg 41 Tb 2 – Botkyrkabanan, förlängning Vårberg–Norsborg 42 Tb 2 – Täbybanan, Östermalmstorg–Mörby Centrum 44 Tb 3 – Järvabanan, Kungsträdgården–Västra Skogen 47 Tb 3 – Järvabanan, Västra Skogen–Hallonbergen–Rinkeby–Hjulsta 51 Tb 3 – Järvabanan, Hallonbergen–Akalla 55
- 9** **Sidoordnade arbeten**
Husbesiktningar, vibrationsmätningar och skadestånd 56
Husgrundförstärkningar, husavväxlingar 56 Ledningsomläggningar 60 Trafikomläggningar 61 Provisoriska körbryggor 61
- 10** **Intressanta byggnadsproblem**
Konstruktioner i berg: Station T-Centralen, Tb 1 och Tb 2 62
Station T-Centralen, Tb 3 63 Station T-Centralen, Tb 1 och Tb 2, ombyggnad 65 Cirkulär tunnel mot Östermalm 66 Station Fridhemsplan, Tb 1 67 Station Fridhemsplan, Tb 3 67 Om- och tillbyggnad av station Fridhemsplan, uppgång S:t Eriksgatan 70 Gatuunderbyggnad i korset S:t Eriksgatan–Fleminggatan 70 Station Kungsträdgården, Tb 3 70
T-banan under Norrström 73 Betongtunnel under Golfängarna 74 Tjälfarligt vid Masmo 74 Frysgrundläggning och tryckluftkassuner vid Tegelbacken 75 Småkassuner och kofferdammar 79 Sänktunnel under Liljeholmsviken 79

Broar och viadukter 80 T-banans bropassager 85 Viadukter 89 Speciella konstruktioner 94 Skydd mot påkörning från gatutrafik 94 Vattenisoleringar 94 Vibrationsisolering 95 Bullerdämpande åtgärder 97 Berginjektering 99 Jordinjektering vid Konserthuset 100 Grundförstärkning: Bankpålning 100 Vertikaldränering 101 Urgrävning 101 Lätt fyllning 101 Inverkan av jordsättning på lutande pålar 102

11

Arbetsmetoder

Bergsprängning 103 Sprängning av rulltrappschakt 107 Sprängning av stigorter 108 Bergförstärkning 108 Ovanjordsprängning 109 God arbetsmiljö krävs 110 Vattenproblem: Bergläckage mellan Vårberg och Vårby Gård 111 Problemen vid Gömmarbäcken 112 Läckage mellan Hallunda och Norsborg 113 Schaktning under grundvattennivån 114 Skred vid korsningen med väg E 4 115 Fångdammar och spontkonstruktioner: Fångdammar 116 Spontkonstruktioner 117 Bakåtförankrade sponter 117 Miljöproblem vid spontslagning 118 Formsättning 118 Armering 121 Gräv-pålar 123 Olycksfallsfrekvens 125

12

Bananläggningen

Allmänt 127 Spåröverbyggnad 127 Spårunderhåll 131 Lok, vagnar och arbetsmaskiner 132 Snöröjning 134

13

Kraftförsörjning

Primärsystem 135 Likriktarstationer och matarkablar 135 Fjärrkontroll 138 Strömskena 138 Läckströmmar 138 Energiförbrukning 138

14

Signalsystem

Banustrustning 140 Vagnustrustning 143 Ställverk 144

15

Telesystem

Telefoner 146 Högtalaranläggningar 146 Överfallsalarm 146 Uranläggningar 146 TV-anläggningar 146 Tunnelståg-radio 146 Radionätets funktion 147 Radionätets uppbyggnad och omfattning 147 Basradionätet 148 Radioutrustning i tunnelvagnar 148

16

Belysning

Belysning 149

17

Stationer

Stationer 153

18

Vagnar

Först litet tunnelvagnshistoria 165 Vagnar typ C 6–C 9 168 C 6-vagnar 168 C 7-vagnar 168 C 8-vagnar 168 C 9-vagnar 168 Några huvuddata 170

19

Vagnhallar

Rissnehallen 171 Vagnhallar för Tb 1 och Tb 2 175 Tunnelvagnverkstaden i Hammarby 176

20

Trafikering och driftfrågor

Tb 1 179 Tb 2 180 Tb 3 181 Driftledningen på T-banan 181

21

Den fortsatta utvecklingen 183

Förkortningar

4 Europaväg 4
18 Europaväg 18
TH Tekniska Högskolan
Ruk Räls underkant
ök Räls överkant
L Storstockholms Lokaltrafik AB
LL Stockholms Läns Landsting
b1 Tunnelbanesystem 1
b2 Tunnelbanesystem 2
b3 Tunnelbanesystem 3
UC Tunnelcentralen
V Television

Från hästdrivna fordon till tunnelbana

Vid 1800-talets mitt började världens storstäder få sådan storlek, att avståndet inom städerna och trängseln på gatorna blev allt svårare att bemästra. För samfärdseln vid denna tid stod endast hästdrivna fordon till buds och deras kapacitet var begränsad. Därför uppstod tanken på att bygga lokala spårbundna, maskindrivna trafikmedel, som skulle kunna framföras på egen banvall. Det visade sig av utrymmesskäl ofta nödvändigt att lägga dessa banor under markytan, varför de kom att benämnas underjordsbanor eller tunnelbanor, i vissa fall metrobanor. Den första banan av detta slag var Londons Metropolitanlinje, som invigdes 1863. Den utfördes i försänkt läge nära markytan. Endast korta tunnelsträckor förekom och tågen drogs av ånglok. Kollektiva trafikmedel av liknande slag invigdes i New York 1868 och i Chicago 1892. I dessa städer byggdes banorna ofta i breda gator på stålviadukter, s.k. elevated, vilka dock med tiden visade sig mindre lämpliga, bl.a. på grund av det störande buller de orsakade. Numera har de nästan helt ersatts med elektrifierade banor under markytan.

De första eldrivna tunnelbanorna

På 1880-talet blev det möjligt att utnyttja elektrisk kraft för drivning av spårbundna vagnar. Detta medförde att elektriskt drivna spårvägslinjer kunde byggas i gatans plan. Det blev även elkraftens införande som satte fart på tunnelbanebyggandet. I de större städerna var det nämligen nödvändigt att komplettera spårvägslinjerna med de snabba tunnelbanorna. I rask följd invigdes nu tunnelbanor på många håll i den industrialiserade delen av världen.

Wien och Budapest 1896, Glasgow 1897, Paris 1900, Boston 1901, Berlin 1902, Philadelphia 1907, Hamburg 1912 och Buenos Aires 1913. De båda världskrigen medförde ett uppehåll i byggandet. Under mellankrigstiden invigdes dock tunnelbanor i Madrid 1919, Barcelona 1924, Athen 1925, Tokyo 1927, Osaka 1933 och Moskva 1935.

Efter andra världskriget ökades befolkningskoncentrationen kraftigt till de större städerna och detta medförde större krav på de kollektiva kommunikationsmedlen. Samtidigt ökade antalet bilar i stadstrafiken, vilket ofta förorsakade trafikstockningar, varigenom framkomligheten för bussar och spårvagnar försvårades. Detta blev orsaken till att tunnelbanebyggandet på nytt aktualiserades. Tidigare utförda tunnelbanesystem utvidgades i många fall och ytterligare ett antal städer igångsatte byggandet av tunnelbanor. Omkring

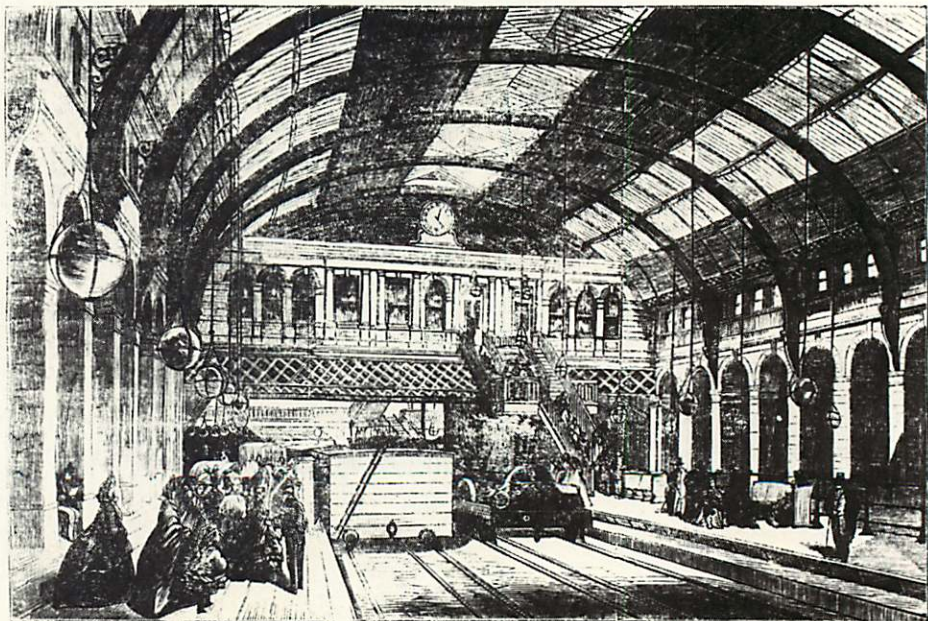


Nya omnibus-reglor.

«Mycke' ledsen mamsell, men ni är tvungen lemna krinolin här utanpå.»

Bild ur Illustrerad Tidning 1858. »Nya omnibus-reglor» för hästbussen i Stockholm

Bild ur Scientific American, N.Y. den 23 februari 1867. Tunnelbanan i London King's Cross Station



THE LONDON TUNNEL.—KING'S CROSS STATION.

1970 fanns i Europa, Amerika och Asien 36 tunnelbanesystem i trafik av vilka de flesta hade pågående utvidgningsarbeten, 17 nya bansystem var under byggnad och ytterligare ett antal projekterades.

Efter kriget och i synnerhet från början av 1960-talet har ett antal nya trafikmedel för kollektiv lokaltrafik presenterats i form av idéskisser, modeller och provbanor. Ännu har dock inget av dessa nya system visat sig kunna ersätta det tunnelbanesystem, vars principer lanserades för mer än 100 år sedan. Nya tunnelbanor – moderniserade och förbättrade i takt med teknikens utveckling – är för närvarande praktiskt taget det enda system som byggs i de städer där kapacitetsstarka, kollektiva trafikmedel erfordras. Vid stora avstånd kompletteras tunnelbanorna ofta med de vanliga järnvägarnas lokalbanor på vissa håll kallade S-banor.

Tunnelbana aktualiseras i Stockholm

Vid 1900-talets början ansågs det, att en stad borde ha minst en miljon invånare för att anläggandet av ett tunnelbanesystem skulle vara motiverat. Trots att Stockholm vid sekelskiftet endast hade ungefär 350 000 invånare började man diskutera anläggandet av en tunnelbana, som komplement till det befintliga spårvägsnätet. Orsaken till detta torde ha varit dels den ökade trafiken, dels stadens geografiska förhållanden.

Ett av de mer allvarligt menade tunnelförslagen för de söderifrån kommande förortsbanorna framlades 1910 av en 1908 tillsatt kommunikationskommitté. Det framlagda förslaget bearbetades av 1921 års trafikkommitté, som föreslog, att de söderifrån kommande förortsbanorna borde framföras i tunnel under Götgatan från Skanstull till Slussen och genom en linje över Gamla Stan anknyttas till de västerifrån kommande förortsbanorna.

En av stadskollegiet tillsatt ny kommitté, benämnd 1930 års trafikkommitté, vidareutvecklade tidigare förslag. I denna kommittés betänkande, som kan sägas ligga till grund för beslutet att påbörja tunnelbanebygget i Stockholm, formulerades de allmänna förutsättningarna för lokalbanenätets utformning på följande sätt.

»Förortsinfarterna böra kombineras med varandra till ett genomgående trafikerat lokalbanesystem med bästa möjliga sträckningar jämväl för inomstadstrafiken. Endast under denna förutsättning kan i en stad av Stockholms

storlek en trafikfrekvens uppnås, som något så när svarar mot kostnaderna för detta kapitalkrävande trafikmedel. Så långt ske kan bör härvid förortstrafikströmmar av liknande omfattning kombineras, då möjligheterna till pendlande trafik därigenom kunna på ett driftsekoniskt förmånligt sätt utnyttjas.»

T-banebygget påbörjas

I enlighet med trafikkommitténs förslag beslöt stadsfullmäktige den 30 mars 1931, att arbetena med bygget av tunnelbanan Skanstull–Slussen omedelbart skulle påbörjas. Denna första etapp öppnades hösten 1933 i spårvägsstandard.

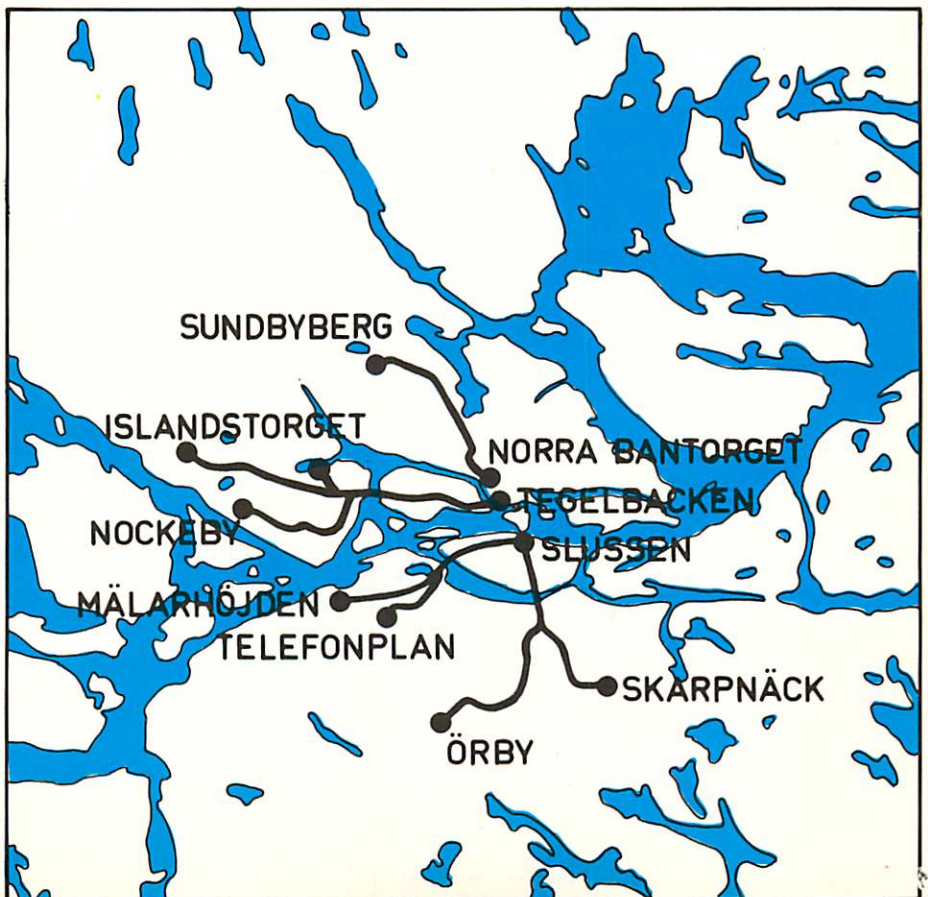
De för ett beslut om banans sträckning genom innerstaden norr om Slussen erforderliga utredningarna bedrevs under 30-talet av en särskild tunnelbanedelegation. Eftersom markområden för ett fortsatt bostadsbyggande inom Stockholms gränser huvudsakligen fanns i söder och väster borde möjligheten till pendlande trafik mellan dessa stadsdelar innebära stora fördelar såväl från driftsekonisk synpunkt som med hänsyn till möjligheten att ytterligare

utnyttja tillgängliga markområden. Med tanke på denna framtida trafikförbindelse utfördes den 1933 påbörjade ombyggnaden av den västra förortsbanan på sträckan Fridhemsplan–Traneberg så att den skulle kunna utnyttjas för tunnelbanetrafik.

Delegationen redovisade i sitt betänkande 1940 olika förslag till en tunnel under innerstaden som skulle kunna sammanbinda de södra och västra förortsbanorna. Vidare föreslogs att banorna skulle utföras i konventionell tunnelbanestandard. Eftersom man vid denna tidpunkt förutsatte, att endast en tunnelbana skulle komma till utförande genom innerstaden ansågs det lämpligt att låta denna passera i en kringgående linje över Odenplan, varigenom så stora delar som möjligt av innerstaden skulle kunna nås av tunnelbanan. Med busslinjer anslutande till förortsstationerna skulle en ekonomisk trafikbelastning kunna erhållas.

De södra banornas trafikunderlag beräknades uppgå till över 200 000 invånare under det att motsvarande antal för det västra området var ca 150 000. Denna obalans borde kunna utjämnas genom en framtida grenlinje från sta-

Förortsbanor före 1950



tion Odenplan till de nordvästra bostadsområdena. Försvarsarbeten för en sådan avgrening gjordes därför vid första banans byggande men det bedömdes, att en sådan bangren skulle få alltför liten kapacitet för det växande befolkningsunderlaget i nordväst, varför den inte kom till utförande. Nordvästsektorns trafikförsörjning måste ordnas på annat sätt.

Byggnadsetapper

År 1941 beslöt stadsfullmäktige, att tunnelbanan genom staden i princip skulle dragas över Odenplan enligt det sk Sveavägsalternativet. Genom andra världskrigets utbrott uppsköts arbetet tills vidare. Efter beslut i december 1944 igångsattes emellertid detaljprojekteringen och 1945 påbörjades byggandet av innerstadstunneln. I stadsfullmäktiges beslut angavs i princip den ordningsföljd enligt vilken de olika delsträckorna skulle byggas genom innerstaden.

Sträckan Slussen–Hötorget skulle först utföras och förenas med den befintliga tunneln under Södermalm. Därefter skulle resterande del av innerstadstunneln från Hötorget till Lindhagensgatan byggas och anslutas till den västra förortsbanan. Motivet för denna ordningsföljd var farhågorna för att exploateringen inom Enskede och Brännkyrka skulle medföra svåra trafikförhållanden, såväl på de trånga gatudelarna genom Gamla Stan som särskilt vid Slussen, där omstigningstrafiken väntades öka avsevärt. Tunnelbanans framdragande till stadscentrum, där flertalet av invånarna har sina arbetsplatser, skulle lösa dessa problem och ge trafikanterna en bättre trafikservice. Ovanligt invecklade stadsplanefrågor förelåg emellertid på sträckan Slussen–Tegelbacken, där järnvägen skulle flyttas, tunnelbanan dragas fram och nya stora gatuleder skapas. På den etappen skulle staden och staten dessutom samsas såväl om utrymmet som om ekonomin, varjämte de estetiska frågorna inom detta känsliga stadsparti krävde stor hänsyn. Detta medförde, att när arbetet skulle påbörjas efter krigsslutet hade man inte några färdiga planer att gå efter. Arbetsprogrammet måste därför ändras så, att man i stället började bygga sträckan Lindhagensgatan–Hötorget. Angelägenhetsgraden för denna sträcka hade under mellantiden ökat, då man planerade en inkorporering av Spånga och en storexploatering inom detta område.

Förändringar i banans utformning

Under tiden från beslutet 1941 och fram till byggnadsarbetenas igångsättande 1945 vidtogs en del väsentliga förändringar i banans utformning. Orsaken här till var främst den oväntat starka befolkningstillväxten, särskilt under första hälften av 40-talet, vilken föranledde en ny prognos för Stockholms och Stor-Stockholms folkmängd.

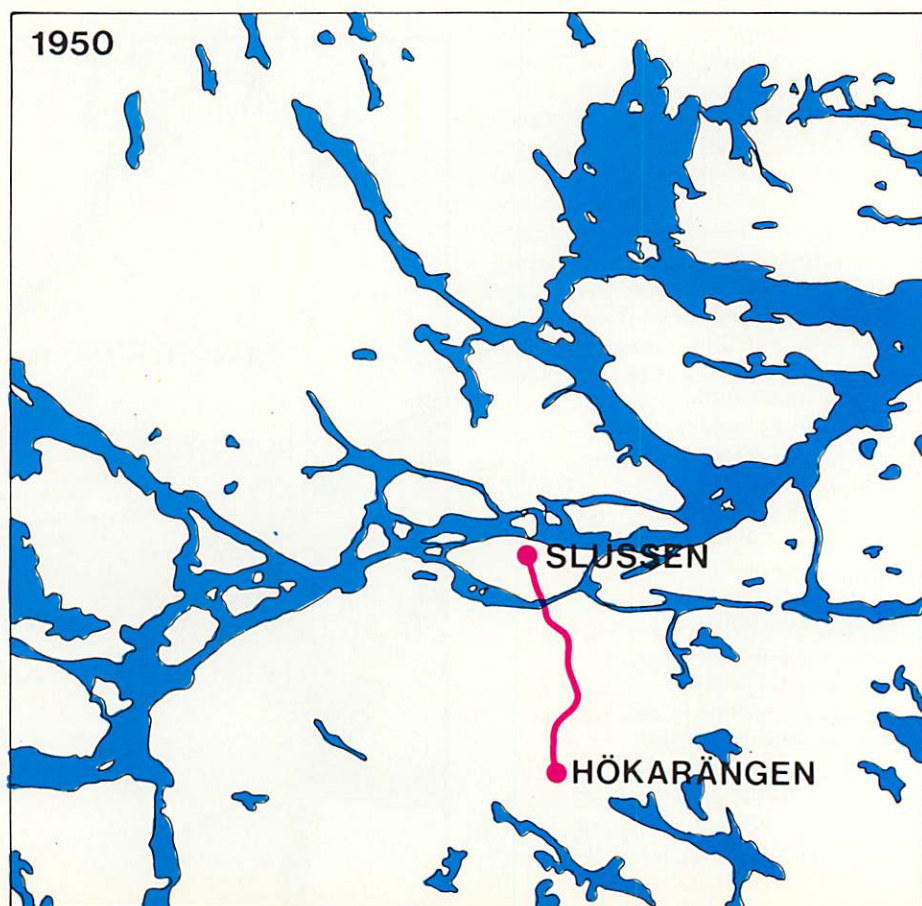
År 1941 ansåg man, att folkmängden i Stor-Stockholm skulle uppnå högst 900 000 invånare. Bansystemet anpassades därefter beträffande såväl antalet till ett och samma spårpar anslutande grenlinjer som kapacitet, tåglängd och vagnstorlek. Den nya prognosen pekade mot en folkmängd på 1,1 à 1,3 miljoner med en häremot svarande ökning av kravet på tunnelbanans kapacitet. För att öka denna förlängdes därför stationernas plattformar från 110 till 145 m, varigenom tåglängden kunde ökas från sex till åtta vagnar. En viss ombyggnad av sträckan Skanstull–Slussen blev därigenom bl a nödvändig.

Ursprungligen hade man tänkt sig att söderifrån ansluta ej mindre än sju förortsbanor till ett och samma spårpar genom Gamla Stan, antingen direkt eller med omstigning.

En utredning om bansystemets kapacitet visade dock, att det trots ökningen av tåglängden inte var möjligt att direkt ansluta såväl de södra som de sydvästra banorna. Här för erfordrades ytterligare en tunnelbaneförbindelse under strömmarna.

Då det inte var möjligt, att utan mycket höga kostnader utföra en sådan förbindelse under de vattendrag som skiljer de norra och södra stadsdelarna åt i annat läge än det som föreslagits för första banan, beslöts redan 1945, att på sträckan T-Centralen–Tegelbacken–Slussen reservera plats för ytterligare två spårpar vid byggandet av första banan på denna sträcka.

En annan väsentlig ändring som gjordes i samband med byggnadsarbetenas igångsättande var utformningen av stationernas biljetthallar. Enligt de principer som tillämpades vid byggandet av Södertunneln skulle biljetthallen placeras i plattformplanet och stationerna så nära ytan som möjligt. Därigenom blev höjdskillnaden mellan plattformen och gatuplanet så liten, att man kunde nöja sig med enbart fasta trappor. Detta utförande hade emellertid den nackdelen, att endast en trappöppning kunde utföras i gatuplanet



Tunnelbanans utbyggnadsskede 1950

Tunnelbanans utbyggnadsskede 1952

Tunnelbanans utbyggnadsskede 1957

och denna måste placeras i gatans ena gångbana. Vid det fortsatta tunnelbanebygget beslöts, att stationerna skulle läggas så djupt, att biljetthallen kunde läggas mellan spårutrymmet och gatuplanet, vilket medgav större frihet vid placeringen av uppgångarna till gatans plan. Man kunde tex utföra uppgångar i gångbanor eller intilliggande byggnader på ömse sidor om en gata. Därvid erbjöds möjligheter för samtliga trafikanter att undvika korsning av en hårt trafikerad gata.

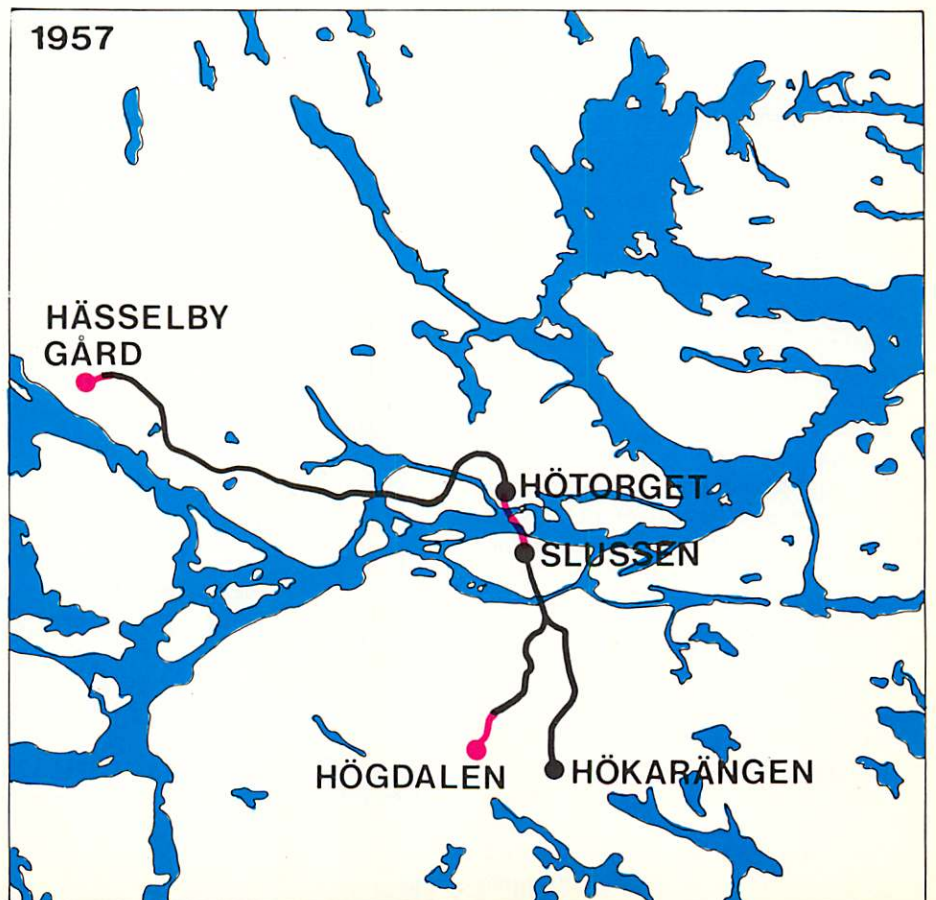
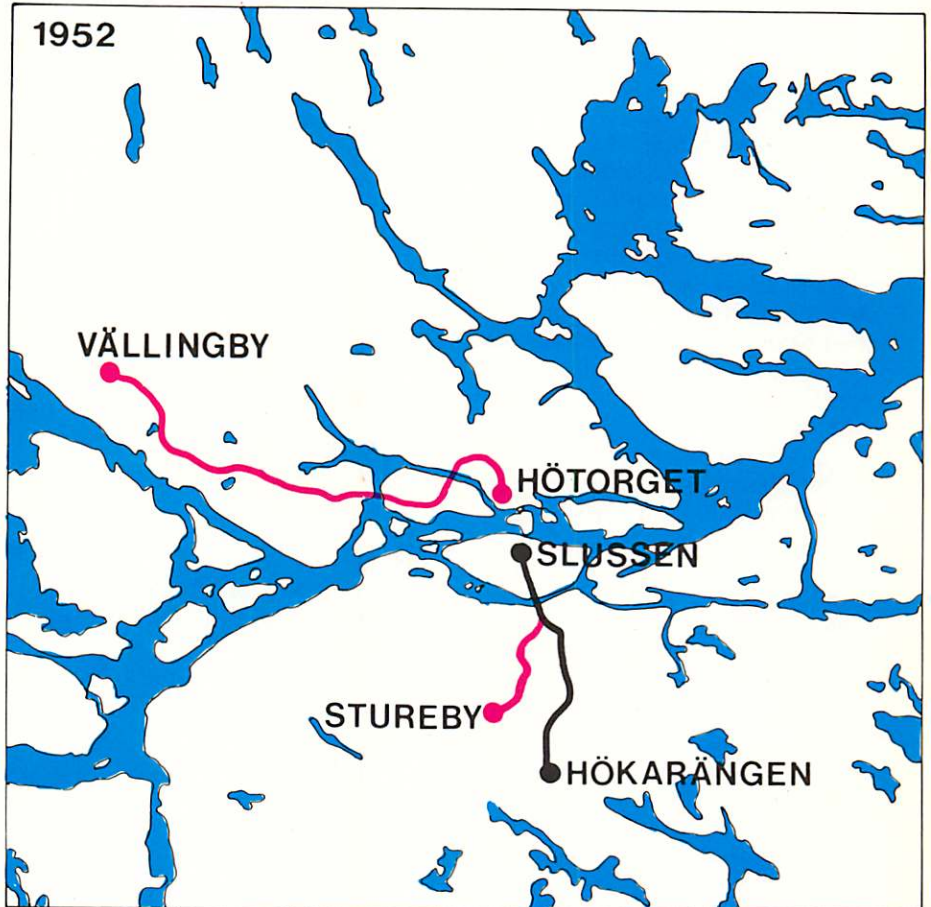
Trafiken igångsättes

Tunnelbanetrafiken öppnades 1950 på de södra förortsbanorna och i Södertunneln med en provisorisk ändstation vid Slussen. Den västerifrån kommande tunneln var färdig 1952 till station Hötorget och 1957 kunde den genomgående tunnelbanan öppnas för trafik.

Sydvästra banan planeras

Under byggandet av den första banan aktualiserades på grund av befolkningstillväxten frågan om en tunnelbana även till de sydvästra förorterna. Denna bana skulle kunna utnyttja befintligt spårutrymme på sträckan T-Centralen–Slussen. Den 21 januari 1954 uppdrog Stockholms stadskollegium åt generalplaneberedningen att utreda frågan. I beredningens förslag, som avlämnades 1956, angavs, att en sydvästbana dels skulle ge möjlighet till en exploatering av ett av de få stora markområden som fanns kvar inom stadens gränser, dels minska den alltmer besvärande trafikbelastningen på infartslederna genom Södermalm.

Den av generalplaneberedningen föreslagna utformningen av sydvästbanan skilde sig i ett avseende väsentligt från den första banan. Vid den 42 km långa första banans byggande bibehölls banorna i förorterna ovan jord på egen banvall med ett undantag. Av innerstadssträckorna går ca 8 km i tunnel. Detta innebär att endast ca 20 % av första bansystemets spår ligger i tunnlar. Vid sydvästbanan lades ca 75 % av banan i tunnel, huvudsakligen i bergtunnel. Ett utförande i tunnel även i oexploaterade områden ansågs medföra stora fördelar från stadsplaneringssynpunkt och kostnaden för bergtunnlar överstiger i de flesta fall inte kostnaden för en bana ovan jord på egen banvall. I enlighet med delegationens förslag beslöts, att arbetena med sydvästbanan skulle igångsättas så snart stadens organisation för projektering och byggande kunde frikopplas från arbetet med första banan. År 1964 invigdes huvuddelen av sydvästbanan och 1967



var den föreslagna banan från Vårberg och Fruängen inklusive förlängningen till Ropsten färdig för trafik.

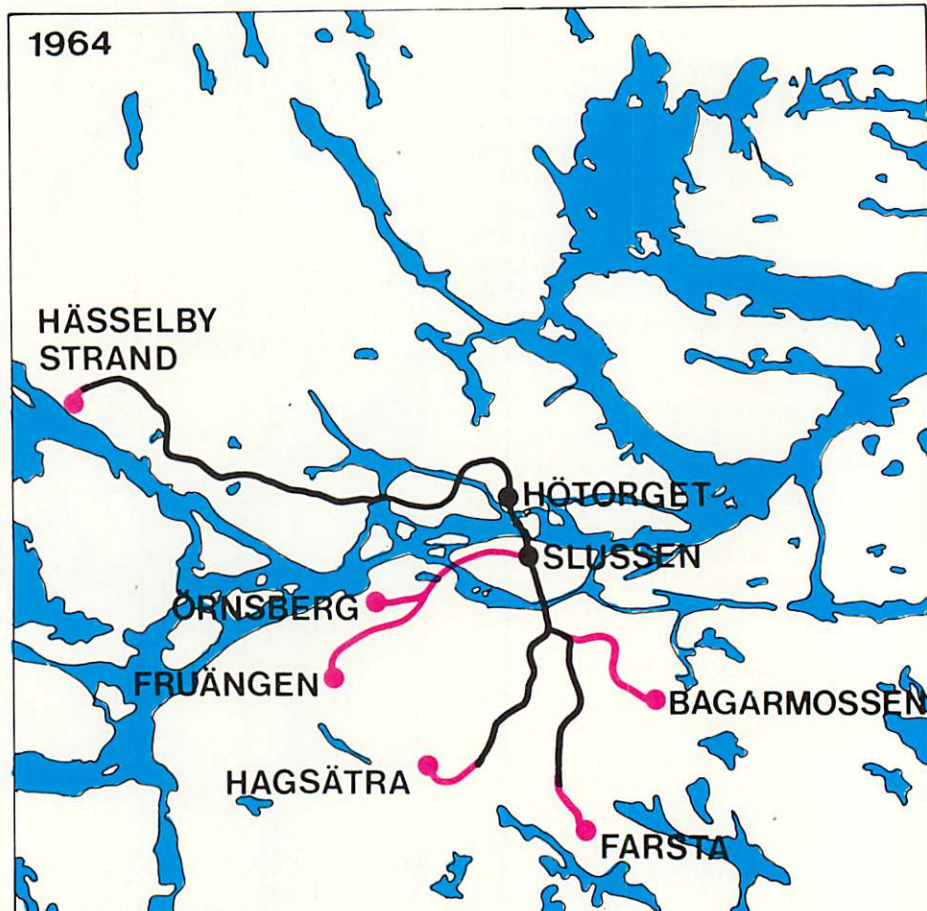
Interkommunalt samarbete

Tidigare beskrivna tunnelbanor ligger helt inom Stockholms gränser och har byggts och finansierats av staden. Detta var lämpligt så länge huvuddelen av Stor-Stockholms befolkning bodde inom Stockholms stads gränser. Det alltmer ökande behovet av utrymmen för administrativa och kommersiella ändamål i stadens centrala delar samt kraven på ökade utrymmen för bostäder, arbetsplatser m m medförde emellertid, att allt större del av utbyggnaden måste ske inom kommunerna runt Stockholm.

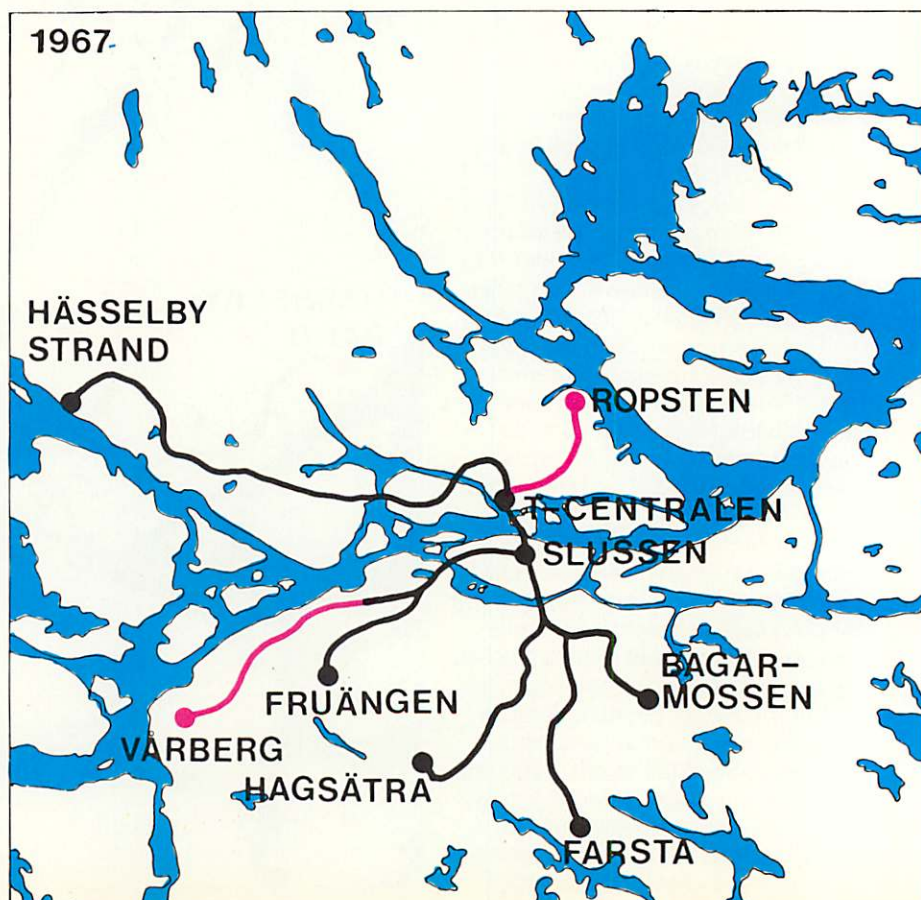
Vid 1940-talets början bodde ungefär 60 % av Stor-Stockholms befolkning i Stockholms innerstad, 20 % i ytterstadsdelarna och 20 % i förorterna utanför stadsgränsen. År 1965 bodde mindre än 30 % i innerstaden, omkring 40 % i ytterstaden och drygt 30 % i förorterna. Omkring 1960 uppnådde Stockholms stad sin maximala folkmängd, 808 000. Den har därefter ständigt minskat under det att Stockholms och kringliggande kommuners sammanlagda folkmängd ökat snabbare än beräknat fram till början av 1970-talet. Förskjutningen utåt av befolkningsfördelningen väntas komma att fortsätta. Enligt den år 1965 gällande regionplanen för stockholmstrakten beräknades befolkningsfördelningen år 1990 vara ungefär 20 % i innerstaden, 25–30 % i ytterstaden och 50–55 % i förortskommunerna. Denna strukturförändring krävde en samordning av för regionen gemensamma frågor, framförallt kommunikationerna.

År 1957 tillsattes inom generalplaneberedningen en tunnelbanekommitté sammansatt av experter från stadens fackförvaltningar och dåvarande spårvägsbolaget med uppgift att utreda principerna för det fortsatta tunnelbanebygget. Denna kommitté framlade 1965 en principplan för ett tunnelbanenät utbyggt till tre fullständiga diagonalsystem och utformat så, att det med förgreningar och bussanslutningar samt kompletterat med Statens Järnvägars lokaltrafik skall kunna betjäna boende inom ett avstånd upp till 40 km från stadskärnan. Dessa spårtrafikanläggningar beräknades vara tillräckliga för Stor-Stockholm till ungefär 1990. I samtliga fall lades förbindelserna mellan norr och söder intill Gamla Stan, vilket har medfört en koncentration av tunnelbanetrafiken till Sergels Torgområdet.

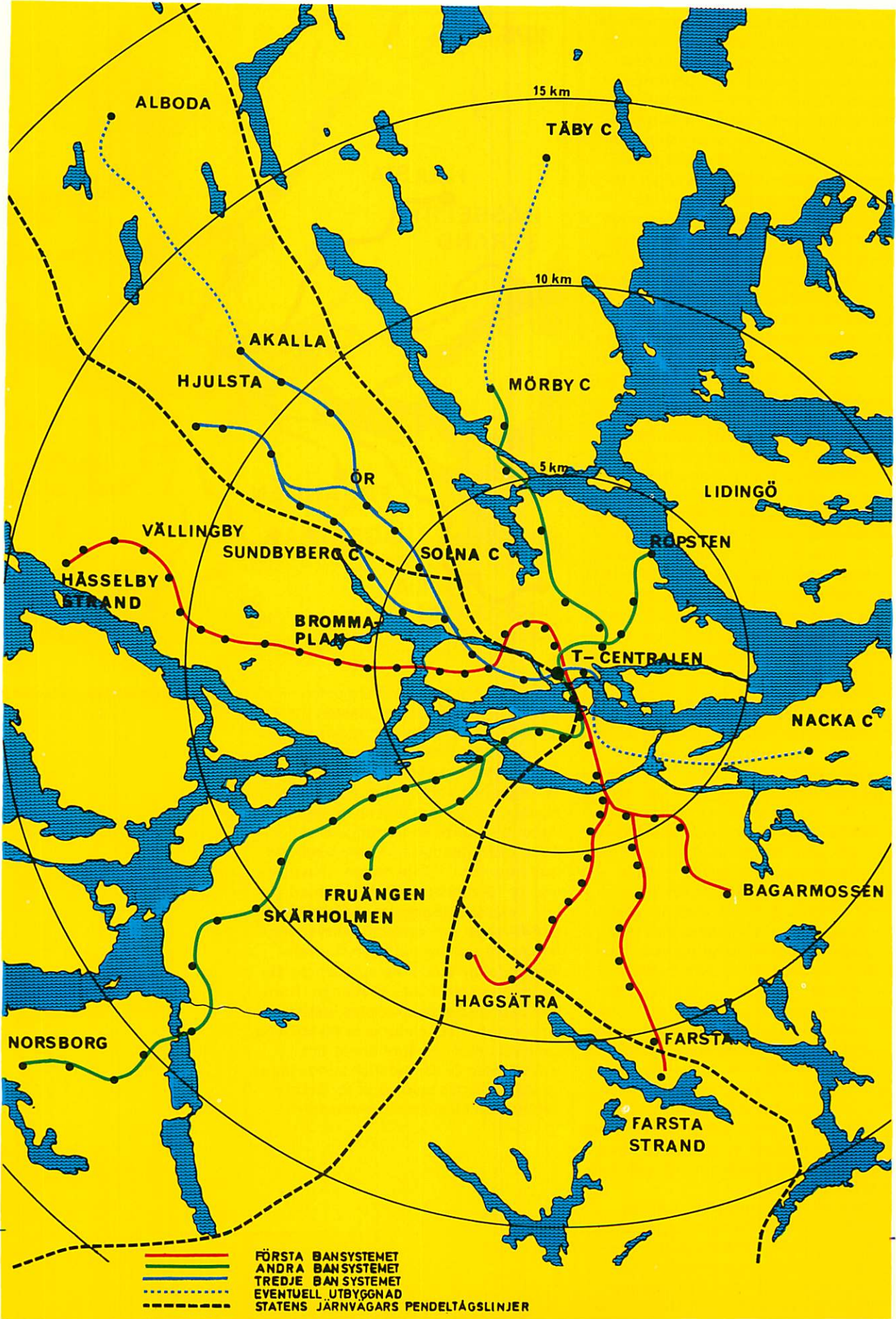
Tunnelbanans utbyggnadsskede 1964



Tunnelbanans utbyggnadsskede 1967



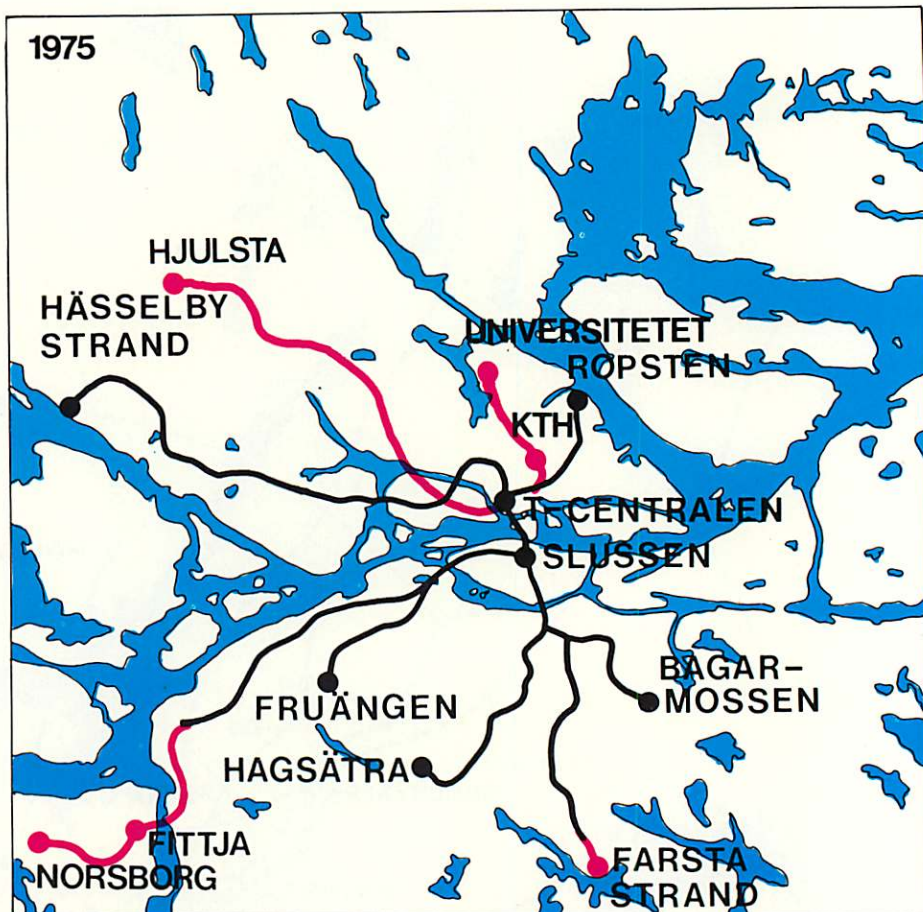
Sammanställning av de tre tunnelbane-
systemen



För att 1965 års tunnelbaneplan skulle kunna förverkligas krävdes en samverkan med alla de kommuner utanför Stockholms gränser som berördes av planen. Därför pågick — samtidigt som den tekniska utformningen bearbetades — förhandlingar, som i slutskedet leddes av en representant för staten, om möjligheterna till samverkan i regionala frågor mellan de berörda kommunerna. Förhandlingarna ledde 1964 till en principöverenskommelse mellan Stockholms läns landsting och Stockholms stad om upprättande av ett kommunalförbund för planering, byggande samt drift av kollektiv trafik. Kommunalförbundet för Stockholms stads och läns regionala frågor (KSL) antog år 1966 efter berörda kommuners hörande tunnelbaneplanen som grundval för den fortsatta planeringen och utbyggnaden av stockholmsområdets tunnelbanekommunikationer. Förbundet blev alltså huvudman för bl a byggandet av tunnelbanenätet i Stor-Stockholm och erhöll *statsbidrag för banans underbyggnad* enligt ungefär samma principer som tillämpas vid vägbyggandet. Vid årsskiftet 1970–1971 upphörde KSL och dess uppgifter övertogs av Stockholms läns landsting, som vid sidan av trafikansvaret bl a även svarar för regionplanering samt hälso- och sjukvård.

Det blev sålunda landstingets trafiknämnd som övertog det ansvar för tunnelbanebyggandet som tidigare åvilat Stockholms kommun. Genom avtal med Stockholms berörda organ tillförsäkrades landstinget sakkunnig medverkan av expertis med mångårig erfarenhet av projektering och utförande av underbyggnadsarbetena, främst Stockholms gatukontor. SL — Storstockholms Lokaltrafik — har, liksom förut spårvägsbolaget, varit ansvarigt för överbyggnadsarbetena, dvs spår, signaler, stationsutrustning m m. I enlighet med ett särskilt avtal mellan SL och landstinget utför SL bl a även den trafiktekniska planering som erfordras för underbyggnadens projektering. Ansvar för den övergripande samordningen vid utförandet av de nya banor som ingick i 1965 års tunnelbaneplan har åvilat trafiknämndens förvaltning, trafikkontoret, som i denna verksamhet haft att samarbeta med berörda landstingsorgan, primärkommuner och statliga myndigheter.

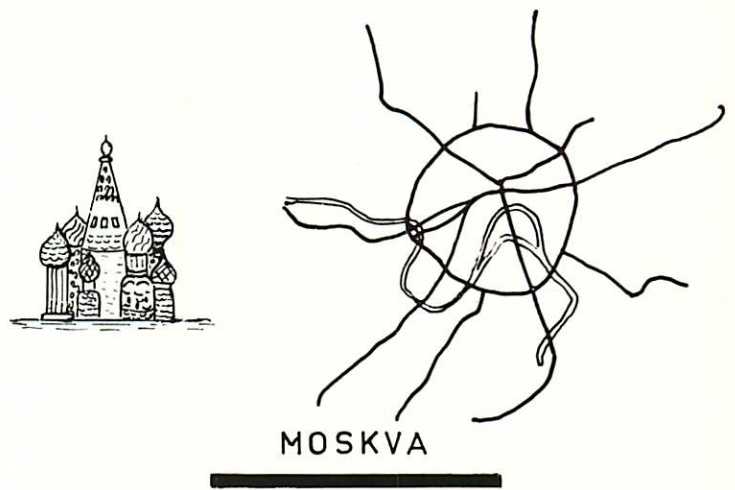
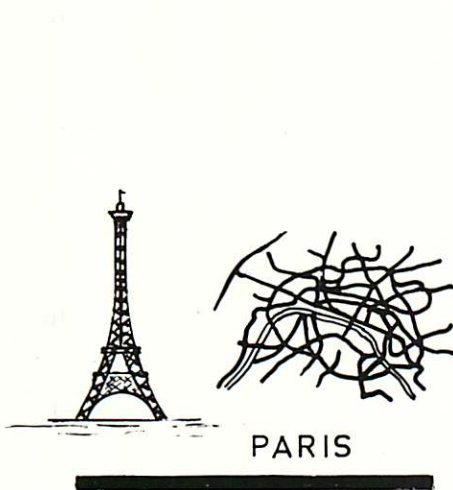
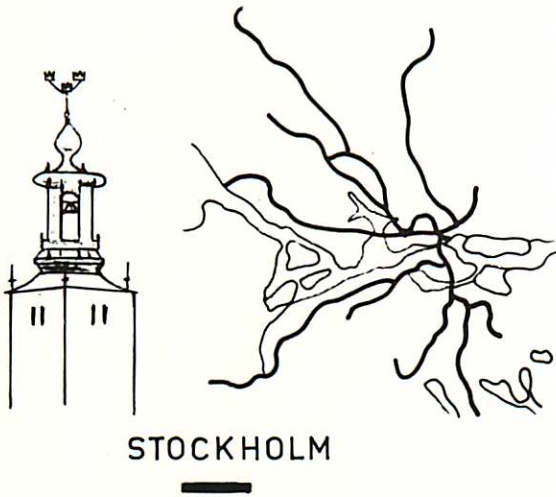
Sedan överenskommelsen träffats kunde tunnelbanebyggandet fortsätta även utanför Stockholms gränser i enlighet med 1965 års tunnelbaneplan. Trots att banorna i stor utsträckning byggts inom områden som ännu ej ex-



ploaterats har de till största delen — 90 à 95 % — lagts i tunnlar, nästan uteslutande i bergstunnlar. För att öka kapaciteten hos det tredje systemet, Tb 3 — Järvabanan — byggdes denna bana för 10-vagnarståg och stationsavstånden ökades, varigenom tågens medelhastighet blir större än för tidigare banor. Även utbyggnaden av andra bansystemet mot norr — Täbybanan — byggdes för 10-vagnarståg från och med station Tekniska Högskolan. Anledningen härtill var att befolkningsunderlaget i den norra sektorn vid tiden för framläggandet av tunnelbaneplanen beräknades bli så stort, att Täbybanan i framtiden kunde behöva kopplas loss från andra systemet och föras in till stadens centrala delar på något annat sätt. Huvuddelen av Järvabanan kunde tagas i trafik 1975 och samma år förlängdes Täbybanan till station Universitetet.

Tunnelbanans utbyggnadsskede 1975

Tunnelbanesystemen i Stockholm, Paris,
Berlin, Moskva och London



0 5 10 15 20 KM

0 5 10 MILJ. INVÅNARE

Förberedelsearbeten för tunnelbanornas byggande

Samarbetsformer, stadsplanering och markförvärv

Inom landstinget är det trafiknämnden som har att svara för planering och samordning av trafikutbyggnaden. Stockholms gatukontor och trafikföretaget AB Storstockholms lokaltrafik (SL) handhar på trafiknämndens uppdrag projektering och byggledning för T-banan så att gatukontoret svarar för spår-tunnlar och råkonstruktionerna, medan SL svarar för spår, stationsinredning, rullande materiel och teknisk utrustning.

I fråga om förberedelsearbetet för markförvärv för T-banan kan nämnas, att landstinget i regel anlitar biträde av Stockholms fastighetskontor och Stockholms stadskanslis juridiska avdelning, när det rör privatägd mark för T-banan inom Stockholms kommun. I övrigt handlägges markförvärven inom landstingets fastighetskontor med biträde från juridiska avdelningen hos landstingets förvaltningsutskott.

Samarbetsavtal med kommunerna

För att säkerställa en tillfredsställande samordning av markfrågorna har inlett ett omfattande samarbete mellan landstinget och kommunerna i trafikfrågor. Med de av T-banans utbyggnad berörda kommunerna har således träffats avtal om samverkan för T-baneutbyggnaden, T-marksavtal. Enligt dessa avtal skall landstinget och kommunerna verka för samordning och utbyggnad av kollektivtrafiken i Storstockholm. Avtalen förutsätter att de fastighetsförvärv som erfordras för trafikutbyggnaden skall verkställas av kommunerna i samråd med landstinget. Kommunerna skall upplåta rätt för landstinget att på kommunens fastigheter verkställa utbyggnad för trafiken. När det gäller förvärv av servituts- eller nyttjanderätter för trafikändamål förutsättes att landstinget skall ombesörja dessa. Kommunerna skall vidare upprätta och söka fastställelse av de stadsplaner som erfordras för trafiksystemets utbyggnad.

Stadsplanefrågor

Den för kollektivtrafiken inom Stockholms län erforderliga övergripande planeringen sker inom landstingets trafikkontor, där man har att sammanjämka trafikstandardkraven med de lönsamhetssynpunkter som måste läggas

på valet av trafikmedel. T-banan i kombination med den av Statens Järnvägar på landstingets uppdrag bedrivna pendeltågstrafiken utgör stommen i trafiknätet som kompletteras med matarbuslinjer till tunnelbanans och pendeltågens stationer samt de övriga busslinjer, för vilka trafikunderlag kan finnas.

Landstinget har genom sin regionplanenämnd samt det till nämnden knutna regionplanekontoret att svara för regionplaneringen inom Stockholms län. Då landstinget därtill svarar för trafikplaneringen kan en planeringssamordning ske av den viktiga regionala trafikplaneringen.

Det kommunala planmonopolet enligt gällande byggnadslagstiftning medför att den övergripande planeringen inom de olika kommunerna samt detaljplaneringen ligger inom primärkommunernas ansvarsområde. Under den kommunala planeringen har landstinget möjlighet att i samband med planremisser och utställning av planförslag anföra sina synpunkter. Landstingets medverkan i planarbetet sker genom trafikkontor i samråd med SL.

Vid planeringen har i regel trafiksynpunkterna kunnat sammanjämkas med de primärkommunala intressena. Olika meningar i detaljplanefrågor mellan landstingets trafiksynpunkter och primärkommunernas intressen har dock förekommit. Bland meningsskiljaktigheter som uppstått kan nämnas olikhet i uppfattningen om den bebyggelsestätt som erfordras för anläggande av en T-station, utformning av skyddsbestämmelser för T-banan samt lokaliseringen av uppgångar från T-stationer. I allmänhet har de olika meningarna kunnat sammanjämkas.

Anläggningsplanen och markfrågorna

När de för aktuell utbyggnad av T-banan upprättade ritningarna godkännts av landstingets trafiknämnd och övriga berörda myndigheter inges dessa tillika med övrigt tekniskt underlag, anläggningsplanen, till Statens Vägverk för godkännande i samband med ansökan om statsbidrag till byggande av T-banan. Markfrågorna skall i princip vara lösta för att anläggningsplanen skall kunna godkännas av vägverket. I fråga om kommunägd mark är det i regel ej något problem, eftersom hänvisning kan ske till gällande T-marksavtal. Beträffande privatägd mark kan arbetet med markförvärven i regel påbörjas först när godkända huvudritningar före-

ligger. Detta medför att arbetet med markfrågorna som regel får utföras under avsevärd tidspress.

Huvudritningarna till T-banan får även tjäna som underlag för expropriationsansökan. Landstingets fastighetskontor, som har att ombesörja förvärv av rätt för landstinget att utföra T-banearbeten, har att taga vid sedan trafikkontoret med stöd av huvudritningarna kontaktat de kommunala stadsbyggnadskontoren och begärt att erforderligt stadsplanearbete skall påbörjas. Angivande av T-baneanläggningarna i stadsplan sker — när det gäller underjordstunnlar och övriga underjordsanläggningar — med angivande av tunnelområdet med skyddsområde i sidled samt med sk djupbyggnadsförbud för säkerställande av tunneln med skyddsområde i höjddled.

Som en inledning till markförvärvsarbetet upprättar fastighetskontoret förteckning över berörda fastighetsägare samt övrigt underlag för landstingets beslut om att inge ansökan om expropriationstillstånd. Så snart beslut föreligger gör fastighetskontoret framställning till regeringen om expropriationstillstånd. När fastställd stadsplan för T-banan närligger samt expropriationstillstånd erhållits kan anläggningsplanen godkännas av vägverket. En ytterligare förutsättning härför är att det kan klarläggas att tillträde till berörd mark kan ske, då arbetena enligt tidplanen skall igångsättas.

Markförvärv genom avtal och expropriation

Utbyggnaden av T-stationer inom redan bebyggda områden erfordrar i regel stadsplaneändring med hänsyn till de ingrepp i bebyggelsen som är nödvändiga för utförande av stationsuppgångarna. När det gäller anläggande av T-stationer inom nyexploaterade stadsdelar infogas vanligen stationsuppgångar och övriga för T-banan erforderliga utrymmen i de byggnader som anläggs i stadsdelens centrum. Att planerad T-baneanläggning anges i stadsplan innebär emellertid icke att landstinget därmed får tillgång till marken. Endast när det gäller mark i kommunal ägo medför stadsplanläggningen att kommunen enligt T-marksavtalet har att upplåta marken för T-banan. De närmare villkoren för markavstående för T-banan och de ersättningar härför som skall utgå till kommunen regleras i separata avtal mellan landstinget och kommunen. Omfattningen av kommunens arbeten med anläggande av gator och andra



»I väntan», station Hötorget

stadsbyggnadsanläggningar vid T-stationerna och ersättningen härför bestämmes i avtal mellan landstingets trafiknämnd och berörd kommun. Avtal, s k byggavtal, träffas även mellan landstinget och privata fastighetsägare, i vilkas fastigheter byggnadsåtgärder för uppgångar från T-stationer och biljetthallar skall utföras.

När T-baneplaneringen nått så långt att berörda myndigheter godkänt huvudritningar samt landstinget fattat beslut om utbyggnad av den aktuella bansträckan påbörjar fastighetskontoret åtgärder för att förvärva för T-banan erforderlig mark. I regel inleds detta med att fastighetskontoret utarbetar förslag till framställning om expropriationstillstånd, som förelägges fastighetsnämnden och landstinget för beslut. Vanligen tages kontakt med fastighetsägarna innan expropriationstillståndet meddelas av regeringen. Den normala handlägningsordningen för markförvärf för T-banan är att fastighetskontoret söker träffa en frivillig uppgörelse med vederbörande fastighetsägare. Detta lyckas i allmänhet. Avtalet fastställs därefter, när expropriationstillstånd föreligger, av fastighetsdomstol genom formell (pro forma) expropriation. Genom avtalet och det därpå följande expropriationsförfarandet får landstinget rätt att taga i anspråk för T-banan erforderliga utrymmen på eller under fastighetens markyta. Den av landstinget förvärvade rätten avser en icke tidsbegränsad nyttjanderätt att för anordnande, bibehållande och drift av T-banan med skyddsområde disponera

utrymmen på eller under berörd fastighet. Avtalet innebär vidare att landstinget förbinder sig att ersätta i samband med T-banearbetena uppkomna skador, att verkställa besiktningar av fastigheten samt att kontrollera grundvattennivån. Vidare åtager sig landstinget att ersätta fastighetsägarens domstolskostnader. För rätten att taga underjordsutrymme i anspråk utgår enligt praxis ingen särskild ersättning.

Förvärf av mark vid T-stationer eller där T-banan går på bank eller i öppet schakt sker i en del fall med äganderätt. Enligt T-marksavtalen skall landstinget ej behålla med äganderätt förvärvade fastigheter. Dessa överlåtes därför till kommunen, så snart rätten att utföra och bibehålla T-baneanläggningen säkerställts med servitut.

Mindre ovanjordsanläggningar, t ex tryckutjämningschakt och likrikarstationer förläggs om möjligt på kommunal mark. När det gäller likrikarstationer och stationsuppgångar söker landstinget att av kommunen erhålla tomt-rätt till upplåtet område. När en ovanjordsanläggning för T-banan skall utföras på privatägd mark säkerställs i allmänhet rätten till marken genom formell (pro forma) expropriation. När uppgång från T-banestation skall utföras i byggnad som är i privat ägo tecknas vanligen servitutsavtal i anslutning till avtal om den tekniska och ekonomiska regleringen av uppgångens utbyggnad.

Infogande av delar av T-baneanläggningen såsom stationsuppgångar och

biljetthallar i befintliga eller nya byggnader leder ofta till komplicerade förhandlingar och svårbedömda ersättningsfrågor.

Landstingets expropriationsansökningar har i allmänhet avsett begäran om tillstånd till expropriation av mark med nyttjande- eller äganderätt, i vilka fall de riktat sig mot berörd fastighetsägare. I en del fall har expropriationsansökningen dock avsett s k begränsade sakrätter dvs nyttjande- eller arrenderätt. Som exempel kan nämnas att expropriationsansökningarna i sådant fall riktat sig mot innehavare av affärslokaler i gatuplanet i byggnader som beröres av T-baneuppgångar och arrenden inom områden, där T-banan framdrages i betongtunnel som skall anläggas från markytan.

Enligt gällande expropriationslagstiftning kan expropriation icke ske när det gäller mark i statlig ägo. Landstinget har därför vid markförhandlingar för T-banan haft svårigheter inför anspråk från statligt håll.

Expropriation eller inlösen enligt byggnadslagen

Vid sidan om expropriationsförfarandet med stöd av tillstånd av regeringen enligt expropriationslagen 2 kap 2 § för kommunikationsändamål kan inlösen av rätt att utföra anläggning för T-banan ske enligt byggnadslagen §§ 41 och 41 a. Ett villkor härför är att av T-banan berörd mark enligt fastställd stadsplan skall utnyttjas för allmän trafikaneläggning. Tillämpning av byggnadslagens inlösenbestämmelser — som i likhet med expropriationslagen kan omfatta såväl äganderätt som inlösen av servituts- eller nyttjanderätt — förutsätter emellertid att förfarandet genomföres av den kommun, inom vilken bananelläggningen framdrages.

Bestämmelserna om inlösen enligt byggnadslagen har utnyttjats i ett begränsat antal fall. Anledningen härtill är i första hand att det i allmänhet går snabbare att få ett expropriationstillstånd än att först utarbeta och erhålla fastställelse å stadsplan samt därefter igångsätta ett inlösenförfarande. När det gäller utrymmen för T-banan som skall förläggas i befintlig eller planerad bebyggelse, som t ex biljetthallar och stationsuppgångar, är det dock som regel stadsplanen som får ligga till grund för marklösenförfarandet.

I sammanhanget bör även omnämnas att det tämligen komplicerade expropriations- eller inlösenförfarandet i allmänhet kommer till användning även när frivillig uppgörelse skett. En av an-

ledningarna härtill är att expropriationsförfarandet medger tillskapande av en icke tidsbegränsad nyttjanderätt. Detta kan ej ske genom frivilligt avtal, eftersom nyttjanderätt enligt jordabalken är tidsbegränsad. Avtal om frivilliga servitutsupplåtelser kan dock träffas. I sådana fall har servitutsavtalen säkerställts genom inskrivning samt ombesörjts nedflyttning av panträtter (penninginteckningar) i berörd fastighet att gälla i förmånsordning efter servitutsinteckningen.

Skyddszon för T-banan

Den rätt landstinget avtalat om och exproprierat för att kunna draga fram T-banan och anlägga T-stationer avser icke enbart de utsprängda utrymmena utan även för T-baneanläggningen erforderliga skyddsområden. Det skyddsområde som anses erforderligt för T-banan utgör i höjdled ovanför T-banans tunneltak 5–11 meter beroende på tunnelns spännvidd, dock högst till bergets övre yta. I sidled räknat från tunnelvägg omfattar skyddszonen en bredd av 5–11 meter, men har i något fall för en tunnel på grund av dåligt berg utökats till en bredd av 30 meter.

Landstingets rätt att bibehålla och trafikera T-baneanläggningen på resp fastighet innebär bl a att schaktning, sprängning, bergborrning, nedförande av byggnadsdel eller annat arbete eller ingrepp ej får ske inom skyddsområdet utan medgivande från landstinget. Vidare får fastighetsägaren förbinda sig att samråda med landstinget om sättet för utförande av grundkonstruktion vid ny-, till- eller ombyggnad av fastighet. I stadsplan säkerställs skyddszonen i höjdled genom djupbyggnadsförbud och i sidled genom angivande av skyddszonens yttergräns.

En utförd T-baneanläggning kan utsättas för risk för skador icke enbart vid arbeten inom skyddszonen. Sprängnings-, pålnings- eller spontningsarbeten kan — även när de utföres på betydande avstånd från den genom avtal eller expropriation säkerställda skyddszonen — förorsaka sprickbildning i berget inom de avsnitt, där T-banan framdragits. Sådan sprickbildning medför försvagning av det berg som omger T-banan så att stenblock kan frigöras och falla ned i tunnlar. För att undvika sådana skador har byggnadsnämnder och gatukontor i berörda kommuner uppmärksammat på att det vid byggnadslovsgranskning resp utförandet av gatu- och ledningsarbeten samt grundläggningsarbeten bör tagas hän-

syn till T-banan. Vidare har framhållits att samråd bör ske mellan T-banemyndigheterna och den som planerar att utföra arbeten i närheten av T-banan. Enligt byggnadslagen skall i samband med beviljande av byggnadslov för byggnadsföretag som kan påverka T-banan landstinget underrättas om det planerade byggnadsföretaget som berörd granne i egenskap av innehavare av T-banan.

Skadestandsfrågor till följd av anläggande och drift av T-banan

Utbyggnad av T-banan kan innebära skador även på andra fastigheter än sådana som direkt tages i anspråk. Skador kan uppkomma såväl vid arbetenas utförande som i samband med att T-baneanläggningen tagits i drift för trafik. Arbeten med underjordstunnlar medför i första hand risk för direkta skador i anslutning till arbetena, t ex sprickbildning och sättningar i byggnader p g a vibrationer från bergsprängningarna. Vidare kan hyresgäster i fastigheter som beröres av T-banearbetena få anledning att ställa ersättningsanspråk. Det typiska fallet är att tillträdet till förhyrda affärslokaler hindras av avspärrningsåtgärder som medför färre kundbesök och därmed minskad omsättning. I regel kan överenskommelse träffas utan rättegång i de nu berörda skadefallen.

En speciell typ av skada är de som orsakas av grundvattensänkningar vid tunnelarbeten. Påverkan på grundvattennivån genom tunnelarbetena kan medföra ett tämligen snabbt skadeförlopp i samband med sättningar i marken kring byggnader som orsakar sprickbildning, avbrott på vatten- och avloppsledningar, elkablar och dylikt. Ett långsammare skadeförlopp kan uppkomma vid grundvattensänkning inom område där — i enlighet med äldre byggnadsmetoder — byggnader grundlagts på träpålar. Grundvattensänkningen innebär risk för rötangrepp på träpålarna, vilket kan medföra sättningar i de på träpålningen grundlagda byggnaderna.

Den som utför underjordsarbeten av så omfattande karaktär som utsprängning av tunnlar och T-banestationer får räkna med att ersätta uppkomna skador även när försumlighet icke kan påvisas (jordabalken 3 kap 4 §). Orsakssamband mellan inträffade sättningsskador p g a grundvattensänkning och de av landstinget för T-banan utförda arbetena har ofta ej kunnat klarläggas utan omfattande geotekniska utredningar. Sätt-

ningsskador har i en del fall lett till skadeståndsrättegångar av betydande omfattning.

Även den sedan juli 1969 gällande miljöskyddslagen ger fastighetsägare och berörda hyresgäster möjlighet att begära ersättning för skador som icke beror av rent tillfällig verksamhet. Således kan exempelvis T-banearbeten som tar stora arbetsområden i anspråk vid anläggande av T-stationer eller anläggande av T-bana i betongtunnel som utföres efter nedschaktning från markytan, medföra skadestandsanspråk enligt miljöskyddslagen.

När T-banan tagits i anspråk för sitt ändamål kan skador uppkomma på fastighet och för närboende genom buller från T-banetågen och vibrationer som fortplantas via spårunderlaget (stomljud). Tidigare har sådana skador bedömts enligt grannelagsregler. Numera skall dock dylika ersättningsanspråk p g a buller och vibrationer bedömas enligt miljöskyddslagstiftningen. Några skadeståndsmål inför domstol enligt miljöskyddslagen har dock ännu ej förekommit.

Beträffande markanskaffningen för T-banan kan avslutningsvis omnämnas att det tar omkring ett år från det läget för en ny T-banesträckning fastställts till dess expropriationstillstånd erhållits. Om förhandlingar hunnit påbörjas före expropriationstillstånd, får man räkna med att det tar ytterligare tre till sex månader, innan marken kan tagas i anspråk. Tillträde sker i allmänhet frivilligt eller genom förhandstillträde efter beslut av fastighetsdomstol i samband med expropriation eller inlösen enligt byggnadslagen.

Tunnelbanebygget har pågått under en lång period under vilken penningvärdet starkt förändrats. De kostnader, som i det följande presenteras, har därför angivits dels i nominellt värde, dvs det belopp, som vid respektive byggtillfälle nedlagts, dels i indexerat värde, dvs ett med hänsyn till indexförändringar ungefärligt beräknat belopp.

Totalkostnad

(Råkonstruktion, banöverbbyggnad, signaler, biljetthallar, inredning m m exkl marklösenkostnader)

	Kostnad Mkr	
	Nominell 1975 års kostnad	prisnivå
Tunnelbanesystem I (Tb1)		
Hässelby Strand–Slussen		
–Farsta Strand,		
Gullmarsplan–Hagsätra,		
Skärmarbrink–Bagar-		
mossen	425	1 040
Tunnelbanesystem II (Tb2)		
Fruängen–Slussen,		
Liljeholmen–Norsborg,		
Slussen–Ropsten,		
Östermalmstorg–Täby C	1 115	1 635
Tunnelbanesystem III (Tb3)		
Kungsträdgården–Akalla,		
Västra Skogen–Hjulsta,		
Hallonbergen–Rinkeby	1 005	1 235
Vagnhallar och verkstäder	125	230
Tunnelvagnar	440	790
Likrikartstationer	110	130
Summa totalt	3 220	5 060

Råkonstruktion

Nedanstående diagram visar ungefärliga kostnader per längdmeter **råkonstruktion** för några tunnelbanesträckor. För redan utförda delar har som underlag använts bokförda kostnader, vilka med ledning av byggnadskostnadsindex uppräknats till **1975 års prisnivå**. För ej färdigställda delar har återstående kostnader uppskattats i samma prisnivå.

För öppen bana på bank eller i skärning ligger kostnaden mellan 5 000 och 7 000 kr/m.

Av diagrammen framgår, att kostnaden för tvåspåriga bergtunnlar uppgår till mellan 10 000 och 12 000 kr/m.

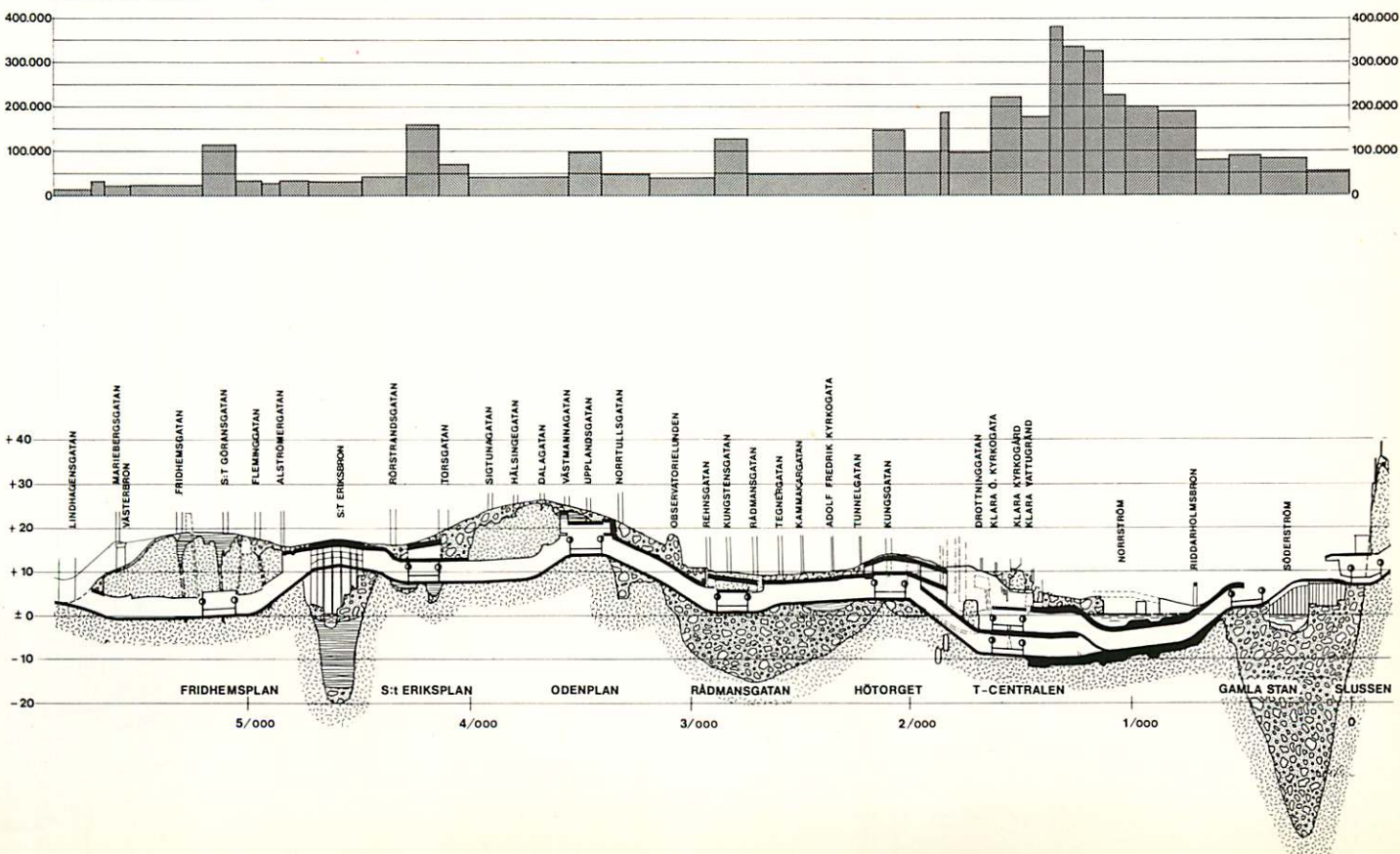
För betongtunnlar med två spår varierar kostnaden mellan ca 30 000 och 50 000 kr/m, beroende på grundläggning, grundvattenförhållanden och djup under markytan m m. Större och mer komplicerade betongtunnlar kan kosta upp till ca 110 000 kr/m.

För viadukter och broar är kostnaden för två spår mellan 20 000 och 30 000 kr/m beroende på grundförhållanden. I enstaka fall (Stocksundsbron) är kostnaden ca 40 000 kr/m.

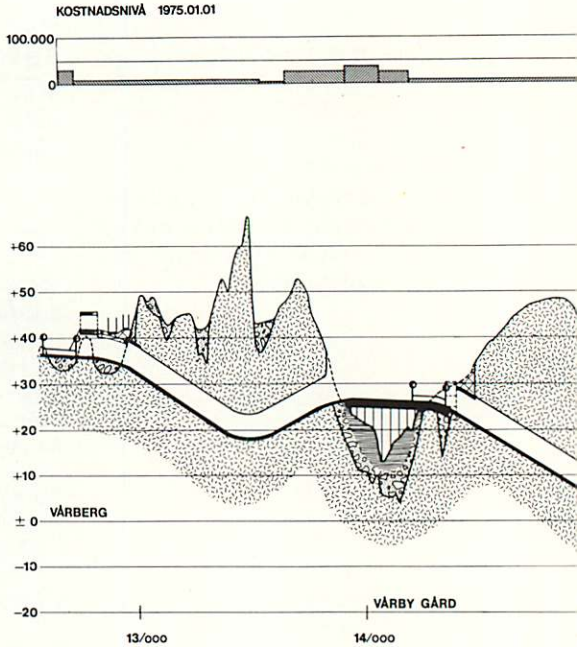
Kostnaden för bergstationer kan knappast anges på liknande sätt med hän-

Kostnad per längdmeter råkonstruktion för tunnelbana Lindhagensgatan–Slussen (Tb 1). 1975 års prisnivå.

KOSTNADSNIVÅ 1975.01.01

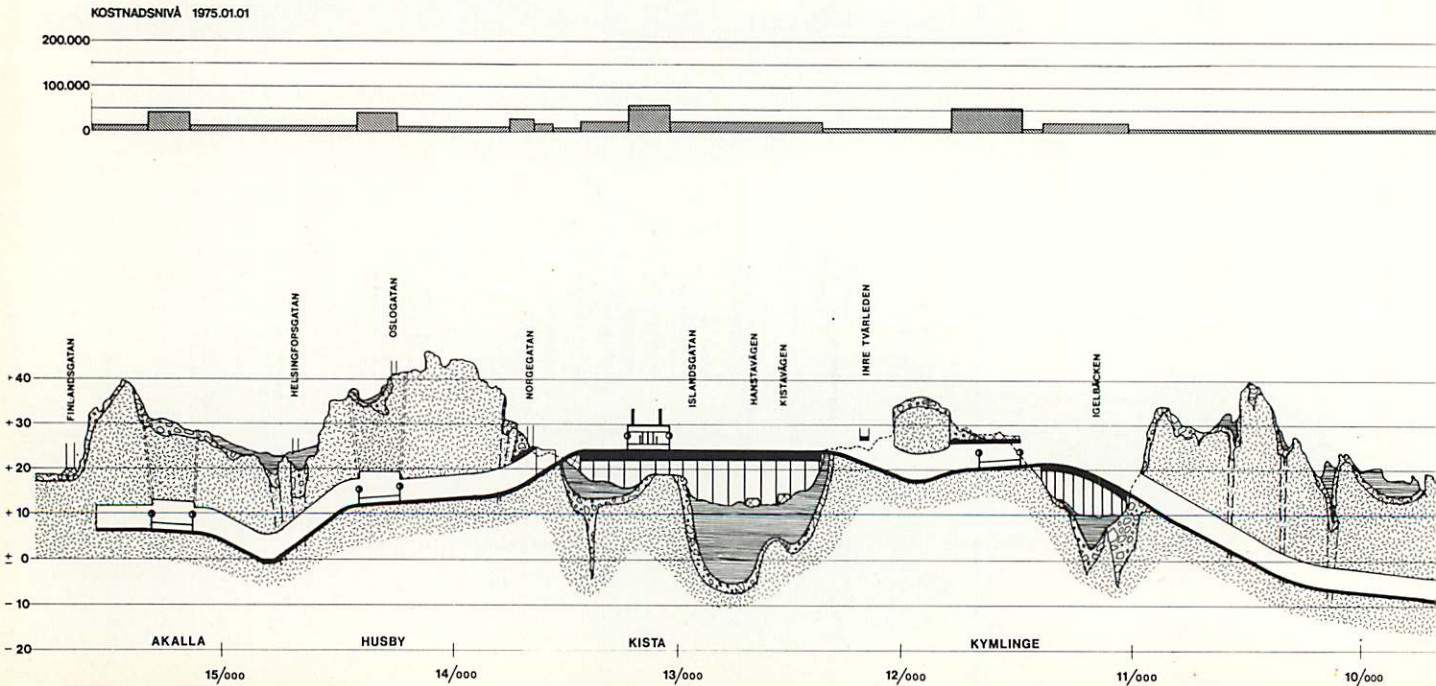


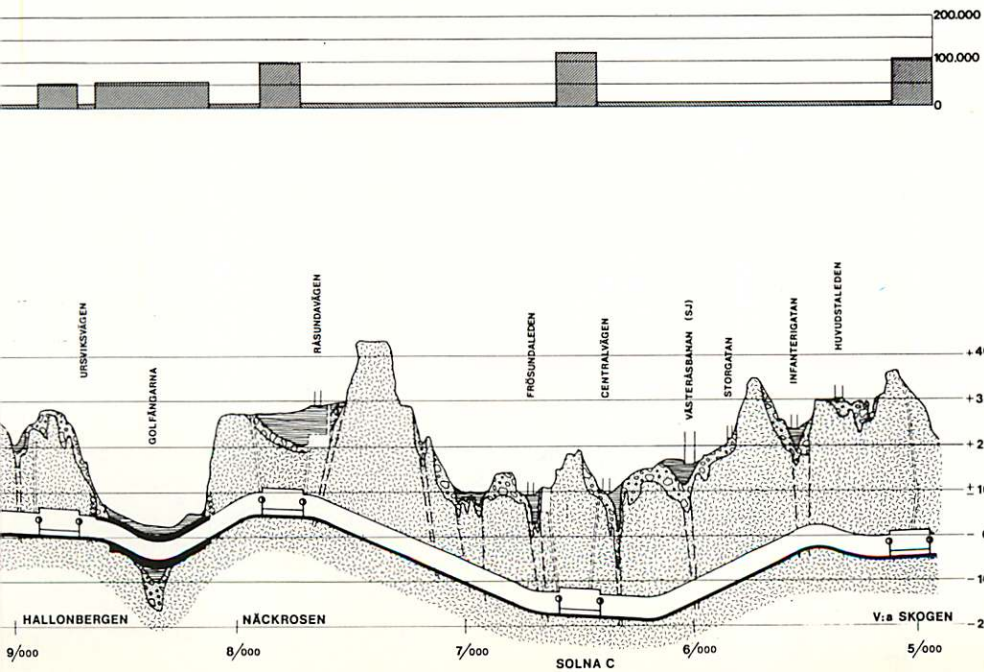
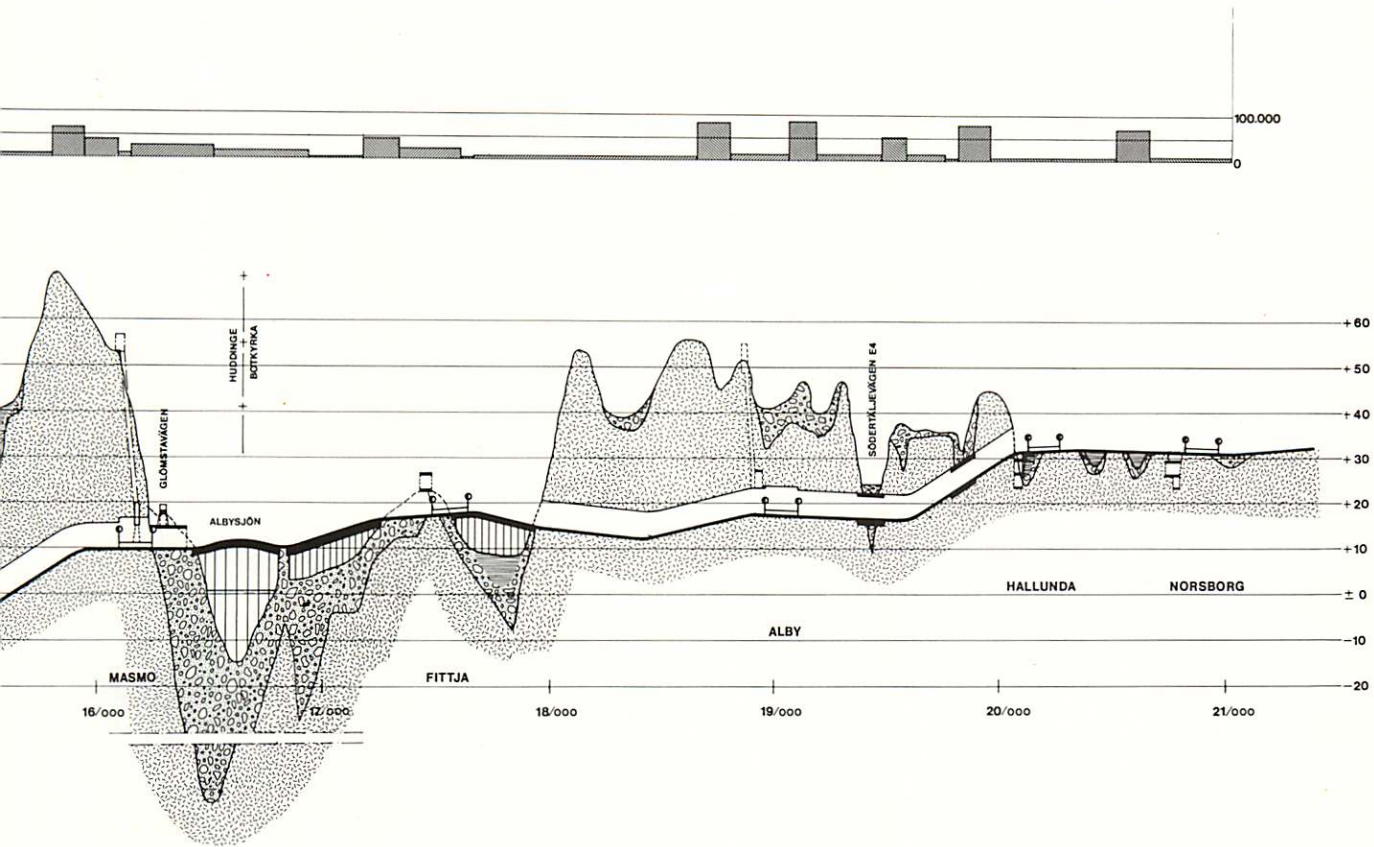
syn till den stora variationen i fråga om biljetthallarnas utformning, omfattningen av gångtunnlar, antal rulltrappor och hissar samt rulltrappornas lyfthöjd och de geologiska förutsättningarna samt arbetsförhållanden med hänsyn till omgivningarna. Billigaste bergstation (Hjulsta) har kostat ca 40 000 kr/m och för den dyraste (Kungsträdgården) beräknas kostnaden till ca 380 000 kr/m. En station i betongtunnel, Danderyds sjukhus, har kostat ca 135 000 kr/m och betongstationer i det fria från ca 37 000 kr/m (Vårby Gård) till ca 80 000 kr/m (Hallunda).



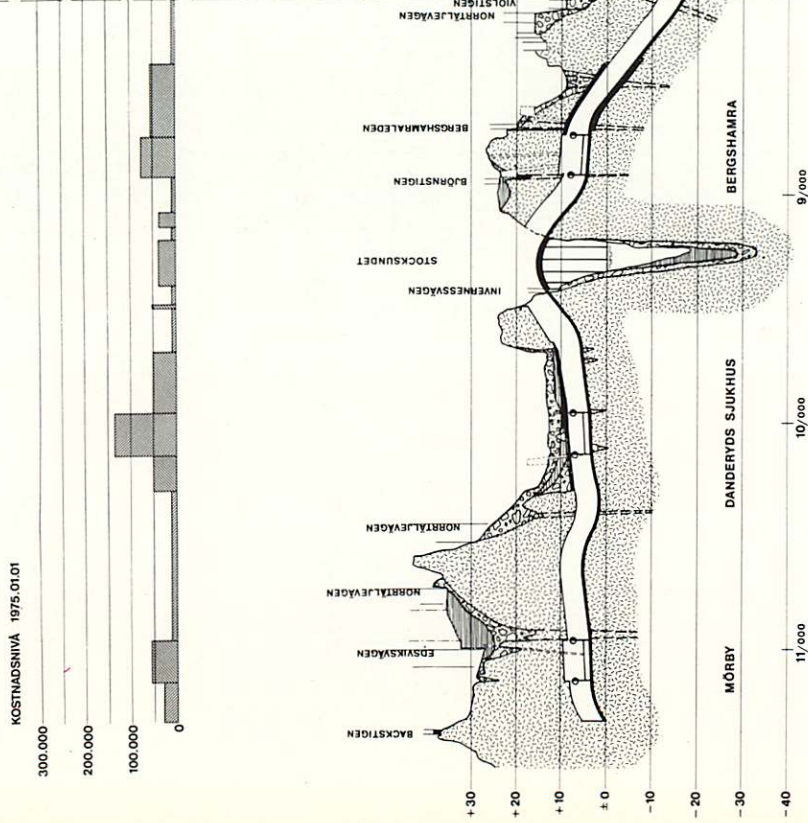
Kostnad per längdmeter råkonstruktion för tunnelbana Värberg–Norsborg (Tb2). 1975 års prisnivå.

Kostnad per längdmeter råkonstruktion för tunnelbana Akalla–Västra Skogen (Tb3). 1975 års prisnivå. Återstående kostnader på sträckan Hallonbergen–Akalla är uppskattade.

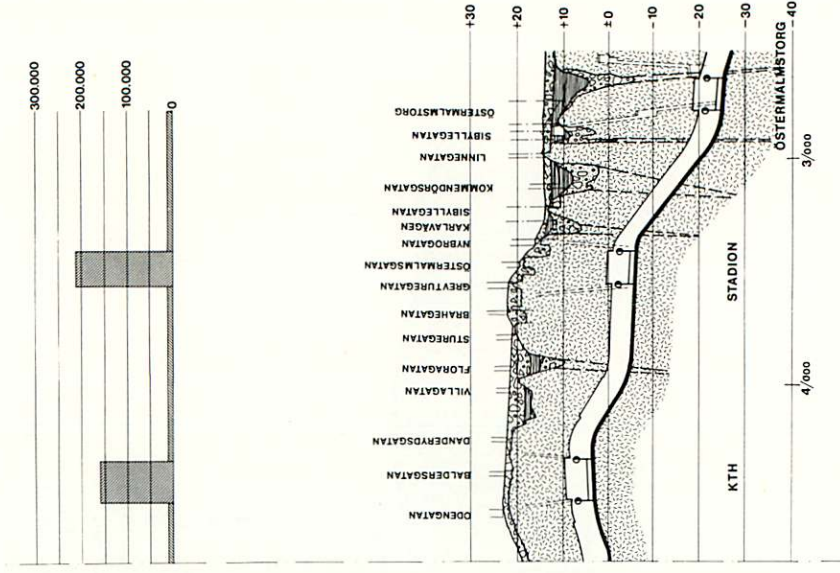




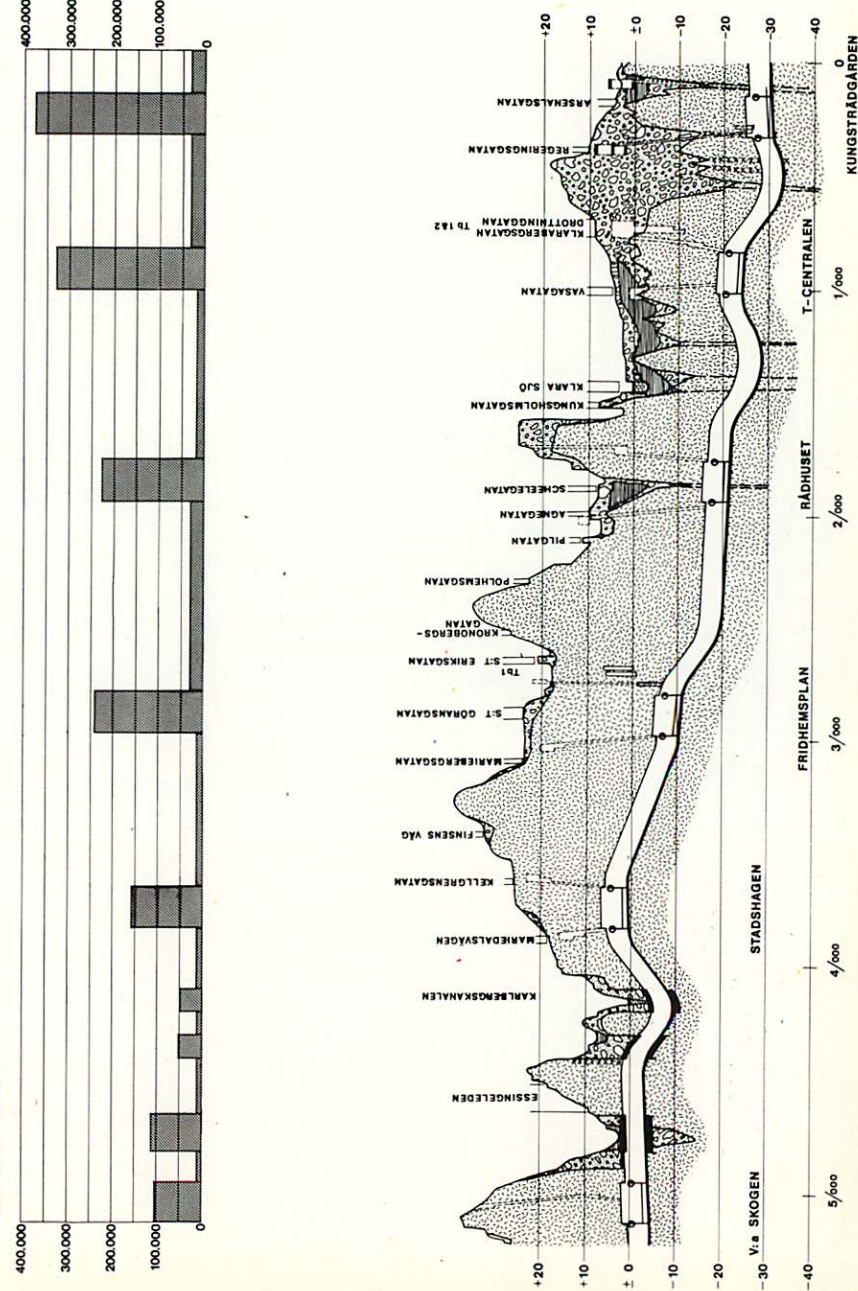
Kostnad per längdmeter råkonstruktion för tunnelbana Mörbys C – Östermalmstorg (Tb2). 1975 års prisnivå. För sträckan mellan Universitetet och Mörbys C har återstående kostnader uppskattats.



Kostnad per längdmeter råkonstruktion för tunnelbana Västra Skogen – Kungsträdgården (Tb3). 1975 års prisnivå. Vissa återstående kostnader speciellt för stationerna Kungsträdgården och Fridhemsplan är uppskattade.



KOSTNADSNIVÅ 1975.01.01



Tunnelbanans trafik- kapacitet

När den tredje tunnelbanan öppnas för trafik betyder det ett stort steg — kanske det sista stora steget — i tunnelbanesystemets utbyggnad. Tunnelbanan öppnades den 1 oktober 1950 på den 7,6 km långa sträckan mellan Slussen och Hökarängen. Hösten 1952 togs tunnelbanegrenen från Hötorget mot Västerort i bruk (13,5 km). I november 1957 bands de södra och västra delarna samman (2,0 km) och tunnelbanan blev genomgående.

Ändstationens kapacitet vid Slussen tillät före sammanbindningen endast användande av 5-vagnarståg i 2½-minuterstrafik. Ändstationen vid Hötorget medgav visserligen användande av 8-vagnarståg men endast i 3-minuters trafik. På den genomgående tunnelbanan kunde man använda 8-vagnarståg och turtätheten kunde ökas till ett tåg varannan minut. Den ökade kapaciteten gjorde, att man kunde öppna bangrenen (4,0 km) till Bagarmossen 1958. Våren 1964 öppnades Tb 2 från T-Centralen till Fruängen/Örnsberg (13,0 km).

En annan viktig milstolpe var, när tunnelbanan år 1972 för första gången överskred Stockholms gräns och fördes in i såväl Huddinge som Botkyrka vid förlängningen av Tb 2 till Fittja (4,9 km). Detta är fullt i linje med den utveckling som lett till, att det av Stockholm ägda Aktiebolaget Stockholms Spårvägar övertagits av landstinget och under namnet Aktiebolaget Storstockholms Lokaltrafik successivt fått sitt verksamhetsområde utökat från att tidigare ha omfattat endast Stockholms kommun till att nu omfatta hela Stockholms län. Genom Tb 3 får också Solna och Sund-

byberg tunnelbanetrafik. Bananläggningens utveckling belyses av nedanstående bild, där också inlagts de anläggningar som enligt gällande planer avses tas i bruk fram till 1977.

Personalbesparande trafikmedel

Tunnelbanan visade sig redan från början vara ett personalbesparande trafikmedel. I början blev dock inte personalvinsten så stor eftersom den provisoriska Slussenterminalen inte medgav användande av längre enheter än 5-vagnarståg.

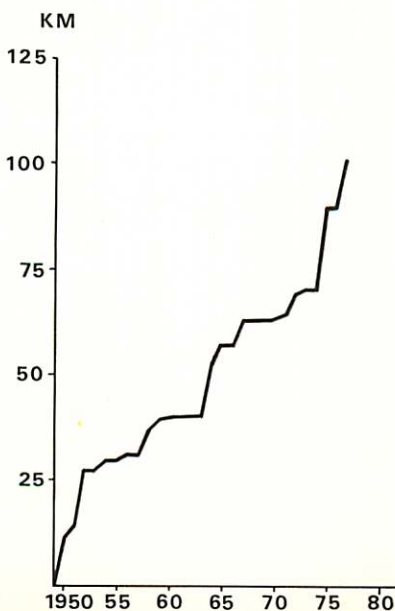
Tvåmansbemanningen av 5-vagnars tunnelbanetåg rymmande 750 platser innebar dock en stor vinst i jämförelse med 3-vagnars spårvagnståg som bemannades med fyra man och hade 260 platser. Väsentligt är här också, att tunnelbanedriften medgav en högre trafikeringshastighet än spårvagnsdriften. Tunnelbanan kräver dock spärrbemanning. De gamla spårvägslinjerna 8 och 19, vilka 1950 och 1951 ersattes av tunnelbanelinjerna 18 och 19, hade ett utbud av 1 000 platskilometer per personaltimme jämfört med tunnelbanelinjerna 18 och 19, vilka år 1950 och 1951 hade ett utbud av 1 750 platskilometer per personaltimme. Genom att man sedan kunnat öka tåglängden till åtta vagnar, slopat utgångsviseringen samt infört enmansdrift på en stor del av tunnelbanenätet är utbudet nu 4 800 platskilometer per personaltimme.

Allmänt kan sägas, att medelbeläggningsgraden under dygnet blir låg för de kollektiva trafikmedlen på grund av belastningsvariationen i tiden, rummet och riktningen. Trafikinsatsen på tunnelbanan kan inte anpassas lika smidigt till efterfrågan som de trafikslag som arbetar med mindre enheter. Medelbeläggningsgraden blir därför lägre på tunnelbanan än i busstrafik. Skillnaden är dock inte större än att tunnelbanan ger en mycket god personalekonomi.

T-banans andel i trafikarbetet

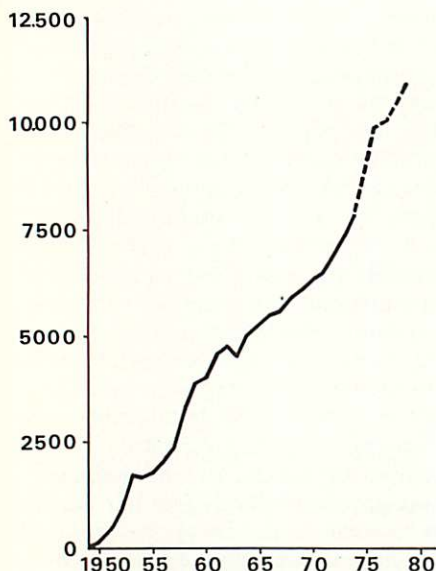
Tunnelbanans andel av det trafikarbete som uträttas av stockholmslinjerna, (de linjer som tidigare trafikerades av AB Stockholms Spårvägar) mätt i platskilometer, har stadigt ökat från 11 % år 1951 (det första året helt med tunnelbana) till 80 % år 1973. Även om man jämför med det trafikarbete som uträttas av hela SL-koncernen är tunnelbanans andel väsentlig och uppgick 1973 till 43 %. Över infarterna till innerstaden passerar dagligen ca 1,25 miljoner tra-

Trafikanläggningens utveckling



fikanter med såväl individuella som kollektiva trafikmedel. Ungefär 0,64 miljoner åker kollektivt och tunnelbanan svarar för transporter av ca 0,34 miljoner. Genom tillkomsten av Tb3 beräknas detta antal öka till ca 0,40 miljoner. Totalt räknar man med, att 0,65 miljoner trafikanter utnyttjar Stockholms tunnelbana en vanlig vardag. Av dessa reser såsom ovan nämnts 0,34 miljoner över infarterna till innerstaden, medan 0,06 miljoner reser lokalt i ytterområdena och 0,25 miljoner lokalt i innerstaden. Innerstadstrafik på tunnelbanan utgör nu ca 55 % av den totala innerstadstrafiken och väntas öka till ca 60 % genom tillkomsten av Tb3. Trafikarbetet angivet i platskilometer redovisas i nedanstående diagram.

MILJ. PLKM



Trafikarbetet angivet i platskilometer

Järvabanan, sträckning och kapacitet

Järvabanan, Tb3, kommer vid öppningstillfället att trafikeras från station T-Centralen i stadens centrum och föras under Kungsholmen i Stockholms innerstad. I ytterområdet betjänar den nya banan såväl äldre bebyggelse inom Solna som nybebyggelse i Solna, Sundbyberg och Stockholm (Järvafältet). Bansystemets tekniska utformning samt placeringen av stationerna behandlas i kapitel 8.

Medelstationsavståndet på Tb3 blir 1,4 km. Detta kan jämföras med Tb1 som har 0,9 km och Tb2 som har 1,1 km. Till följd av det längre stationsavståndet och genom att maximihastigheten blir högre på Tb3 kommer också medelhastigheten att bli högre än på de båda

tidigare banorna. Medan Tb1 har 30 km/h och Tb2 35 km/h får Tb3 en medelhastighet av 40 km/h.

Under 1977 beräknas Tb3 komma att förlängas dels till Kungsträdgården i Stockholms innerstad, dels i ytterområdena med en gren från Hallonbergen till Akalla på Norra Järvafältet, där man på Järvafältets stockholmsdel får stationer i Kista, Husby och Akalla. Mellan Hallonbergen och Kista blir det troligen en station inom det ännu ej planerade Kymlinge. År 1978 beräknas också Tb2 förlängas från Universitetet till Mörby Centrum.

Tb3:s trafikunderlag och trafikering

Trafikunderlaget i ytterområdena kommer vid öppnandet 1975 att uppgå till ca 110 000 invånare, varav ca 72 000 i Solna och Sundbyberg och 38 000 på Järvafältet. Under den mest belastade timmen beräknas antalet resor på den mest belastade sträckan och i den mest belastade riktningen uppgå till ca 6 400 trafikanter. Fram till 1980 beräknas trafikunderlaget växa till 123 000 invånare och antalet dimensionerande resor till ca 7 500. Dessa uppgifter kan jämföras med nedanstående värden för övriga tunnelbaneinfarter.

Infart	Betjänad folkmängd	Antal trafikanter under maxtimmen
Traneberg	133 000	11 000
Skanstull	162 000	17 000
Liljeholmen	153 000	12 000

Tb3 kan så länge vändning sker vid T-Centralen trafikeras med maximalt 15 tåg per timme. Då banan tas i bruk kommer den under vinterns högtrafik att trafikeras med två linjer i 12-minuterstrafik. Den ena linjen kommer att vända i Hallonbergen, medan den andra fortsätter till Hjulsta. Härutöver ges möjlighet att vid behov sätta in vissa extratåg. Med ordinarietrafikens 10 st 8-vagnarståg får man en kapacitet av 12 000 platser per timme, varav ca 4 000 sittplatser.

Normalt åker ca 1/3 av maximitimmens trafikanter under den mest belastade kvarten, vilket ger ca 2 100 trafikanter. Ordinarietrafiken ger ett utbud av 3 000 platser, vilket betyder en beläggning på 70 % under den mest belastade kvarten. Under timmen blir beläggningen 53 %. Dessa siffror kan jämföras med belastningen på Skanstullsbron, där motsvarande beläggning under maximitimmen uppgår till 65 % och under maximikvarten till 88 %.

År 1980, när såväl trafikantunderlaget vuxit som belastningen ökat, är Tb3

framdragen till Kungsträdgården där vändkapaciteten är högre och 24 tåg per timme kan vändas. Detta ger en möjlig kapacitet av 28 800 platser vid användning av 8-vagnarståg, medan belastningen kan beräknas uppgå till 7 500 trafikanter. Beläggningen under maximitimmen skulle då bli så låg som 26 %.

Med hänsyn till diskuterade framtida förlängningar av Tb3 till Sollentunas del av Järvafältet har stationerna byggts så att de kan rymma 10-vagnarståg. Detta ger möjlighet att öka kapaciteten från ovan nämnda 28 800 till 36 000 platser per timme och riktning. Tillkomsten av Tb3 kommer, liksom skett vid tillkomsten av tidigare banor, att återverka på yttrafiksystemet. I Stockholms innerstad kan man sålunda räkna med en avlastning av yttrafiken, vilket medför att man kan lägga om busslinjenätet. Också i de av Tb3 berörda ytterområdena kommer linjenätet att ändras på så sätt, att flertalet av de busslinjer som tidigare gått in till innerstaden ombildas till anslutningslinjer på samma sätt som skett inom andra sektorer i samband med utbyggnaderna av tunnelbanan.

5

Teknisk standard

En tunnelbanas kapacitet är beroende av vagnstorleken, antalet vagnar i tågen och tågtätheten. Vagnstorleken bestäms vad beträffar bredden av den tillgängliga sektionen i tunneln.

Normalsektion

För Stockholms första tunnelbana fastställdes år 1950 av Kungl Maj:t en »normalsektion för fria rummet» innefattande även konstruktions- och lastprofil. Denna normalsektion gäller även för det andra bansystemet, då tre av stationerna är gemensamma för de båda bansystemen. Vid planeringen av det tredje bansystemet diskuterades, huruvida samma normalsektion skulle gälla även för detta. Då den i Hammarby belägna centralverkstaden är avsedd att klara underhållet för samtliga tre bansystems vagnar beslöts, att den fastställda normalsektionen skulle gälla även för det tredje bansystemet från vilket vagnar måste överföras till verkstaden genom tunnlar från Tb 1.

Normalsektionen framgår av vidståendet illustration. Sektionen innehåller på ena sidan om varje spår ett skyddsutrymme som i fråga om dubbelspår kan vara gemensamt för de båda spåren men i allmänhet förlagts på utsidan om vardera spåret, innebärande att den som befinner sig i skyddsutrymmet kan ta stöd mot tunnelvägg eller annan konstruktion, när tåget passerar. Konstruktions- och lastprofilen har undergått smärre förändringar som i huvudsak omfattar ändring av breddmåtten på den övre delen av profilen. Även normalsektionen för fria rummet har ändrats beträffande vissa mått som gör, att avståndet mellan vagnsgolv och plattformskant något kan minskas. Ändringarna är av den storleksordningen, att samma sektion kan gälla för alla tre bansystemen, vilket innebär, att samtliga vagnar med hänsyn till konstruktionsprofilen kan trafikera samtliga bansystem. Höjdmåttet i friarumssektionen har bestämts med hänsyn till att takströmavtagare skall kunna passera i nedfällt läge. Denna möjlighet har hittills inte utnyttjats, då all strömtillförsel sker med strömskena. Det är dock värdefullt att ha en viss marginal i höjddled, till exempel om man måste lyfta en urspårad vagn. Vid byggandet av tunnelbanan tillämpas en byggsektion. Normal tunnelbredd blir vid tillämpning av denna sektion 8,0 meter vid dubbelspår. I detta mått är inräknat 0,15 meter för kablar på vardera sidan.

Vagnlängder

Även vagnlängden är densamma för alla tre bansystemen och utgör 17,4 meter över kopplens stödplan. Beträffande antalet vagnar i tågen utgör detta max åtta vagnar för Tb 1 och 2, innebärande en plattformslängd av 145 meter. För Tb 3 tillämpas en plattformslängd av 180 meter, vilket innebär, att banan kan trafikeras med 10-vagnarståg.

Tågtäthet

Den tredje kapacitetsfrämjande faktorn är tågtätheten. För att uppnå en hög tågtäthet kräves hög acceleration och retardation samt att uppehållstiderna vid stationerna hålls så korta som möjligt. Dessa tre faktorer påverkar även reshastigheten, vilken vidare beror på stationsavstånden, banans läge i plan och profil och maximihastigheten. Samtliga ovan nämnda begrepp kan sammanfattas under beteckningen teknisk standard för anläggningen. I nedanstående tabell ges en jämförelse över den tekniska standard som tillämpas för de tre bansystemen.

	Tb 1	Tb 2	Tb 3
Maximihastighet	80 km/h	80 km/h	90 km/h
Minimitågintervall utan restriktiv signalbild	90–110 s	90–110 s	90–110 s
Maximal tågstorlek	8 vagnar	8 vagnar	10 vagnar
Maximal vagnbredd	2,8 m	2,8 m	2,8 m
Maximal acceleration	1,0 m/s ²	1,0 m/s ²	1,3 m/s ²
Medelretardation	1,1 m/s ²	1,1 m/s ²	1,1 m/s ²
Maximal lutning	40 ‰	40 ‰	40 ‰
Minimikurvradi, horisontalkurva	200 m	250 m	600 m
Minimikurvradi, på station	300 m	400 m	∞
Minimikurvradi, vertikalkurva	1 500 m	2 000 m	4 000 m
Spårvidd	1 431 mm	1 431 mm	1 431 mm
Normal driftspänning	650 V	650 V	750 V
Min spåravstånd, raksträcka	3,15 m	3,15 m	3,20 m
Reshastighet, inkl stationsuppehåll	30 km/h	35 km/h	40 km/h

Till ovanstående tabell kan följande kommentarer göras. De angivna värdena bör betraktas som en rekommendation och vägledning vid projekteringsarbetet. Om en lösning måste väljas som ger en sämre standard än det normala gränsvärdet bör avvikelser göras så liten som möjligt. Allmänt kan sägas, att det från drift- och underhållsynpunkt är önskvärt att få största möjliga radie i plan och lutningskurvor. Driftkostnaderna är beroende av stationernas höjdläge i förhållande till mellanliggande bansträckor och lutningsstandarderna måste bedömas med hänsyn till denna och andra faktorer från fall till fall. Beträffande horisontalradierna mellan

stationer är det önskvärt, att dessa hålls så stora som möjligt. En radie understigande 500 meter kan orsaka hastighetsrestriktioner, sämre tåggång och ökat banunderhåll. Eventuellt ökade anläggningskostnader för önskad kurvstandard bör i varje särskilt fall vägas mot ökade driftkostnader. Beträffande radie i vertikalkurva bör även här största möjliga värde eftersträvas. Om vertikalkurva i undantagsfall blir nödvändig inom ett växelområde bör densamma i trafikspår ha minst 8 000 meters radie.

Placering av stationer

Beträffande samtliga stationer på tredje bansystemet gäller att dessa förlagts på rakspår för att undvika gap mellan plattformskant och vagn och för att underlätta förarens eller tågvaktens övervakning av tåget. Vidare innebär raka plattformar förenkling av stationsinredningen. Vid flera av stationerna finns vändspår eller uppställningsspår som är anordnade antingen mellan två plattformar

eller placerade så att tågen stannar för avstigning, kör in på vändspåret och växlar körriktning för att sedan åter stanna vid plattformen för påstigning. Om uppställningsspår lutar mot stoppbock gäller, att hastigheten på ett uppställt tåg, vilket kommit i rullning mot en glidbar bock ej får överstiga 15 km/h. Detta innebär, att lutningen på uppställningsspåret ej får överstiga 5 ‰. Uppställningsspår som lutar mot trafikspår kräver en säkerhetsväxel med glidbar stoppbock. Även här gäller, att lutningen på ett dylikt uppställningsspår ej får vara större än att hastigheten hos ett tåg som kommit i rullning uppgår till högst 15 km/h, när tåget träffar stoppbocken.

Övergångsväxlar förekommer mellan de båda trafikspåren dels för tillfällig vändning av tåg, dels för att underlätta övergången till enkelspårkörning vid vissa banarbeten nattetid och under lågtrafiktid. Här har Tb 2 och Tb 3 utrustats med övergångsväxlar i betydligt större utsträckning än vad som hittills förekommit på Tb 1. Sålunda har på det andra och tredje bansystemet dubbla övergångsväxlar inlagts i princip mellan varannan station.

Spårets geometriska form

Under en tågresa förekommer tre skilda accelerationer som påverkar tågresenärens komfort. De horisontella i färdriktningen, vilka uppträder vid start och bromsning, är i allmänhet mindre kännbara om de hålls inom rimliga gränser och inte varierar för hastigt. De vertikala accelerationerna är i allmänhet av underordnad betydelse. Däremot kan de horisontella accelerationsändringarna vinkelrätt mot spåret som uppträder vid övergång från rakspår till kurva och omvänt förorsaka obehag, om de inte hålls så små som möjligt. För att nedbringa dessa accelerationskrafter inläggs övergångskurvor mellan rakspår och cirkulärkurva. Dessa övergångskurvor utformas så att man får så låg och konstant ändring av horisontalaccelerationen som möjligt genom övergångskurvan. Övergångskurvan skall vara så beskaffad, att krökningsradien i begynnelsepunkten är oändlig och krökningsradien i slutpunkten lika med cirkulära kurvans radie R . Övergångskurvans krökningsändring per längdenhet liksom centripetalaccelerationens ändring per tidsenhet skall vara konstant. Dessa villkor uppfylls av klotoiden, vilken tillämpas som standard övergångskurva vid Stockholms tunnelbana.

Trafikantvägar

Till begreppet teknisk standard för anläggningen kan även hänföras de åtgärder som vidtages för att göra trafikantvägarna till och från stationerna bekväma, däri inberäknat anordningar för att göra passage genom spårrlinjerna smidig och så litet tidskrävande som möjligt. Förbindelserna till och från stationerna är sålunda utrustade med rulltrappor, hissar, lutande gångramper eller andra anordningar syftande till att göra förbindelserna så snabba och bekväma som möjligt. Hänsyn har härvid tagits till de trafikantkategorier som har svårt att utnyttja fasta trappor eller rull-

trappor, exempelvis rörelsehindrade och trafikanter med barnvagnar. Sålunda utrustas alla nya stationer som komplettering till fasta trappor och rulltrappor med hissar eller gångramper



Vertikalhiss vid Musikaliska Akademien

hela vägen från gatuplan till plattformplan.

Hissarna utgörs antingen av vertikallissar eller snedhissar, de senare förlagda i samma schakt som rulltrapporna på sätt som närmare framgår under kapitlet »Stationer».

Beträffande de äldre stationerna som ej har denna höga standard vad avser vertikaltransportanordningarna pågår ett successivt ombyggnadsarbete för att uppnå en förbättring i detta avseende.

Nedbringa ljudnivå

En annan faktor som även kan hänföras till begreppet teknisk standard är de anordningar som vidtagits för att nedbringa ljudnivån framför allt på stationerna. Här har vissa delar av Tb 2 och Tb 3 utrustats med speciella bullerskärmar för att skydda omkringliggande bebyggelse från hög ljudnivå. Vidare har på vissa ställen särskilda anordningar i spåret vidtagits för att förhindra, att ljud från tunnelbanan sprids i närbelägna byggnader. På stationerna har ljudabsorberande material inlagts som närmare framgår av beskrivningen under kapitlet »Stationer». Jämför även vad som anförts i kapitel 10 »Bulldämpande åtgärder».

Ventilation

Ventilationens uppgift i tunnelbanan är att åstadkomma utvädring av tunnelbanan och tillförsel av frisk luft. Med hjälp av ventilationsluften bortföres också de betydande värmemängder som alstras i tunneln genom trafiken. En viss lufttransport får man genom tågens rörelse i tunnarna. De tryck- och sugvågor som bildas kan emellertid, om man inte vidtar särskilda åtgärder, medföra besvärande luftströmmar på stationerna och i stationsuppgångarna. Av denna anledning har stationerna försetts med så kallade tryckutjämnings-schakt i varje ände av stationen och belägna så nära plattformen som möjligt. Schakten utgöres av fria luftschakt till gatan. Schaktens mynnings i spårtunnarna är ofta belägna i tvärtunnlar mellan spåren.

Mellan stationerna har anordnats ventilationsschakt där möjlighet finns att installera reversibla propellerfläktar. Systemet fungerar så, att man sommartid blåser ut tunneln genom dessa schakt, varvid insug sker vid stationerna. Vintertid reverseras fläktarna och stationerna nås då av den vid passagen genom tunneln uppvärmda luften. På stationerna finns ett lokalt ventilationssystem för personalutrymmen och butiker. Genom detta hålls ett visst övertryck i utrymmena och man kan på så sätt minska risken för att tryck- och sugvågor för med sig tunneldamm in i lokalerna eller att luft från tex toalettanläggningarna föres ut i biljetthallarna. De ovan nämnda huvudventilationsschakten har ej anordnats på sådana sträckor, där tunnelbanan mellan två stationer ändå har förbindelse med uteluften, tex vid S:t Eriksbron. Ej heller har fläktar installerats i alla schakt men möjlighet finns för framtida komplettering. Huvudfläktarna manövreras antingen lokalt från fläktrum eller med fjärrkontroll från tunnelcentralen i kvarteret Icarus i Gamla Stan.

Schaktens yta uppgår till ca 16 m² och de mynnar i allmänhet i gatuplanet. Mynningen är försedd med en ovan gatan något förhöjd sockel för att undvika, att fordon eller dylikt kör ned i schakten. Själva schaktet är täckt med ett galler. I vissa fall mynnar schakten i husfasader, varvid de uppdagits till en höjd av ca 3 m över gatan för att undvika besvärande luftströmmar för gående utmed husfasaden.

Berggrunden

Tunnelbanans bergtunnlar är utförda i en berggrund som benämnes urberg och som bildats för ca 2 000 miljoner år sedan. I dagligt tal används ofta ordet »gråberg» som ett samlingsnamn för de olika bergartstyper som förekommer i urberget. De bergarter, som påträffats vid tunnelsprängningarna, utgörs till övervägande del av olika slags gnejser, graniter och grönstenar. Strukturellt karaktäriseras gnejsberget framförallt av en viss skiktning av ljusa och mörka mineral så kallade åder- eller slirgnejser. Kännetecknande för gnejsen är vidare närvaron av grovkristallina kvartsfältspatansamlingar (pegmatiter). Gnejsen har genom sin struktur ofta god hållfasthet.

Graniten, stockholmsgraniten, förekommer som massiv eller gångar i berggrunden och påträffas regelbundet i tunnarna. Den är grå till röd, jämnkornig kvartsfältspatrik och har i ovittrat tillstånd god hållfasthet men genomsätts ofta av läta sprickor som ger berget en viss blockighet.

Grönsten är det gemensamma namnet på basiska bergarter ofta kraftigt förskiffrade (amfibolit) som förekommer i gnejsberget i form av sliror, gångar eller lager av varierande mäktighet. Exempel härpå är de gångar av diabas som påträffats i flera tunnlar tex kring station Västra Skogen och station Mörby C.

Diabasen tyder på vulkanisk aktivitet och dess kontakt med omgivande bergarter är ibland dålig, vilket kan innebära stora vatteninläckningar i tunnarna. Av mineralogiskt intresse må förutom svavelkisimpregnerationer nämnas den decimeterbreda gång av mineralet blyglans som övertvårades strax väster om station Hjulsta.

Sprick och krosszoner

Ovan beskrivna berggrund har deformationens rörelser av förkastningskaraktär. I alla typer av berg har man vid tunnelsprängningarna påträffat bevis för dessa rörelser i form av sprick-, kross- eller rörelsezoner (skölar). Zonerna, som ofta utsatts för kemisk omvandling (vittring), kan särskiljas i tre huvudtyper, nämligen sprickzoner, breccie- och krosszoner samt mylonit- zoner och skölar. Sprickzonerna sammansätts av sinsemellan parallella längdsprickor och ofta även av tvärsprickor. Sprickytorna är ofta beklädda med tunna skikt av glimmermineral, främst klorit. Detta mineral förekommer ibland omvandlat till lera. Denna typ av bergdeformation har företrädesvis på-

träffats i det sydvästra tunnelbanesystemet, där berget i anslutning till dessa zoner visat sig vara sprickrikt och vattenförande.

Breccie- och krosszoner är bildade genom sönderbrytning och/eller nedmalning av berggrunden till material som därefter på nytt sammankittats till berg. Till detta ur sprängnings-, förstärknings- och tätningssynpunkt besvärliga berg hör de inlagringar av kantiga röda granitbitar sammankittade med kvarts, som påträffats i spårtunnlarna mellan stationerna Hallonbergen och Rissne, Tensta och Hjulsta samt i station Rådhuset. Under kvarteret Grävlingen strax nordost om T-Centralen förekom en stor grundvatteninläckning som delvis kan sättas i samband med en brecciebildning. Där nedkrossning av berggrunden fått karaktären av gnuggning bildas i kvartsrika bergarter mylonit- zoner och i kvartsfattiga skölar. Myloniterna är flintlikt hårda, medan skölarne är mjuka därför att de väsentligen består av klorit, grafit och lermineral.

Skölar liksom övriga svaghetszoner i berggrunden förekommer vanligen under bergytans lågpunkter. Markanta skölzoner har exempelvis påträffats kring Ågestavägen (Farsta, Tb 1), Fridhemslan (Tb 1 och Tb 3), Gömmarbäcken (Tb 2), station Zinkensdamm (Tb 2), station Karlplan (Tb 2), station Ropsten (Tb 2), Bergiusvägen (Tb 2), norr om Karlbergskanalen (Tb 3) och öster om station Rissne (Tb 3).

Ovan nämnda svaghetszoner i berggrunden har för samtliga tunnlar medfört mer eller mindre omfattande förstärkningsarbeten, exempelvis bergbultning, inklädnad med sprutbetong eller gjutning av betongbågar.

Grundvatten i berg förekommer endast i zoner, där berggrunden är sönderkrossad eller i spricksystem av olika typer. I och med att en tunnel sprängts genom berget kan grundvatten avledas. Emedan även grundvattnet i ovanliggande jordlager påverkas har man varit nödsakad att vid utförandet göra omfattande bergtättningsarbeten, injekteringar, i samtliga tunnelsystem. Av det ovan sagda framgår, att tunnelbanan framsprängts i en berggrund av mycket varierande beskaffenhet. Även om endast de största svaghetszonerna påtalas bör man ej glömma, att tunnelsystemet i sin helhet utspärngts förhållandevis nära bergytan, vilket inneburit problem med liten bergtäckning och stundom även med grundvatteninrinning. Dessutom är berget i regel av sämre beskaffenhet närmare ytan än på större djup.

Jordgrunden

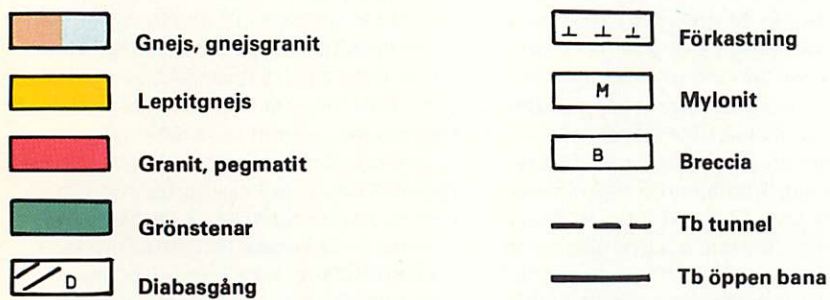
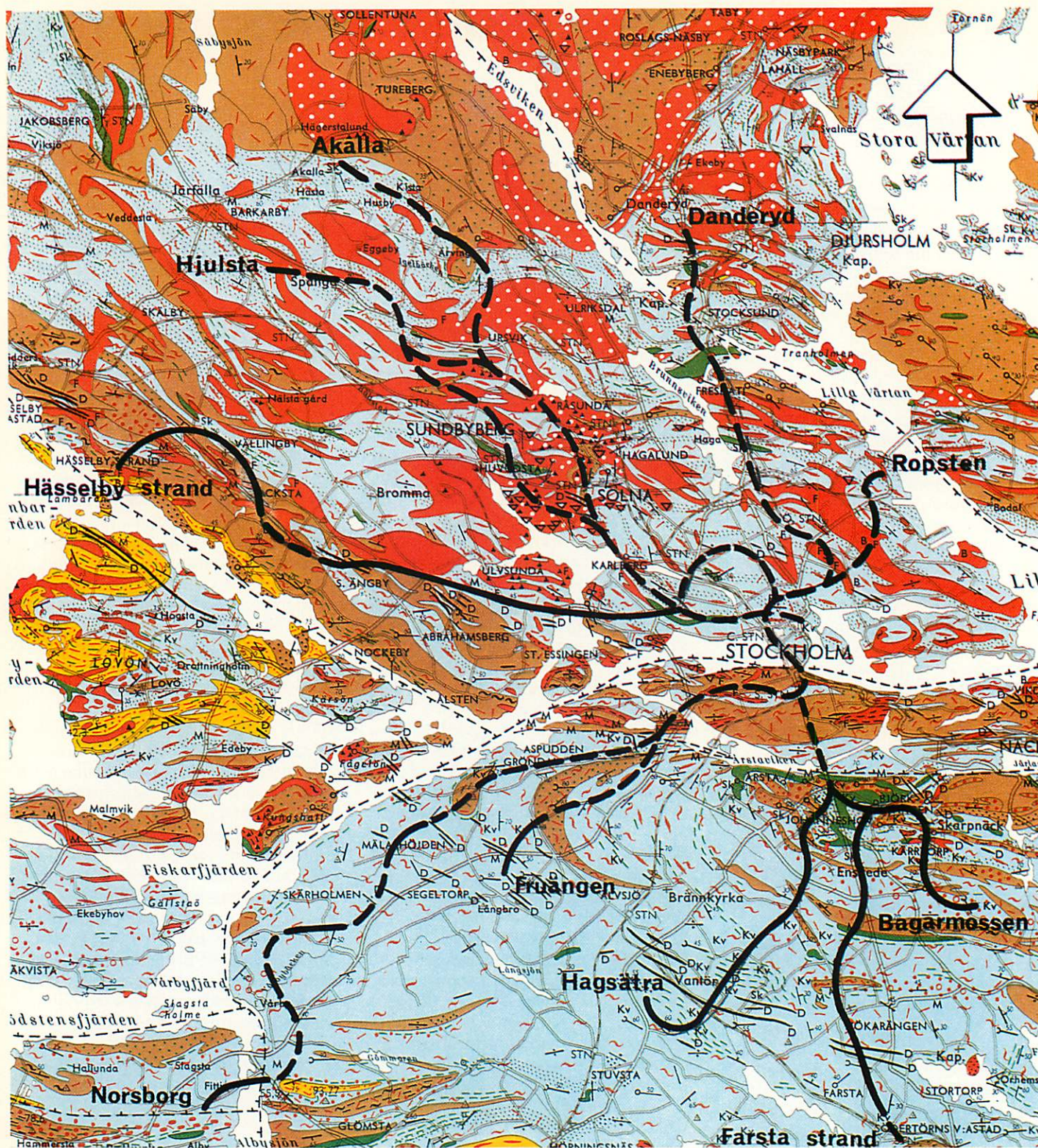
Glaciala avlagringar

Jordgrunden i Stockholmsområdet utgörs av glaciala och postglaciala avlagringar. Den glaciala jorden är avsatt för ca 10 000 år sedan i samband med inlandsisens avsmältning. Primärt avsattes morän och åsmaterial. Moränmaterialet, som är allmänt förekommande, är fast lagrat och osorterat, det vill säga innehåller alla kornfraktioner jämnt fördelade från ler till block. Det är tjälfarligt och under grundvattenytan flytbenäget särskilt om det utsätts för vibrationer. I samband med tillfälliga uppehåll i isens avsmältning bildades i norra och västra förortererna de ofta mycket blockiga formationer, ändmoräner, som kan ses i dagen eller under markytan vid schaktning.

Åsmaterialet består huvudsakligen av sand och grus men alla fraktioner från ler och till block förekommer. Det är avsatt i strömmande vatten, isälvar, och återfinns i de grusåsar som i många mil går igenom landskapet likt ett pärlband med riktning nordnordväst-sydsydost. Kännetecknande är materialets skiktning där varje skikt innehåller i stort samma kornstorlek. Vanligen är materialet löst lagrat. De finkorniga fraktionerna mo och mjåla (silt) är tjälfarliga och erosionskänsliga. Lokalt kan i åsarna förekomma inlagringar av lera och organiskt material, så kallade åsgropar. En mycket stor sådan påträffades i Brunkebergsåsen söder om Kungsgatan. Den glaciala leran kännetecknas främst av sin varvighet. I Stockholmsområdet finns två grusåsar som berör tunnelbanan dels Brunkebergsåsen som går genom centrala Stockholm, dels en gren av Uppsalaåsen vid Fittja.

Postglaciala avlagringar

Den postglaciala tidens avlagringar erhöles i samband med den ännu pågående landhöjningen och den härav följande skenbara sänkningen av Östersjön. Moränkullar och grusåsar utsattes för erosion, varvid jordmaterialet transporterades mot lägre belägna områden. Man erhöles svallgrus och svämsediment. Detta innebar, att tidigare avsatta leror kunde täckas av grövre material såsom mo, sand och grus. Särskilt påtagligt är detta intill grusåsarna, vilket förhållande även givit vissa besvär vid tunnelbanebyggena vid Sveavägen och vid Vårby-Norsborg. Organiska jordar, torv, gyttja och dy förekommer främst i igenväxningsområden såsom vid sjöar och instängda svackor i terrängen. Exempel härpå



finns utefter tunnelbanan till Bagarmossen och vid Råcksta. Till postglaciala avlagringar räknas även de utfyllnader som i historisk tid gjorts vid exempelvis områdena kring Nybroviken, Tegelbacken, Klara sjö, gamla Fatburssjön vid Södra station samt stränderna kring Gamla Stan. Vid Tegelbacken har man fyllt ut med byggnadsrester och träspån från ett gammalt skeppsvarv. Vid Munkbron i Gamla Stan är fyllnadsmassorna särskilt aggressiva mot järn, vartill torde bidra draga tidigare uttippning av fekalier samt aska efter bränder. Om Riddarfjärdens funktion som soptipp erinra de gamla namnen Gullfjärden större och mindre på två kvarter vid Söder Mälarstrand. Lerlagrens mäktighet är varierande och på vissa platser ganska avsevärda. Vid Tegelbacken har leran en mäktighet av upp till 15 m och i Stockholmsområdet i övrigt finns lertjocklekar upp till ca 25 m. Under lerans fasta ytskikt, torrskorpan, är skjuvhållfastheten normalt 10–20 kPa (1–2 Mp/m²). På platser där nivåskillnaderna mellan räls och omgivande markyta varit stor har man för att säkerställa stabiliteten vidtagit förstärkningsåtgärder. Utsatts leran för belastning orsakad av exempelvis grundvattensänkning minskar den sin volym och risk för sättningsskador på befintliga byggnader kan uppstå. Man har vid arbetet med tunnelbanorna försökt undvika skadliga grundvattensänkningar, men där särskilt svåra förhållanden rått ej lyckats helt.

Grundvattenproblem

Vid framdragandet av tunnelbanan har i några fall besvärande grundvattensänkningar inträffat. Detta har förekommit i områden, där jordlagren består av tämligen lös lera i kombination med i förhållande till markytan hög grundvattennivå. Områdena begränsas ofta av berg och morän. Lerlagren är mycket sättningsskänsliga, varför även små vattenläckage i tunnarna har medfört sättningsrörelser. Ej sällan förekommer två av varandra mer eller mindre oberoende grundvattenytter, en undre och en övre. En sänkning av endera av dessa kan åstadkomma skador. Sänks den undre får man i regel sättningar, medan sänkning av den övre dessutom kan orsaka föruttnelse av träpålar och trärustbäddar. Bebyggelsen i områdena är mestadels grundlagd på pålar av betong eller trä med källargolv direkt på mark eller i vissa fall fribärande. Sänkningen av grundvattennivån har dels lett till sätt-

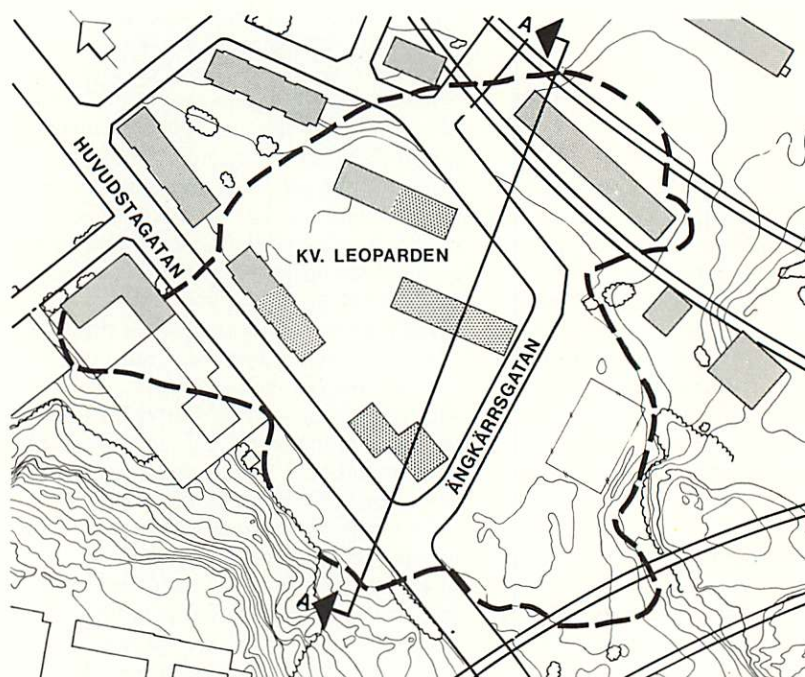
ningar i mark, ledningar och golv, dels till risk för rötangrepp i träpålar. Områden där tunnelbanearbetena medfört grundvattenproblem är Karlavägsområdet och området vid Hornsgatan–Timmermansgatan. Inom det förstnämnda, där den undre grundvattennivån sänkts, har inträffat sättningsskador på golv grundlagda på mark och i på golven murade mellanväggar i källare i ett 30-tal fastigheter. En stor del av dessa skador beror dock på tidigare sättningar av uppfyllnader, som utfördes då området bebyggdes. Vid Hornsgatan har ett flertal fastigheter grundlagda på träpålar fått allvarliga sättningsskador i bärande väggar. Den undre grundvattennivån sänktes genom bl a tunnelbanearbetena men inga sättningar uppstod, emedan leran är överkonsoliderad. Skadeorsaken är, att träpålarna angripits av rötsvamp och bakterier. Rötangreppen har uppstått genom att det fria vattnet kring pålarna (den övre grundvattenytan) tidvis försvunnit. Detta i sin tur är en följd av att grundvattenbalansen inom lerområdet rubbats genom urbaniseringen som förutom all byggnadsverksamhet och hårdgöring av markytan har inneburit, att fyra bergtunnelsystem utförts inom området. Tunnelbanans andel i orsakssammanhanget är föremål för speciell utredning. Ett annat område, där sättningsproblemet uppstått, är kvarteret Leoparden i Solna, vilket ligger i en skålförmad bergbildning. Bergbotten täcks av ett upp till 11 m tjockt moränlager, vilket överlagras av en linsformad lerkropp med en maximal tjocklek av 12 m. Leran täcks av ett upp till 2 m tjockt fyllningslager, som utlades då området bebyggdes på 1950-talet. Bebyggelsen utgörs av höghus som nedförts till fast botten med plintar eller pålar. Inom området har marksättningar om några decimeter inträffat före år 1970, det år då tunnelbanearbetena påbörjades. Sättningarna är en följd av uppfyllnaden men kan även tillskrivas en viss sänkning av grundvattennivån orsakad av minskad infiltration genom ytvattens avledning, dränering genom ledningsgravar, sprängningar för husgrunder o d. I samband med tunnelbanans framdragande konstaterades en sänkning av grundvattennivån, vilken tidigare inte i nämnvärd grad varit föremål för observation. Inläckningen i tunnarna är emellertid av normal omfattning. Sänkningens storlek torde få tillskrivas den omständigheten, att den berörda grundvattensjön har osedvanligt ringa utsträckning och att infiltrationsområ-

det är litet. En bidragande orsak är också, att årsnederbörden i början av 70-talet minskat med omkring 25 %. Grundvattensänkningen har medfört, att sättningsrörelserna ökat. Om inte grundvattennivån höjs har beräknats, att sättningarna under den närmaste 25-årsperioden skulle uppgå till 1,0 m. Med hänsyn till de höga kostnaderna för att åtgärda dessa sättningar har på försök utförts artificiell infiltration av vatten för att helt eller delvis återställa grundvattennivån, varigenom sättningsrörelserna minskas i motsvarande grad. Infiltrationen sker dels i ett antal perforerade plaströr nedförda genom leran och ned i moränen, dels i infiltrationsledningar av perforerad plast som nedgrävs i lerområdets kanter, där djupet till moränen är 1,5–2,5 m. Vattentillförseln styrs automatiskt genom att tillförselnivån hålls konstant. Grundvattenytan har genom försöken i huvudsak återställts.

Sättningsproblem

Sättningar vid belastning på normalt lagrat friktionsmaterial är vanligen små och huvudsakligen av elastisk natur. Vid lös lagring kan dock sättningsproblemet uppstå speciellt om jorden blir utsatt för vibrationer. Friktionsmaterial, som har varit för löst lagrat med hänsyn till plattgrundläggning, har bl a påträffats i samband med bro- och viaduktbyggen i Fittja-Alby. Ytliga lösa jordlager kan komprimeras med tunga vibrerande vältar. Djupare liggande jordlager komprimeras ofta genom slagning av pålar i rutnät, som successivt görs finmaskigare tills önskad lagringstäthet erhållits, s k pliggpålning. Befintliga byggnader grundlagda på friktionsmaterial, som befaras sätta sig vid byggnation i närheten, kan i vissa fall grundförstärkas medelst jordinjekttering, vilket bl a varit fallet med Konserthuset. En speciell form av deformation uppstår om tjälfarligt material kommer för nära grundläggningsnivån. Så blev fallet i Masmö, där tunna lutande moskikt från ena sidan mättsades med vatten som rann fram på tunna lerskikt. Konstruktionen fick skyddas genom en kombination av värmeisolerings- och elektrisk uppvärmning. Häftigt vattenflöde kan även ge upphov till sättningar genom erosion av finkornigt friktionsmaterial. I kohesionsmaterial (huvudsakligen lera) uppstår sättningar av såväl elastisk (ögonblicklig) som plastisk (långvarig) natur. Orsaken till den långvariga sättningen är vattenurpressning vid belastningsökning, vilket kan orsakas av

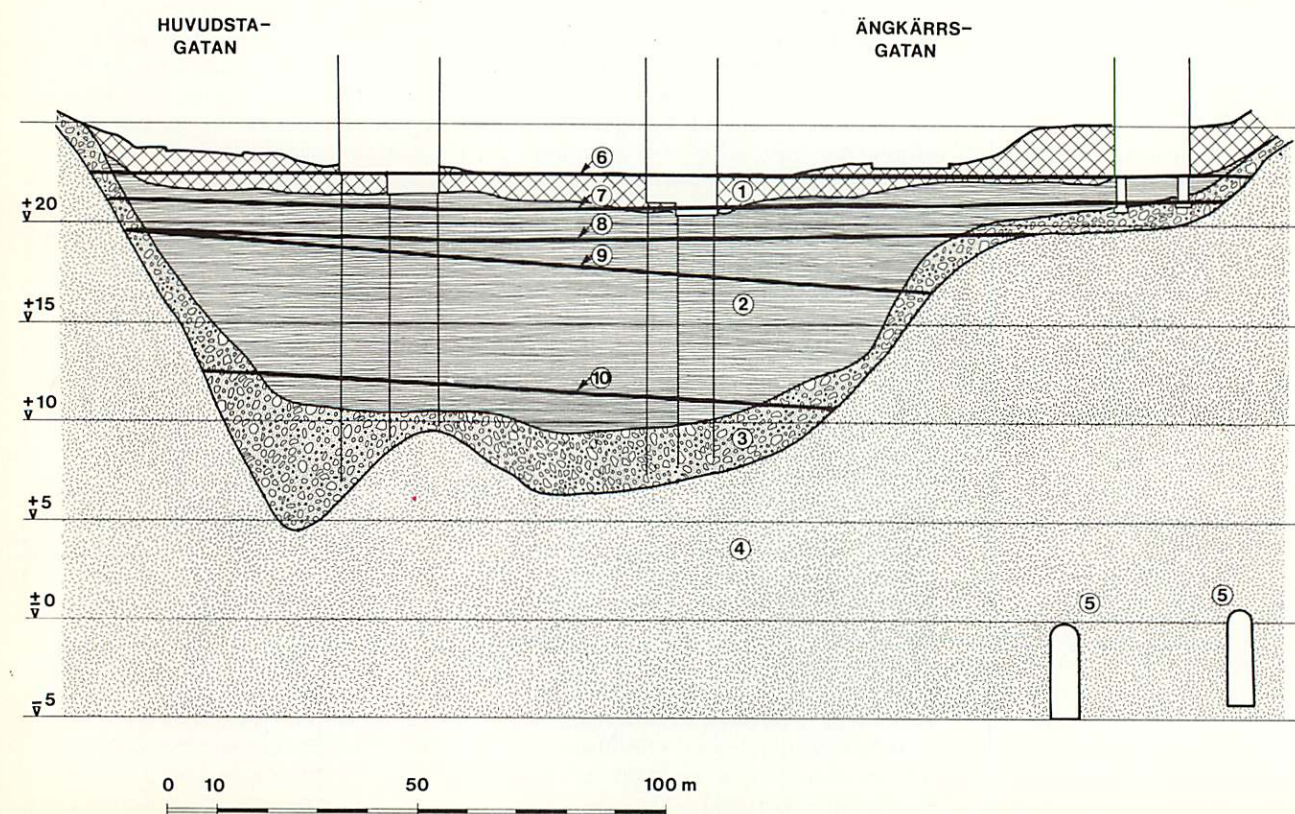
Grundvattensänkning vid kvarteret Leoparden, plan och profil



- 1 Fyllning, torv, torrskorpelera
- 2 Lera
- 3 Morän
- 4 Berg
- 5 T-bana utsprängd år 1970
- 6 Grundvattennivå år 1950
- 7 Grundvattennivå år 1970
- 8 Bedömd grundvattennivå efter lång tid utan tunnlar
- 9 Grundvattennivå i aug 1973
- 10 Grundvattennivå år 1972

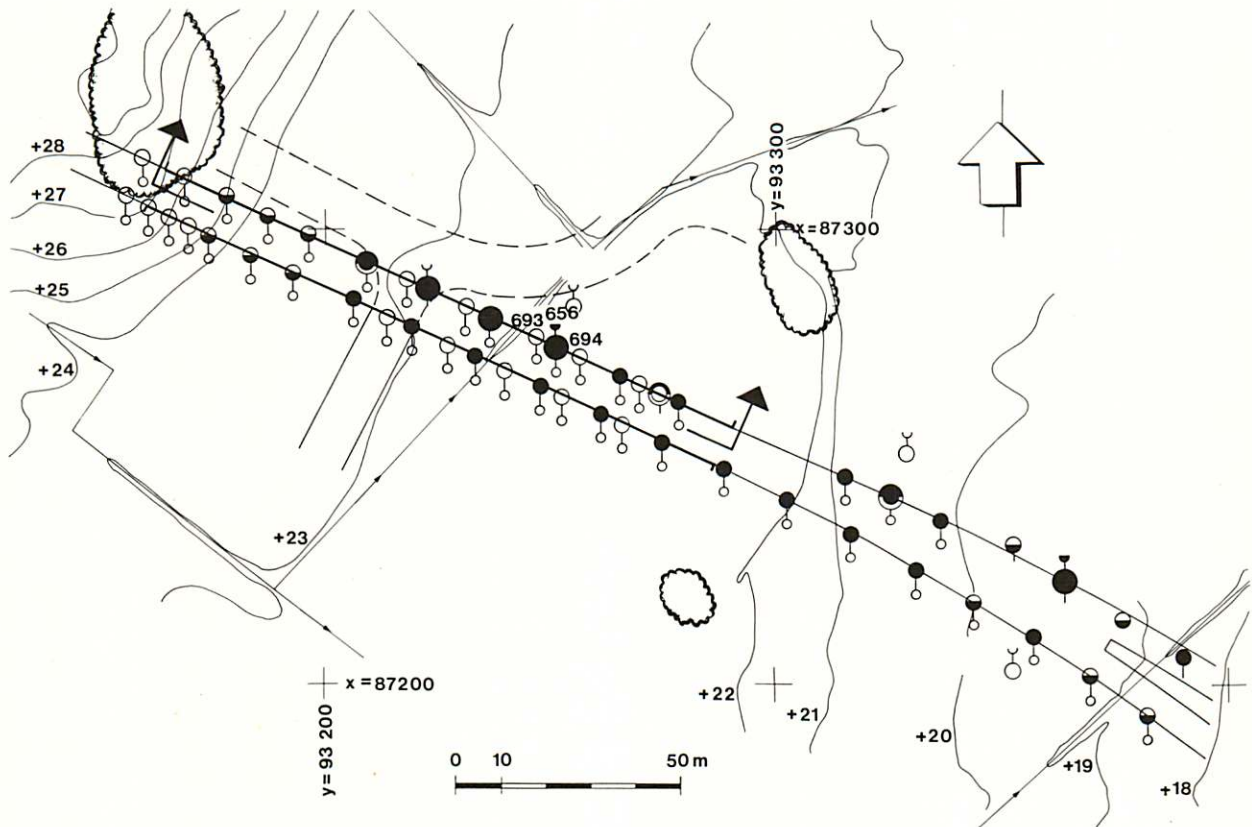
påfyllning eller vissa typer av ändrade grundvattenförhållanden, i regel grundvattensänkningar. Inte enbart stabilitetsförhållanden utan även sättningarnas storlek blir ofta avgörande för om grundförstärkningar måste vidtas. En speciell form av stora sättningar uppstod, när frusen lera tinade vid Tegelbacken, där jorden frystes för att trygga stabiliteten vid spontnings- och

kassunarbeten. Enligt laboratorieprov skulle sättningarna uppgå till 10 % av den frysta lerans mäktighet. De uppmätta sättningarna blev över 0,5 m och pågick i flera år.



Geotekniska undersökningar

Geoteknisk undersökning, plan



För projektering av en tunnelbana fordras omfattande geotekniska undersökningar. Dessa sker i flera omgångar. Först görs översiktliga undersökningar på ett tidigt stadium, innan banans exakta läge bestämts. I trakter där bebyggelse saknas utförs vanligen seismiska berglägesbestämningar. Dessa

Sondering

- Enkel sondering (sticksondering utan angivande av jordens fasthet)
- Statisk sondering (vikt-, tryck- eller maskinsondering; jordens fasthet bestämd genom belastning, med eller utan vridning)
- ⊙ Dynamisk sondering (hejarsondering, sondering med slagborrmaskin eller vibrering)

Tillägg för djup- och bergbestämning

- Sondering till förmodad fast botten
- Sondering till förmodat berg (s. k. bergsvar erhållet)
- Bergsondering minst 3 m under förmodad bergyta
- D:o samt undersökning av borrhax
- Kärnborrning minst 3 m under förmodad bergyta

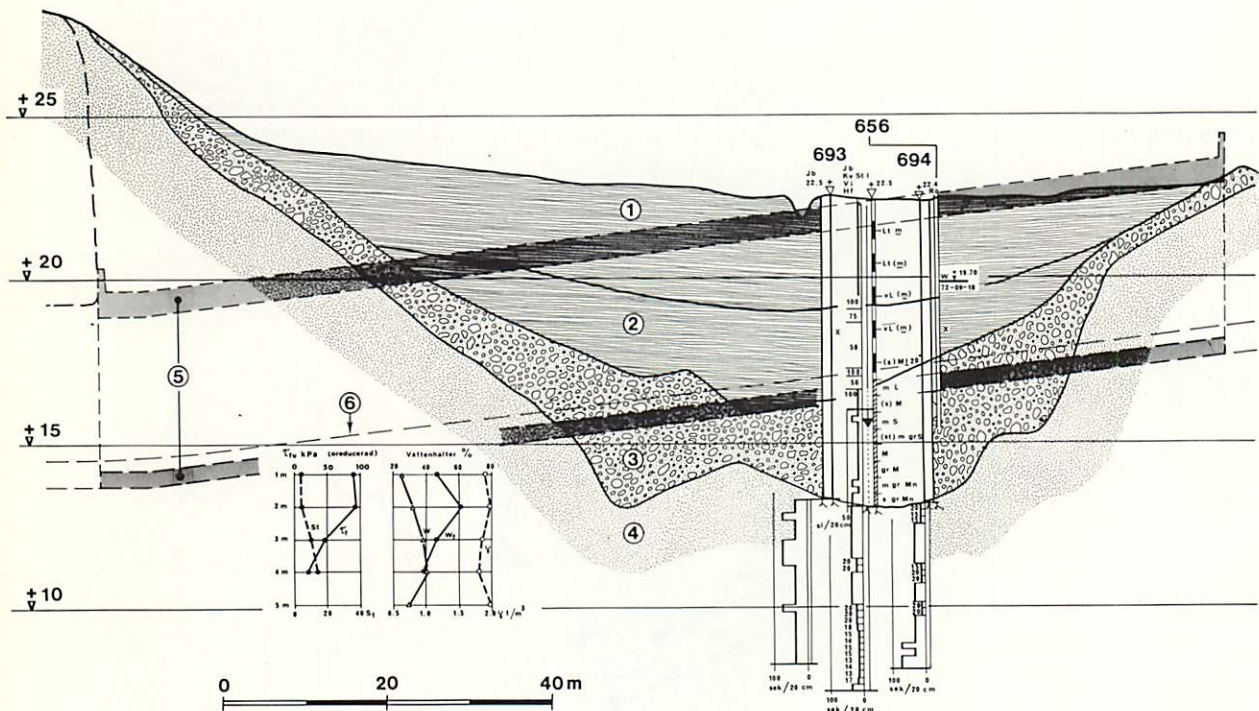
Provtagning

- ⊙ Störda prover (vanligen tagna med spadborr, kannborr eller skruvborr)
 - ⊙ Ostörda prover (vanligen tagna med standardkolvborr)
- Uppgift om använd kolvborrtyp finns i regel såväl på ritning som i geotekniskt utlåtande

Hydrologiska bestämningar

- Dagvattenyta bestämd, i t. ex. spadborrhål
- Grundvattennivå(-yta) bestämd vid kort- resp. långtidsobservation (öppet system)
- Provpumpning eller infiltrationsförsök
- Portryckmätning (slutet system)

- Geoteknisk undersökning, profil
- 1 Torrskorpelera
 - 2 Lera
 - 3 Friktionsmaterial
 - 4 Berggrund
 - 5 Betongtunnel
 - 6 Räls överkant



kontrolleras sedan med sk jordbergsondering för fastställande av bergnivåns läge. Efter hand som planläget och djupläget av tunneln blir bestämt utförs kompletterande undersökningar. För att ta reda på var eventuella sprickzoner förekommer i berggrunden använder man sig ofta av sk geobildtolkning. De zoner man finner dels vid borringarna, dels vid geobildtolkningen kontrolleras vanligen med kärnboring, diamantboring.

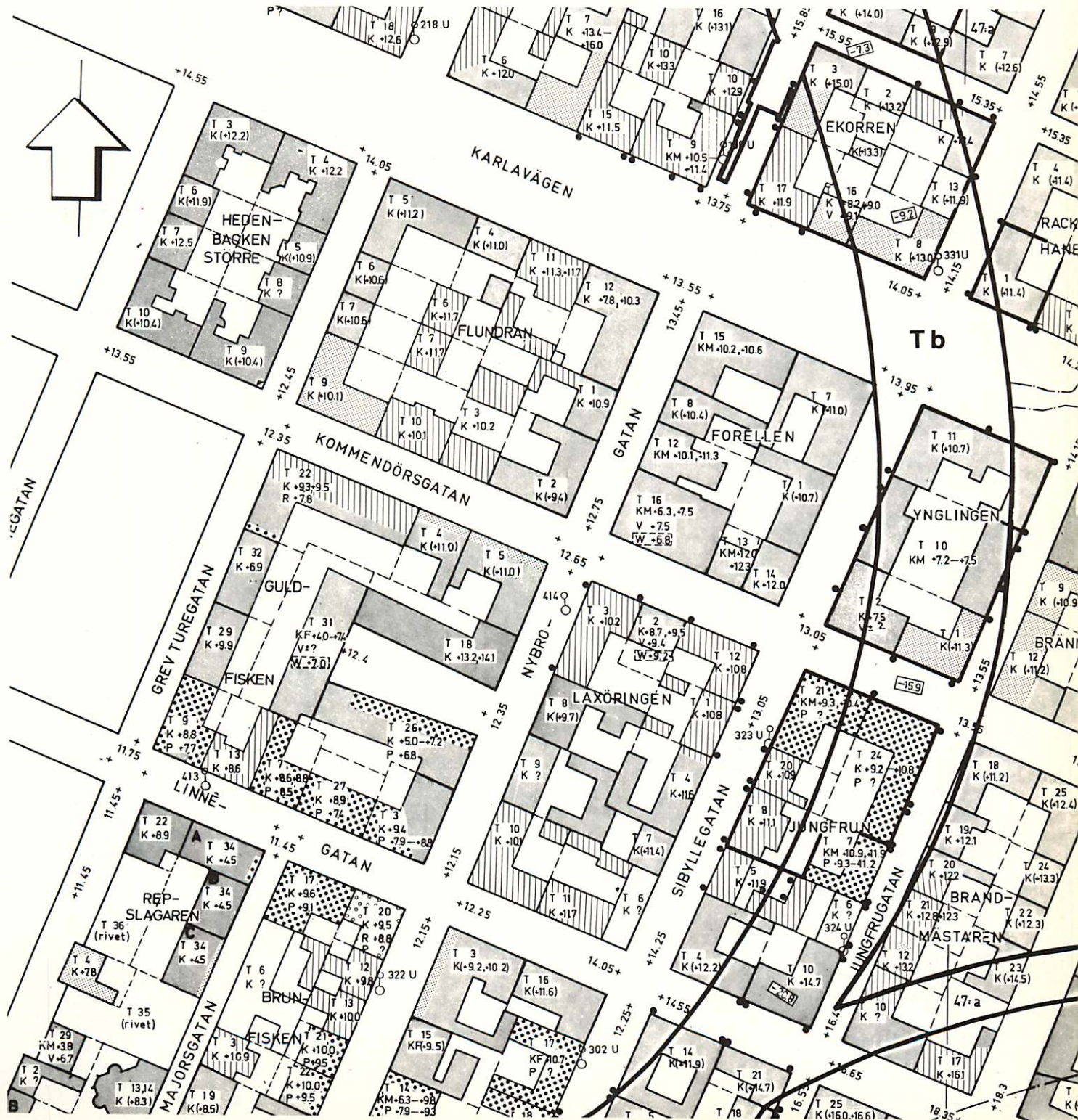
Vid alla tunnelarbeten under grundvattenytan finns risk för att denna sänks genom inläckning i tunneln. Omfattande undersökningar görs för att lokalisera lerområdenas utbredning och bestämma grundvattenytans nivåer inom dessa.

När banan är bestämd och stationernas lägen och uppgångar fastställda gör man kompletterande undersökningar. Härvid blir undersökningsmetoderna något annorlunda, liksom för tunnlar liggande enbart i jord. Man börjar med en enkel sondering för att utröna jordlagerföljder, schaktbarhet, bergnivåer etc. Efter sonderingen utförs provtagning med olika metoder och efterföljande laboratorieundersökningar vid vilka bl a jordens hållfasthets- och sättningsegenskaper undersöks.

- T b Tunnelbana**
- Hus grundlagt på träpålar, med eller utan rustbädd, eller på kohesionspålar
 - Hus grundlagt på stöd- eller friktionspålar av betong eller stål
 - Hus grundlagt på murar eller plintar, med eller utan rustbädd, på lera
 - Hus grundlagt på murar eller plintar till fast botten
 - Hus grundlagt på murar eller plintar på berg
 - Hus där grundläggningsuppgifter saknas.
- T Tomtnummer**
- ÖK källargolv
 - KM ÖK källargolv, golv på mark
 - KF ÖK källargolv, fribärande golv
 - P Pålavskärning
 - R ÖK rustbädd
 - V Vattentät källarkonstruktion
- W Grundvattennivå under byggnadstiden**
- Nuvarande grundvattennivå
 - Osäker höjd
 - Kvartersgräns
 - Tomtgräns
 - Husliv
 - Områdesgräns samt begränsningslinjer för tunnelbanesträckningen
- Husliv för planerad byggnad**
- Avtalsbelagda tomter
 - Höjdbestämd järndubb för sättningskontroll
 - Grundvattenrör
 - Tunnelns sprängbottenivå

källargolv (på mark respektive fribärande) med öknivåer. Härigenom får man en uppfattning om var risker för eventuella skador i samband med grundvattensänkning och sättningar finns. Grundvattnets nivåer observeras kontinuerligt i ett flertal punkter utefter banan, såväl före, under, som efter arbetena. Alla undersökningar redovisas i ett geologiskt och/eller geotekniskt utlåtande.

Husgrundläggningsskarta



Vid beräkning av tunnel- och viadukt-konstruktioner samt andra konstarbeten för tunnelbanan tillämpas gällande statliga bestämmelser samt »Statens Vägverks Bronnormer». Vissa för Stockholms tunnelbana specifika beräknings- och belastningsbestämmelser, vilka ej återfinns i de nämnda handlingarna, är sedan år 1958 sammanförda i en särskild skrift, »Beräkningsgrunder för tunnelbanor, tunnlar och gatuunderbyggnader samt bergtunnelförstärkningar utförda av Stockholms gatukontor». Dessa beräkningsgrunder, som godkänts av Statens Vägverk, revideras i takt med utvecklingen.

I fråga om belastningar kan följande speciellt nämnas:

Ständiga laster

För fyllning i gata har antagits följande volymvikter:
från markytan 0,5 m nedåt 2,0 t/m³
därunder intill grundvattenytan 1,8 t/m³
under grundvattenytan 1,1 t/m³

Belastning från hus:

Om noggrannare uppgifter beträffande last och grundläggningsdjup ej kan erhållas (för tex planerade byggnader), antas last från hus vara 10 kN/m^2 ($1,0 \text{ Mp/m}^2$) och våning. Vikt av källare och vind medräknas ej. Huset antas grundläggt $2,0 \text{ m}$ under angränsande gata.

Belastning av spårunderbyggnad

Ballast, slipers, räckan o d enligt till be-
räkningsgrunderna fogade »Tekniska
uppgifter för Stockholms tunnelbana»
av den 6 mars 1970.

Trafiklasten

Vidstående bild anger belastningsschema för aktuella tågkombinationer. Som framgår har konstbyggnaderna på Tb 2, Botkyrkabanan väster om station Vårby Gård på Tb 3, Järvabanan samt på Tb 2, Täbybanan beräknats för större tåglängd och hastighet än det först byggda bansystemet Tb 1. Tåglängden har sålunda ökat från 8-vagnarståg till 10-vagnarståg och hastigheten från 80 till 90 km/h. Bilden anger även beräkningsförutsättningar för broms- och accelerationskrafter samt dynamiskt tillskott.

Spårläget förutsätts kunna avvika i plan från på ritning angivet läge med ± 200 mm.

Överlast på landfäste och bank 20 kN/m² (2,0 Mp/m²).

Last av gatutrafik exempelvis på biljett-
hallstak o d enligt »Statliga belast-
ningsbestämmelser av år 1960 för

byggnadsverk» där ej annat föreskrivs. Last av gångtrafik på plattformar, i biljetthallar, butiker o d 4 kN/m^2 (400 kp/m^2).

Last av gångtrafik i montagebetrappor och maskinrum för rulltrappor 4 kN/m² (400 kp/m²). Här tillkommer fundamentlasten enligt leverantörens uppgifter. Nyttig last i lagerlokaler och liknande där ej annat föreskrivs.

för beräkning av plattor 7 kN/m^2
(700 kp/m^2) bjälklag

för beräkning av balkar 6 kN/m²
(600 kp/m²) bjälklag

för beräkning av pelare 5 kN/m^2
(500 kp/m^2) bjälklag

Last på skyddstak över plattformar i berg 1 kN/m² (100 kp/m²).

Övriga belastningar

Centrifugalkraft och sidostöt enligt vad som gäller för normalspårig järnväg i »Statliga belastningsbestämmelser av år 1960 för byggnadsverk», mom 4: 32. Vindtryck enligt vad som gäller för normalspårig järnväg i »Statliga belastningsbestämmelser av år 1960 för byggnadsverk» mom 4: 4. Tågs vindyta anses emellertid vara en rektangel med 3,0 m höjd och ha tyngdpunkten 2,25 m över räls överkant.

Jordtryck från friktionsmaterial enligt »Statens Vägverks Bronnormer 1969» mom 12:4.

Jordtryck från kohesionsjord enligt gängse jordtrycksteorier.

Belastungssystem

A

TUNNELBANETÅG MAX 8 VAGNAR PER TÅG OCH HÖGST 2 TÅG PER SPÅR OCH BRO. HAST. 80 KM/H	T6	TUNNELBANETÅG MAX 10 VAGNAR PER TÅG OCH HÖGST 2 TÅG PER SPÅR OCH BRO HAST. 90 KM/H
TUNNELBANETÅG MAX 7 VAGNAR PER TÅG OCH HÖGST 2 TÅG PER SPÅR OCH BRO. HAST. 80 KM/H	T5	
ARBETSTÅG ETT ARBETSTÅG FÖRUTSÄTTES HA LÄNGDEN MAX 50m. HÖGST 2 TÅG PER SPÅR OCH BRO. HAST. 60 KM/H	K1	ARBETSTÅG ETT ARBETSTÅG FÖRUTSÄTTES HA LÄNGDEN MAX 50m HÖGST 2 TÅG PER SPÅR OCH BRO. HAST. 60 KM/H
LOK o KRAN KRANENS AXELTRYCK KAN BYTA PLATS KOMBINERAS EJ MED ANNAN BELASTNING PÅ SAMMA SPÅR HAST. 30 KM/H	K2	LOK o KRAN KRANENS AXELTRYCK KAN BYTA PLATS. KOMBINERAS EJ MED ANNAN BELASTNING PÅ SAMMA SPÅR HAST. 30 KM/H
	K3 MAK.VAGN OCH OBELASTAD KRAN KAN BYTA PLATS. ÖVRIGA BELASTNINGSKOMBINATIONER: LOK + BELASTAD ELLER OBELASTAD KRAN. KRANENS AXELTRYCK KAN BYTA PLATS.	LOK o MAKADAM VAGN o KRAN KOMBINERAS EJ MED ANNAN BELASTNING PÅ SAMMA SPÅR. HAST. 30 KM/H VID BELASTAD KRAN 5 KM/H

MÅTT i m

FÖR SAMTLIGA BELASTNINGSSYSTEM BERÄKNAS:

$$\text{BROMSKRAFT} = \frac{E}{5} \frac{P}{P}$$

ACCELERATIONSKRA

DYNAMISKT TILLSKOTT ENLIGT STATLIGA BELASTNINGSBESTÄMMELSER AV ÅR 1960 FÖR BYGG-
NADSVÄRK, MOMENT 4:312, FÖR TÅGHASTIGHET ENLIGT TABELLEN OVAN, FÖRE 1960 ÅR DYN-
AMISKT TILLSKOTT BERÄKNAT ENLIGT VAD SOM GÄLLER FÖR JÄRNVÄGSBROAR I 1938 ÅRS JÄRN-
BESTÄMMELSER.

1 ton = 10 kN

Vattentryck. Gällande vattennivåer för Mälaren är

Exceptionell högvattenyta

+1,00 Exc belastning

Normal högvattenyta

+0,55 Normal belastning

Medelvattenyta

+0,30 Normal belastning

Normal lågvattenyta

+0,15 Normal belastning

Exceptionell lågvattenyta

-0,10 Exc belastning

Höjderna är angivna efter stadens nollplan. Där Mälarens vattenyta ej gäller, bestäms vattenytan enligt särskild utredning.

Is- och strömtryck enligt »Statliga belastningsbestämmelser av år 1960 för byggnadsverk», mom 3: 72, varvid de lägre värdena väljs, om inte annat föreskrivs.

Temperaturändringar, krympning, svällning och krypning enligt »Statliga belastningsbestämmelser av år 1960 för byggnadsverk» och »Statens Vägverks Bronnormer 1969». För tunnlar och gatuunderbyggnader tas i förekommande fall hänsyn till temperaturändringar enligt ovan, men för utrymmen, där temperaturen kan antas vara nära konstant (t ex under marken belägna utrymmen, där ytterluften ej lämnas fritt tillträde — biljetthallar, lagerlokaler m m — samt tunnelbanetunnlar på visst avstånd från mynningen) medräknas ej inverkan av temperaturändringar.

Friktionskrafter i lager enligt »Statliga belastningsbestämmelser av år 1960 för byggnadsverk», mom 3: 4, och »Statens Vägverks Bronnormer 1969», mom 14: 15.

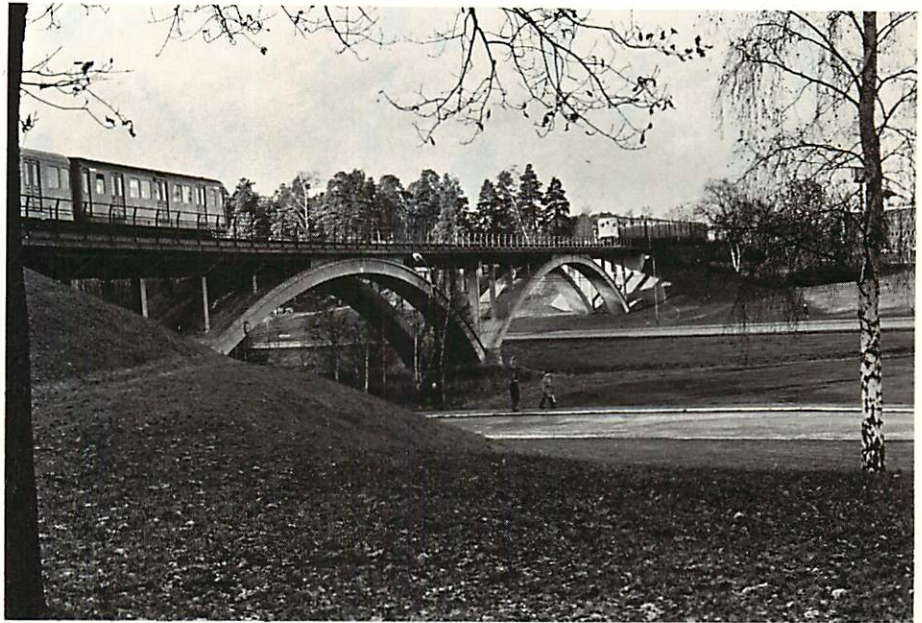
Stödsättningar vid konstruktioner grundlagda på annat material än berg och pålar enligt »Statens Vägverks Bronnormer 1969», mom 13: 92.

För konstruktioner på pålar förutsätts stödförskjutningarna motsvara pålarnas elastiska sammantryckning, dock minst det i »Bronnormerna», mom 13: 92, angivna värdet.

I trafikled placerad pelare beräknas enligt »Statens Vägverks Bronnormer 1969», mom 13: 26. Tillfällig belastning skall förutsättas påverka viadukt även vid avslagen pelare. För mellanstöd till viadukt över järnväg gäller även vad som föreskrivs i »Bronnormerna», mom 13: 22.

Belastning på berg-tunnelförstärkningar

För bergförstärkningar torde någon teoretiskt riktig allmängiltig belastning ej kunna fastställas. Där bergförhållandena ej motiverat annan belastnings-



Bågbro över Räcksta träsk

fördelning, har man vid tunnelbanearbetena gjort följande antaganden.

1. Där betryggande bergtäckning finns — bergytan ligger helt ovanför det prickade området i figuren — beräknas förstärkningsvalvet för jämnt fördelad last av berg och betong inom det streckade området.

2. Där bergtäckningen är relativt god — bergytan ligger helt ovanför det streckade området — beräknas förstärkningsvalvet för antingen ovanstående last eller, där detta ger farligare inverkan, en linjelast 200 kN/m (20 Mp/m), placerad i farligaste läge (lasten antas motsvara lossnat block).

3. Där bergtäckningen är dålig — bergytan faller helt eller delvis inom det streckade området — beräknas förstärkningsvalvet för jämnt fördelad last av betong, berg och fyllning upp till markplanet jämte eventuella punktlast-

ter från hus, varvid lasten i sidled begränsas av vertikalplanen genom anfangen. Alternativt beräknas valvet för linjelast enligt punkt 2 ovan.

4. Där i förväg tillverkade bågelement genom förspänning eller på annat sätt bringas till full anläggning efter bågens hela längd, behöver hänsyn ej tas till linjelasten enligt punkt 2 ovan.

Säkerhet mot uppflytning

Vid konstruktion kringfylld med friktionsmaterial och utformad så att friktion kan överföras till huvudkonstruktion sätts säkerheten mot uppflytning till 1,0. Därvid antas följande volymvikter:

Betong där uttorkning ej kan ske

2,3 t/m³

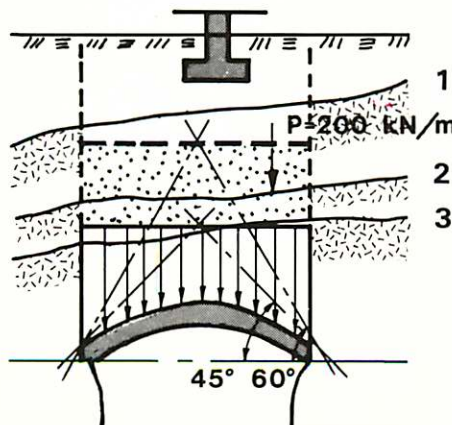
Betong där uttorkning kan ske

2,2 t/m³

Vikt av överfyllning, ballast, räls etc får ej tillgodoräknas som stabiliserande krafter utan utgör tillsammans med friktionen mot väggarna en extra säkerhet. Vid konstruktion, där friktionen ej kan överföras till huvudkonstruktionen, sätts säkerheten mot uppflytning till 1,10. I övrigt antas förutsättningarna lika som ovan.

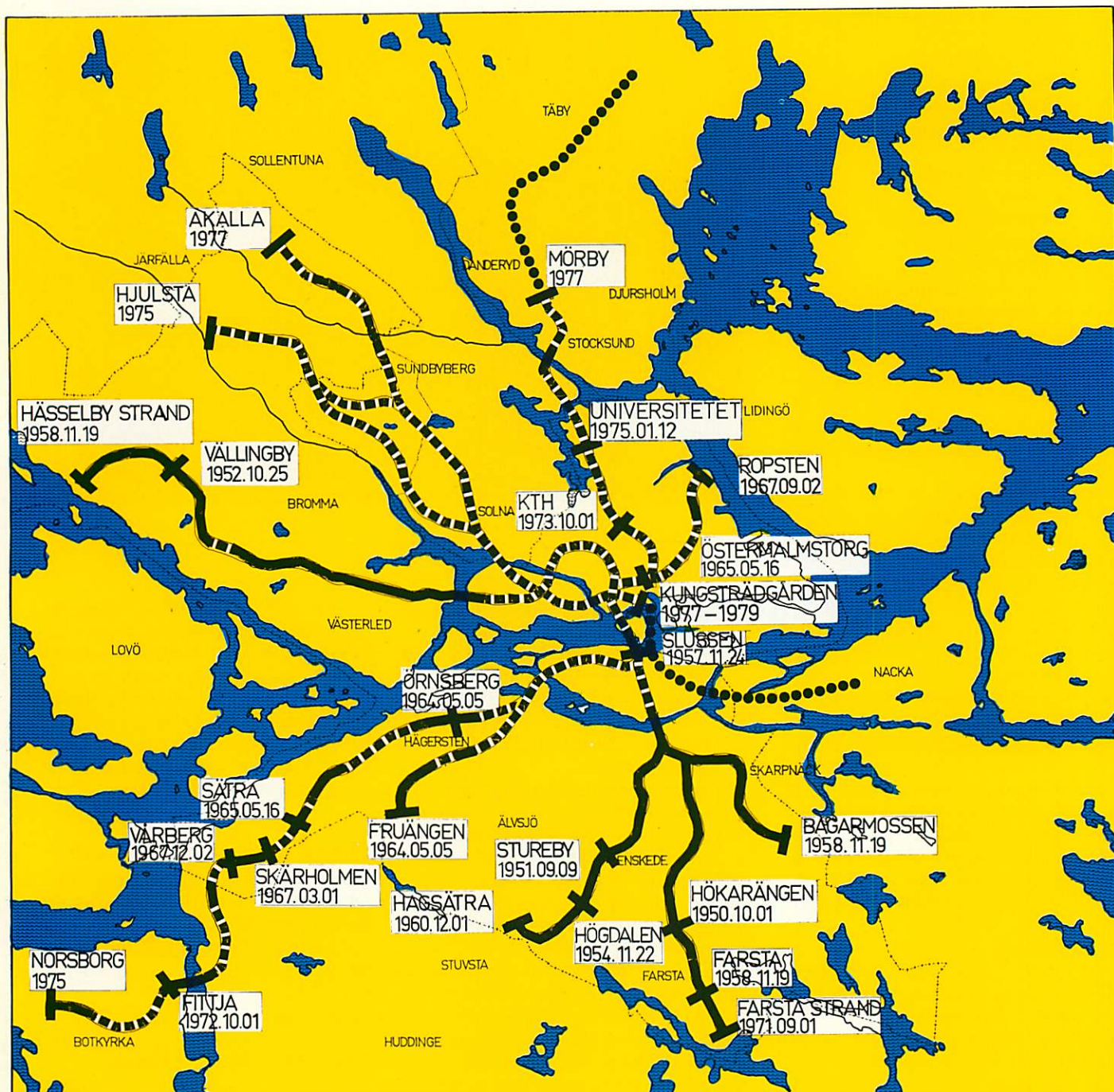
Övriga beräkningsprinciper

Tunnelbaneviadukter dimensioneras till skillnad mot gatuviadukter som dynamiskt belastade konstruktioner, vilket medför olika tillåtna påkänningar enligt bestämmelserna.

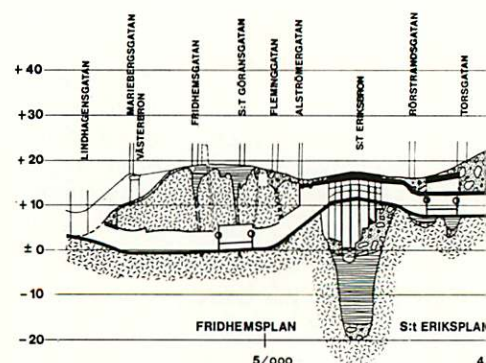


Last på bergvalv

Banornas lägen och utformning



- Planerad bana
- Bana under jord
- Bana på ytan



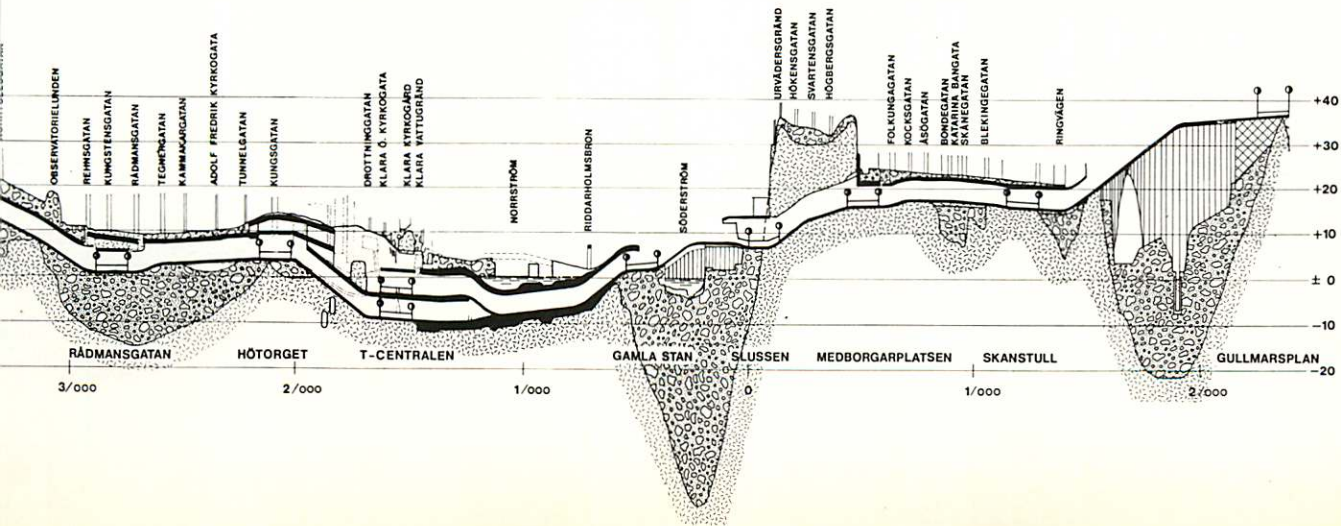
Tb 1 – Hässelby, Farsta,
Hagsätra och Bagarmossen

Större delen av den drygt 41 km långa första tunnelbanelinjen har åstadkommits genom ombyggnad till tunnelbanestandard av befintliga förortslinjer och spårvägstunneln Skanstull–Slussen samt förlängning av dessa linjer. Hela sträckan Lindhagensgatan–Hässelbystrand ligger därför på öppen banvall med undantag för en ca 600 m lång bergtunnel mellan Blackeberg och Islandstorget samt en ca 300 m lång sträcka vid Vällingby, där banan förlagts under ett betongdäck för centrumbebyggelsen. De södra bangrenarna Skanstull–Farsta Centrum, Gullmars-

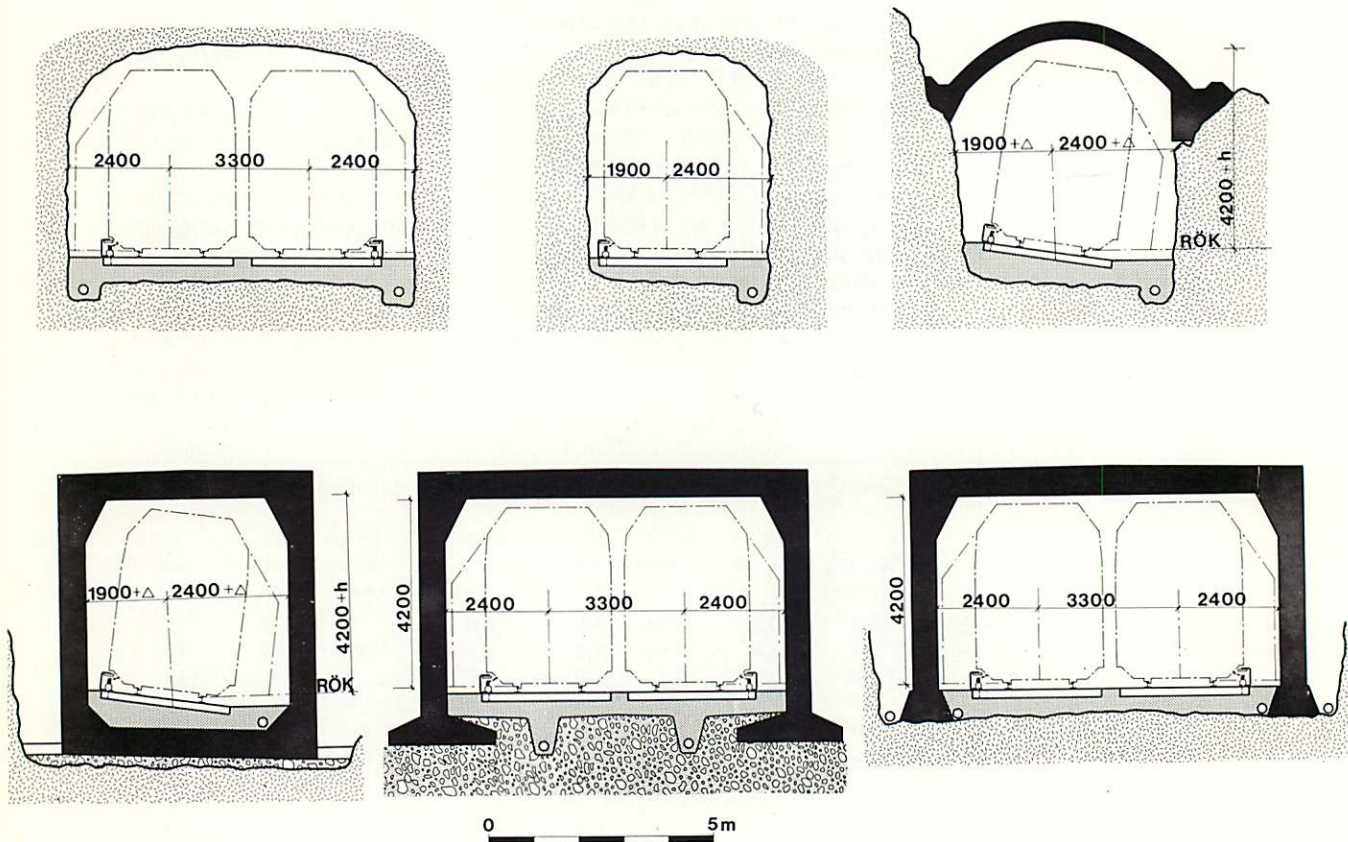
plan–Hagsätra samt Skärmarbrink–Bagarmossen ligger helt på öppen banvall. De viktigaste i dessa banor ingående broarna och viadukterna beskrivs i kapitel 10. Från byggnadsteknisk synpunkt är arbetena som utförts på den 5,5 km långa innerstadssträckan mest krävande. Denna bandels första etapp – Lindhagensgatan–Kungsgatan – utfördes så nära markytan som möjligt i de relativt breda gatorna S:t Eriksgatan, Karlbergsvägen och Sveavägen. Intressanta arbeten på denna sträcka var utformning och utförande med förstärkning och betonginklädnad av station

I nedanstående tabell anges principiellt byggnadssätt för bansträckorna i tunnelbanesystemet. Den totala banlängden utgör för befintliga, under byggnad varande och planerade banor 110 km.

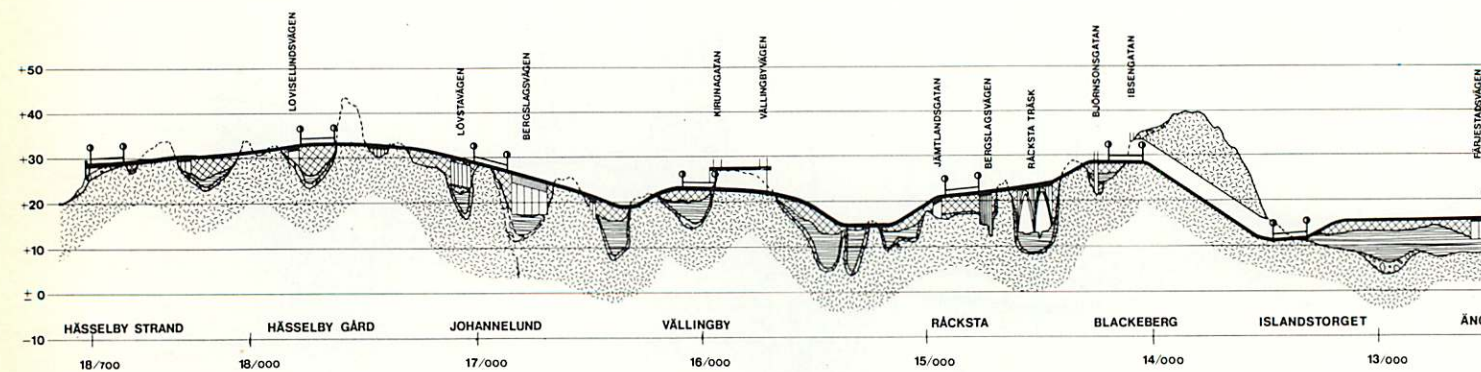
		Längd i kilometer					Längd i %			
Bansträcka		Summa	Berg-tunnel	Betong-tunnel	Bro el. viadukt	Öppen bana	Berg-tunnel	Betong-tunnel	Bro el. viadukt	Öppen bana
Tb 1	Hässelby strand–Lindhagensgatan	13,0	0,6	0,3	1,5	10,6	5	2	11	82
	Lindhagensgatan–Gullmarsplan	8,4	1,6	4,9	1,2	0,7	19	58	14	9
	Gullmarsplan–Farsta strand	8,3	0,5	0,1	1,0	6,7	6	1	12	81
	Gullmarsplan–Hagsätra	8,1	–	–	0,9	7,2	–	–	11	89
	Skärmarbrink–Bagarmossen	4,0	–	–	0,7	3,3	–	–	18	82
Tb 1	Totalt	41,8	2,7	5,3	5,3	28,5	6	13	13	68
Tb 2	Ropsten–T-Centralen	4,9	3,8	0,3	0,5	0,3	78	6	10	6
	Östermalmstorg–Mörby C	8,7	7,5	0,9	0,2	0,1	86	11	2	1
	Slussen–Fruängen	8,4	5,1	0,5	0,7	2,1	61	6	8	25
	Liljeholmen–Vårberg	9,6	5,0	0,9	0,2	3,5	52	10	2	36
	Vårberg–Norsborg	8,7	4,6	0,7	1,5	1,9	53	8	17	22
Tb 2	Totalt	40,3	26,0	3,3	3,1	7,9	64	8	8	20
Tb 3	Kungsträdgården–Västra Skogen	5,1	4,7	0,4	–	–	92	8	–	–
	Västra Skogen–Hallonbergen	3,8	3,3	0,5	–	–	87	13	–	–
	Hallonbergen–Akalla	6,7	3,9	0,6	1,5	0,7	58	9	22	11
	Västra Skogen–Rinkeby	7,2	7,2	–	–	–	100	–	–	–
	Rinkeby–Hjulsta	2,8	2,7	0,1	–	–	96	4	–	–
	Hallonbergen–Rinkeby	2,6	2,3	0,3	–	–	88	12	–	–
Tb 3	Totalt	28,2	24,1	1,9	1,5	0,7	85	7	5	3
Tb 1–3	Hela tunnelbanesystemet	110,3	52,8	10,5	9,9	37,1	48	10	9	33



Normalsektioner, äldre

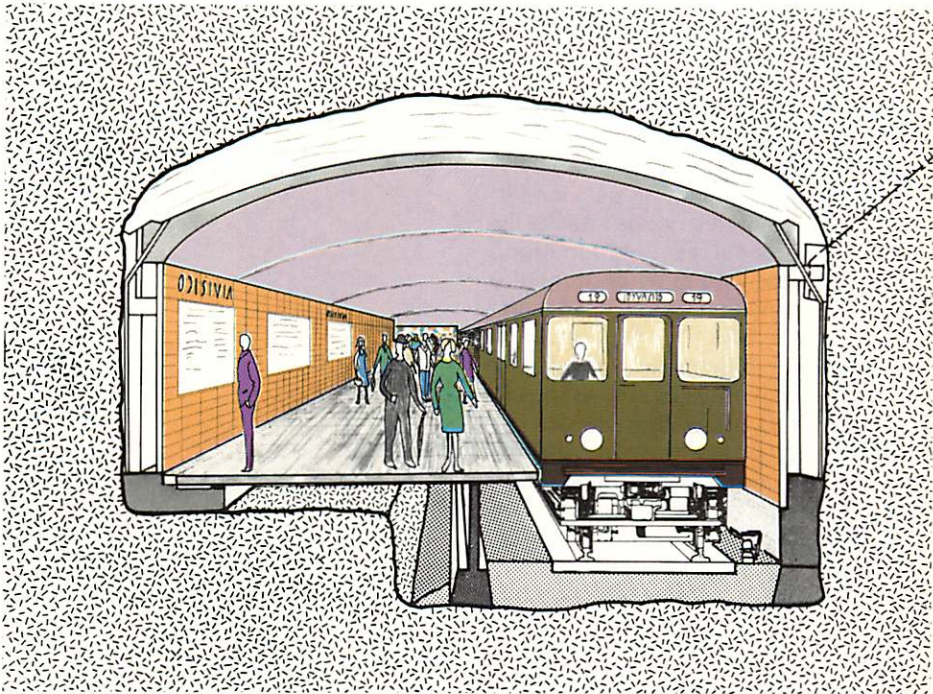


Profil Tb 1, Hässelby Strand–Thorildsplan



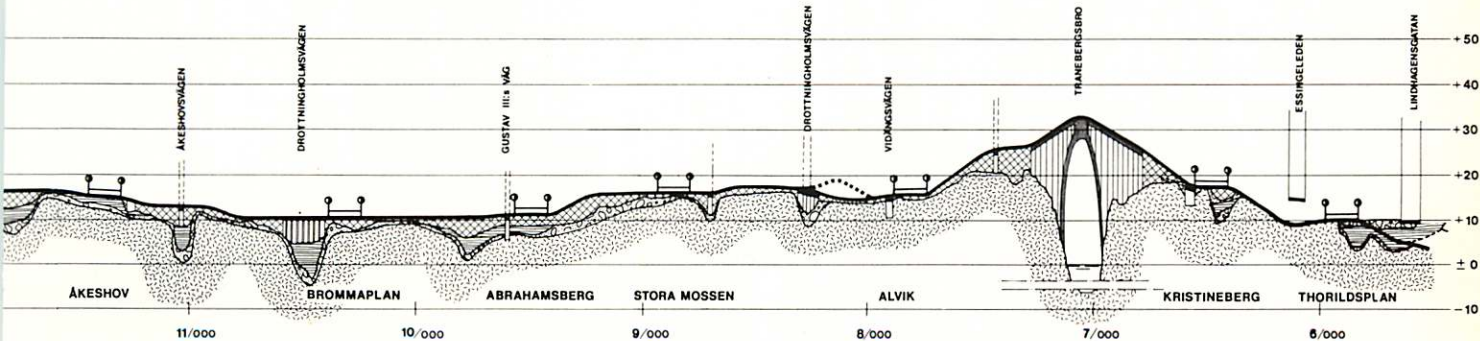
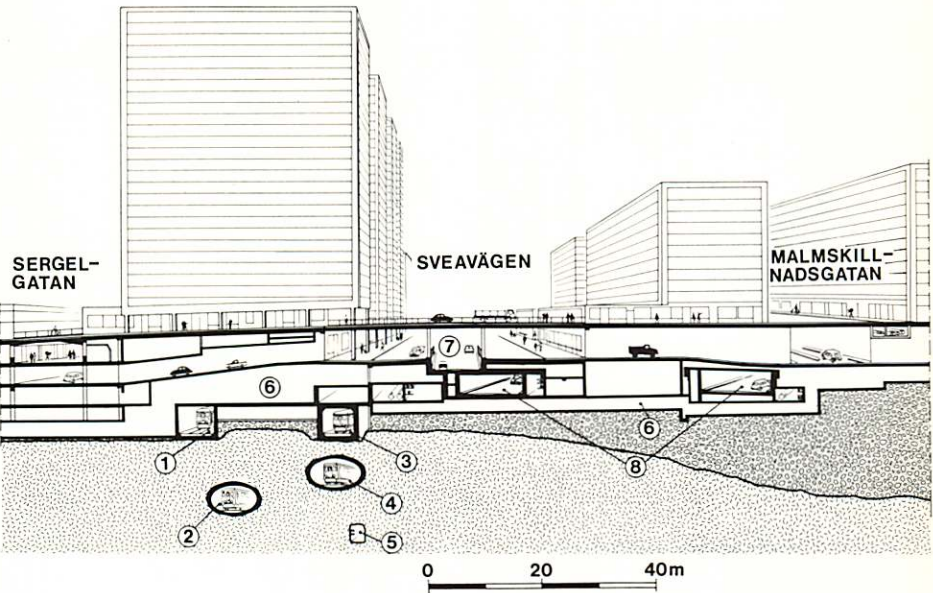
Fridhemsplan, banans första bergstation, vidare byggnadsmetoden i S:t Eriksgatan, grundvattensänkning och grundläggningsarbeten för station Rådmansgatan samt kemisk förstening av sanden under Konserthusets östra grundmur. Andra byggnadsetappen – sammanbindningsbanan mellan Kungsgatan och Slussen – är en av tunnelbanenätets svåraste och dyraste delsträckor. Utförandet av denna bandel krävde rivning av omkring 35 fastigheter av vilka dock flertalet var rivningsmogna. Dessa husrivningar påskyndade den sanering av Nedre Norrmalm som sedan länge planerats och som resulterat i den moderna Citybebyggelsen inom området. Speciellt intressanta arbeten på denna sträcka är: Tvåplansstation T-Centralen, kasunsänkning och frysgrundläggning vid Tegelbacken samt fyrsparstunnel under Norrström.

Bergstation, tvärsektion, äldre



Sektion vid Mäster Samuelsgatan

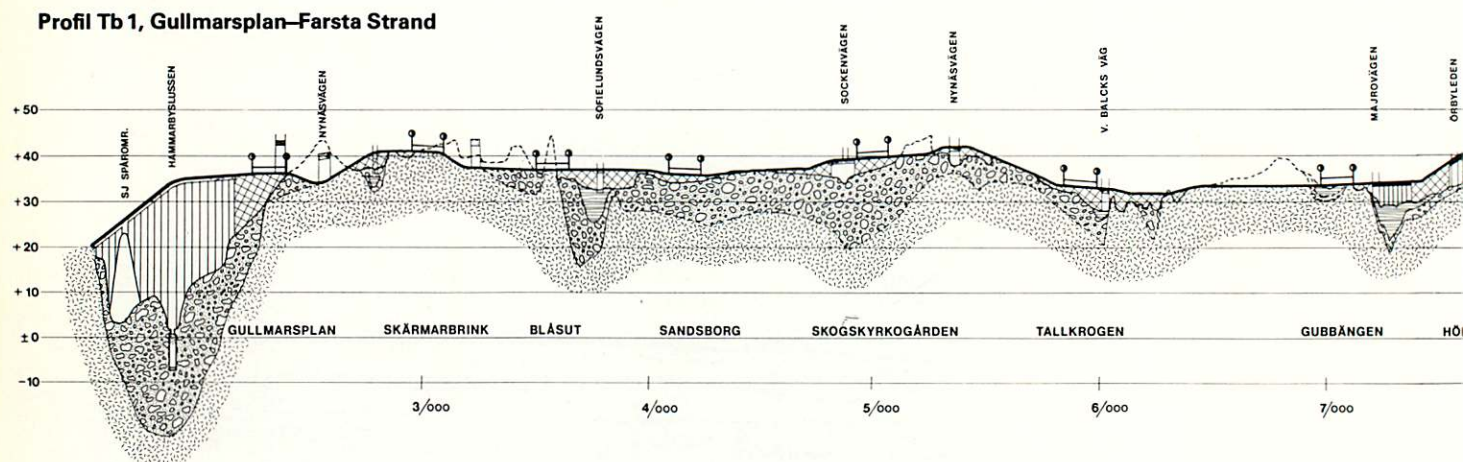
- 1 Till Hötorget
- 2 Till Östermalmstorg
- 3 Från Hötorget
- 4 Från Östermalmstorg
- 5 Ledningstunnel
- 6 Ledningstunnlar
- 7 Biltunnelramp
- 8 Biltunnel



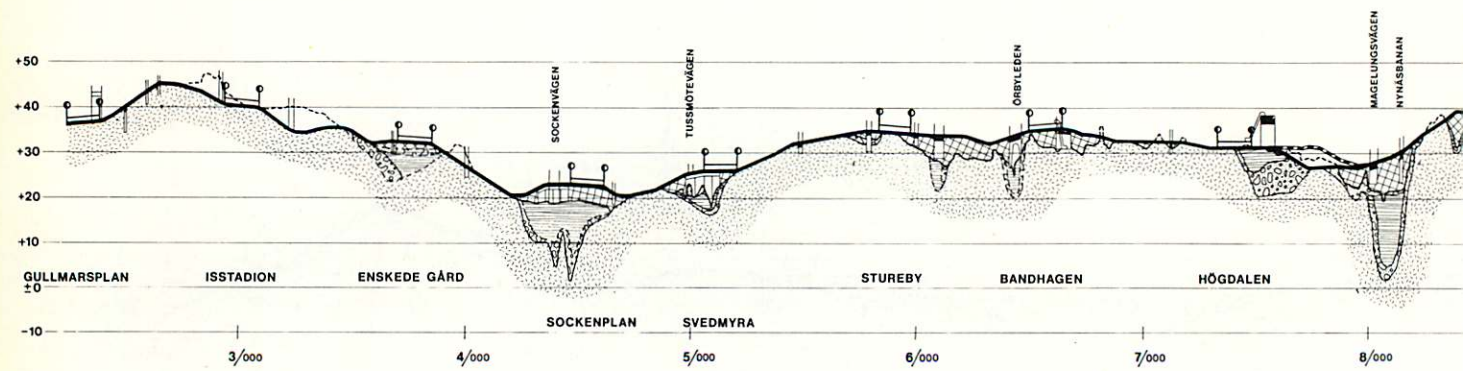
Tb 1 – Förlängning till
Farsta Strand

Den mellersta av första banans tre södra grenar – Farstabanen – slutade fram till 1971 vid Farsta Centrum, då den förlängdes en sträcka på 1 km till Farsta Strand. Halva denna sträcka ligger banan i tunnel, varav 470 m utgör bergtunnel samt 80 m betongtunnel under Ågestavägen och Nynäsbanan. Station Farsta Strand ligger i öppen bergskärning. Biljetthallen i markplanet är förlagd på viadukt över spåren, varifrån fasta trappor, rulltrappor och hissar leder ned till plattformen. I anslutning till stationen har anlagts en infartsparkering, som delvis ligger på däck över spåren.

Profil Tb 1, Gullmarsplan–Farsta Strand

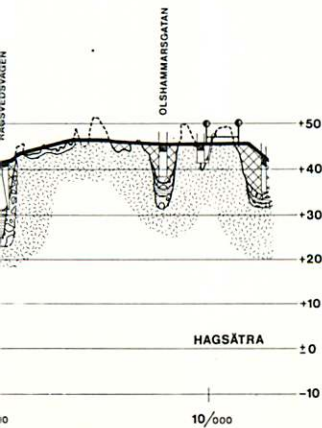
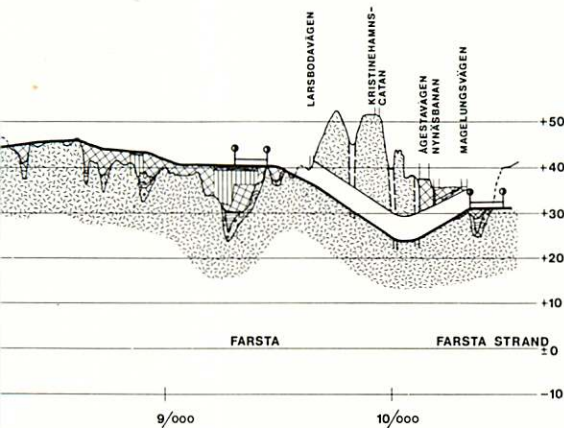


Profil Tb 1, Gullmarsplan–Hagsätra

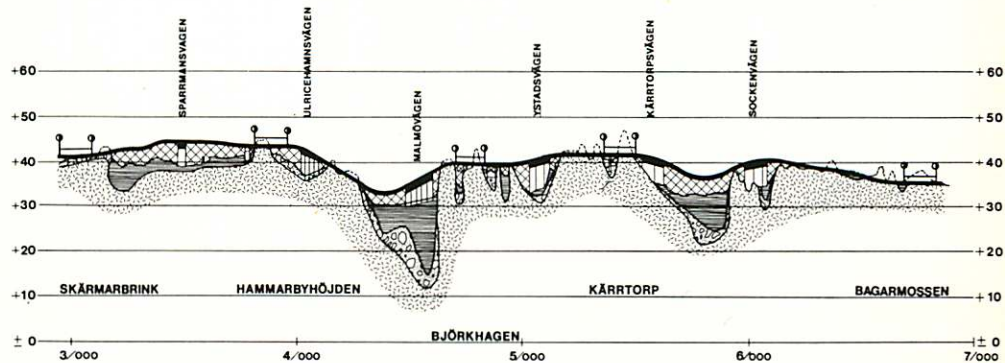




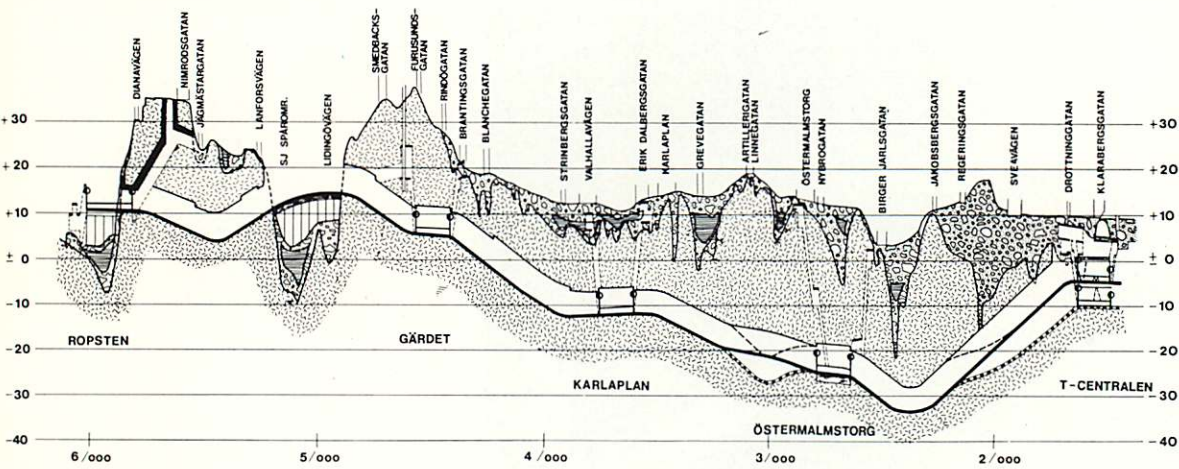
Farsta Strand, ytstation



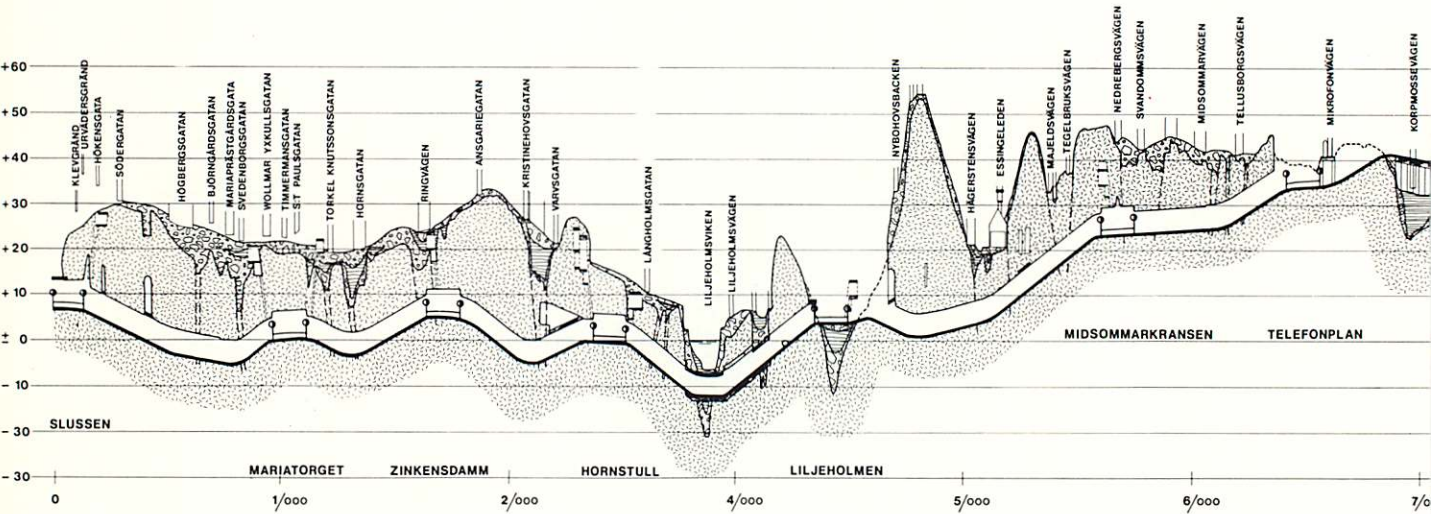
Profil Tb 1, Skärmarbrink–Bagarmossen



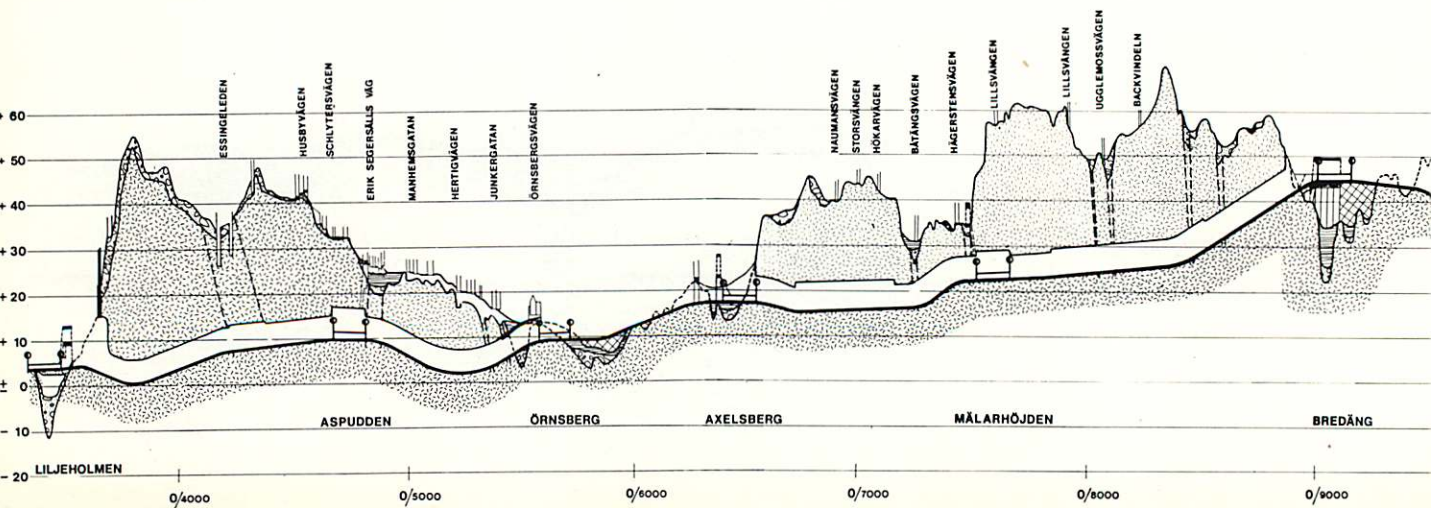
Profil Tb 2, Ropsten–T-Centralen



Profil Tb 2, Slussen–Früängen

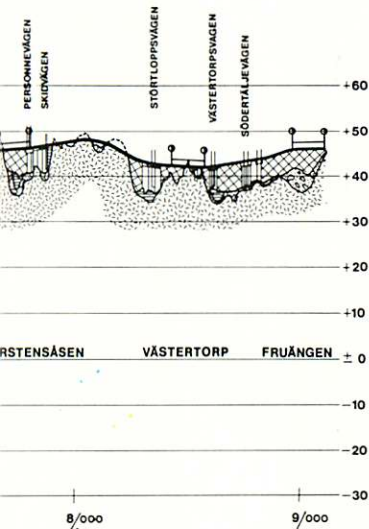


Profil Tb 2, Liljeholmen–Värberg



Tb2 – Ropsten

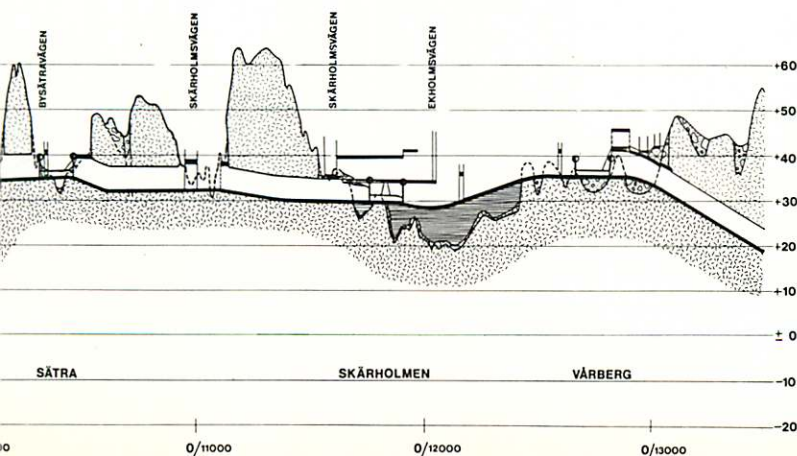
På sträckan Slussen–T-Centralen utfördes erforderliga byggnadsarbeten för det andra bansystemet i samband med byggandet av det första. Från T-Centralen fortsätter denna andra bana i bergtunnel mot Östermalmstorg. Den sträcker sig vidare i bergtunnel förbi Karlaplan och Gärdet och därefter på viadukt över Lidingövägen och SJ:s banområde intill Kungliga Tennishallen och i bergtunnel till Ropsten. Stationen ligger där delvis på viadukt och är utformad så, att bekväm omstigning kan ske till Lidingötågen. Spårläget medger, att banan i framtiden kan fortsätta på bro över till Lidingö. Intressanta byggnadsarbeten på denna bandel är bergtunnlarna mellan T-Centralen och Birger Jarlsgatan. För att klara vattentrycket inom vissa områden med dålig täckning och sprickrikt berg visade det sig mest lämpligt att förstärka dessa tunnlar med en cirkulär betonginklädnad med utvändig plåtsolering.



Tb2 – Fruängen och Vårberg

Från Slussen fortsätter andra bansystemet söderut mot Botkyrka och Fruängen. Banan ligger fram till station Liljeholmen helt under jord och till övervägande del i bergtunnlar. Intressant byggnadsobjekt är betongtunneln under Liljeholmsviken. Tunneln byggdes i torrdocka, flottades till byggnadsplatsen och sänktes där i tunnelläget. Vidare kan nämnas tunneln under Liljeholmsinfarten, som förspändes i längsled med kapselpressar av typ Freyssinet.

Från station Liljeholmen går Fruängsbanan fram till Telefonplan i bergtunnel och därifrån till Fruängen på öppen bana med undantag för en ca 400 m lång bergtunnel intill Västertorp. Botkyrkabanan har framförts från Liljeholmen, som ligger i markplanet, till Örsberg i bergtunnel och därifrån omväxlande på öppen bana och i bergtunnlar fram till Vårberg, där banans förlängning Vårberg–Norsborg vidtar. En kort betongtunnelsträcka finns vid Örsberg. Vid Skärholmen ligger banan på en längd av ca 500 m i betongtunnel, som delvis ingår i centrumbebyggelsens grundläggning. På samma sätt ingår en ca 300 m lång betongtunnel för tunnelbanan delvis i grundläggningskonstruktionen för Vårbergs Centrum.



Tb2 – Botkyrkabanan, förlängning Vårberg–Norsborg

Den nyaste delen av Botkyrkabanan söder om station Vårberg till Norsborg är 8,7 km. På sträckan finns sex stationer; Vårby Gård, Masmo, Fittja, Alby, Hallunda och Norsborg. Stationerna Masmo och Alby ligger i bergtunnlar, övriga stationer är friliggande på öppen bansträcka. Samtliga stationer har en enda biljetthall. Förbindelser till biljetthallarna har i flertalet fall anordnats från byggnadsområden på olika nivåer. Bland speciella problem och intressanta konstruktioner kan nämnas följande. I berget under Skärholmstippen sydväst om Vårberg fann man, när tunnelsprängningsarbetena slutförts, att det ovanligt rikligt inläckande vattnet var aggressivt och fläckvis angrep den sprutbetong, som obligatoriskt anbringas på bergtunnlarnas väggar och tak. De åtgärder, som vidtogs för att eliminera problemen beskrivs i särskilt avsnitt.

Tunnelinslaget norr om Vårbybäcken ansågs av stadsplanerarna speciellt känsligt ur estetisk synpunkt. I stället för sedvanliga motgjutningar på berget kring tunnelmyningarna har här utförts valvformade tunnelrör som sticker ut ett par meter utanför berget för att fånga upp eventuellt nedrasande grus och sten.

39 m lyfthöjd för rulltrappa

Station Masmo är utsprängd i berget. Plattformstunneln är utformad som en dubbelspårstunnel med en spännvidd som uppgår till nära 17 m. Biljetthallen ligger i berget delvis på ett betongdäck över spåren och entréhallen i en bergtunnel parallellt med spåren. Från biljetthallen leder en nu utsprängd men två ej inredd rulltrappstunnel upp till ett planerat bostadsområde på berget ovanför. Lyfthöjden blir 39 m, tunnelbanans hittills högsta. Trappschaktet har försetts med ett vilplan på halva höjden.

Speciella grundläggningsproblem uppstod vid utförandet av betongtunnlarna sydväst om stationen.

Mellan stationerna Masmo och Fittja framförs tunnelbanetågen på bro över Albysjön. Brons speciella grundläggningsproblem samt viadukterna på ömse sidor om station Fittja beskrivs i annat avsnitt.

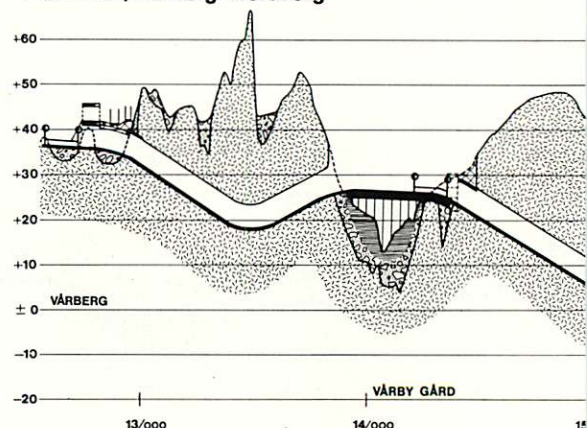


Berginslag norr om Vårbybäcken



Station Fittja, ytstation

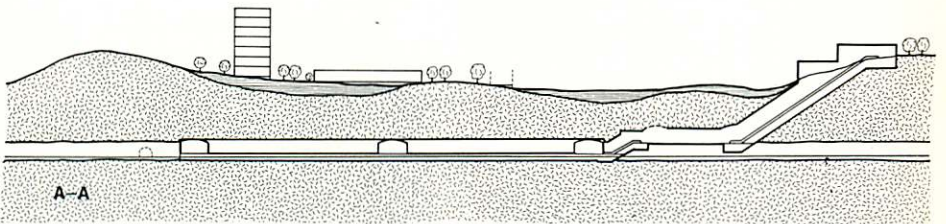
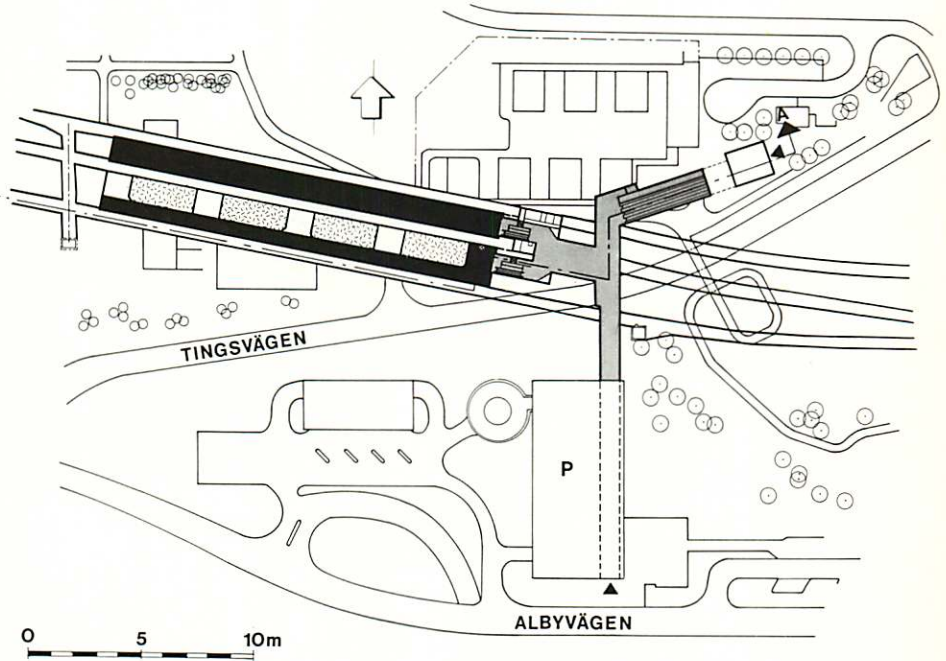
Profil Tb2, Vårberg–Norsborg



Station Alby är som redan nämnts helt placerad i berg. Bergundersökningarna visade, att det parti av berget, där biljetthallen planerats att sprängas ut var av mycket dålig beskaffenhet. Ett förslag att spränga bort den dåliga bergtäckningen och utföra biljetthallen som betongkonstruktion i anslutning till en parkeringsbyggnad måste förkastas på grund av att tidplanen för bebyggelsen på Albyberget därvid ej skulle kunna hållas. Hela banan flyttades i stället ca 20 m norrut, varigenom möjligheter skapades att spränga ut biljetthallen i berget som tidigare planerats. Vid stationerna Hallunda och Norsborg utformades de bärande balkarna för spårviadukterna över biljetthallarna samt intilliggande stödmurars överdel så att de samtidigt gör tjänst som bullerbarriärer mot den på andra sidan Hallundavägen liggande bebyggelsen.

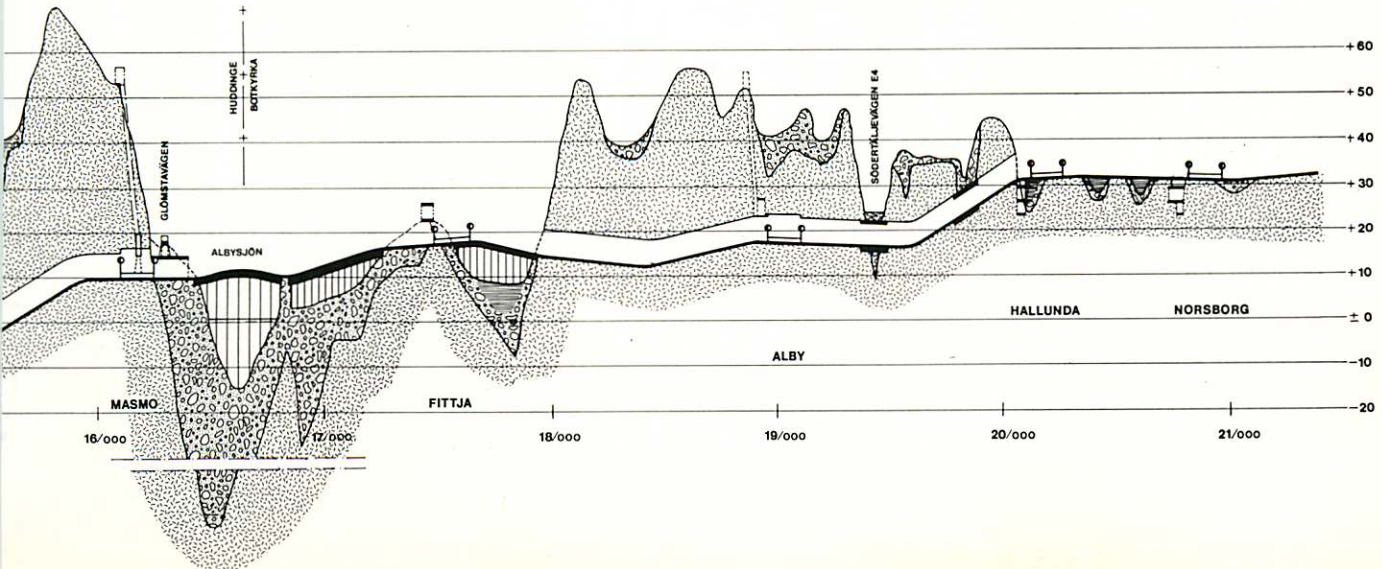
Förrädisk jordlagerföljd

På den öppna sträckan Hallunda–Norsborg bestod jordlagerföljden av lera täckt av svallgrus. Åtgärder för att öka banvallens stabilitet och minska sättningarna har därför utförts inom två avsnitt. På det ena stället bortschaktades leran ned till fast botten och ersattes med sprängsten. Inom ett annat område var djupet till fast botten större, varför ett pålat betongdäck utfördes under en del av banken. Även i anslutning till station Hallunda krävdes åtgärder. Sättningskillnader mellan plattformens pålade och opålade del skulle annars ha uppstått. Urschaktning av lera och återfyllning med sprängsten har därför utförts. På sistnämnda sträcka gav vintertid ut-sippande vatten från den frilagda



Station Alby

bergväggen och slänterna intill banan upphov till kraftiga svallisbildningar. Omfattande arbeten för att eliminera dessa olägenheter har därför måst utföras.



Tb 2 – Täbybanan, Östermalmstorg–Mörby Centrum

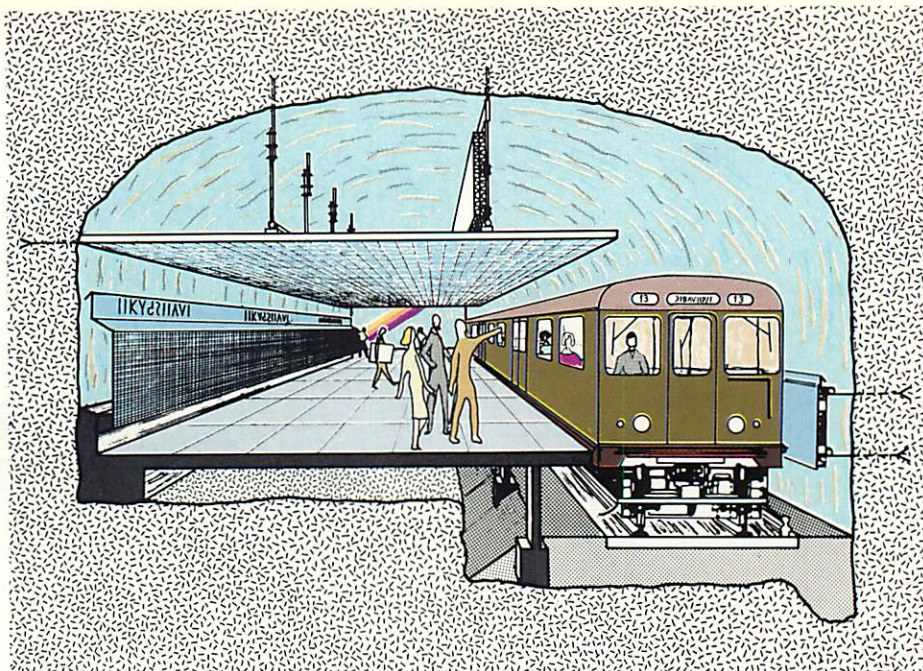
Täbybanan går från station Östermalmstorg till station Mörby Centrum, där den tv får sin slutstation. Sträckan är ca 8,7 km. Sex stationer finns på delsträckan: Stadion, Tekniska Högskolan, Universitetet, Bergshamra, Danderyds sjukhus och Mörby Centrum. Samtliga stationer ligger i berg med undantag för station Danderyds sjukhus, som ingår i en betongtunnelsträcka. Samtliga stationer utom Danderyds sjukhus har eller förbereds för vardera två biljetthal-lar.

Under Älkistan har bergtunneln utförts på sådant djup, att en framtida fördjupning av kanalen till 7 m är möjlig utan att man behöver göra avkall på minimikravet på erforderlig bergtäckning, ca 7 m. Detta har skett med hänsyn till de vattenvårdande myndigheternas önskan att framdeles kunna öka vatten-cirkulationen och därmed förbättra Brunnsvikens vatten.

Station Bergshamra skulle enligt de första planerna få endast en biljetthall i anslutning till Bergshamra Centrum. Söder om Bergshamraleden mot Brunnsviken ligger ett markområde som ägs av staten och är avsett för bebyggelse, troligen för studentbostäder. För att betjäna detta område beslöts 1971, att även en andra uppgång från stationen skulle projekteras. Denna skulle läggas i nära anslutning till en bussangöringsplats på Bergshamraleden. Då premisser ännu ej förelåg utfördes endast den under Bergshamraleden liggande biljetthallskonstruktionen. Denna utformades så att gångtunnlar, trappanläggningar och hisschakt kunde byggas, när färdiga planer för trafikleder och bebyggelse föreligger. Ungefär samtidigt aktualiserades från brandmyndigheterna i Storstockholmsområdet krav på nödutgångar från alla underjordsstationer med endast en uppgång. Denna andra uppgång kommer nu att tills vidare användas som nödutrymningsväg.

Bro över Stocksundet

Tunnelbanans korsning med Stocksundet mellan stationerna Bergshamra och Danderyds sjukhus hade i utredningsplanen föreslagits ligga på bro med en fri segelhöjd av ca 6 m. Efter invändningar från sjöfartsintressenter, naturvårdsverket, berörda fastighetsägare m fl utreddes flera andra alternativ till banprofil i denna korsning i samband med att ärendet fördes upp inför vattendomstolen. Ett förslag med en yttlig tunnel, som medgav ett djup av ca 4 m,

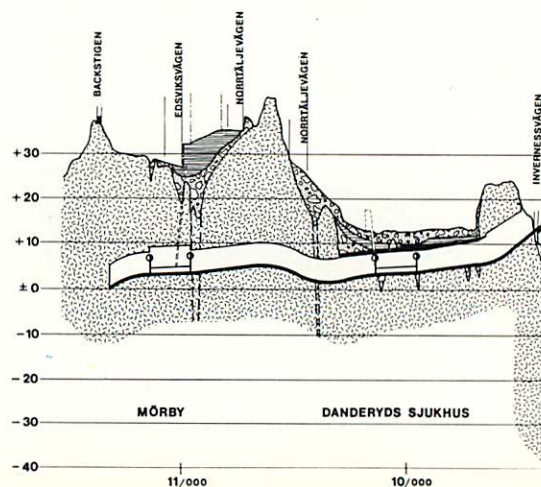


Bergstation, tvärsnitt, modern

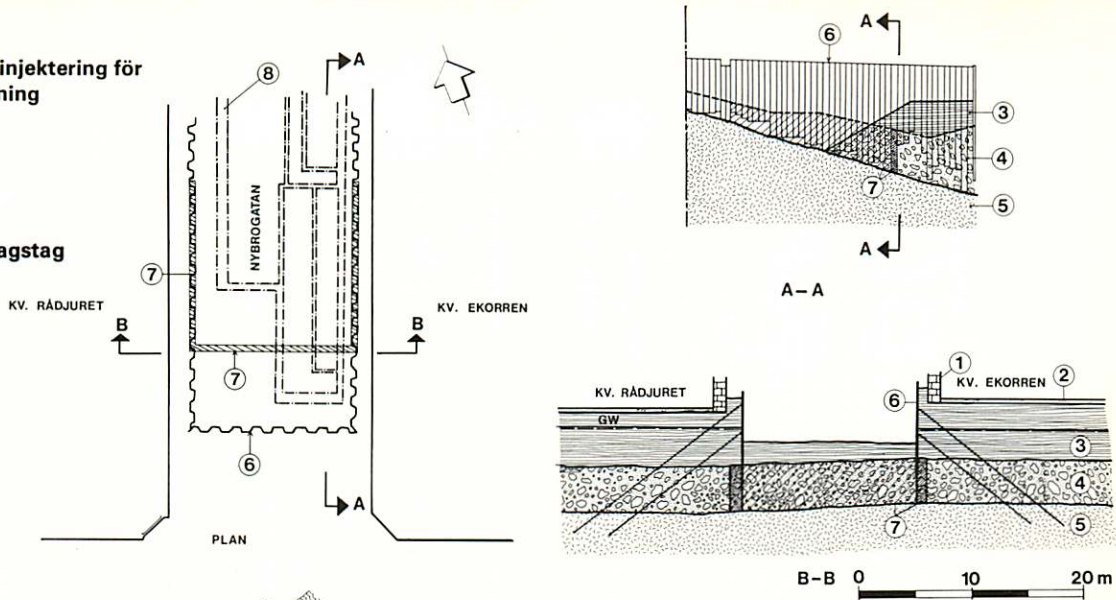


Station Stadion, uppgång Nybrogatan

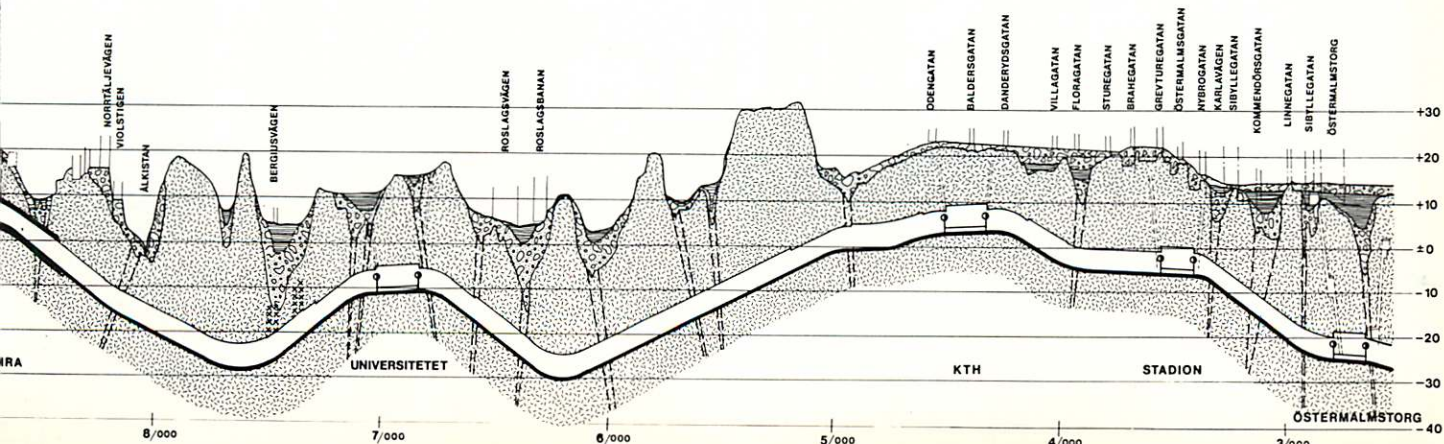
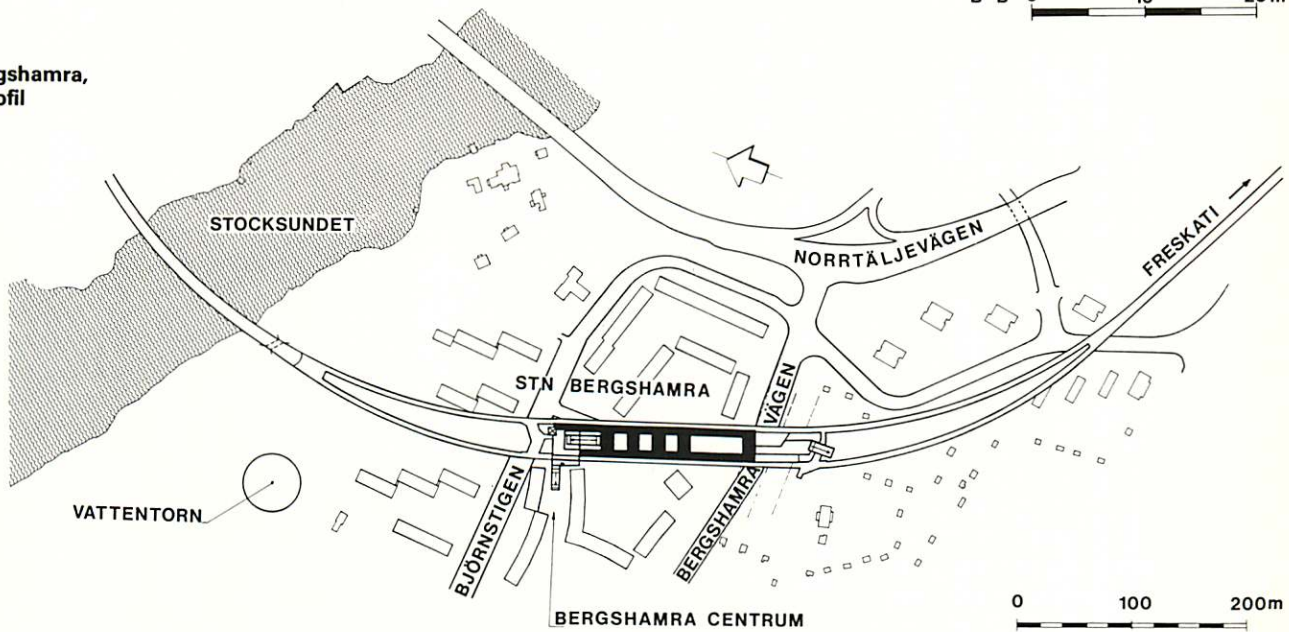
Profil Tb 2, Mörby C–Östermalmstorg



- Station Stadion,
Uppgång i Nybrogatan. Jordinjektering för
att minska grundvattensänkning
- 1 Stenmur (källarvägg)
 - 2 Betonggolvet
 - 3 Lera
 - 4 Morän
 - 5 Berg
 - 6 Stålspons Larsen II med dragstag
 - 7 Jordinjektering
 - 8 Betongkonstruktion



Station Bergshamra,
plan och profil



godtogs ej av de vattenvårdande myndigheterna med hänsyn till att vattenbeskaffenheten i Edsviken i framtiden skall kunna förbättras genom ökad vattencirkulation mellan Edsviken och Värtan, varvid sundet måste kunna fördjupas. Ett förslag till tunnel, som medgav ett vattendjup av 10–12 m förkastades bl a med hänsyn till de höga kostnaderna. Stationerna i Bergshamra och vid Danderyds sjukhus skulle dessutom få läggas på stora djup under markytan, vilket skulle innebära olägenheter för trafikanterna. Slutligen undersöktes också ett högbroalternativ med samma segelfria höjd, ca 13 m, som för landsvägsbron över Stocksundet. Detta förslag fastställdes av vattendomstolen i september 1970.

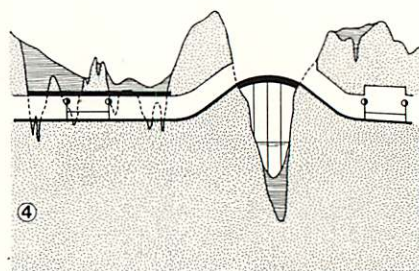
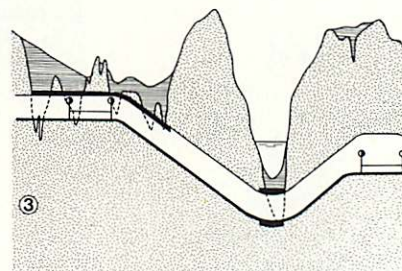
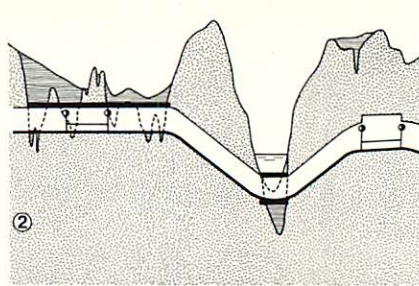
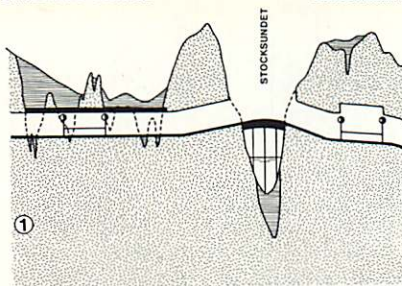
Danderyds sjukhus

Sträckan förbi Danderyds sjukhus var på ett tidigt stadium föremål för omfattande diskussioner. Ett förslag innebar, att banan skulle ligga under parken väster om sjukhusets huvudbyggnader och ha en station mellan sjukhuset och Mörby Centrum. En sydlig uppgång skulle då ha kunnat betjäna sjukhuset och en nordlig uppgång Mörby Centrum. Ett annat förslag – det som nu genomförts – innebär den för såväl sjukhuset som för bebyggelsen öster om Norrtäljevägen bekvämare lösningen.

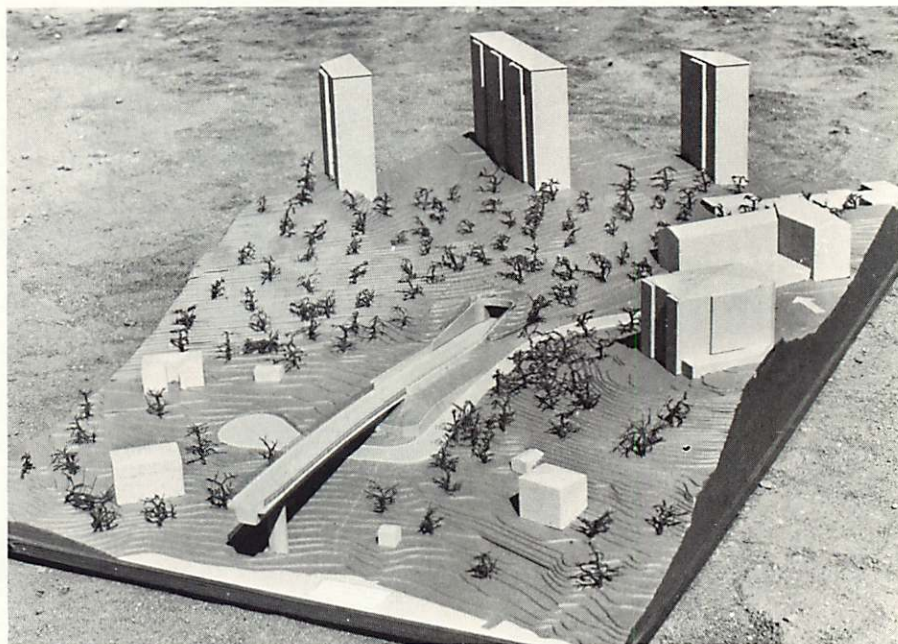
Vid byggnadsarbetena för tunnlarna har man tvingats ta speciell hänsyn till vissa känsliga avdelningar på sjukhuset. Bland annat kan nämnas, att spottslagningen utanför kvinnokliniken skedde bakom bullerdämpande skär-

DANDERYDS SJUKHUS

BERGSHAMRA



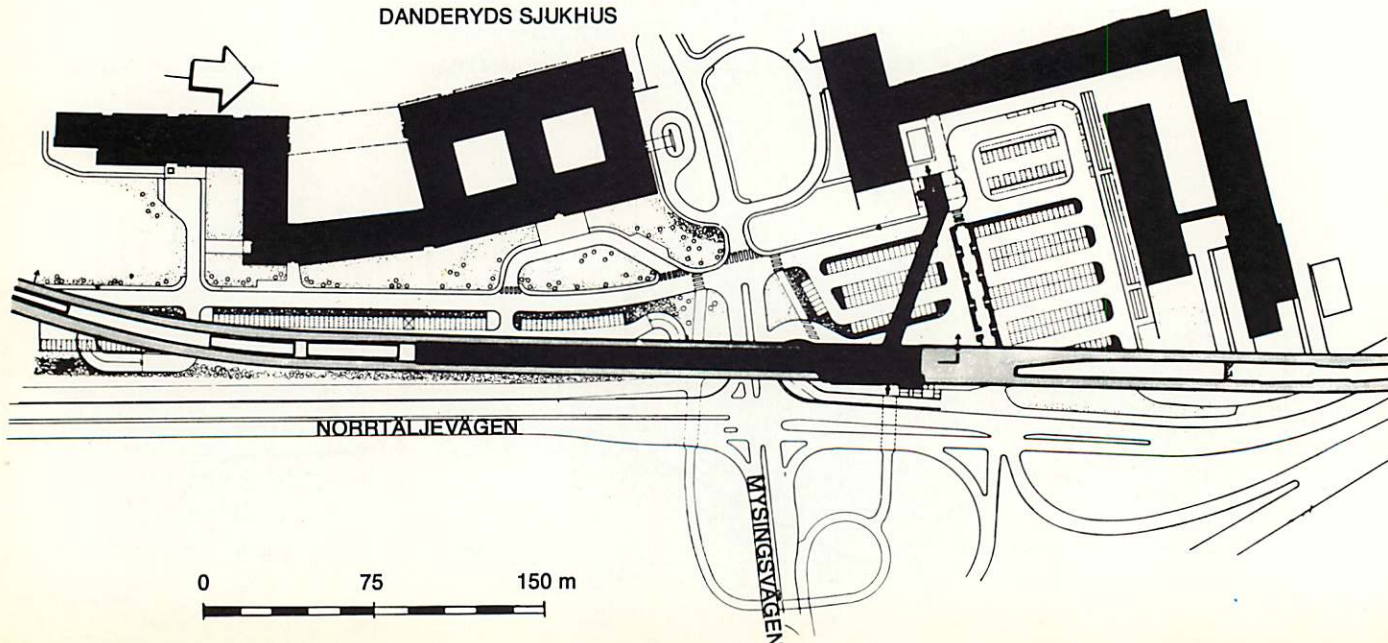
Korsning med Stocksundet, 4 alternativ



Danderyds sjukhus, plan

Inverness, modellfoto, berginslag

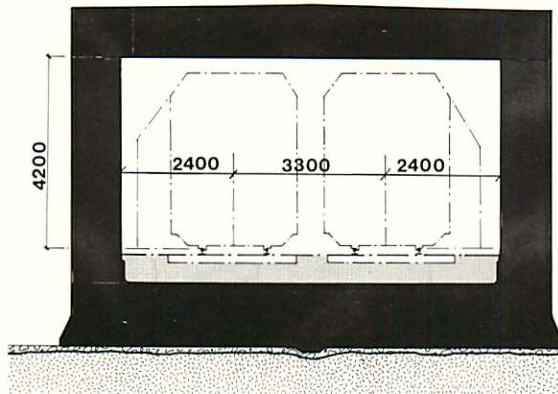
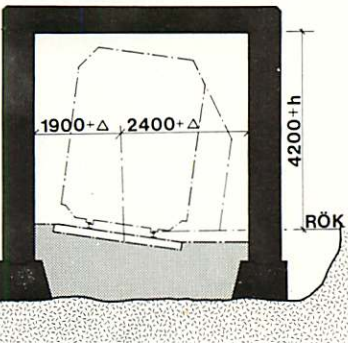
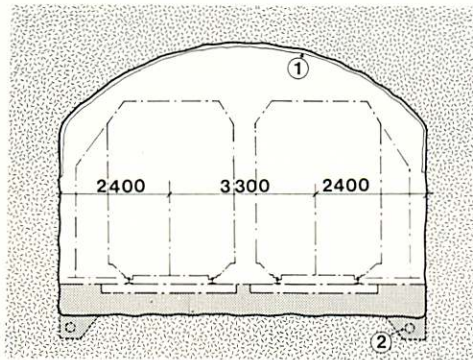
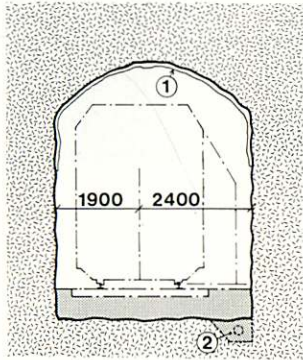
DANDERYDS SJUKHUS



mar, att byggnadsarbeten endast pågick under dagtid och att sjukhusets ledning hade rätt att begära, att arbetena avbröts i samband med speciellt krävande operationer.

I en våning mellan markytan och plattformstunnlarna på stationen har för sjukhusförvaltningens räkning utförts ett underjordiskt parkeringsutrymme, som sammanbyggs med tunnelbanan. På vissa delar av det därför avsedda däckat har man anlagt jordvallar, som skall minska bullerstörningarna från trafiken på Norrtäljevägen.

Normalsektioner, moderna (Järvabanan)



Tb3 – Järvabanan, Kungsträdgården–Västra Skogen

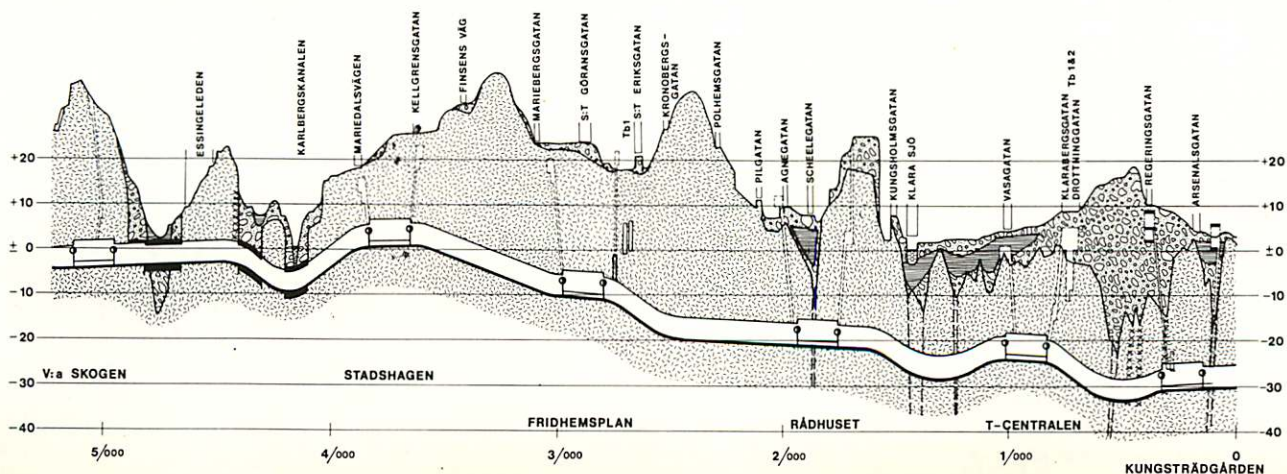
Innerstadsdelen av Tb3, Järvabanan, och sträckan Karlbergskanalen – station Västra Skogen, 5,1 km, är nästan helt förlagd i berg. På denna del finns sex stationer: Kungsträdgården, T-Centralen, Rådhuset, Fridhemsplan, Stadshagen och Västra Skogen. Plattformstunnlarna för samtliga dessa stationer ligger i berg och har inretts enligt SL:s nya principer. De fem första stationerna ligger i innerstaden och har vardera två

biljetthallar med undantag för station Fridhemsplan, som förutom förbindelse med de två biljetthallarna för stationen på Tb1 också har en tredje biljetthall. Station Västra Skogen har endast en biljetthall, som är utförd som friliggande byggnad i anslutning till en torgbildning. I övervåningen inryms där också ett ställverk och en driftscenar för tunnelbanetrafiken. Bland speciella problem under projektering och byggande kan följande nämnas.

Mellan Rådhuset och Kungsträdgården är bergets kvalitet på vissa avsnitt mycket dålig. Då banan på grund av djupa bergdepressioner under bl a Klara sjö, Brunkebergstorg och Kungsträdgården måste läggas på stort djup under markytan, skulle konventionella geotekniska undersökningar i tillräcklig omfattning bli svåra och kostsamma samt knappast ge tillräcklig kännedom om bergkvaliteten. Man avsåg därför till en början att i tunnelläget utföra en sonderingstunnel på liknande sätt som för Östermalmstunneln på Ropstensbanan för att därigenom bättre kunna bedöma lämpliga arbetsmetoder. En preliminär arbetsplan för en sådan sonderingstunnel utarbetades. Efter kompletterande geotekniska undersökningar beslöt man 1967 i samråd med geoteknisk expertis att driva tunnelsprängningarna i full spårsektion och från tunnelfronten göra sonderingsborrningar med bl a kärnborrhål genom de nämnda kritiska avsnitten. Detta arbetssätt gav lägre byggnadskostnader.

Station Kungsträdgården är tv bangrenens ändstation i City. Projekteringsarbetet blev komplicerat och tidsödande beroende på de många aspekter och intressen som måste beaktas.

Profil Tb3, Västra Skogen–Kungsträdgården



Riskfylld arbetsplats

Alla tre banorna ligger inom Nedre Normalm på långa sträckor djupt under nollplanet. Med hänsyn till bergkvaliteten och närheten till Strömmen och Saltsjön kunde man ej helt utesluta risken för betydande vattenläckage eller till och med vattengenombrott i samband med att sprängningarna för station Kungsträdgårdens rulltrappschakt, kabelschakt och rökschakt fördes genom bergytan upp i de lösa jordlagren. Därför beslöts, att inga sådana sprängningar skulle få utföras, innan man anordnat en skyddsport och skyddsväggar väster om de riskabla avsnitten. Dessa placerades i växelspårstunnlarna mellan T-Centralen och Kungsträdgården. Porten har hela arbetstiden hållits stängd utom vid passage av arbetsfordon eller personal. Även på andra avsnitt, exempelvis vid kabelschaktet i kvarteret Spektern och vid gångtunneln från plattformen mot kvarteret Jakob Större har sådana skyddsportar diskuterats men ej kommit till utförande.

Under Brunkebergstorg passerar en teletunnel så nära över den ena spårstunneln och under den andra, att betongkonstruktioner måste utföras med teletunneln i drift. Ca 30 m ensidigt vattentryck måste kunna upptas från dessa konstruktioners båda sidor.

Station T-Centralen och arbetsgången där beskrivs i särskilt avsnitt.

Vid T-Centralen anslutes plattformen via rulltrappor dels till befintlig biljetthall vid Drottninggatan, dels till en nybyggd biljetthall i Vasagatan. Genom en i berget utsprängd, rullbandsförsedd gångtunnel finns dessutom direktförbindelse med plattformarna för Tb 1 och Tb 2 i station T-Centralen.

Sträckan mellan T-Centralen och Rådhuset avsågs till en början utförd som två enkelspårstunnlar i berg med tanke på den ringa bergtäckningen under Klara sjö. Med hänsyn till att station T-Centralen under en övergångstid skall göra tjänst som slutstation under avvaktan på att station Kungsträdgården blir färdig, tvingades man emellertid utföra dubbelspårstunnlar på denna sträcka för att få möjlighet att lägga in övergångsväxlar mellan trafikspåren.

I samband med kompletterande bergundersökningar strax innan sprängningarna på Kungsholmen påbörjades upptäcktes en dithills okänd bergdepression under kvarteret Äpplet vid korsningen Scheelegatan–Bergsgatan, över station Rådhuset. För att över huvud taget få någon bergtäckning inom ett lokalt område tvingades man därför sänka banan under Kungsholmen med 3–4 m på en ca 600 m lång sträcka.



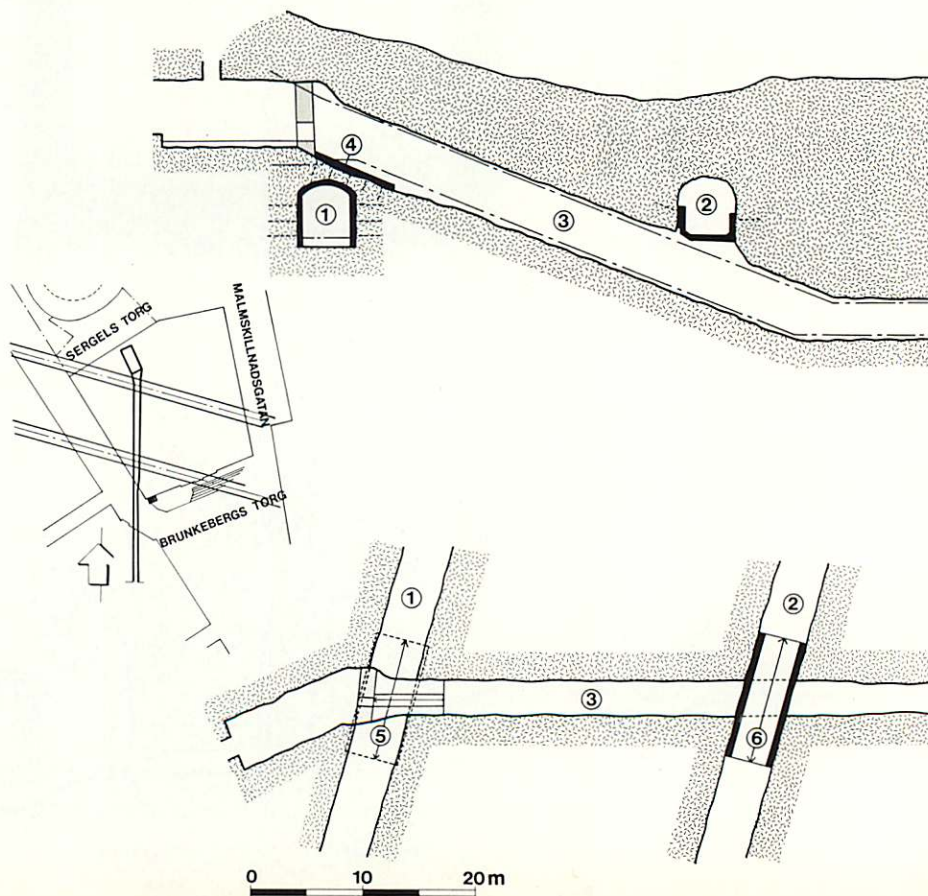
Station T-Centralen, skyddsport

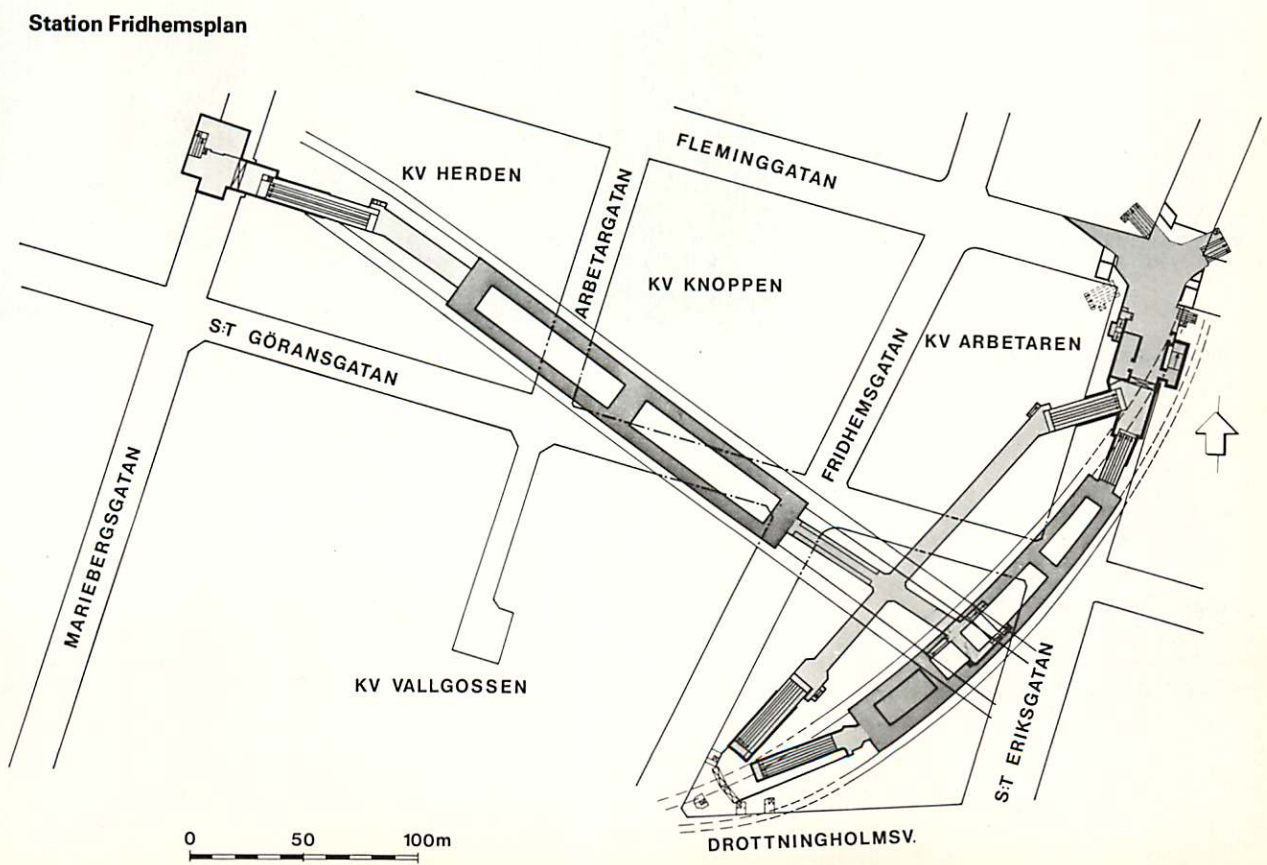
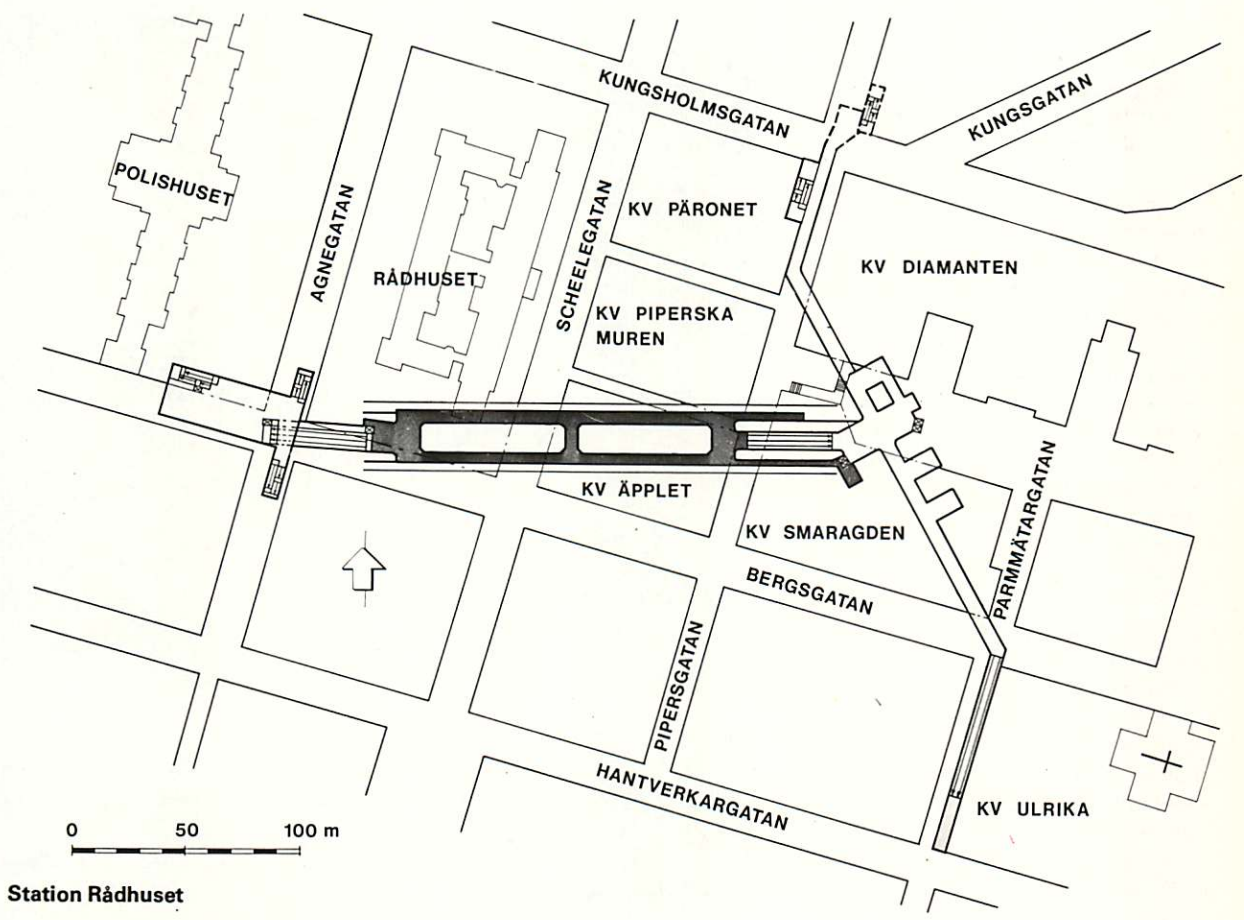
Tunnelbanans korsning med teletunnel vid Brunkebergstorg

- 1 Norra spårstunneln. Tb 3
- 2 Södra spårstunneln. Tb 3
- 3 Teletunnel (i drift)
- 4 Betongförstärkning och bultning i teletunneln

- 5 Betongförstärkning och bultning i norra spårstunneln
- 6 Betongtråg för södra spårstunneln över teletunneln

Samtliga betongförstärkningar konstruerade för 30 m vattentryck från ena eller andra tunneln.





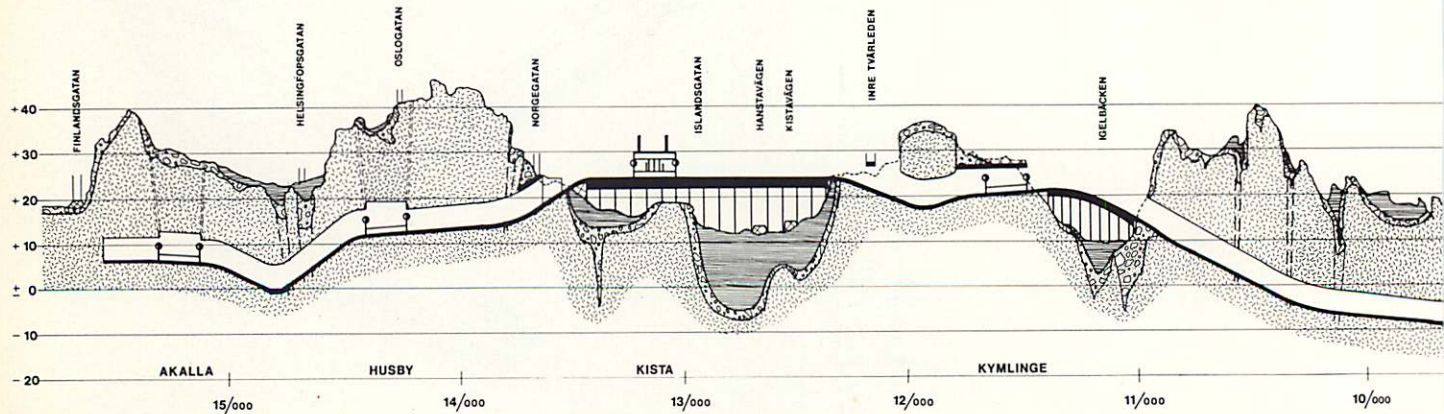
Vid station Rådhuset var vatteninläckningen genom berget otillåtligt stor, varför omfattande injekteringsåtgärder måste vidtagas. Trots detta har problem med grundvattensänkningar uppkommit inom området. Ombyggnaden av gamla stationen Fridhemsplan samt byggandet av den nya stationen och underbyggnaden av gatukorset Fleminggatan–S:t Eriksgatan beskrivs närmare i särskilt avsnitt.

Tunnel under Karlbergskanalen

Tunnelbanans korsning med Karlbergskanalen utfördes med betongtunnel under kanalen. Tunneln byggdes i torrhet inom fångdammar. Trafiken på kanalen består huvudsakligen av sightseeingbåtar och mindre fritidsbåtar samt till en mindre del av gruspråmar till en murbruksfabrik intill Klara sjö. Grustransporter på lastbil bedömdes ej medföra nämnvärt större kostnader för murbruksfabriken och nöjestrifiken kunde utan större nackdelar välja andra farleder. Man fick därför av vattendomstolen tillstånd att avstänga kanalen för sjötrafik under två vintersäsonger och mellanliggande sommarperiod. Ett alternativ som diskuterades var att över fångdammar och arbetsschakt lägga en akvedukt av stål, som kunnat släppa igenom småbåtstrafiken. Detta skulle dock medfört betydande kostnader. En ca 100 m lång betongtunnel vid »Talludden» strax norr om Karlbergskanalen ligger på stort djup under naturlig mark och har därför fått en överfyllning av upp till ca 10 m. På grund av att tunneln ligger under grundvattenytan har den måst utföras med sluten sektion och under hänsynstagande till risken för uppflytning.



Profil Tb3, Akalla–Västra Skogen



Bergsinslaget på norra sidan är utfört i en mycket hög, praktiskt taget lodrät bergvägg. För att undvika onödigt stort berguttag gjordes inslagsvalvet och den anslutande tunnelmonoliten mycket sneda i förhållande till banans riktning. Vid beräkningen måste hänsyn här till tas på i princip samma sätt som för sneda broar, vilket dock i detta fall blev komplicerat med hänsyn till den stora ständiga lasten.

Under den sk Ekelunds dalen i Solna ligger banan i en ca 170 m lång betongtunnel helt under grundvattenytan. På grund av spårsystemets utformning har den uppdelats i en-, två- och trespårstunnlar. Grundläggningen har huvudsakligen kunnat ske på berg, men en mindre del ligger på lösa jordlager. Bergtunnlarna övergår sedan i en ca 65 m lång bergskärning under ett planerat statligt nybygge. Över spåren utfördes här kraftiga bågar som grundläggning för denna byggnad, som dock i ett sent skede ställdes på framtiden. Vidare har speciella anordningar vidtagits för att reducera vibrations- och bullerstörningar i denna byggnad.

Tb 3 – Järvabanan, Västra Skogen – Hallon- bergen – Rinkeby – Hjulsta

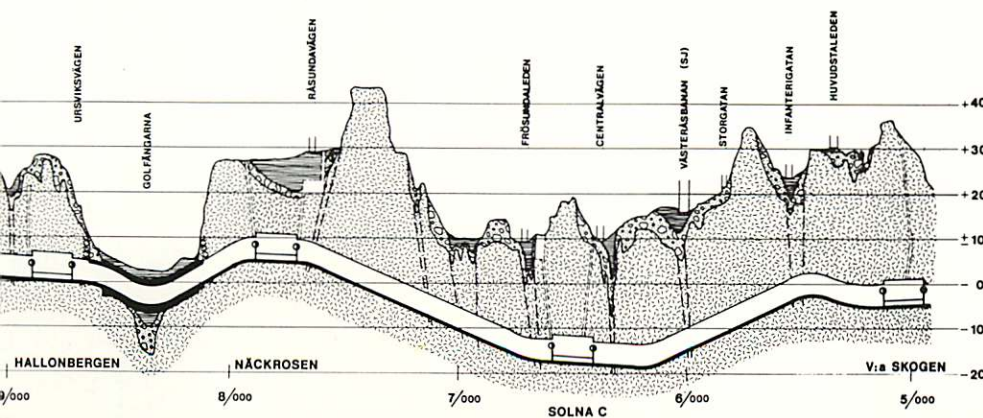
Denna sträcka är 9,2 km. På bandelen finns utom Västra Skogen sex stationer: Solna Centrum, Näckrosen, Hallonbergen, Rinkeby, Tensta och Hjulsta. Samtliga plattformstunnlar ligger i berg. Solna Centrum, Näckrosen och Tensta har två biljetthallar vardera, övriga stationer endast en. Av biljetthallarna är två förlagda under gatumark, nämligen Solna Centrum norra och Näckrosen södra. Tensta norra biljetthall ligger i berg på plattformsplenet. Två biljetthallar ligger som friliggande byggnader, Solna Centrum södra och Tensta södra. Övriga har förlagts i eller i anslutning till husbebyggelse, Näckrosen norra i anslutning till ett mindre förtorssentrum, Hallonbergen i anslutning till ett inomhustorg, Rissne i en varuhusbyggnad och Hjulsta intill ett parkeringshus.

Bland speciella problem under projektering och byggande kan följande nämnas.

Plattformstunnlarna för station Västra Skogen överkorsades av en dagvattentunnel, som skar igenom stationstunnlarnas övre del. Dagvattentunneln måste därför flyttas söderut, så att korsningen hamnade över spårtunnlarna, som har en lägre sektion. Därigenom skapades utrymme för de erforderliga betongkonstruktionerna, bestående av på bågar grundlagda betongtråg över de tre spåren. Trågen tätades med rhexpanolisolering och anslöts väl till berget. Flyttningen medförde utsprängning av en ny dagvattentunnel på en sträcka av ca 230 m, som måste utföras med den gamla tunneln hela tiden i drift.

Ekelunds dalen, översikt av betongtunnel

Betongbågar för blivande kontorshus i Ekelunds dalen



Värdefulla träd sparas

I utredningsplanen förutsattes för station Solna Centrum ett ytligt läge med betongtunnlar under Stadsberget, Skytteholmsparken. Förslaget innebar, att arbetet skulle utföras från markytan. Solna kommuns myndigheter motsatte sig förslaget, som bl a skulle innebära, att en vacker dunge av stora ekar måste fällas. Banan förlades därför i stället i djupläge. Höjdskillnaden mellan plattform och markyta är så stor som ca 28 m på grund av ett par djupa bergsänkor norr och söder om stationen.

Vissa problem med grundvattensänkning under kvarteret Leoparden i Solna och därav föranledda infiltrationsförsök redovisas i ett särskilt avsnitt.

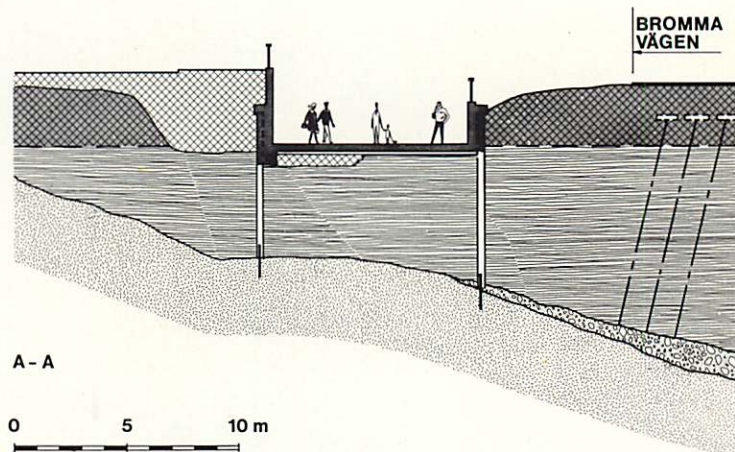
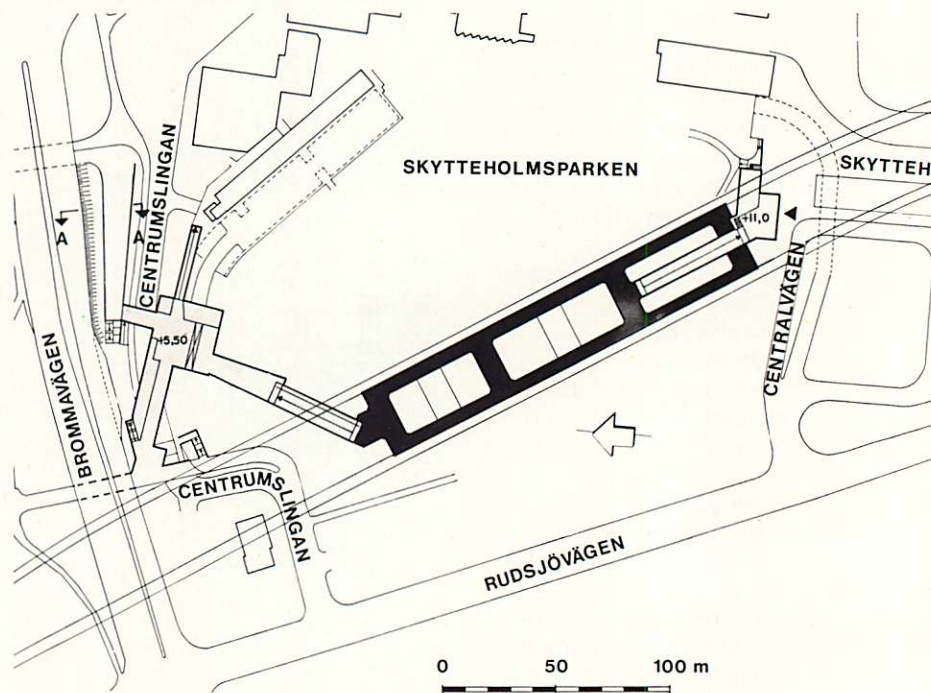
Vid station Näckrosen passerar stationstunnlarna rakt under Svensk Filmindustris inspelningsateljéer, som bedömts vara speciellt känsliga ur vibrations- och bullersynpunkter. Ca 450 m av tunnlarne har därför försetts med vibrationsisolering av i annat avsnitt beskriven mineralullsmatta.

Vid banans korsning med Golfängarna i Sundbyberg blev miljöaspekterna avgörande för banans placering i tunnel. Placeringen av station Hallonbergen föregicks av långa diskussioner med hänsyn till anpassningen till den under arbete varande stadsplanen för nyexploateringsområdet. De geotekniska undersökningarna blev omfattande genom att bergytans läge varierade starkt, varigenom erforderlig bergtäckning var svår att uppnå.

Vagn- och skötselhallar

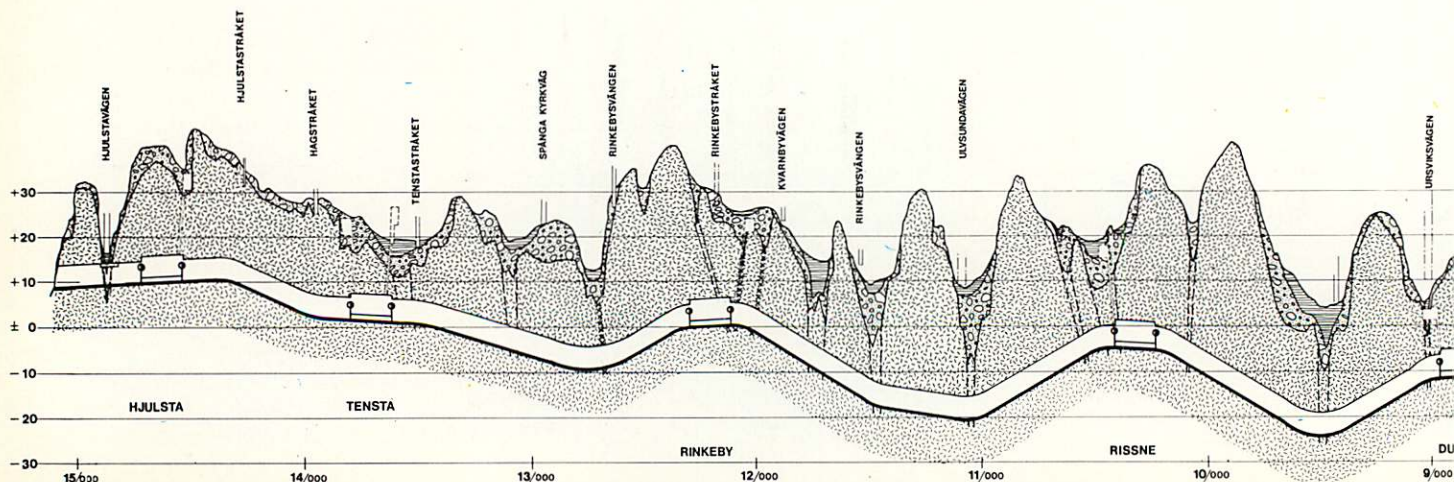
Mellan stationerna Hallonbergen på norra grenen och Rinkeby på den södra grenen ligger SL:s vagnhall och skötselhallar för betjäning av Järvabanans vagnpark. Vagnhallen ligger i bergtunn-

Station Solna Centrum, plan

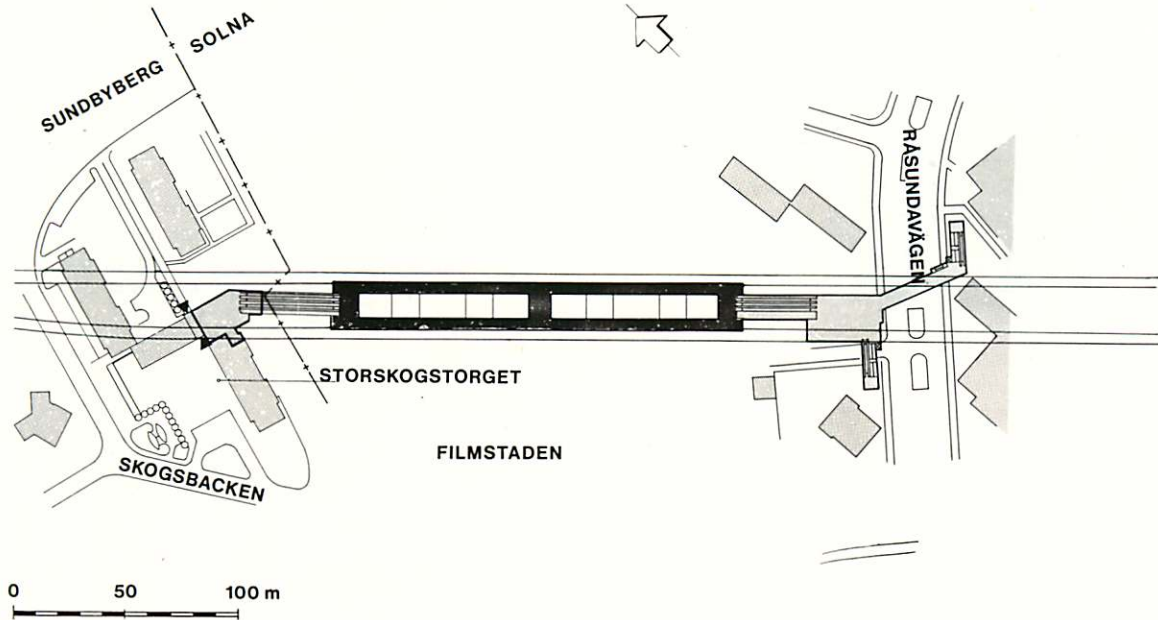


Profil Tb 3, Hjulsta-Sundbyberg-Västra skogen

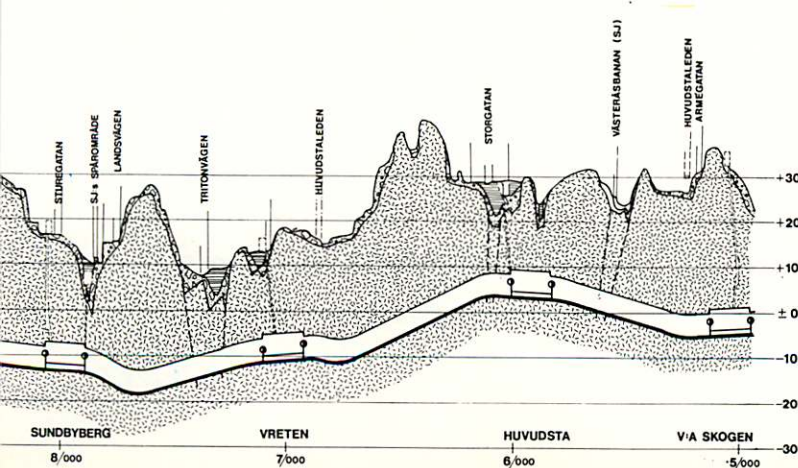
Station Solna Centrum, gångramp, tvärsektion



Station Näckrosen, plan



Tensta station, interiör

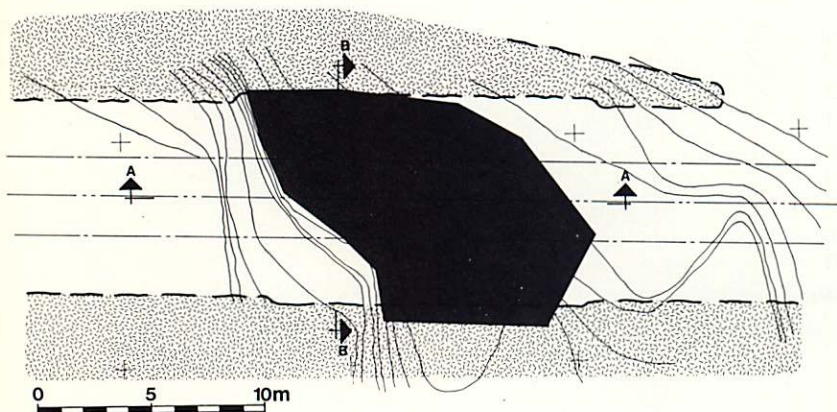


lar, medan skötselhallen ligger i det fria norr därom. Mellan vagnhallen och Hallonbergen på ena sidan och Rinkeby på den andra leder förbindelsespår. Då Järvabanans södra gren senarelades beslöt man att provisoriskt använda dessa spår som trafikspår för den först utbyggda sträckan Kungsträdgården–Västra Skogen–Hallonbergen–Rinkeby–Hjulsta.

På östra sidan av tunneln mellan Hallonbergen och vagnhallen finns en djup bergsvacka, varigenom en kort del av bergtunneln icke fick erforderlig bergtäckning utan måste förstärkas genom en betongpågjutning ovanpå berget. Inom f.d. Tygskolans område väster om vagnhallen har man vid passerandet av ett par dalgångar måst utföra tre betongtunnlar, därav två avsedda för det provisoriska trafikspåret och en för förbindelsen mellan vagnhall och skötselhall. Tunnelarna ligger helt under grundvattenytan och har därför utförts med sluten sektion och isolerats. Grundläggningen har kunnat utföras på berg och därför inte berett några speciella svårigheter.

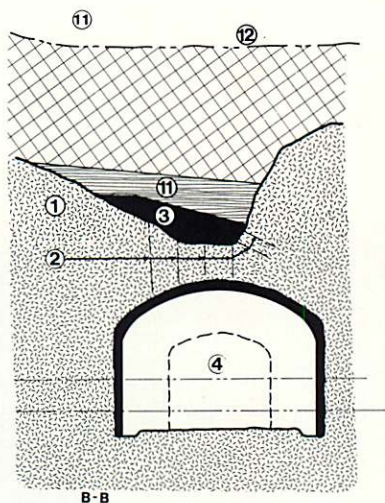
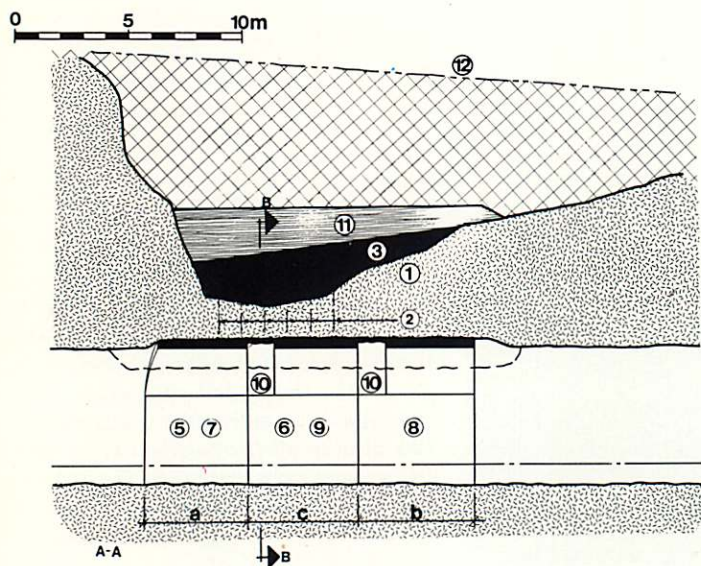
Ett besvärligt område för tunnelbanebygget var sträckan mellan Sundbybergsgården och Rinkeby, där bergets djup under markytan i den sk vattenledningsdalen framtvingade ogynnsamt stor lutning på en lång sträcka. Då station Rinkeby utformats som trespårstation för att möjliggöra tågvändning och då dessutom anslutningsspår

Bergsvacka vid Rissne vagnhall



Förstärkning av klen bergtäckning. Arbetsordning

- 1 Berget frilägges
- 2 Systembultning utförs
- 3 Betongförstärkning gjuts
- 4 Pilotunnel utsprängs
- 5 Monolit a borras och skjuts
- 6 Monolit c borras
- 7 Monolit a gjuts
- 8 Monolit b borras, skjuts och gjuts
- 9 Monolit c skjuts och gjuts
- 10 Bågdelen mellan monoliter sprutas
- 11 Betongen tätas med lös lera
- 12 Ursprunglig bergnivå återställs

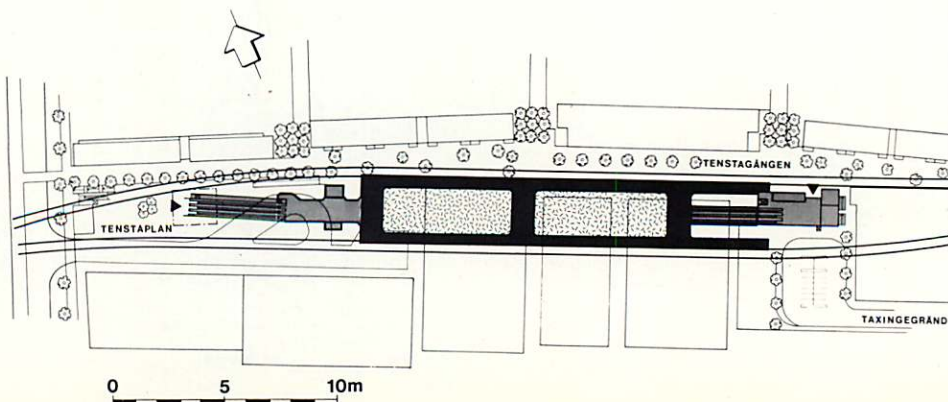


ren till vagnhallarna i Rissne utgår från stationen har man inom ett område med relativt svag bergtäckning tvingats lägga ett omfattande växelspårssystem med därav följande stora spännvidder, i några fall över 20 m.

Stadsplaneproblem vid station Tensta

Projekteringen av station Tenstas västra uppgång komplicerades bl a av stadsplanetekniska skäl. Efter långvariga diskussioner mellan berörda parter enades man slutligen om, att biljetthal-len lades i tunnel mellan spåren i plattformsplenet och att endast en mindre entrébyggnad till rulltrappor och hiss anordnades i anslutning till ett buss-torg. För att underlätta trafikanternas förbindelse med det på ett högre plan belägna gångvägsystemet måste hiss-förbindelse, rulltrappa och fast trappa anläggas mellan torgplanet och gång-vägen.

Station Tensta, plan



Tb 3 — Järvabanan, Hallonbergen–Akalla

Delsträckan har en längd av ca 6,7 km. Banan får fyra stationer: Kymlinge, Kista, Husby och Akalla. Station Kymlinge ligger i bergskärning som kommer att överdäckas och får endast en uppgång. Station Kista ligger på viadukt genom Kista Centrum. Stationerna Husby och Akalla har plattformstunnlarna liggande i berg. Båda stationerna får två uppgångar med spärrade linjer i markplanet och tillhörande personalutrymmen på plattformplanet. Vid station Akalla ansluter västra uppgången till en buss-terminal, som samprojekterats med övrig byggnation inom området.

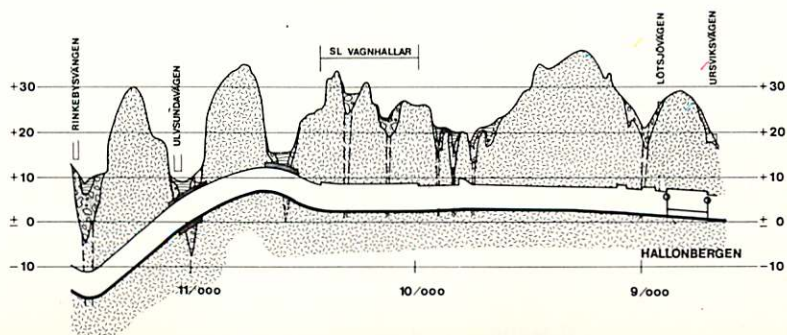
Enligt de ursprungliga planerna skulle hela sträckan ligga i tunnel men omprojekterades senare mellan Ursvik och västra delen av Kista. Den går nu på långa sträckor fram i ytläge samt på viadukter över Igelbäcksdalen och området kring station Kista.

Beträffande bansträckningen kan nämnas, att de största problemen varit av stadsplanenatur. De yttre delarna av sträckan betjänar Stockholms del av Järvafältet, där stadsplanearbetet redan tidigt var så långt framskridet, att banans läge i plan och profil kunde fastställas. På området mellan Ursvik och Kymlinge var däremot marken i statens ägo och avsikten var att dit förlägga diverse statliga institutioner med tillhörande bostadsområden. Genom riksdagsbeslut om utlokalisering från Stockholm av ett stort antal statliga verk ändrades förutsättningarna och förhandlingar upptogs mellan staten och Sundbyberg om överlåtelse av området för bostadsbebyggelse. Genom en överenskommelse mellan SLL, Statens Vägverk, Statens markdelegation och Sundbyberg fastställdes 1972 en plan och profil för banan, som skulle utgöra förutsättning för kommande stadsplanering.

Passage under E 18

Nära intill E 18 finns en djup svacka i berggrunden. Passagen under E 18 har efter noggranna grundundersökningar och i samråd med vägförvaltningen placerats på sådant djup under markytan och på sådan plats, att betongtunneln förbi svackan kunnat göras utan intrång i den nyanlagda Enköpingsvägen. För att tunnelinslaget skall komma tillräckligt långt utanför E 18 har spåren lagts i två enkelspårstunnlar. Grundvattnen ligger ungefär i markplanet och tunnarna har utförts med sluten sektion och isolerats med plastfolie. På bergtunnelsträckan mellan Kista och Akalla har stora problem varit att finna lämplig sträckning för spårstunnlarna med hänsyn dels till vissa besvärliga krosszoner och svackor i berget, dels till utförda och planerade tunnlar för el, tele, avlopp m m.

Profil Tb3, Hallonbergen–Hjulsta



9

Husbesiktningar, vibrationsmätningar och skadestånd

Husbesiktningar

Arbetena med Stockholms tunnelbanor har i stor utsträckning bedrivits i omedelbar närhet av bebyggelse. Risk för fastighetsskador har därför förelegat, vilket framtvingat ett särskilt husbesiktningsförfarande. Gatukontoret har för att kunna utreda och bedöma eventuella klagomål, skadeanmälningar och ersättningskrav besiktigt samtliga fastigheter inom den sk riskzonen dels före arbetenas igångsättande, s k förbesiktning, dels efter dessas avslutande, s k slutbesiktning. En eller flera mellanbesiktningar har även utförts av olika skäl under den tid arbetena pågått. De olika besiktningarna har dessutom kompletterats med provtryckning av rökgångar och kontroll av eldstäder. De vid husbesiktningarna upprättade protokollen har sammanställts till besiktningsinstrument, i två exemplar, ett för gatukontoret och ett för fastighetsägaren. Instrumentet innehåller fotografier av fasader m m, rumsbesiktningsprotokoll samt ritningar av varje våningsplan. Dessutom bifogas protokoll från skorstensfejarmästare över företagna undersökningar och provtryckningar. Rumsbesiktningsprotokollen har utformats som en schablon i vilken tak, vägg och golvyta i varje utrymme återges med resp rutor i vilka öppningar för fönster, dörrar etc är angivna och där sprickor m m är inritade med kodbeteckning för sprickvidd och för andra slag av skador. För fasaderna har fotografier använts som underlag och skadorna har inritats på dessa om de ej framgått av fotografierna direkt. De vid förbesiktningen iakttagna defekterna har markerats med svart och vid slutbesiktningen har de sedan föregående besiktningstillfälle inträdda förändringarna noterats med röd färg. Vid mellanbesiktning har någon annan avvikande färg använts, olika vid varje tillfälle.

Erfarenheten har visat, att riskzonen vid tunnelbanearbetenas utförande inom områden med tung bebyggelse sällan överstiger ett avstånd av ca 50 m från närmaste sprängningsplats. Inom områden med lätt bebyggelse vidgas riskzonen till ca 75 m.

Om undergrunden varit sättningsbenägen eller om risk för långvariga grundvattensänkningar förelegat har riskzonen ökat avsevärt, vilket nödvändiggjort besiktningar inom ett betydligt vidare område än vad som annars skulle

Sidoordnade arbeten

ha varit fallet. Besiktningsarbetet har också varit mycket omfattande av denna anledning. Antalet besiktigade fastigheter uppgår till ca 5 500. Därtill kommer ca 3 000 besiktningar med anledning av inkomna skadeanmälningar och krav. Sammanlagt har således ca 8 500 besiktningar utförts.

Vibrationsmätningar

I samband med tunnelbanearbetena har vibrationsmätningar utförts i närliggande fastigheter, varigenom kontroll erhållits på att arbetena bedrivits på sådant sätt att skadegörelse såvitt möjligt kunnat undvikas. Vid utvärderingen av de registrerade mätningresultaten har värden erhållits för amplitud, frekvens, acceleration och svängningshastighet. För byggnad som utsatts för en svängningshastighet understigande 50 mm/sekund föreligger i regel ej någon risk för skadegörelse. I särskilda fall måste emellertid hänsyn tas till bebyggelsens art och markens beskaffenhet. Där sprängningsarbeten bedrivits i omedelbar närhet av tex kyrkobyggnader eller annan känslig bebyggelse har svängningshastigheten 20 mm/s fått gälla som övre gräns. Åverkan på byggnaderna har då mestadels kunnat undvikas.

Där byggnader inom riskzonen inrymt, exempelvis elektriska mätinstrument datorer och liknande har hänsyn tagits även till dessa inredningsdetaljer vid sprängningsarbetenas bedrivande. Dessa objekt är känsliga för hög amplitud och acceleration. Förekomsten av datorer har under senare år blivit allt vanligare. Erfarenheten har visat att några komplikationer som följd av sprängningarna som regel ej uppstår om högsta tillåtna acceleration hålles under 0,25 g.

Mätning av sprängningsvibrationerna har skett dels för enstaka salvor, dels kontinuerligt genom självregistrerande instrument med upp till 12 s k givare, varigenom goda möjligheter funnits att följa upp sprängningarnas inverkan på kringliggande byggnader och omgivning.

Skadestandsfrågor

Trots att all tänkbar försiktighet iakttagits vid de olika tunnelbanearbetena har det ej helt kunnat undvikas att i vissa fall skador på byggnader uppstått som följd av vibrationer, sättningar eller olycksskott i öppna schakt, grundvattensänkningar m m. Å andra sidan kan förändringar ha uppkommit inom en byggnad under den tid tunnelbane-

arbetet pågått, vilka bevisligen berott på andra orsaker. Detta har föranlett omfattande utredningar av de skadeanmälningar och krav som inkommit. I de fall där företagna utredningar har visat, att tunnelbanearbetena orsakat skador på fastigheter har uppgörelse som regel träffats med motparten om en kontant ersättning i ett för allt, avseende full och slutlig gottgörelse för uppkommen skadegörelse. Endast i undantagsfall har kommunen i egen regi vidtagit direkta reparationsåtgärder i samband med fastighetsskador. När så skett har det mestadels varit fråga om brådskande preventiva åtgärder. En del skadekrav har bifallits och utbetalning av ersättningar har skett. Efter förhandlingar med motparten har i de flesta fall avsevärda reduceringar av de framställda kraven kunnat ske.

I enstaka fall har uppgörelse icke kunnat träffas utan ärendet har gått till rättslig prövning. Oftast har emellertid i dessa fall förlikningsuppgörelse kunnat träffas under processens gång.

Ett exempel på byggnad som drabbats av sättningsskador är centralstationsbyggnaden vid Vasagatan. Tunnelbanearbetena på denna plats var besvärliga beroende på mycket ogynnsamma markförhållanden. Skador på byggnaden kunde därför trots långtgående försiktighetsåtgärder inte helt undvikas. En del ärenden som avser fastighets-skador i samband med grundvattensänkningar är fortfarande föremål för utredningar. Dessa avser att klarlägga orsaken till grundvattensänkningarna och att klargöra i vad mån tunnelbanearbetena kan ha bidragit till uppkomna förändringar inom fastigheterna.

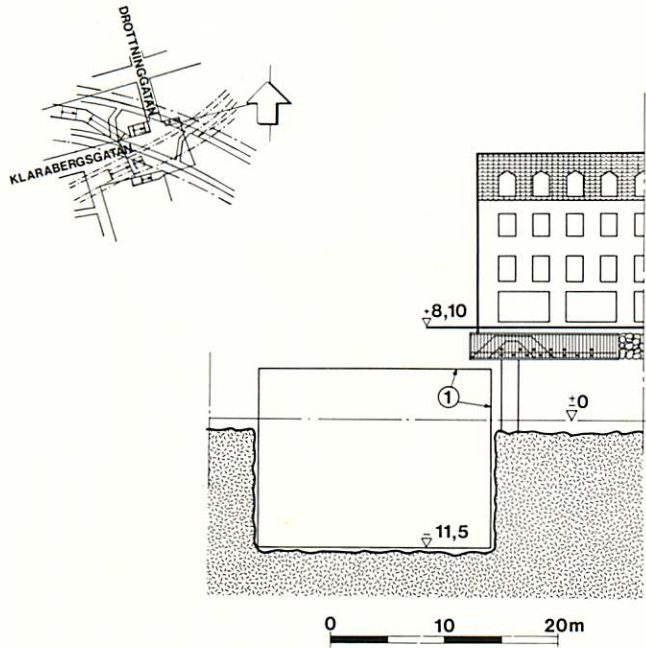
Slutligen kan nämnas, att vissa ersättningar i en del fall har utbetalats till affärsidkare som drabbats av intrång och omsättningsminskning, bl a i samband med ombyggnadsarbeten för iordningställande av tunnelbaneuppgångar inom fastigheter.

Husgrundförstärkningar, husavväxlingar

Där tunnelbanan har ett ytligt läge, som ofta är fallet vid det första tunnelbanesystemet, går den ibland fram under eller intill hus som grundlagts på lösa jordlager och på sådan nivå, att husens grundläggning kunnat störts. Därvid har något slag av förstärkningar måst utföras.

I några fall har husgrunderna utgjorts av kallmurar, som inte förts ner till berget. Sådana murar har förstärkts med en pågjutning av armerad betong och injekterats med cementbruk. Därefter

Kvarteret Gripen nr 2, grundplint



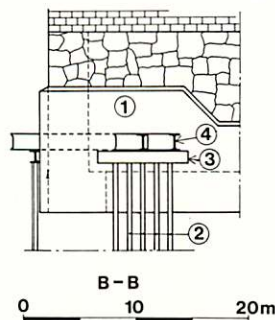
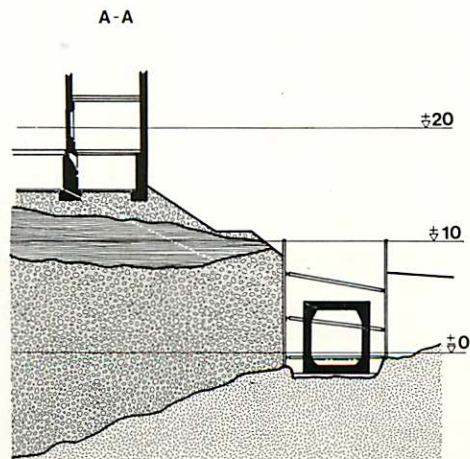
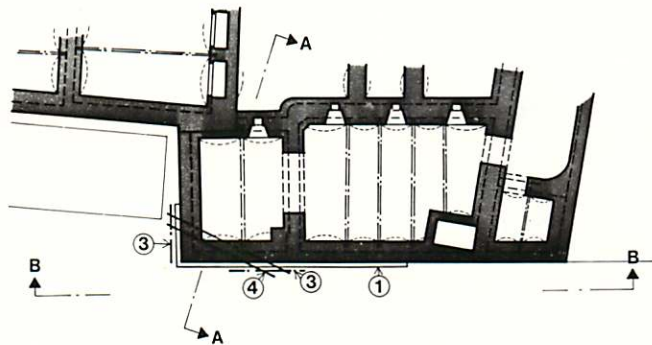
har stödplintar kunnat nedföras till berget. Som exempel kan nämnas kvarteren Kamelian 14 och Gripen 2.

På ett par platser kände man till, att husen i samband med saneringen av Nedre Norrmalm skulle rivas inom relativt kort tid. Husets undergrund bestod av åsgrus med insprängda lerkörtlar. Förstärkningen utfördes då genom att kallmuren kompletterades med en pågjutning och injektering enligt ovan. Genom ursparingar i pågjutningen och håltagningar i kallmuren monterades stålbalkar diagonalt genom hushörnen. Så nära intill husgrunden som möjligt slogs därefter rälsplåtar till fast botten, på vilka stålbalkarnas last nedfördes via hammarband av stål.

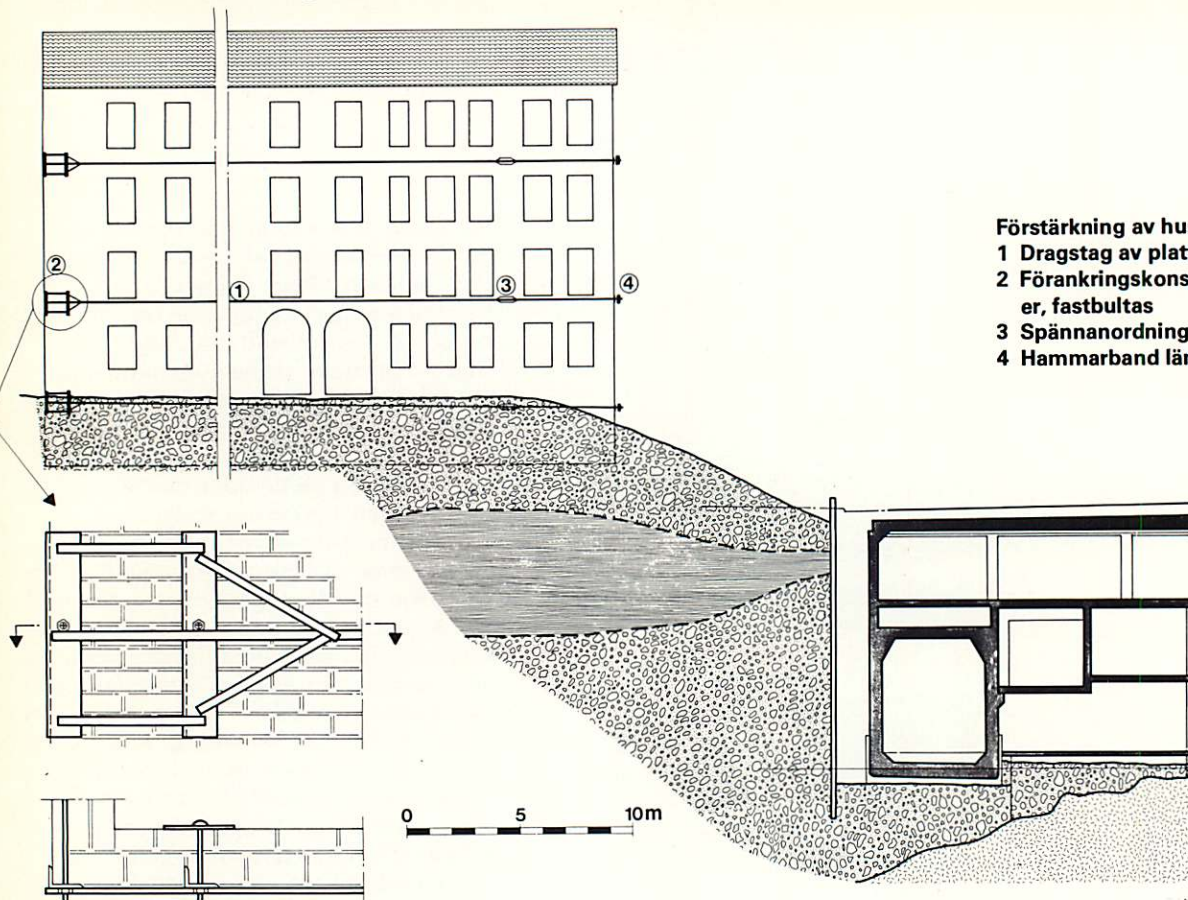
I ett annat fall med liknande grundläggning och undergrund skulle huset rivas inom ett par månader efter schaktens början. Det billigaste sättet att under denna tid hindra ett husras var, att huset helt enkelt knöts ihop med stålband. Vid Stadsbiblioteket och Handelshögskolan intill Sveavägen är grundmurarna utförda av betong. Jordlagrens tjocklek är så stort, att stödplintar ej kunde nedföras till berget. I lokala schaktgröpar under murarna förde man då ned plintar till betryggande djup under tunnelbanekroppens grundlägg-

Kvarteret Putten, grundförstärkning med rälsplåtar

- 1 Betongförstärkning av kallmur
- 2 Rälsplåtar
- 3 Hammarband Dip 25
- 4 Huvudbalkar Dip 45, kilade till full anläggning



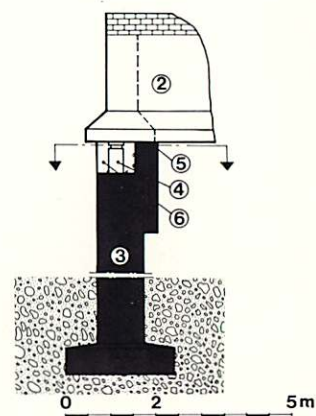
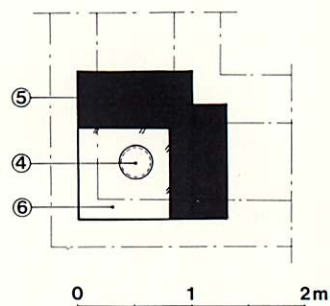
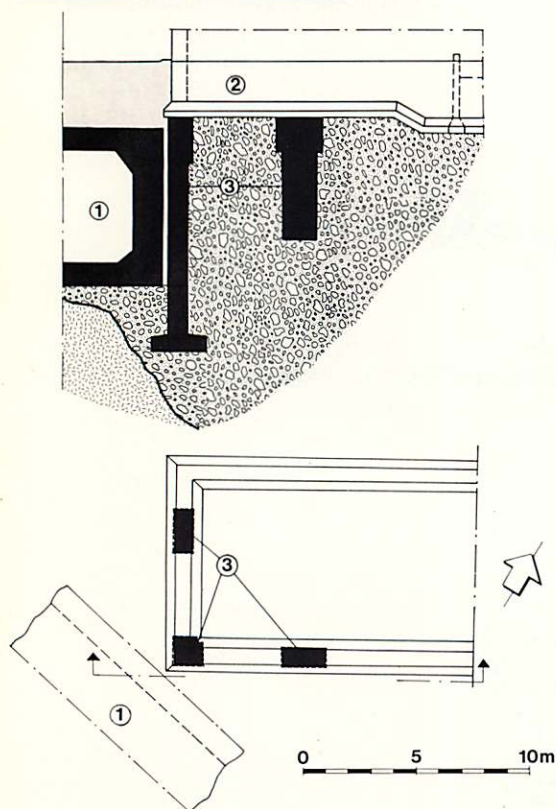
Kvarteret Putten, bandning av hus



Förstärkning av hus med dragstag

- 1 Dragstag av plattstål
- 2 Förankringskonstruktion av vinkelstänger, fastbultas
- 3 Spännanordning, vantskruv
- 4 Hammarband längs gaveln av U-profiler

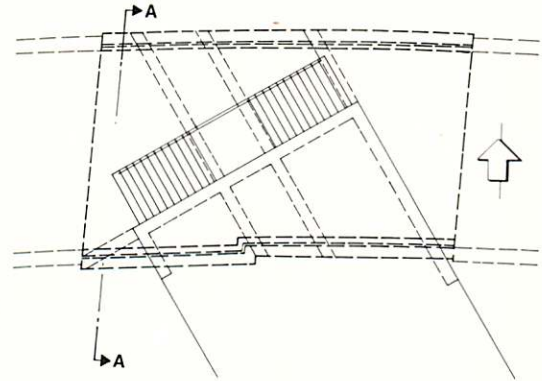
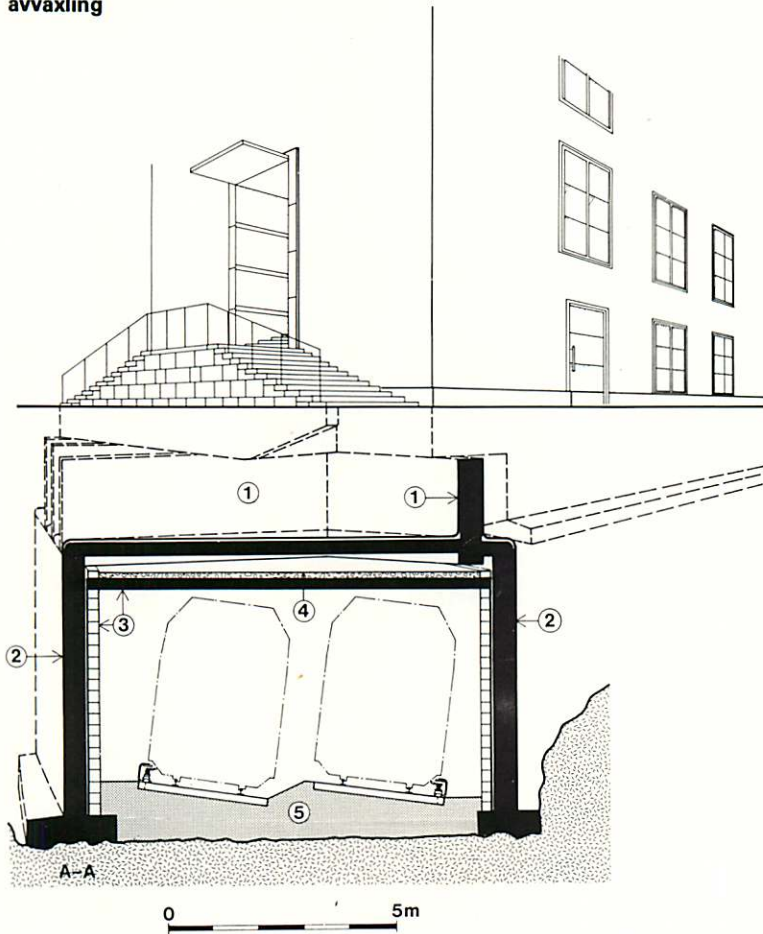
Stadsbiblioteket, grundavväxling



Grundförstärkning vid Stadsbiblioteket

- 1 Tunnelbanetunnel
- 2 Stadsbibliotekets grundmur
- 3 Förstärkningsplintar
- 4 Domkraft
- 5 Stoppling med torrt betongbruk, Domkraften under tryck
- 6 Igjutes med betong sedan domkraften avlägsnats

Fd Socialpolitiska Institutet vid Odentorget, avvaxling



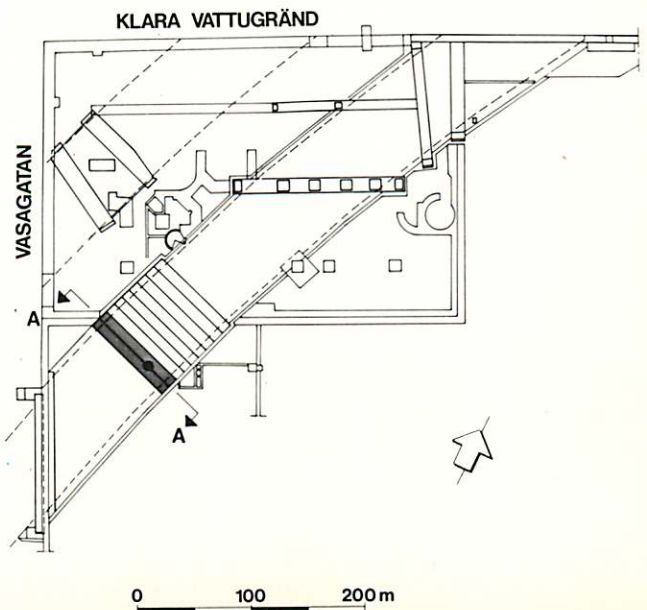
- 1 Husgrundavväxling
- 2 Bärande betongram
- 3 Bullerisolerande innerskal (murad vägg betongtak)
- 4 Sandfyllning
- 5 Ballast 1,0 m

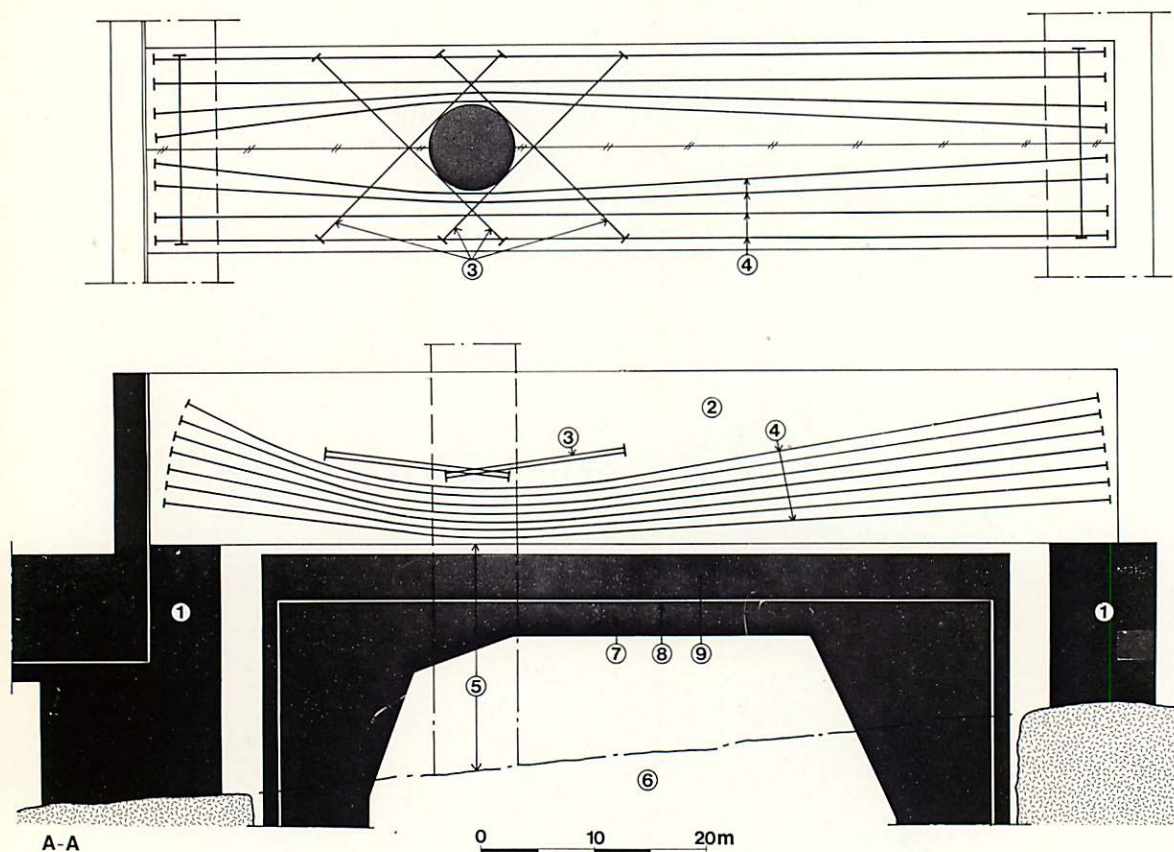
ning. Med domkrafter mellan grundmur och plintar överförde man därefter erforderliga krafter på plintarna tills sättningarna i grunden och formförändringarna i betongen upphört. Därefter kunde mellanrummet mellan plint och grundmur gjutas igen.

Vid några moderna husbyggnader av betong var det för undvikande av skador av speciell vikt, att lasterna kunde överföras till de nya grundkonstruktionerna utan att deformationer uppstod. I sådana fall har avvaxlingar utförts över den kommande tunnelkonstruktionen med platsgjutna spännarmerade balkar, som efterspännts så att deformationerna kompenseras. I kvarteret Uggleborg har sålunda två grundplintar mot Vasagatan avvaxlats på detta sätt liksom en pelare inne i huset.

Den nya SJ-tunneln under Södermalm, som byggdes för att bereda plats åt tunnelbanan på SJ:s gamla område vid Slussen och över Strömmen, passerar i kvarteret Dykärret Större under ett befintligt sexvånings bostadshus, som var grundlagt på pelarplintar till berg. Över tunneln fastgöts dessa i takplattan, varefter denna spändes upp enligt system Freyssinet till en last som motsvarade

Kvarteret Uggleborg, avvaxling, gatuliv





Avväxling av pelare i hus. Arbetsgång

- 1 Plintar utförs till berg på sidan av tunneln
- 2 Avväxlingsbalk gjuts runt pelaren
- 3 Förspänning av balken i tvärlid
- 4 Förspänning av balk i längdled
- 5 Pelaren bortbilas under avväxlingsbalk
- 6 Sprängning för tunneln
- 7 Betongtunneln utföres
- 8 Isolering
- 9 Skyddsbetong

husvikten. Därigenom avlastades de nedre delarna av pelarplintarna och de kunde bortbilas, utan att deformationer uppstod i huset.

Även kemisk jordinjektering har tillgripits, då det gällt att schakta sig ned intill fundament grundlagda på grus eller sand. Ett exempel på detta är jordinjekteringen vid Konserthuset, vilket mera utförligt redovisas i kapitel 9.

Ledningsomläggningar

Omfattande arbeten har utförts i samband med tunnelbanearbetena med omläggning av befintliga gas-, vatten- och avloppsledningar och speciella arbeten utförts bl a för avledning av dagvatten från stationsuppgångar. Under projekterings- och byggnadstiden har därför fortlöpande samarbete skett mellan de ledningsdragande verken, gaturkontoret och parkförvaltningen. Större huvudvattenledningar med dimensioner på 600, 700 mm och i Vasagatan 1 600 mm har lagts om utmed Tb 2 vid stationerna Tekniska Högskolan och Stadion i Valhallavägen. Vid den förstnämnda stationens uppgång mot

Östra Station erhöles ej tillräcklig täckning över takvalvet, varför ledningarna måste läggas i skyddsror genom detta.

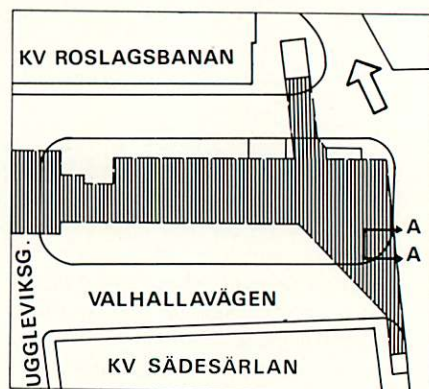
Vid nyssnämnda stationer har gångtunnlarna till biljetthallarna medfört, att Valhallavägen underbyggs i hela sin bredd. Avståndet från gatuplan till betongdäck medger ej obehindrad dragning av ledningar. Dessa har därför måst koncentreras till vissa stråk för vilka utrymme skapats genom lokala nedsänkningar av tunneltaken och/eller minskning av deras tjocklek. Stråken har en bredd av ca 4 m och 1,5–2 m:s djup under gatunivån. Deras antal är bestämt med hänsyn till befintliga och förväntade ledningar till vilket lagts viss reserv.

Vid station Fridhemsplan, Tb 1 och Tb 3, var det nödvändigt att utföra ett pumpverk för spillvatten. Tryckledningarna från pumpverket har gjutits in i biljetthallens tak.

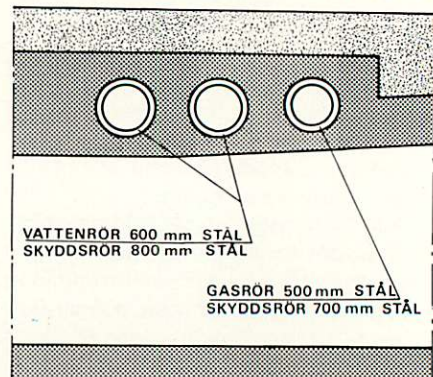
För södra uppgången vid station Frescati, Tb 2, var förutsättningarna ogynnsamma, när det gällde avledandet av dagvatten. Den billigaste lösningen kunde åstadkommas genom att ett horisontalborrhål utfördes genom bergpartiet mellan stationen och dagvattenledningen i Roslagsvägen. Borrhålet som ligger i svag lutning mot dagvattenledningen har en längd av 40 meter och en diameter av 250 mm. För undvikande av stenufall har hålet klätts in med ett polyetenrör med en yttre diameter av 225 mm och en vägg tjocklek av 20,5 mm.

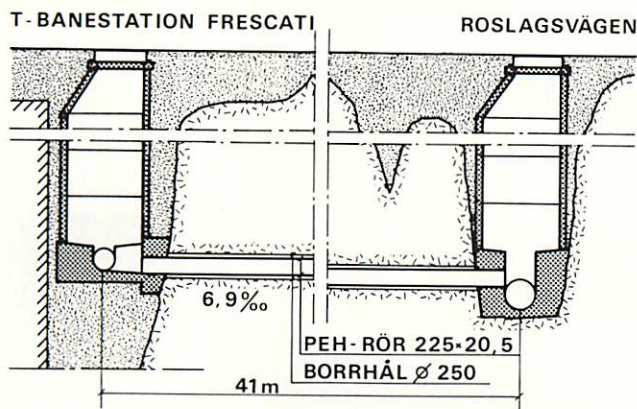
Station Tekniska Högskolan, ledningsomläggning

SITUATIONSPLAN

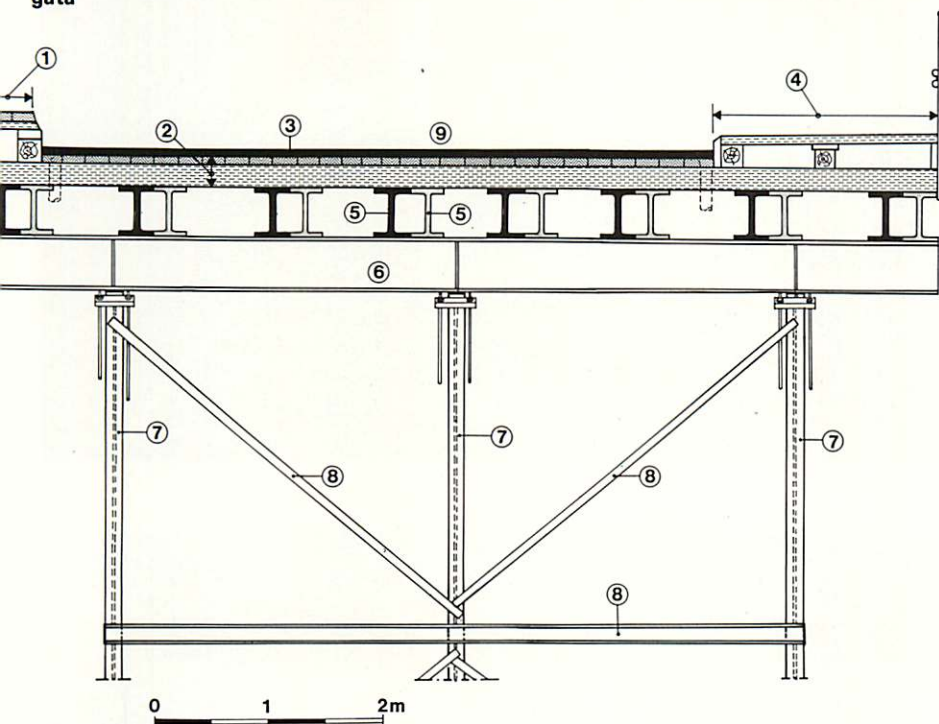


SÖDRA UPPGÅNGEN SEKTION A-A





Trafikomläggning, provisoriska bryggor i gata



- 1 Skyddskant
- 2 Träöverbyggnad
- 3 Slitlager av asfalt
- 4 Gångbana
- 5 Långbalk av stål
- 6 Tvärbalk av stål
- 7 Pelare av stål
- 8 Avstyvningar
- 9 Körbana

Trafikomläggningar

I regel har omfattande trafikomläggningar krävts för gång- och körtrafiken i gatuplanet. Särskilt gäller detta anläggandet av biljetthallar med uppgångar till gatuplanet. Även i ett inledningskede kan provisoriska trafikomläggningar krävas för nödvändiga transporttunnlar.

De vanligaste arbetsskedena för att bygga en biljetthall under gatuplanet är omläggning av befintliga ledningar, ett spontnings- och schaktningsskede, oftast följt av byggande av provisoriska gång- och körbryggor, ett skede för byggandet av råkonstruktionen för hallen samt slutligen inredningsarbeten och återställning av gatuytan. På särskilt utsatta ställen kan det bli nödvändigt att utföra flera trafikomläggningar för varje arbetsmoment.

Under byggnadstiden är det viktigt, att ej framkomligheten blir nedsatt för den kollektiva trafiken, bussar, taxi samt för utryckningsfordon. Distributionstrafik bör även ges rimliga möjligheter att komma fram. Allmän hänsyn till den lokala miljön bör tas vid längre byggnadstider. Förutsättningen för att detta skall fungera är ett ständigt samarbete mellan berörda intressenter.

En annan aspekt är, att arbetsplatsen skall vara tillfredsställande ordnad ur säkerhetssynpunkt för såväl den byggande personalen som allmänheten. Härvid är det också viktigt att förse gångbanor och eventuella gång- och körbryggor med räcken och avkörningsskydd. Ibland kan det vara nödvändigt att förstärka gatubelysningen i anslutning till arbetsplatsen. I många fall har biljetthallsbygget samordnats med uppförande av fastigheter. Som exempel härpå kan nämnas station Fridhemsplans uppgångar (kvarteren Väktaren, Roddaren och Trossen).

Provisoriska körbryggor

På många ställen har tunnelbanan byggts i öppet schakt, vilket medfört omfattande omläggningar av trafiken. För att kunna leda trafiken över schaktgropen byggdes provisoriska körbryggor. Ett typiskt exempel på en sådan är körbryggan i Malmskillnadsgatan.

Provisoriska körbryggor (för fordons- trafik och fotgängare) består av en körbana 6–7 m bred och en eller två gångbanor 1,5–2,0 m breda. Körbryggan dimensioneras som vägbro enligt »Statliga belastningsbestämmelser för byggnadsverk».



Konstruktioner i berg

Station T-Centralen, Tb 1 och Tb 2

Station T-Centralen, Tb 1 och Tb 2, är utförd som 4-spårstation i två plan och har biljetthallarna belägna i Drottninggatan–Klarabergsgatan samt Klara Vattugränd–Vasagatan. Den förstnämnda biljetthallen har kontakt med gatuplanet via trappor i de tre hörnfastigheterna och har dessutom direkt förbindelse med Sergels Torgs gångplan. Den senare biljetthallen har uppgångar i Vasagatan och Klara Vattugränd samt genom gångtunnlar förbindelse med Centralstationen och Klara Västra Kyrkogata. De bågge plattformsplanen har kontakt med biljetthallarna medelst fasta trappor och rulltrappor samt vid Klara Västra Kyrkogata även med en vertikalhiss.

En del av station T-Centralen är belägen under Klara Kyrkogård. Av pietetsskäl ville man undvika en nedsprängning från ytan, varför man gick fram i bergtunnel. På grund av sin förhållandevis stora spännvidd, ca 20 m, och ringa bergtäckning måste denna utföras genom stegvis utsprängning och förstärkning med förtillverkade valvelement i två halvkor. För varje steg i utsprängningen, ca 3 m, monterades parvis dessa element, 4–6 par, på anfang som utefter hela längden gjutits i särskilt utsprängda orter. Valvelementen pallades mot berget, varefter en kraft av 1 MN (100 Mp) anbringades i hjässan mellan valvdelarna med hjälp av domkrafter. Sedan stålstämp genom kilning inpassats mellan valvdelarna kunde domkrafterna borttagas och deras plats igengjutas. Till slut fylldes mellan valv och berg med finsingel som injekterades, varefter en ny bit tunneltak kunde utsprängas.

En annan del av stationen ligger i öppet schakt under Klarabergsgatan och under en nyuppförd fastighet, en 4-vånings byggnad med två källarvåningar i kvarteret Orgelpipan söder om nämnda gata. För att eliminera inverkan av skakningar från tågen på fastigheten grundlades denna helt fritt från stationen på sju betongbågar över schaktet. Utmed en del av tomtgränsen mot kyrkogården bildar berget konsol över tunnelschaktet. Denna bergkonsol uppbäres av bågar och balkar mellan dessa. Flertalet bågar utfördes parabelformade. Bågarnas spännvidd varierar mellan 24,5 och 28,4 m, bågbredden mellan 3 och 3,5 m. För samtliga bågar är höjden i hjässan 1,3 m. Bågarna är utförda som 2-ledsbågar och grundlag-



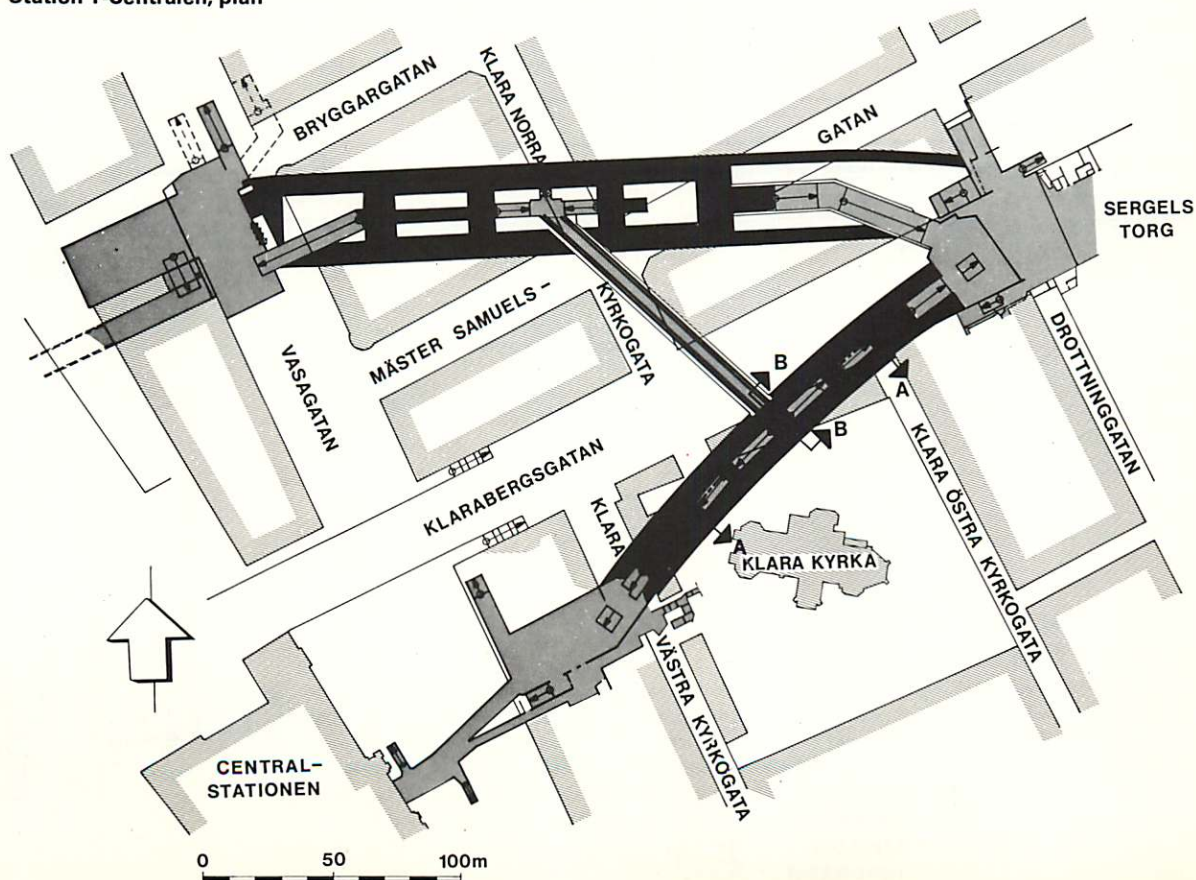
Kvarteret Orgelpipan, förstärkningsvalv i berg**Kvarteret Orgelpipan, förstärkningsvalv under hus**

da på berg.
Leden i anslutning mellan båge och fundament utfördes med ledskål och ledklack av betong med genomgående armeringsjärn. För att ge en uppfattning om storleken av de krafter som via bågarna överföres till fundamentet kan nämnas, att den maximalt uppgår till ca 25 MN (2 500 Mp).

Station T-Centralen, Tb3

Stationen som är orienterad i stort sett i öst-västlig riktning har biljetthallar i Vasagatan-Bryggargatan och i Klarabergsgatan-Drottninggatan. Den senare biljetthallen betjänar även Tb 1 och Tb 2. Stationen är helt inrymd i berg med plattformen belägen på ca -23. Plattformslängden 180 m medger trafik med 10-vagnars-tåg. Kontakt med respektive biljetthallar nås mot Drottninggatan genom tre rulltrappor och snedhiss samt mot Vasagatan genom tre rulltrappor och fyra vertikallissar.

För att förkorta gångavståndet vid omstigning mellan Tb3 och Tb1 respektive Tb2 har en gångtunnel anordnats mellan stationerna, vilket närmare redovisas på nedanstående bild och på sidorna 64 och 65.

**Station T-Centralen, plan**

Nämnda gångförbindelse har möjliggjorts genom en omfattande ombyggnad av den ursprungliga stationen för Tb1 och Tb2, vilken närmare beskrivs längre fram i detta kapitel.

Redan vid projekteringen för station T-Centralen, Tb1 och Tb2, togs hänsyn till ett blivande rulltrappschakt mot Tb3 genom att huslasterna från Åhléns varuhus i kvarteret Orgelpipan nr 8 avväxlades över det nämnda schaktet och vissa sprängningar utfördes. Detta möjliggjorde en senare utsprängning av schaktet utan störningar för husets stomme.

Kontakten från biljetthallen i Drottninggatan till gatuplanet sker medelst befintliga trappförbindelser i de tre fastigheterna vid korset Drottninggatan–Klarabergsgatan.

Biljetthallen under Vasagatan

Från biljetthallen i Vasagatan nås gatuplanet via rulltrappor, fast trappa och hiss dels i kvarteret Pennfäktaren, dels i Vasagatan. Trappläget i Vasagatan bibehålls tills vidare av trafiktekniska

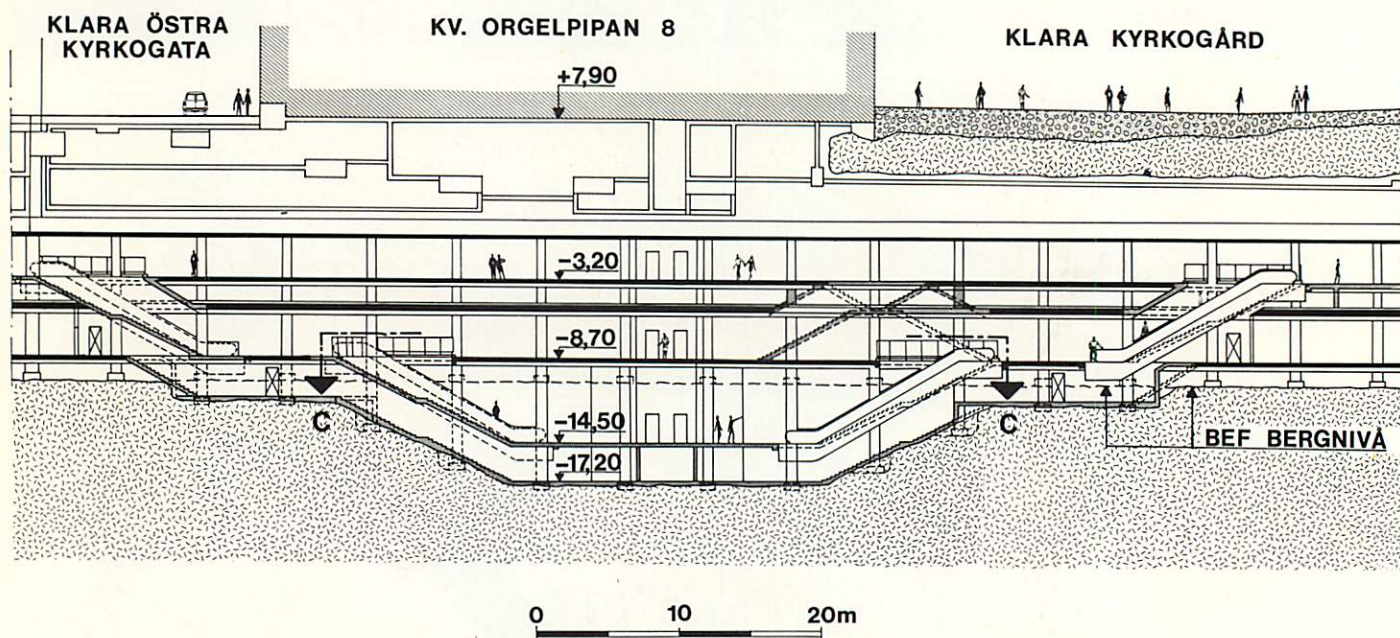
skäl. Försvarsarbeten har utförts i biljetthallens nordöstra hörn dels för en trappförbindelse i Vasagatan i ett något västligare läge, dels för en gångtunnel med trappförbindelse i kvarteret Pilens sydvästra hörn. Dessa båda förbindelser är avsedda att komma till stånd vid den tidpunkt, då en större planerad trafikomläggning i Vasagatan genomföres och kvarteret Pilen saneras. Den tidigare nämnda trappförbindelsen i Vasagatan kommer då att läggas igen.

Rulltrappschaktet mot Vasagatans biljetthall har under Centralpostens fasad endast ca 3 m:s bergtäckning. För att undvika skador på fastigheten förstärktes berget utanför huslivet med en kraftig betongbalk som förankrades i berget med bergbult och förspänningsstål. Schaktet som successivt utsprängts nedifrån fram till fasaden försågs med ett förstärkningsvalv av betong. Därefter kunde schaktet färdigsprängas. Biljetthallsbyggnadens grundläggning och golv ligger under grundvattenytan. Sedan berget blottlagts utfördes ridåinjektering till ca 8 m:s djup runt biljetthallens yttervägg för att utestänga grundvattnet. Dessutom injekterades bergytan innanför väggarna till ca 3 m:s djup. Sedan ytterväggarnas botten-sulor gjutits utfördes kontaklinjektering under dessa.

Inom ett mindre område i byggnadens nordöstra hörn, innefattande bl.a. trappan i Vasagatan, där djupet till berg är stort, måste av praktiska skäl tillgripas pålning. Här har konstruktionen lagts på en vattenisolerad betongplatta. Under biljetthallsgolvet finns ett system med dräneringsledningar anslutet till en pumpgröp och i golvet är luckor anordnade som möjliggör inspektion och lokalisering av eventuella vattenläckage.

Biljetthallens tak är utfört som däck på låga balkar på pelare och är upplagt på neoprenlager längs ytterväggarna för att minska inverkan av temperatur och krympning i dessa.

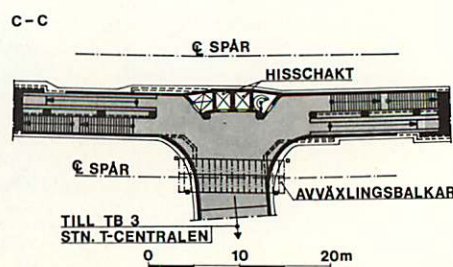
Genomförandet av byggnadsarbetena i Vasagatan har krävt omfattande trafik- och ledningsomläggningar.



T-Centralen med stationerna för Tb1–2–3

För att underlätta omstigning mellan Tb3 och Tb1 respektive Tb2 har en 6 m bred och 100 m lång gångtunnel byggts i berget mellan stationerna. Gångtunneln som har rullband på ömse sidor om ett gångutrymme startar på nivån ca -18. Från Tb3:s plattform till gångtunnelplanen leder fyra rulltrappor, två från vardera hållet samt två ver-

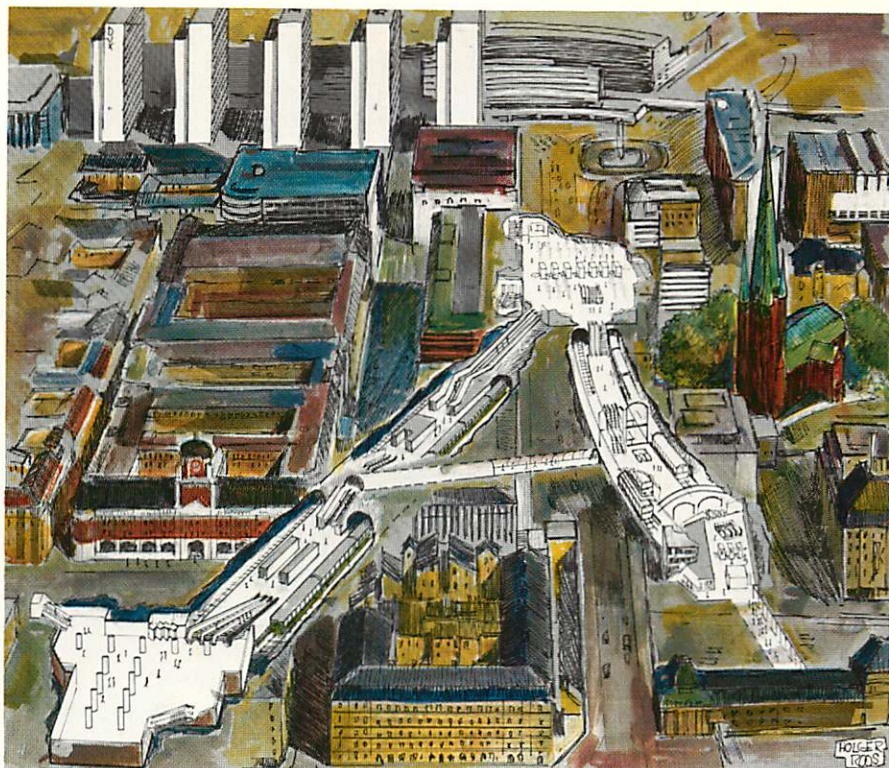
tikalhissar. Gångtunneln passerar över det ena spåret på Tb3 och mynnar på nivån ca -16 under det lägst belägna spåret på stationen för Tb1 och Tb2. Mellan de båda plattformarna leder rulltrappor, fasta trappor och hissar. Profil över stationsdelen under kvarteret Orgelpipan 8 samt sektion C-C.



Station T-Centralen, Tb 1 och Tb 2, ombyggnad

Som tidigare nämnts mynnar gångtunneln från stationen för Tb3 under det lägst belägna spåret på stationen för Tb 1, Tb 2. Den befintliga stationens yttervägg, spår och plattform måste provisoriskt avväxlas under ombyggnadsarbetena. Detta har utförts med hjälp av stålkonstruktioner. Ytterväggens avväxlingskonstruktion bestod av en dubbel, horisontell stålbalk längs väggens innersida. På denna ställdes vertikala stålbalkar på vilka betongkonstruktionernas vikt överfördes genom domkrafter av typ Freyssinet. Även plattformen avväxlades med hjälp av en längsgående stålbalk. Under spåret lades en brygga av stålbalkar.

För att åstadkomma utrymme för rulltrappor, fasta trappor samt hissar till stationens båda spårvåningar krävdes en sänkning av grundläggningsnivån för ett dussin av stationens mittpelare. Hur problemet tekniskt löstes framgår av nedanstående illustrationer.



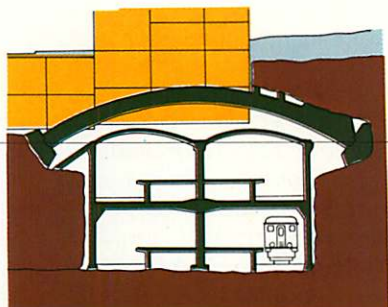
Station T-Centralen, perspektiv

Station T-Centralen Tb 1 och Tb 2. Avväxlingsarbeten

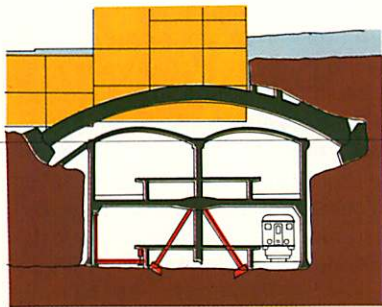
Grundläggningsnivån för 12 st av T-Centralens pelare måste sänkas maximalt ca 8 m där ett 4,5 m brett dike för trappor skulle utsprängas. Dessa pelare avlastades medelst domkrafter och snedställda stålbalkar till punkter utanför nämnda dike. Därefter kunde sprängningsarbetena utföras och pelarna förlängas till den nya grundläggnings-

nivån. Mellan de nya grundsulorna och pelarna inmonterades domkrafter, vilka sedan betongen i pelarna och deras grundsulor uppnått erforderlig hållfasthet uppumpades med vatten, medan samtidigt stålbalkarnas domkrafter avlastades. Övanför liggande laster överfördes därigenom från avväxlingarna till de permanenta pelarna. Sedan be-

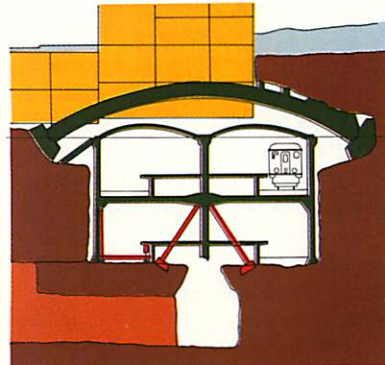
tongens krympning kompensats förseglades domkrafterna genom inpumpning av cementbruk. Gångtunneln försågs under spåret med ett tak av betong på vilket tidigare avväxlade spåraster successivt överfördes. Genomföringar i bjälklag och plattformar för trappor och hissar utfördes dels genom sågning, dels genom en kombination av sågning och sömborring.



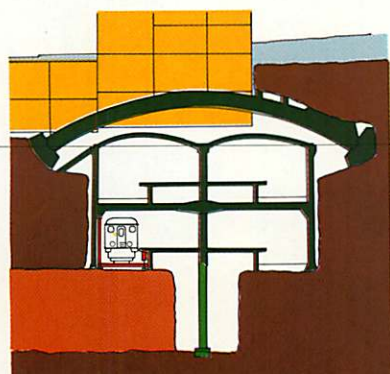
Före arbetets igångsättande.



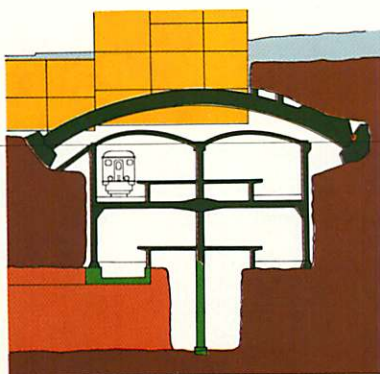
Prov. avväxling för spår, plattform och mellanbjälklag. Mittpelaren avbildad.



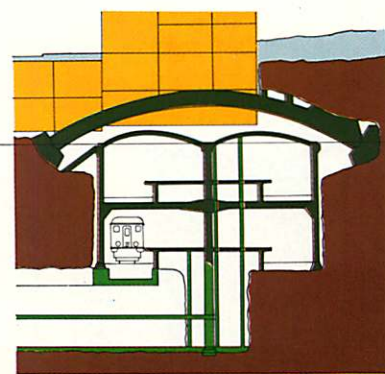
Sprängning pågår för förbindelsetunnel och rulltrappschakt.



Sprängning slutförd. Pelare nedförda och deras prov. avväxlingar borttagna.



Permanent underbyggnad för spåret utförd. Prov. avväxling för spår och plattform borttagna.



Betongarbeten för förbindelsetunnel och hisschakt utförda.



Cirkulär tunnel mot Östermalm

Det läge i Hamngatan som från början planerades för banan från T-Centralen mot Östermalm visade sig vid detaljplaneringen inte genomförbart. En sträckning längs Mäster Samuelsgatan i ytläge som därefter undersöktes skulle ha krävt rivning av ca 40 byggnader av vilka många inte var rivningsmogna. Därför undersöktes som ett komplement till geotekniska undersökningar från markytan genom sonderingstunnlar med arean $2,2 \times 2,3$ m möjligheten att utföra tunnelbanan i berg. Genom sonderingsborrningar framåt och mot bergytan lokaliserades djupa lågpartier i berget mellan Sveavägen och Malmkillnadsgatan samt mellan Biblioteksgatan och Birger Jarlsgatan. Inom dessa områden var berget mycket

De snedställda stålbalkarna i T-Centralens nedre stationsplan

sprickrikt och vattengenomsläppligt, varför omfattande försiktighetsåtgärder måste vidtagas vid sonderingstunnels utförande. Slag som innehöll finsand eller finmo urspolades och injekterades.

Eftersom sonderingstunneln hade anslutning till den redan trafikerade tunnelbanan skulle ett kraftigt vattengenombrott vid sonderingen kunnat medföra allvarliga trafikstörningar. I mest ogynnsamma fall skulle tunneln kunnat helt vattenfyllas mellan station Hötorget och station Gamla Stan. Av denna anledning byggdes en skyddsport i sonderingstunnels mynning. Den dimensionerades för det 16 m:s vattentryck som skulle kunna uppkomma. Katastrofpumpar installerades också.

Vattengenombrott i sonderingstunneln

Trots all försiktighet inträffade ett svårartat vattengenombrott. Ett parti av tidigare injekterade slag lossnade i samband med sprängningsarbetet och ett kraftigt vattenflöde uppstod. Arbetarna i tunneln hann stänga skyddsporten men inte göra den tätning runt de dekåvillräler som gick genom portöppningen. Den vattenmängd som strömmade genom dessa små öppningar uppskattades till ca $8\,000 \text{ dm}^3/\text{min}$. På grund av stenmjöl i ledningarna strejkade katastrofpumparna vid igångsättningen. Situationen var mycket kritisk, innan vatteninflödet kunde hejdas. För att möjliggöra arbetets fortsättande byggdes i sonderingstunneln en sluss bestående av vattentäta betongväggar på ca 2 m:s avstånd från varandra och försedda med manhålsluckor och rörgenomföringar med ventiler.

Innan ytterligare åtgärder vidtogs var det nödvändigt att klarlägga, om vattenströmmen fört in sand och grus från Brunkebergsåsen i tunneln. Undersökningen gjordes med hjälp av dykare. Dykarskötarna stod i slussen där med tryckluft så mycket vatten pressats ut, att de kunde ha huvudet ovan vattenytan. Sedan luckan mot den helt vattenfyllda tunneln öppnats gick en »tung» dykare in och öppnade den avstängningsport som byggdes före vattengenombrottet. Därefter utgick också från slussen en »lätt» dykare med uppgift att undersöka förekomsten av sand och grus i tunneln bakom porten. Då den medförda stavlampan inte kunde genomtränga mörkret i tunneln följde den lätta dykaren dekåvillspåret med händerna och kunde konstatera, att endast obetydliga mängder sand fanns i den ca 100 m långa tunneln.

Undersökning av översvämmad sonderingstunnel med hjälp av dykare



Montering av cirkulär tunnel

Sedan detta konstaterats fanns inte längre någon risk för att ovanförliggande hus skulle skadas på grund av sättningar i Brunkebergsåsen. Genom att med tryckluft pressa ut så mycket vatten ur tunneln, att läckageplatsen torrlades kunde erforderliga tätningssarbeten utföras och sonderingsarbetet fortsätta.

»Yxhugg» i bergytan under Malmskillnadsgatan

Den slutgiltiga karteringen av berget visade, att tunnarna skulle kunna utföras i berg, dock först sedan lutningen på ingående spåret från Biblioteksgatan mot T-Centralen fick ökas från 40 till 50 %. Spårets överkant (Rök) kunde därigenom sänkas till -32 nivå vid Biblioteksgatan, vilket var tillräckligt för tunnelns utförande. Bergtäckningen över tunneln skulle dock på en sträcka av 100 m väster om Malmkillnadsgatan inte bli mer än 1,5–3,5 m och mitt under denna gata fanns ett »yxhugg» i bergytan som skar ned genom en tredjedel av den blivande tunnelsektionen. På grund av vattentrycket i de båda områdena med trasigt berg utfördes tunnarna inom dessa områden – sammanlagt ca 700 m enkelspårstunnel – med cirkulär sektion. Dessa bergtunnlar förstärktes med 27,5 cm tjocka betongringar med en utvändig vattenisoleringsring av 5 mm tätsvetsad stålplåt. Mellan stålplåten och berget göts fyllnadsbetong som dels utgjorde bergförstärkning, dels rostskyddade plåten. Före passagen av »yxhugget» injekterades åsgruset ovanför det blivande tunneltaket med ca 200 ton cement. Det fortsatta arbetet utfördes under ett luftövertryck av 120 kPa (1,2 atö), som innebar en marginal av 20 kPa (0,2 atö) mot eventuell utblåsning. Endast så stor utsprängning utfördes vid tunnelns övre del, att utrymme erhöles för de förstärkningsbågar av Dip 16 som skulle sättas in med 0,18–0,20 m:s delning. Utspärningen utfördes för endast en båge i taget. Först sedan denna monterats och bakgjutits utfördes nästa sprängning. Arbetet med förstärkning av denna 10 m långa sträcka tog 7 veckor. Därefter utfördes även på denna sträcka en cirkulär inklädnad.

Station Fridhemsplan, Tb 1

Station Fridhemsplan var den första tunnelbanestationen i Stockholm, som byggdes i bergtunnel. Stationen utspärngdes med två parallella tunnlar, vardera inrymmande spår och plattform. Mellan stationstunnlarna ordna-

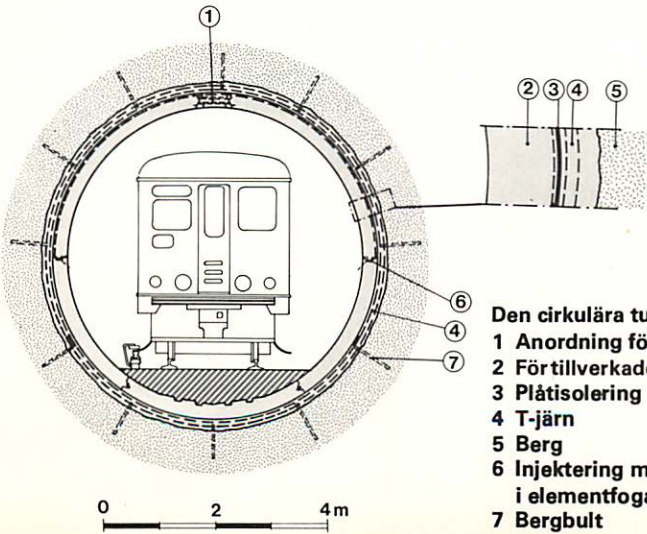


des förbindelser i form av fem tvärtunnlar. Från ändtvärtunnlarna leder rulltrappschakt med vardera tre rulltrappor upp till de två biljetthallarna av vilka en ligger i gatuplanet i kvarteret Väktaren vid Fridhemsplan och den andra i en betongkonstruktion under S:t Eriks-gatan strax söder om Fleminggatan. Bergtäckningen under kvarteret Väktaren är inom vissa områden mycket knapp. Berget består dessutom inom stora partier av sk knäppberg, vilket innebär, att stenar eller block genom spänningar i berget en tid efter sprängningen kan lossna och falla ner i tunneln. Bergförstärkningar i form av platsgjutna bågar utfördes därför i mycket stor omfattning i båda stations-tunnlarnas tak. Dessutom utfördes under dessa en fristående valvkonstruktion, sk Stridbecksvalv, som skydd mot eventuellt nedfallande stenar och vattendropp. Denna konstruktion blev se-

dan standard för hela första tunnelbanesystemet och stora delar av det andra.

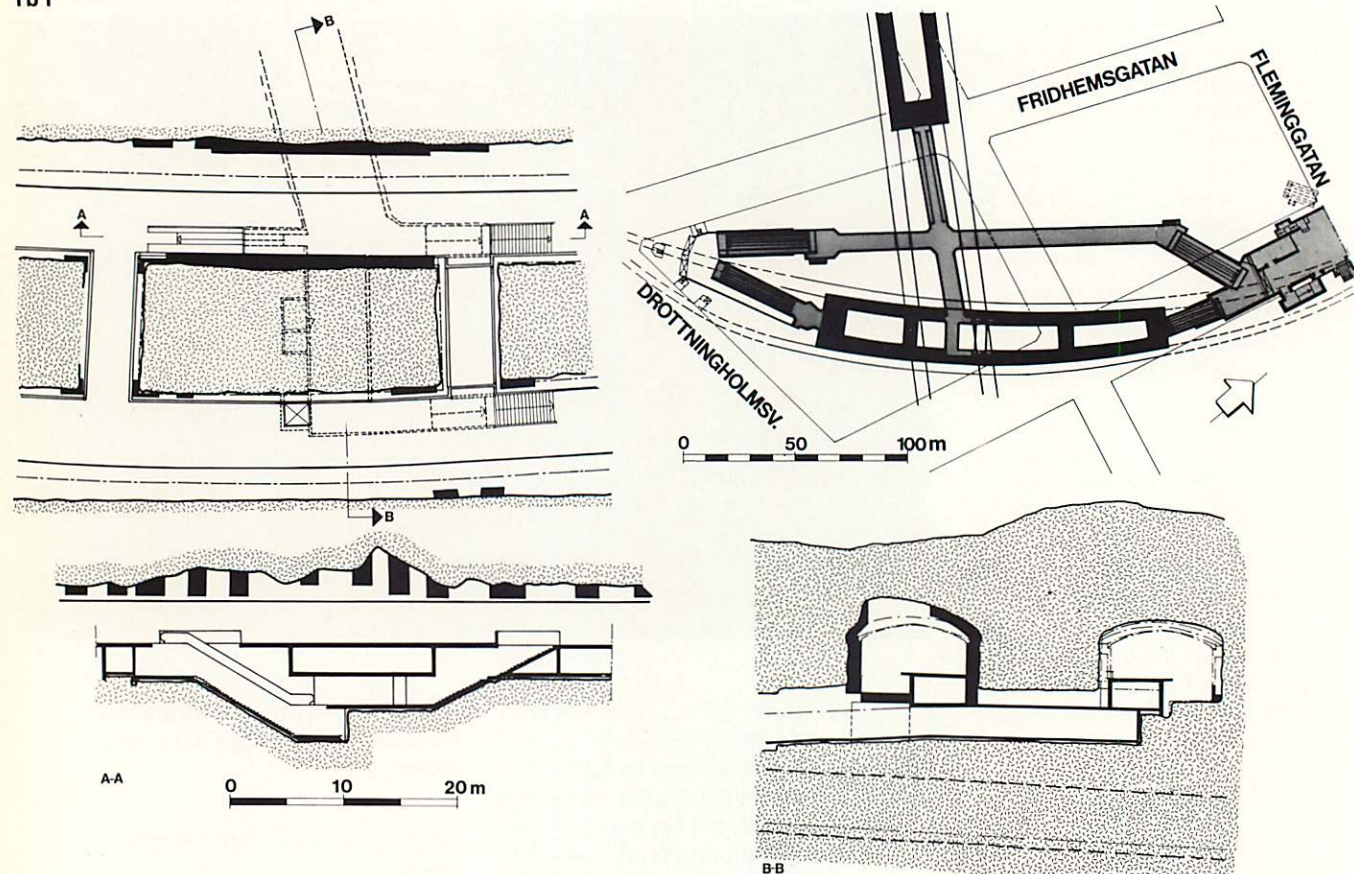
Station Fridhemsplan, Tb 3

Den nya banan mot Järva, Tb 3, passerar ungefär mitt under den gamla station Fridhemsplan och med ca 9 m bergtäckning mellan tunnarna. Stationen för Tb 3 ligger väster om stationen för Tb 1 och har i princip samma tunnelsektion. Plattformarna är dock helt raka, varigenom personalen får en god överblick över trafikrörelserna. Man har här använt SL:s nya inredning med tak och väggar, förstärkt med armerad sprutbetong, som målats och dekorerats. Plattformens västra ände förbindes genom tre rulltrappor och snedhiss med biljetthallen under Mariebergsgatan.



- Den cirkulära tunnelns konstruktion
- 1 Anordning för uppspänning av element
 - 2 Förtillverkade betongelement
 - 3 Plåtisolering
 - 4 T-järn
 - 5 Berg
 - 6 Injektering mellan element och plåt samt i elementfogar
 - 7 Bergbult

Station Fridhemsplan, uppgång i plattform Tb1



Förbindelsen upp till gatuplanet utgöres här av fast trappa, rulltrappa och hiss.

Från Tb 3:s östra plattformsände går en ca 45 m lång rullbandstunnel upp till en grenpunkt, varifrån två gångtunnlar leder fram till rulltrappor och snedhiss mot biljetthallarna i kvarteret Väktaren vid Drottningholmsvägen respektive S:t Eriksgatan-Fleminggatan. Rakt fram går en ca 30 m lång gångtunnel mot mitten på Tb 1:s plattform, där den i ett undre plan skär igenom en kvarstående bergpelare. Från gångtunnelplanet för två fasta trappor, rulltrappa och hiss upp till plattformen.

Läget för den nya rulltrappan upp till biljetthallen i kvarteret Väktaren låstes redan 1965 i samband med ett nybygge i kvarteret. Försvarsarbeten för rulltrappan utfördes då genom att huset avväxlades över rulltrappschaktet och vissa sprängningar utfördes.

Sedan länge har det varit ett önskemål, att Tb 1:s rulltrappor till biljetthallen i kvarteret Väktaren kompletterades med en snedhiss för att underlätta för handikappade, barnvagnar och äldre personer. Vissa försvarsarbeten för en sådan trappa gjordes i samband med ovan nämnda nybygge 1965. Det visade sig emellertid att ett utförande skulle medföra stora risker för skador i de redan trafikerade delarna av tunnelbanan,

varjämte kostnaderna skulle bli mycket höga. Det beslöts därför att snedhissen skulle slopas. Den önskade förbindelsen kan dock erhållas via Tb 3, även om den blir längre och därigenom obekvämare.

Den del av gångtunneln som ligger under Tb 1:s ingående spår utfördes som en ramkonstruktion av betong. För att den skulle kunna byggas under trafik lades spåren provisoriskt på en stålbygga. Före utsprängningen av gångtunneln under spåret förstärktes berget över inslagen med inborrade bergbultar och pågjutning av betong.

Skjuvsprickor i förstärkningsbågarna

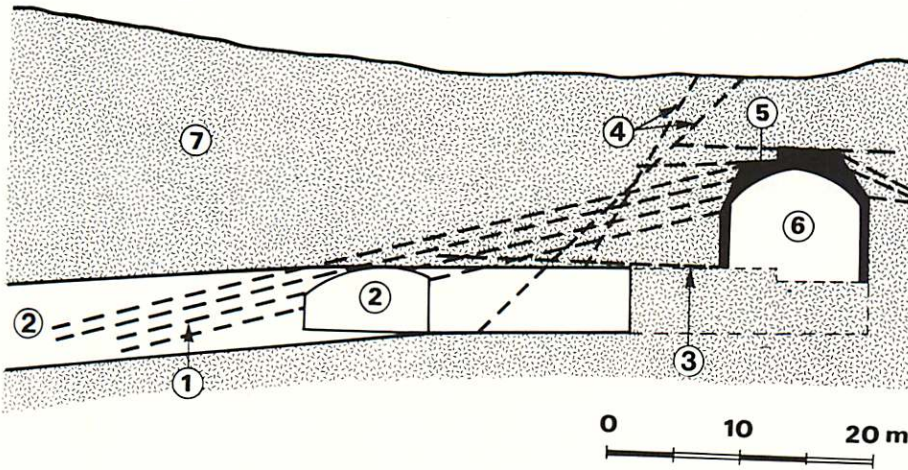
I samband med konstruktionsarbetet för gångförbindelsen mellan Tb 1 och Tb 3 upptäcktes vid inspektion av Tb 1:s stationstunnlar, att ett antal av förstärkningsbågarna var svårt skadade. Skadorna bestod av upp till en cm breda skjuvsprickor i bågarna. I några fall hade armeringen knäckts och spjälkat loss en del av betongen. Även berget hade i mindre omfattning lossnat och fallit ner. Efter noggranna bergundersökningar och karteringar, som utfördes av tillkallad geologisk och bergmekanisk expertis, uppställdes följande teori.

Berget inom området består av gnejs

med lokala inslag av granit. Gnejsen är brantstående med strykningen nära parallell med gångtunneln. Snett över tunneln löper sprickor fyllda med klorit och lera. Kännetecknande för berget är förekomst av bankning, dvs nära horisontella sprickplan. Det som orsakat skadorna är de rekylkrafter som uppstått vid sprängningen av gångtunneln mellan de två stationerna. Härigenom har bergskivor rört sig i förhållande till de över- och underliggande partierna. För att utröna om bergrörelserna fortsatte utfördes omfattande mätningar av sprickvidderna i bågarna samt av avståndet mellan tunnelsidorna inom det berörda området. Det visade sig, att rörelserna pågick, men visade en klart minskande tendens och efter en tid nästan helt upphörde.

Sedan klarhet erhöles om skadornas orsaker bedömdes rasriskerna som obetydliga och de åtgärder vidtogs, som framgår av vidstående illustrationer.

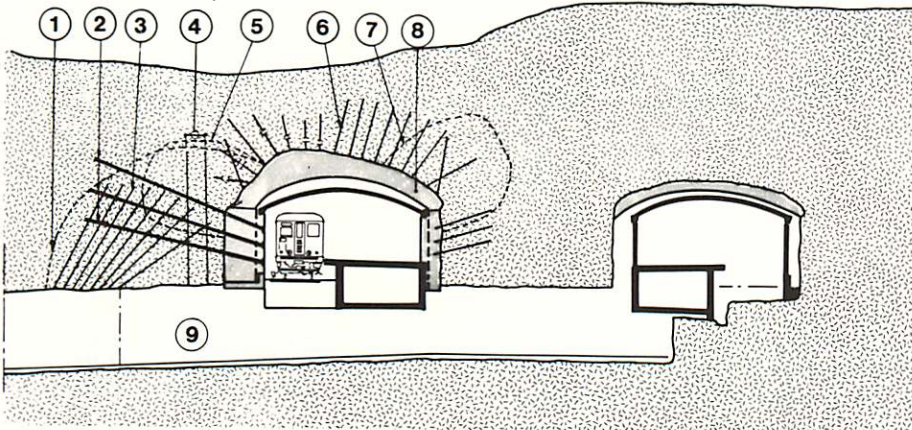
Station Fridhemsplans västra uppgång vid Mariebergsgatan har fått helt traditionell utformning med rulltrappschakt i berg och biljetthall utförd som betongkonstruktion förlagd omedelbart under gatan.



Station Fridhemsplan, sprickbildning i berggrunden

Sektion A-A

- 1 Sprickor i berg
- 2 Gångtunnel Tb 3
- 3 Öppet bottenslag 2-5 mm
- 4 1 cm klorit och lera
- 5 Skador på betongbåge
- 6 Tb 1
- 7 Berg

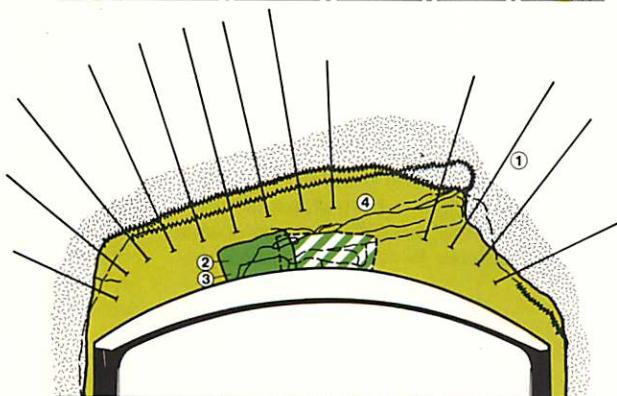
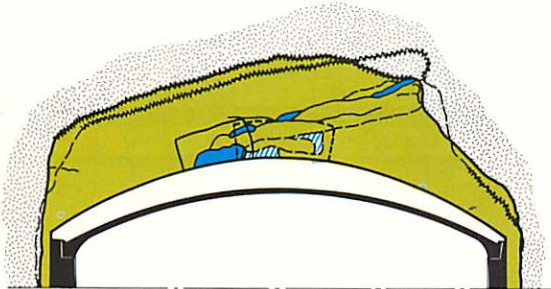


Station Fridhemsplan, Tb 1

Bergtaket förstärktes och låstes med s k Kirunabult, dvs ingjutna kilbultar, som förspändes till ca 5 Mp. Därefter sprutades taket med betong. För att förankra en del av taket, som riskerade att förskjutas, inborrades 27 st 125 Mp förspänningskablar i den västra tunnelväggen. Därefter reparerades de skadade bågarna.

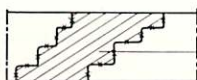
- 1 Berginjektering över gångtunnel
- 2 Spännkablar 125 ton 3x9 st
- 3 Kirunabult
- 4 Spännkablar 125 ton 2x2 st
- 5 Berginjektering vid sidorna av gångtunneln
- 6 Kirunabult
- 7 Berginjektering
- 8 Befintlig betongbåge
- 9 Gångtunnel

Nygjuten betong på norra sidan

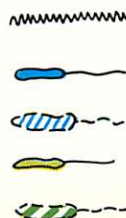


Arbetsgång

- 1 Inborrning och uppspänning av Kirunabult
- 2 Bortbilning av skadad betong
- 3 Igengjutning av bortbilad betong
- 4 Injektering av kvarvarande sprickor



BÅGENS UNDERSIDA



Spricka mellan berg- och betongkonstruktion.

Krossad betong resp. spricka i betong på södra sidan.

Krossad betong resp. spricka i betong på norra sidan.

Nygjuten betong på södra sidan.

Nygjuten betong på norra sidan.

Om- och tillbyggnad av station Fridhemsplan, uppgång S:t Eriksgatan

För att kunna ansluta Tb3:s rulltrappschakt med den befintliga biljetthallen vid S:t Eriksgatan–Fleminggatan samt uppnå förbindelse med gatuunderbyggnaden i nämnda kors måste biljetthallen utvidgas.

Tillbyggnaden är belägen mellan befintlig biljetthall och kvarteret Arbetaren och innehåller bl a lokaler för SL:s personal, en elcentral samt pressbyrå-kiosk. Tre nya pelare har insatts i biljetthallen för att möjliggöra rivning av ca 15 m befintlig vägg söder om tillbyggnaden. Från berginslaget göts ett tak fram mot den så erhållna öppningen och försågs med en balk som hoparmerats med ursprunglig takplatta. Delar av biljetthallsgolvet måste också rivas för anslutning av Tb3:s rulltrappor. Till sist revs biljetthallens norra vägg och upplag anordnades för biljetthallstaket på gatuunderbyggnadens däcksplatta.

Gatuunderbyggnad i korset S:t Eriksgatan–Fleminggatan

Samtidigt med om- och tillbyggnaden av station Fridhemsplans uppgång i S:t Eriksgatan–Fleminggatan i samband med tillkomsten av Tb3 genomfördes underbyggnad av nämnda gatukors. Arbetet uppdelades därvid i fyra gjutetapper, varigenom trafiken kunde upprätthållas i korset.

Vid genomförandet av gjutetapp 1 intill kvarteret Trossen fördes den sydgående trafiken i S:t Eriksgatan på en provisorisk stålbrogga över kvarterets hörn in på Fleminggatan. Omflyttning av större och mindre ledningar från korset blev nödvändig. På grund av bergets dåliga kvalitet med stor sprickighet och delvis horisontella slag samt måttlig bergtäckning över befintliga spårtunnlar måste utrymmena under grundläggningsnivån begränsas i största möjliga utsträckning. Av denna anledning har kablar och ledningar förlagts i grunda gravar åtkomliga för inspektion endast genom luckor i underbyggnadens golv. Detta gäller även tulltrappornas nedre maskinrum.

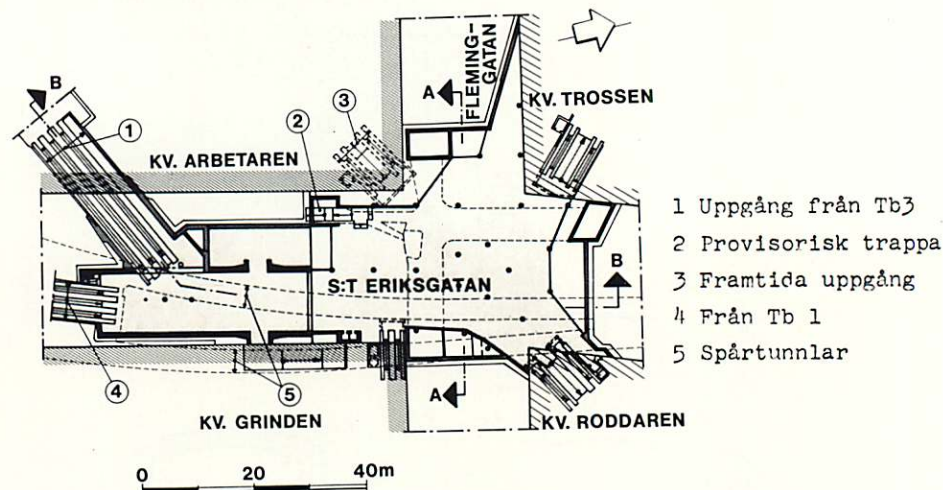
Station Kungsträdgården, Tb3

Slutstation för Tb3 blir tills vidare station Kungsträdgården, belägen under en av Stockholms äldsta parker. Här-

Gatuunderbyggnad i korset S:t Eriksgatan–Fleminggatan

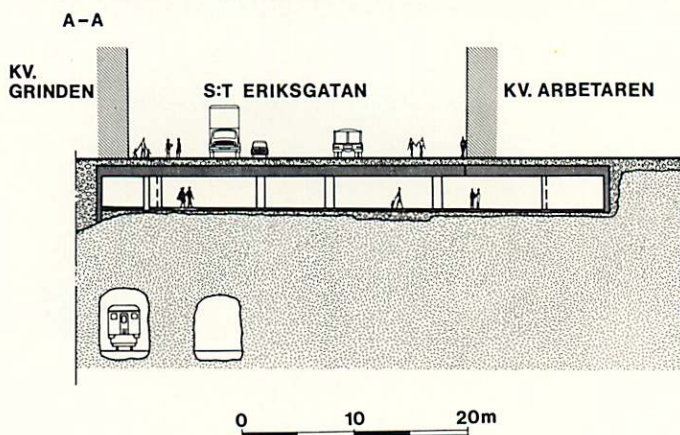
Gatuunderbyggnaden får i söder direkt kontakt med befintlig biljetthall och i norr med gatuplanet via rulltrappor, fasta trappor och hissar i de nybyggda fastigheterna i kvarte-

ren Trossen och Roddaren. Direkt kontakt finns också med kvarteret Trossens första källarvåning.



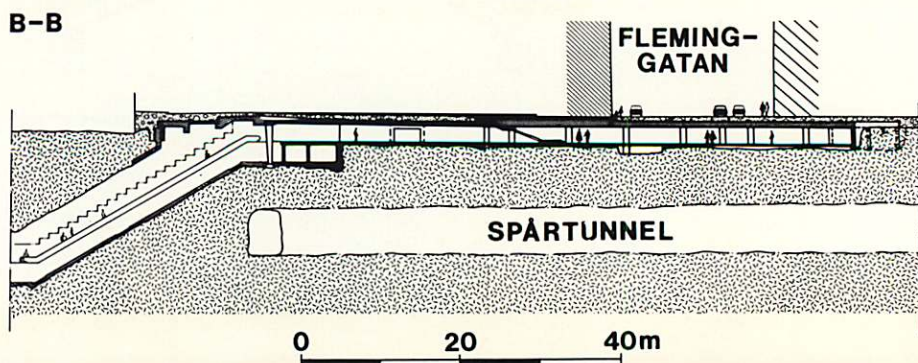
Gatubjälklaget för underbyggnaden av korset S:t Eriksgatan–Fleminggatan är utfört som pelardäck med uppläggning på neo-

prenlager utefter anslutande väggar, varvid pelarlägena valts med hänsyn till största möjliga genomsiktighet.



I fastigheten kvarteret Grinden i underbyggnadens sydöstra hörn planeras rulltrappor och hiss i den befintliga fastigheten. Dessa orienteras parallellt med Fleminggatan.

Uppgången i kvarteret Arbetaren i sydvästra hörnet kommer ej till utförande förrän nybebyggelse sker i detta kvarter. Kontakt med gatuplanet anordnas därför med en provisorisk fast trappa i S:t Eriksgatans västra gångbana.



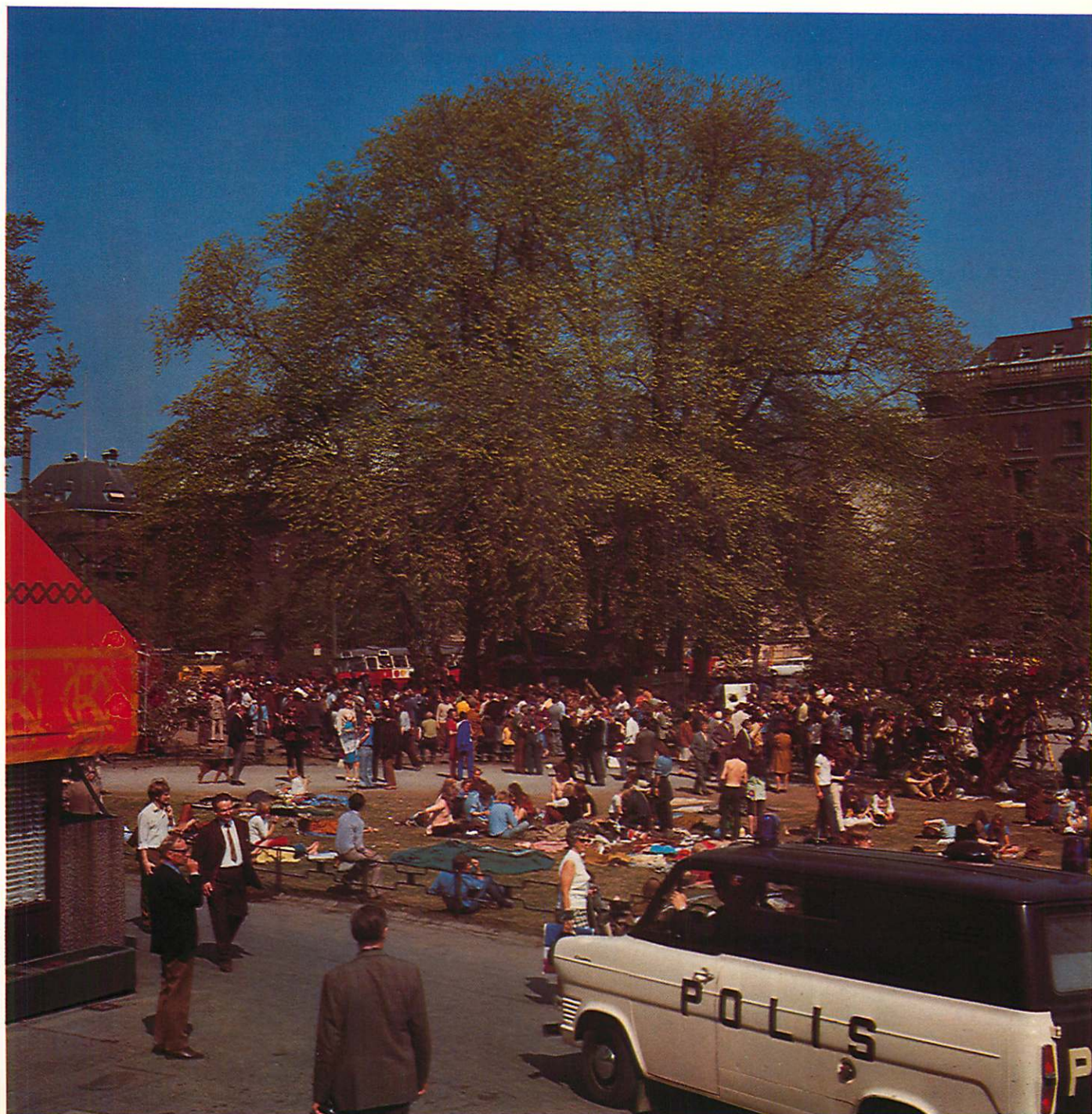
ifrån kan banan i framtiden förlängas mot Nackasektorn.

Ett tidigt förslag till bansträckning under Kungsträdgården är redovisat i Stockholms cityplan av år 1967 och be-
tingades av då kända geologiska förhål-
landen och då aktuell profil. Förslaget
innebar med hänsyn till erforderliga
växelspårförbindelser, att trafikspåren
på hela sträckan låg i dubbelspårstunnel,
vilket bl a medförde, att stationen hade
utformats med sidoplattformar istället
för normalt mittplattform. Efter detalje-
rade grundundersökningar sänktes

banprofilen med 3–4 m, varefter platt-
formstunnlarna fick sitt nuvarande läge
och mittplattformar kunde anordnas.
För station Kungsträdgårdens biljetthal-
lar har under projekteringsens gång
många alternativa lägen undersökts.
Den östra uppgången var enligt ovan-
nämnda cityplan ursprungligen place-
rad under Blasieholmstorg. Med hän-
syn till bl a de geologiska förhållande-
na, speciellt en djup bergdepression
under Kungsträdgårdsgatan, föreslog
gatukontoret istället ett biljetthallsläge
under Arsenalsgatan strax väster om

Kungsträdgårdsgatan. Förslaget antogs
i generalplaneberedningens expertut-
skott 1967. När biljetthallens arkitekto-
niska utformning sedan blev klar visade
det sig, att den blev avsevärt större än
man först tänkt sig. Detta berodde bl a
på att allmänhetens toaletter i Kungs-
trädgården, en gångtunnel under Arse-
nalsgatan och en likriktarstation samt
vissa butiksutrymmen kopplats sam-
man med objektet.

Kungsträdgården, almbråket



Almbråket

Ett utförande av biljetthallen enligt detta förslag skulle innebära att den numera riksrekordhållande i Kungsträdgården måste fällas. Eftersom detta förutsattes i tidigare förslagen till Kungsträdgårdens omdaning bedömdes det ej medföra några problem. När saken blev bekant för allmänheten i samband med stadsplanens behandling i stadsfullmäktige igångsattes omfattande debatter i massmedia och protestmöten anordnades, som kulminerade i de sk almkravallerna i Kungsträdgården i maj 1971, då almarna skulle fällas. Almarna blev en symbol för stockholmarnas sedan en lång tid kända olust över den minskning av grönområden, som de stora trafikledsbyggena och omdaning av city medfört. Resultatet av debatten blev, att närmare tjugo olika förslag till förläggning av biljetthallen utarbetades, av vilka tre utkristalliserades till ett slutligt avgörande. Två av dessa — det ursprungliga och ett reducerat alternativ med almar-

na kvar i parken — innebar, att biljetthallen förlades under Kungsträdgården, medan det tredje alternativet förutsatte en placering under Arsenalsgatan och kvarteret Näckström på Blasieholmen. Det sistnämnda fastställdes till slut för utförande. Den slutliga utformningen av stationen framgår av nedanstående bilder.

Svåra underjordsarbeten

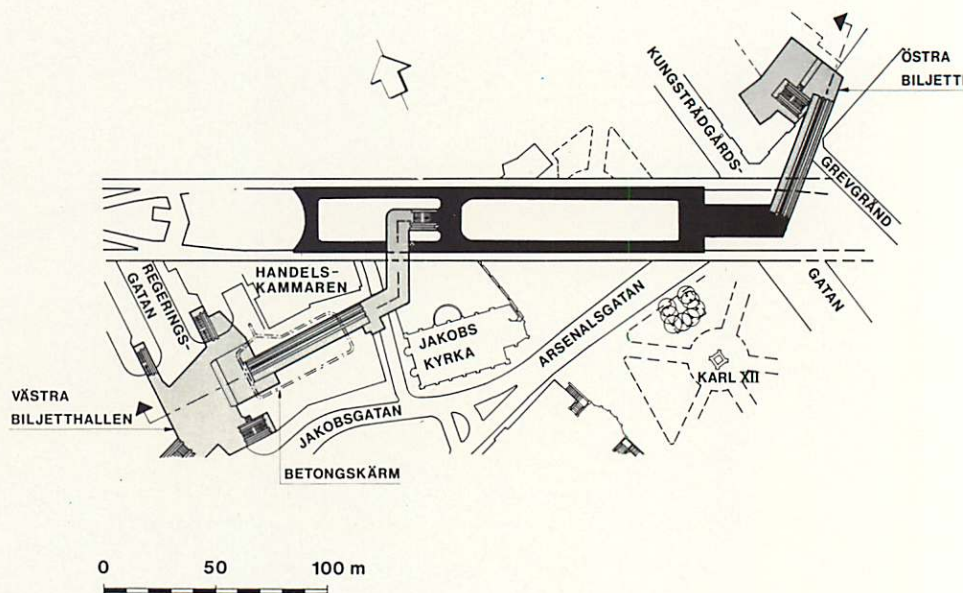
Där rulltrappschaktet för västra uppgången lämnar berget på nivån ca -6 m vidtar en betongkonstruktion. Förekomst av grundvatten framtvängde en vattentät invallning runt blivande rulltrappschakt efter grundvattenytan ej får sänkas. Förekomst av block i de lösa jordlagren samt risk för sättningar i närliggande fastigheter, speciellt Jakobs kyrka och Handelskammaren, medförde, att det bedömdes omöjligt att använda spont eller slitsmur. I stället har den sk grävpålemetoden använts, vilken närmare beskrivs i kapitel 10. Vid den östra uppgången har den djupa

bergsveckan vinkelrätt mot rulltrappschaktet i dess nedre brytpunkt samt tre lerfyllda slag gjort, att sprängningsarbetena måste ske med största försiktighet. Bergtäckningen i svackans botten är endast ca 4 m. Sprängningen har bedrivits med två pilottunnlar längs tunnelns sidor. Den kvarvarande mittväggen har därefter bortsprängts successivt med samtidig gjutning av armerade betongvalv av i medeltal 500 mm tjocklek. De har dimensionerats för hela lasten av berg, jord och vatten till markytan. I samband med utsprängningarna för plattformstunnlarna konstaterades, att bergkvaliteten inom vissa områden var till och med sämre än man tidigare befarat. Efter undersökningar av geologisk och bergmekanisk expertis utarbetades ett program för erforderliga bergförstärkningar på sträckan mellan T-Centralen och Kungsträdgården samt för sistnämnda station. För att säkerställa bättre skydd vid eventuella framtida sprängningar i närheten utökades den sk skyddszonen för tunnelbanan i sidled från 15 till 30 m.

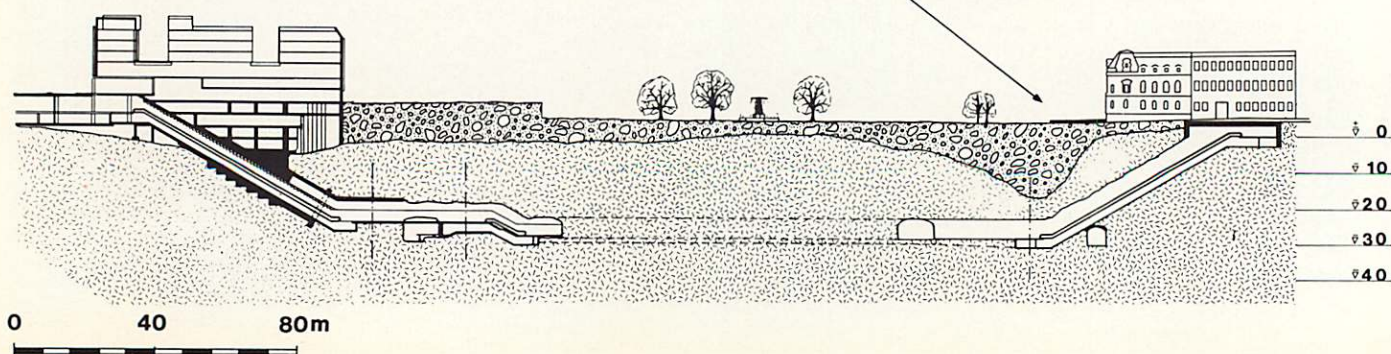
Station Kungsträdgården, Tb3

Från plattformarnas östra ände vid station Kungsträdgården leder en gångtunnel under den djupa bergklyftan fram till ett rulltrappschakt med snedhiss och tre rulltrappor, vilka utgör förbindelse till biljetthallen under kvarteret Näckström. Härifrån för sedan rulltrappor, fasta trappor och hiss upp till Arsenalsgatan.

Från plattformens västra ände leder en rulltrappa och en provisoriskt fast trappa samt hiss upp till en gångviadukt över södra spåret. Den fasta trappan är utförd så att den kan utbytas mot två rulltrappor. Gångviadukten ansluter via en gångtunnel i berg till ett snedschakt, där rulltrappor och snedhiss leder upp till den västra biljetthallen under Regeringsgatan. Denna har uppgångar till gatuplanet och står dessutom i direkt förbindelse med den sk Gallerian, ett inner-torg i kvarteret mellan Regeringsgatan och Malmkillnadsgatan.



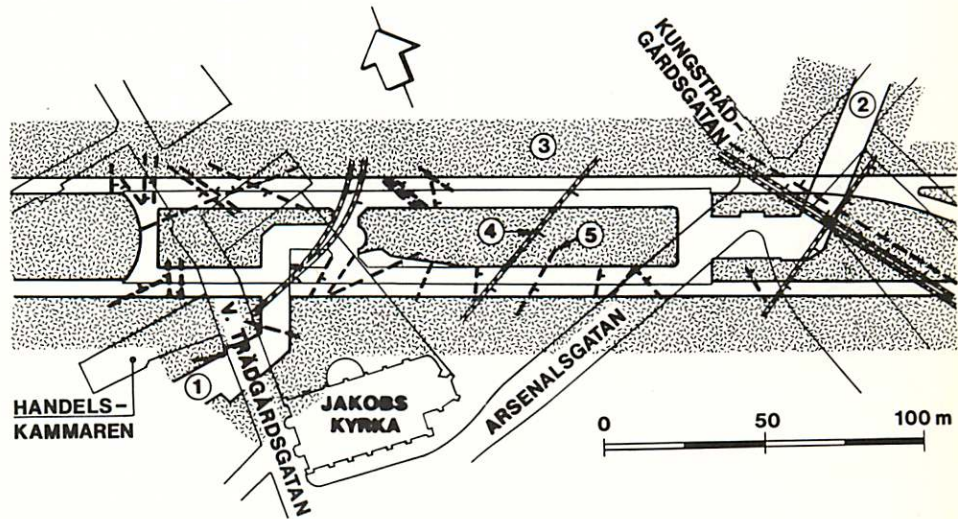
KV JAKOB STÖRRE



Station Kungsträdgården. Stationstunnel med geologisk kartering

Modell av station Kungsträdgårdens östra uppgång. Röda markeringar visar svaghetszoner i berget, vilka karterats i utsprängda tunnlar och borrhål, respektive interpolerats mellan dessa på det planerade rulltrappsschaktet.

1. Trappuppgång till Regeringsgatan.
2. Trappuppgång till Blasieholmstorg.
3. Berggrund (övervägande gnejs).
4. Krosszon med känd lutningsangivelse.
5. Spricka med känd lutningsangivelse.



BERGYTA
(VÄLVD)

SVACKA I BERGET
UNDER KUNGSTRÄD-
GÅRDSGATAN

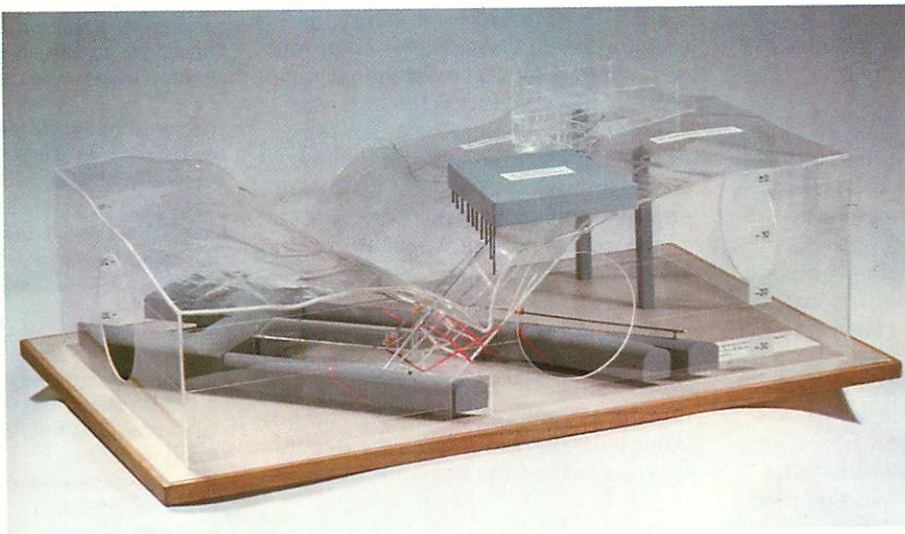
HANDELSBANKEN
PÅLAD UTMED
KUNGSTRÄDGÅRDS-
GATAN

BILJETTHALL

RULLTRAPPSSCHAKT

GÅNGTUNNEL
TILL RULL-
TRAPPSSCHAKT

STATION



T-banan under Norrström

Under Norrström har tunnelbanan fyra spår i samma höjdläge. Tunnelkonstruktionen är en sluten betongram med ett mellanstöd. Ramens dimensioner har bestämts av kravet på säkerhet mot uppflytning. På större delen av den ca 250 m långa sträckan ligger berget så högt, att sprängning måste utföras till ett djup som nära motsvarar tunnelkroppens höjd. Arbetet utfördes på dessa delar inom en träspontdamm, som nedtill stödde mot av dykare utförda betongplintar förankrade i berget och som upptill stagades av

strävor utformade som fackverk. Överytan på berget var mycket ojämn och gropig och dessutom var berget genomdraget av slag och sprickzoner, vilket nödvändiggjorde speciella försiktighetsmått, bl a med tanke på de omedelbart väster om fångdammen belägna stöden för statens järnvägs bro. Trots detta inträffade vid ett tillfälle ett ras i berget, som spolierade fångdammsväggen mot järnvägsbron på en 12 m lång sträcka, varvid arbetsplatsen snabbt vattenfylldes. Raset inträffade under en rast i arbetet, varför inga personskador uppstod. Av den geoteknis-

ka undersökning som företogs efter raset framgick, att fångdamms spontvägg här hade förankrats på en bergrygg, som vilade på ett mot schaktet starkt lutande, öppet slag och som genom utsprängningen av schaktet för tunnelbanan förlorat sitt sidostöd. Varken ryggens lutning eller slaget hade framkommit vid tidigare bergundersökningar.

För att inga dämningsskador skulle uppstå i Mälaren kunde Norrströms avbördningsarea inte minskas med mer än en tredjedel i taget, varför arbetet i strömmen måste utföras i tre etapper.

Betongtunnel under Golfängarna

För Tb 3:s sträckning norrut från station Näckrosen undersöktes flera alternativ. För att banan till så stor del som möjligt skulle kunna läggas i bergtunnel, prövade man först med ett östligt läge, där Golfängsdalen mellan Storskogsområdet och Ör var som smalast. Man skulle med ett sådant läge kunna få en station ungefär vinkelrätt mot Ursviksvägen med en uppgång i Ör och en i det då planerade Hallonbergsområdet. Med hänsyn till de geologiska förhållandena och vissa nyuppförda bostadshus visade sig detta alternativ utförbart. Ett förslag med tunnelbanan på bro över Golfängarna i ungefär nuvarande sträckning föll på motstånd från Sundbybergs kommun, som med hänsyn till att Golfängarna är kommunens enda större fritidsområde ej godtog detta alternativ. Det alternativ som kom till utförande innebär, att tunnelbanan ligger i en betongtunnel under Golfängarna på en sträcka av ca 500 m.

Den nordligaste delen av tunneln inrymmer växelspårssystemet för gränstationen Hallonbergen och är ca 26 m bred vid berginslaget. Tunneln ligger på mittendelen helt under grundvattenytan och har därför försetts med vattenisolering.

Under byggnadstiden måste vattenflödet i bäcken mellan Lötsjön och Råstasjön ledas genom ett rör med diametern 800 mm över den inspontade tunnelschakten.

På mittenpartiet är tunneln grundlagd på jord och med hänsyn till grundvattenet utformad med slutna tvärsnitt. I ändpartierna ligger tunneln på berg och är där konstruerad som tvåledsram. Tätningen mot berget har där utförts med hjälp av puddlad lera.

Grundförhållandena under tunnelns mellandel var mycket besvärliga med

lös lera, underlagrad av flytbenägna sandiga till moiga sediment med låg permeabilitet (vattengenomsläpplighet). Grundvattenytan ligger i dalens lågpunkt något över markytan. Provpumpningar gav till resultat, att temporär grundvattensänkning på konventionellt sätt ej var möjlig. Detta skulle kräva alltför många och djupa pumpgröpar för att hålla grundvattenytan av-sänkt. I anbudshandlingarna föreslogs därför som en möjlig och säker arbetsmetod, att man för att undvika bottenuppluckring av de flytbenägna jordarterna skulle schakta inom spont under vatten, som under schaktningstiden hölls på en högre nivå än grundvattenytan utanför sponten. Därefter skulle man med undervattensgjutning utföra en bottenplatta av betong, som med dragstag förankrades och förspändes mot berget. Efter länsuppluckning skulle man sedan ha kunnat utföra tunneln i torrhet på konventionellt sätt och med sådana dimensioner, att uppflyktning förhindrades. Om dragstagen senare rostade sönder spelade i så fall ingen roll.

Den antagne entreprenören inlämnade ett eget förslag till arbetsmetod. Denna medförde lägre byggnadskostnader och efter ingående diskussioner accepterades den och kom till utförande. Den innebär, att grundvattenytan innanför sponten och även närmast utanför denna sänktes med hjälp av den sk well-pointmetoden. Vattnet sugas därvid upp genom speciella rör, som är försedda med var sin sugspets. Rören spolas ned i jorden till sådant djup, att sugspetsarna hamnar ett stycke under den slutliga schaktbotten.

Då man samtidigt höll grundvattenytan under kontroll såväl innanför som utanför sponten eliminerades risken för bottenuppluckring, som skulle ha äventyrat konstruktionens bestånd.

- 1 Frysspont
- 2 Tryckluftkassuner
- 3 Frysspont
- 4 Spont av småkassuner
- 5 Enkel stålspons
- 6 Kofferdamm
- 7 Träspont

Tjälfarligt vid Masmö

Under betongtunnelarna sydväst om Masmö bestod grunden enligt utförda geotekniska undersökningar av övervägande sandiga, distala ässediment med inlagringar av tunna mo- och lerskikt.

Grundläggningen utfördes på plattor och tillåten grundpåkänning sattes till 350 kPa (3,5 kp/cm²). Efter tjällossningen upptäcktes emellertid under en grundplatta på stora partier mellanrum på 10–20 mm. Detta antogs först bero på bortspolning av finmaterial i samband med snösmältningen, varför plattan togs bort och göts om.

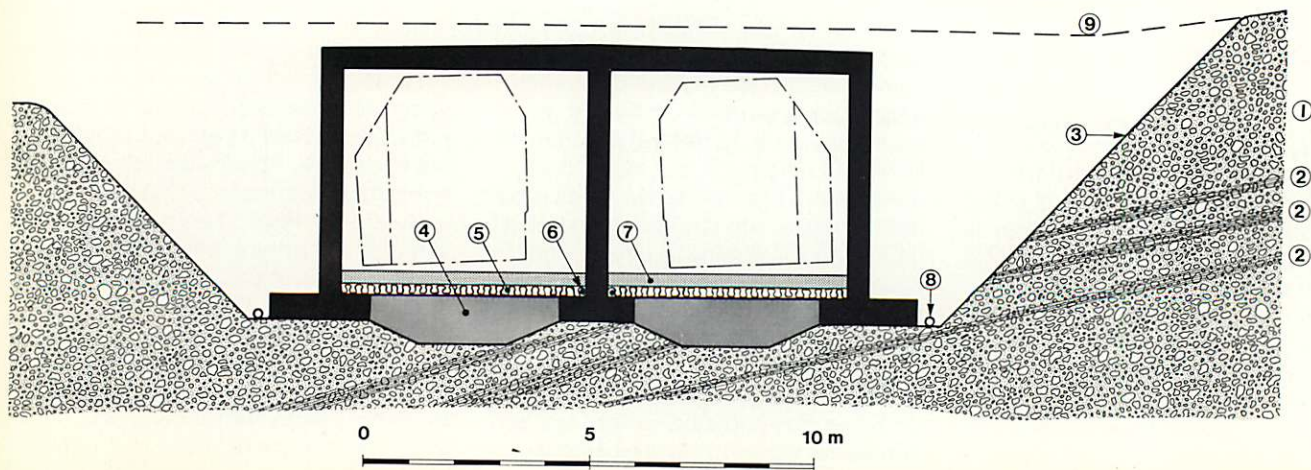
Efter ytterligare någon månad visade det sig, att en annan grundplatta i ena änden satt sig ca 150 mm och brutits av på mitten. Orsaken till skadorna var att markens tjälfarlighet ej beaktats i erforderlig grad. Då tjälfarlig jord innehållande lerskikt fryser uppstår sk israndig tjäle. När tjälen går ur jorden blir denna uppluckrad och porös och avsevärda

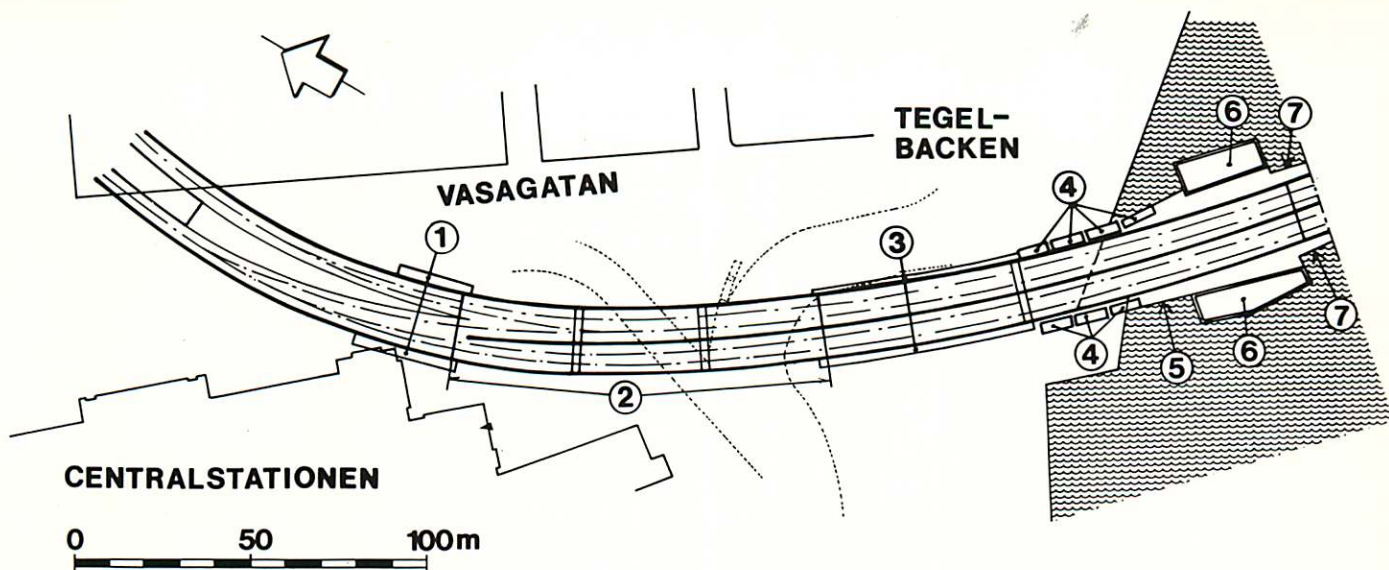
Station Masmö. Isolering mot tjälning

Den porösa undergrunden komprimerades genom vibrovältning. Anläggning mellan bottenplatta och undergrund säkerställdes genom injektering med cementbruk.

Bottenplattorna under tunnelväggarna breddades, så att en sammanhängande bottenplatta bildades under hela tunneln. Mineralullsplattor inlades mellan tunnelbotten och ballast som isolering mot tjälning, varjämte termoststyrda värmekablar placerades mellan mineralull och bottenplatta.

- 1 Sand och mo
- 2 Tunna lerskikt
- 3 Markyta vid tunnelns byggande
- 4 Nyttillkommen bottenplatta
- 5 Värmeisolering
- 6 Värmekablar
- 7 Ballast (makadam)
- 8 Dräneringsrör
- 9 Slutlig markyta





sättningar uppstår vid belastning. Det tillåtna grundtrycket minskades därför till 200 kPa (2,0 kp/cm²). Då de aktuella monoliterna ligger alldeles intill tunnelmynningen fanns risk för tjälning även efter påbörjad trafik, varför de åtgärder som illustrerats på vidstående sida vidtogs.

Frysgrundläggning och tryckluftkassuner vid Tegelbacken

Från station T-Centralen faller bergytan snabbt söderut och når ungefär 100 m norr om Tegelbackskajen ett djup på ca 26 m under markytan för att därefter stiga till några få meter under vattenytan i Norrström. Berget norr om kajen täcks av ett 3–10 m tjockt lager av flytbenägna mo, 6–10 m lera med en

skjuvhållfasthet på ca 18 kPa (1,8 t/m²) samt ca 4 m träspånfyllning i dy, troligen avfall från ett gammalt båtvarv. Detta lager kan närmast betraktas som ett kohesionsmaterial med skjuvhållfastheten ca 30 kPa (3 t/m²). Överst ligger slutligen en utfyllning med friktionsmaterial bestående av grus och rester från rivna byggnader. Grundvattenytan ligger ca 3 m under markytan. Dessa grundförhållanden medförde många byggnadstekniska problem vid byggandet av den första och andra banans gemensamma tunnel på sträckan Centralplan–Tegelbackskajen. Arbete- na komplicerades genom att byggnadsplatsen ligger mellan den livligt trafikerade Vasagatan och SJ:s tätt trafikerade spår. Då tunnelbanespåren på denna sträcka går över från T-Centralens två våningsplan till att under Norr-

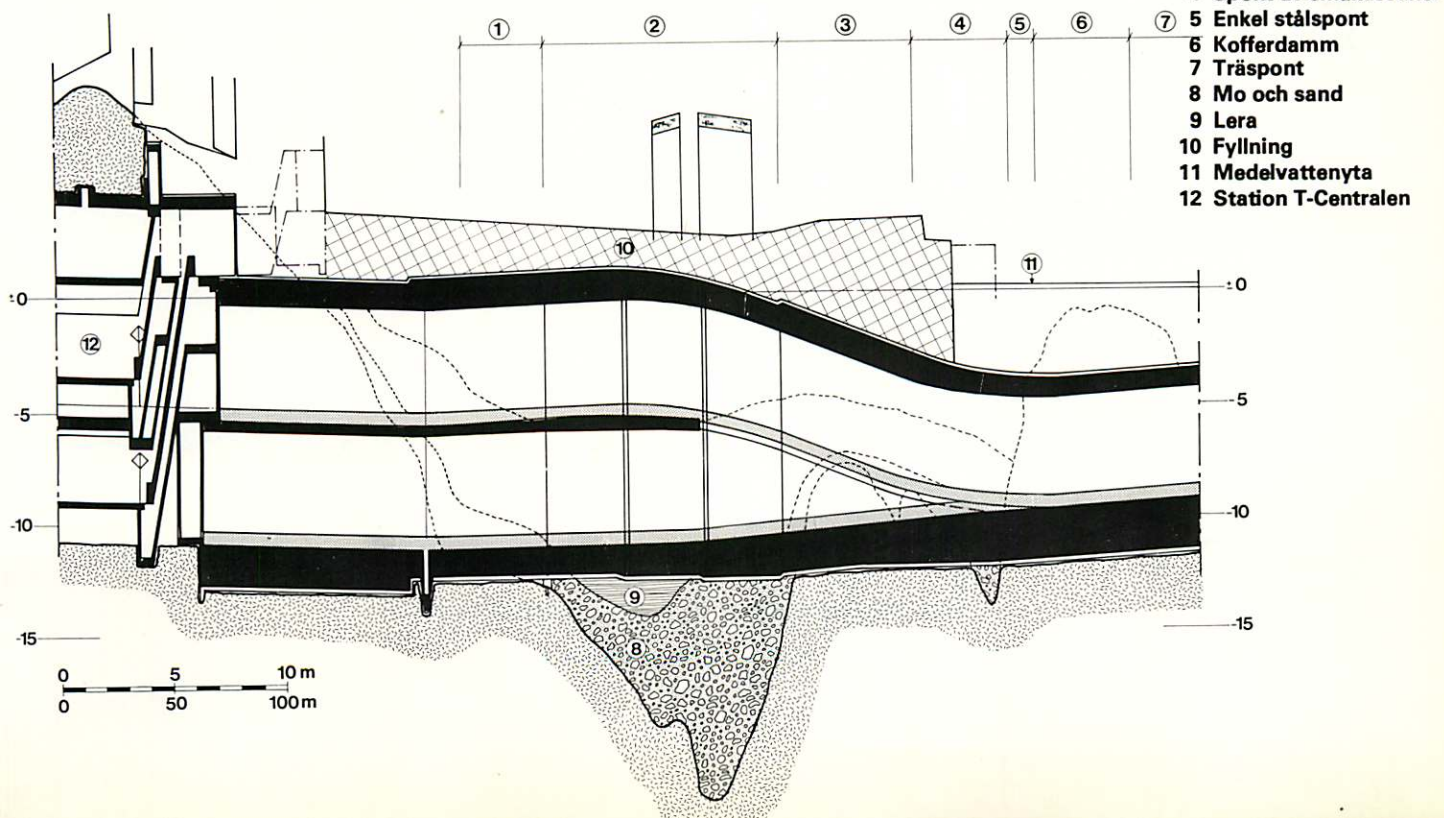
ström ligga med alla fyra spåren i samma plan blir tunnelns tvärsnitt avsevärt större än normalt.

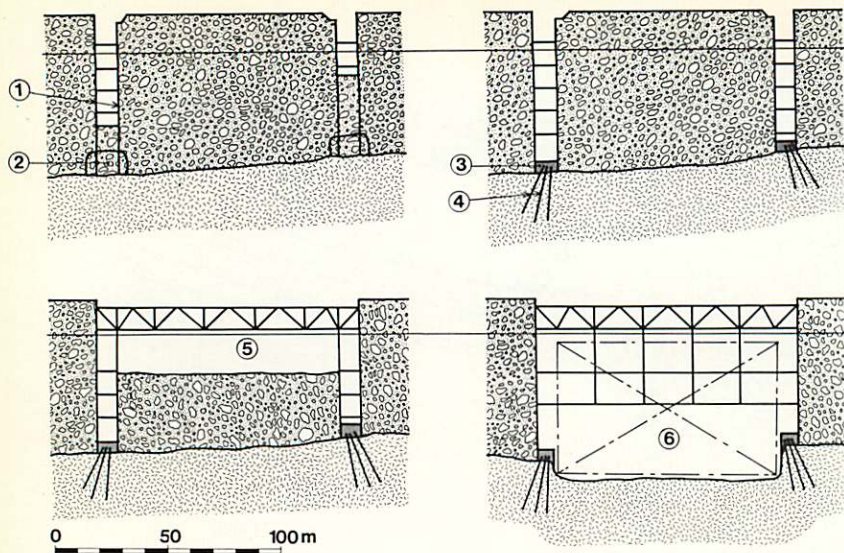
Val av byggnadsmetod

Med hänsyn till djupet till berg och det flytbenägna materialet närmast berget, som inte gav något fäste för spont, var det otänkbart att utföra vanlig inspöntning av arbetsplatsen på en sträcka av ca 160 m. Utförda undersökningar visade, att den bästa byggnadsmetoden i detta fall var att dela tunnelkroppen i lämpligt stora enheter och sänka dessa som tryckluftkassuner enligt samma metod som i speciella fall används vid utförandet av fundament för bropelare o d.

Vid detaljbearbetningen visade det sig olämpligt att utföra hela 160-meterssträckan som kassuner. För att sänka de

Längdprofil vid Tegelbacken visande grundförhållanden och grundläggningsmetoder





Vasagatan. Frysmetoden

- 1 Dubbla stålspont
- 2 Frusen jord
- 3 Betongklack
- 4 Förankringsbult
- 5 Schakt mellan innerspont
- 6 Innerspont borttages, sprängning, utförande av tunnelkonstruktion
- 7 Spontlås
- 8 Frysrör

som dels tätade ytersponten mot berget, dels utgjorde stöd för denna. Därefter kunde huvudschakten utföras och innersponten avlägsnas. Vid områdets norra del kunde sponten ej slås till berg utan den stannade på block inbäddade i flytsand 2 till 5 m ovanför bergytan. Inom dessa områden måste frysrörsslagningen föregås av foderrörsslagning. Genom foderrören sprängdes hindrande block.

yttre delarna av sträckan till erforderligt djup skulle omfattande sprängningar ha behövt utföras i tryckluft. Sådan sprängning är tidskrävande och besvärlig med hänsyn till de nitroösa gaser som utvecklas av vanliga sprängmedel. Därför utexperimenterades en metod med frysgrundläggning för de yttre delsträckorna, tillsammans ca 52 m. Bilden på sidan 75 över Tegelbacksområdet visar lägena för de olika grundläggningsmetoder som använts och därjämte en längdprofil över grundförhållandena.

Frysgrundläggning

För att klarlägga förutsättningarna för frysgning gjordes ett försök på platsen, vilket gav till resultat, att ett frysrör med 100 mm diameter, i vilket en köldblandning med temperaturen 245 K (-28°C) cirkulerade, på en månad frös en cylinder i marken med omkring 1,5

m diameter. Värmeavgivningen till röret varierade därvid från 465 W (400 kcal/h) per meter rör vid frysgningens början till omkring 230 W (200 kcal/h) efter 30 dygn.

Med ledning av försöksresultaten slogs utanför det blivande arbetsområdet en dubbelspont med 1,8 m mellan spontväggarna. I denna spontgrav slogs intill spontväggarna frysrör med delningen 0,9 m. Spontgravarna uppdelades i fack med ca 12 m längd. Ett kylmaskineri med en kapacitet av 70 000 W (60 000 kcal/h) vid 233 K (-40°C) förångningstemperatur räckte till nedkylning av 60 frysrör eller underhållsfrysning av 90 frysrör med i båda fallen 3 m kylhöjd. Sedan schaktningen i gravarna jämte åtföljande stämpling nått den frusna marken sprängdes denna loss i pallar om cirka en halv meters höjd. När berget nåtts, utfördes erforderliga bergförankringar, varpå en betongplint göts

A Förberedande arbeten innan sänkningen påbörjas

B Sänkning till ca -4 m [övertryck 40 kPa (0,4 atö)]. Tryckluftsluss för personal monterad

C Sänkning till ca -7 m [övertryck 70 kPa (0,7 atö)]. Taket byggs

D Sänkning till slutligt läge, $-12,5$ m [övertryck 125 kPa (1,25 atö)]. Pålar slås

E Komplettering av kassunbotten jämte bottenisolering

F Färdig konstruktion

1 Fryspålar för markstabilisering

2 Stödpålar

3 Domkrafter för sänkning

4 Tunnelkonstruktion

5 Provisorisk stödskonstruktion av stål

6 Arbetskammare

7 Skyddsbetong

8 Tixotrop vätska längs väggarna som glidlager

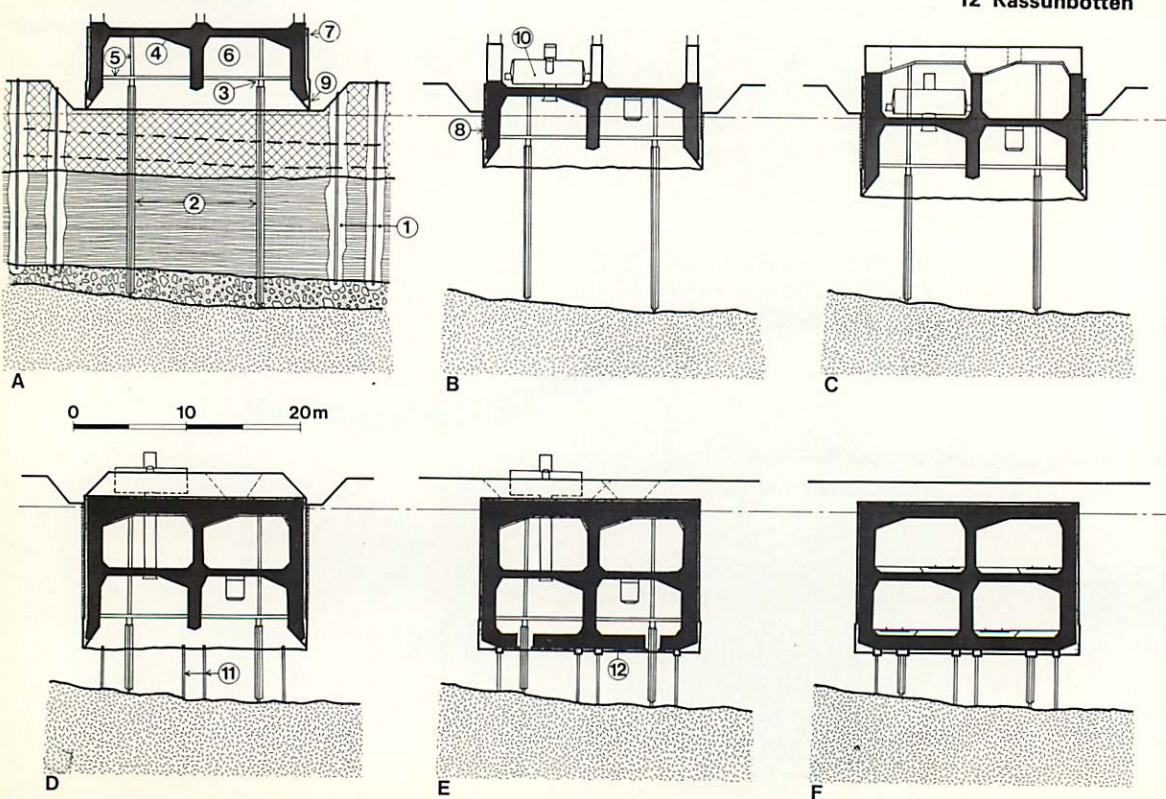
9 Kassunegg

10 Tryckluftsluss för personal

11 Kompletterande bärpålar

12 Kassunbotten

Vasagatan. Kassunmetoden



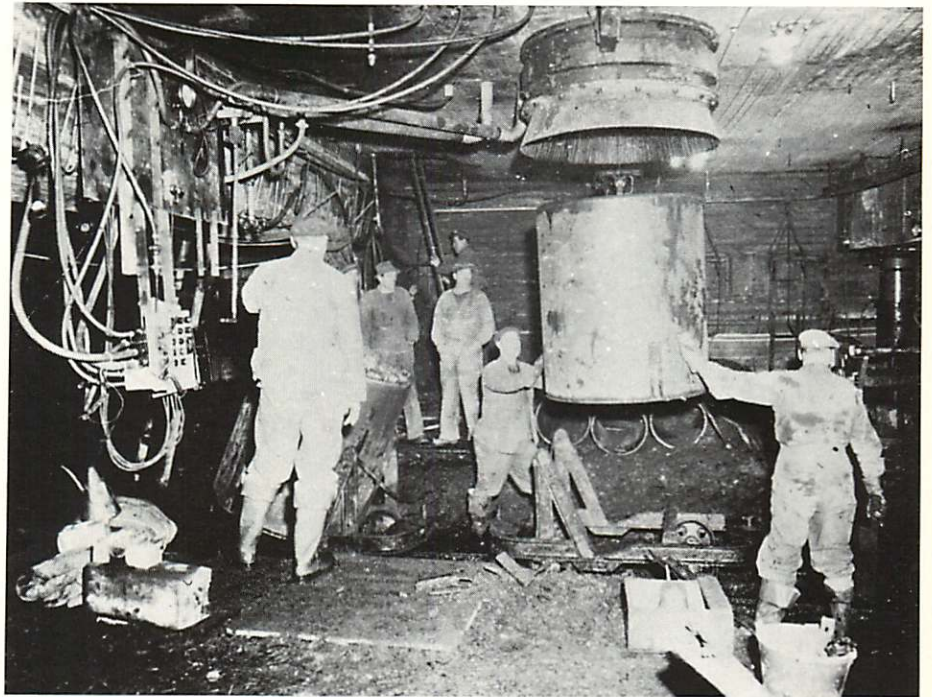
Vasagatan. Arbetskammare i kassun

Tryckluftkassuner

Genom att frysmetoden kunde användas, där djupet till berggrunden var mindre än 16 m kunde den sträcka, där kassunsänkning måste tillgripas minskas till ca 108 m och antalet kassuner till tre med vardera 35 m längd. För de båda yttre kassunerna måste trots detta viss bergsprängning utföras för att få ned konstruktionen till rätt höjdläge. För att minska omfattningen av sprängningen slopades den sk förlorade arbetskammaren som normalt används vid arbeten av detta slag. I stället omvandlades tunnelkroppens undre spårledning till arbetskammare, som framgår av illustration på sidan 76. Detta medförde visserligen den komplikationen, att tunnelkroppens bottenplatta måste isoleras, armeras och gjutas i tryckluft men detta var att föredra framför en omfattande sprängning i tryckluft och den ca 3 m djupare sänkning som man annars fått räkna med. Luftövertrycket, som sattes lika med grundvattentrycket vid kassunens undre kant, kunde nu begränsas till 120 kPa (1,2 atö). Detta innebar, att de mer rigorösa bestämmelser som gäller vid högre övertryck inte behövde tillämpas. Utformningen av undervåningen till arbetskammare medförde även, att väggarna i denna våning under sänkningstiden fungerade som konsoler inspända i övervåningen. För att undvika en kraftig ökning av väggdimensionen förutsattes vid beräkningen som ett katastrofall dels exceptionella påkänningar, dels att minst halva luftövertrycket alltid skulle finnas kvar i arbetskammaren för att motverka inspänningsmomentet av utvändigt jord- och vattentryck. Det senare belastningsfallet var godtyckligt valt men det inträffade faktiskt vid två tillfällen under sänkningen, att luft blåste ut under eggen och att lufttrycket därvid minskades till ungefär hälften.

Sprängning i kassun

Trots det minskade sänkingsdjupet måste ca 40 m³ berg sprängas bort vid de yttre kassunerna. Sprängningen utfördes med mycket små laddningar, ungefär en halv dynamitpatron. Mängden nitrösa gaser blev därigenom inte större än att den kunde bortföras genom den normala ventilationen. Arbetsstyrkan behövde inte slussas ut utan kunde uppehålla sig i övervåningen under sprängningen. För att få det utrymme som erfordrades för att börja bygga den sydligaste kassunen måste den provisoriska gatuviadukten över SJ avväxlas och grundvattenytan sänkas till -1,7.



Sänkning av kassunerna

Sänkningen av kassunerna underlättades genom användandet av tixotrop vätska. Vätskan fylldes i det utrymme som bildades mellan kassunvägg och jord, när den förtjockade kassuneggen började sjunka under markytan. Vätskan hade volymvikten ca 1,6 och tillverkades av lera från arbetsplatsen genom tillsättning av vatten och 1 % natriumpyrofosfat under intensiv omröring. Vid beräkningarna hade förutsatts ett genomsnittsvärde på väggfriktionen av 10 kPa (1,0 t/m²) och enligt mätningar under sänkningen stämde denna uppskattning tämligen väl. På grund av att tixotrop vätska användes kunde man inte tillämpa den vid tryckluftsarbeten annars vanliga metoden att låta den förbrukade luften blåsa ut under eggen utan kassunerna försågs med en särskild utloppsventil, som var noggrant ställbar på önskat tryck och som öppnade och stängde vid avvikelser från detta. På grund av tunnelbanespårens fixerade lägen var det nödvändigt att sänka kassunerna med större precision än som vanligen brukar krävas vid liknande arbeten. Den största feltolerans man kunde medge i tvärlängd var inte större än 200 mm. Eftersom dessutom grunden bestod av ojämnt fördelade lager med inlagringar av block, stockar o d med hårdare lager ovanpå lös lera, ansågs det ej vara tillrådligt att söka sänka kassunerna utan någon form av tvångsstyrning. Denna utfördes så, att man lät kassunerna vila på 22 st 2MN (200 Mp)

domkrafter placerade på stålplåtar. Kassunen sänktes 100 mm pr gång och för att slippa kapa plåtar vid varje sänkning användes mellanlägg med modulen 100 mm upp till 600 mm höjd. Plåtar skars av (vardera) 700 mm vid varje kapning varefter sänkningen fortskred. Detta fungerade bra — den största förskjutningen i horisontalld upp gick till 140 mm — men den skedde i spårriktningen och var därför betydelselös. Största sidoavvikelsen var inte större än 30 mm. Kvarvarande delar av sänkingsplåtar fylldes med betong och fick hjälpa till att bära upp kassunerna även i deras slutliga lägen. De var dock inte tillräckliga härför utan ett antal rälsplåtar slogs från arbetskammaren som komplettering efter slutad sänkning. Total arbetstid per kassun var ca ett år.

Vattenisolering

Såväl kassunens väggar som den senare gjutna bottenplattan har isolerats med Oppanol, som skyddats med 200 mm skyddsbetong. Med hänsyn till väggfriktion och inre luftövertryck har denna måst förankras genom isoleringen med erforderlig bult med specialutbildad genomföring, vilket visas på nedanstående bild.

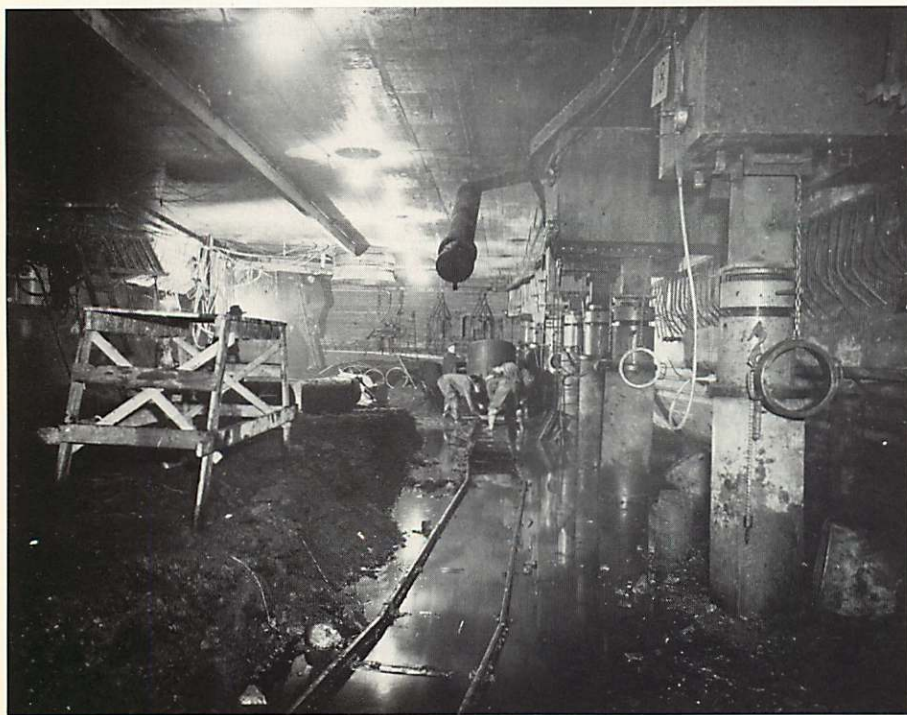
Stabilisering mot skred i leran

I visst sänkingsläge fanns risk för skred i leran, så att schaktbotten kunde tryckas upp i kassunen trots det befintliga luftövertrycket. Med ledning av tidigare utförda försök gjordes en stabili-



Vasagatan. Första kassunen sänkes

Vasagatan. Stålpålar med domkrafter på vilka kassunen vilar under sänkningen



sering av leran genom frysning av ett antal pålar med ca 1,5 m diameter runt kassunen. Metoden medförde tyvärr stora sättningar i omgivande lermark vid upptiningen.

Hopfogning av kassunerna

Kassunerna sänktes med 2 meters mellanrum, som slöts med järnspontväggar från i kassunerna ingjutna spontlås. Översidan täcktes med betongplatta och urschaktning gjordes under luftövertryck från mittkassunen sedan de provisoriska gavelväggarna genombrutits.

Personal- och materialsluss

Personalslussen var försedd med två kammare och rymde på en gång hela arbetsstyrkan, som var 12 man per skift. Arbetet bedrevs huvudsakligen på 2-skift.

Materialslussen var gjord för att rymma en 1 m³:s behållare. Den var cylindrisk och avgränsades i ändarna av diame-tralt tudelade, tryckluftmanövrerade luckor med gummiklädda kanter, som tätade kring det plattstålbånd i vilket behållaren hissades. Den utanför upp-ställda kranen manövrerades efter ljus-signaler från personalen i kassunen och från i slussen inbyggda fotoelektriska celler.

Schaktning

Schaktningen skedde med rälsgående luftlastmaskin, Atlas LM 35 med 130 dm³ skopa, i 1,5 m:s pallar. Medelkapacitet 24 m³/skift, max do 51, motsvarande 7,5 slussningar/tim.

Tryckluftanläggningen

Tryckluften levererades av två eldrivna lågtryckskompressorer och en diesel-driven reservmaskin. 0,5 m³ luft av aktuellt tryck per minut och arbetare levererades.

Tryckfallssjuka

Vid övertryck upp till 130 kPa (1,3 atö) anses risken för uppkomst av svårare tryckfallssjuka vara mycket liten. Av de 70 kassunarbetarna vid Tegelbacken föredde likväl omkring hälften vid ett eller flera tillfällen sjukdomssymptom och i nio fall måste rekomprensionsbehandling företas i den sjukluss, som fanns på arbetsplatsen.

Skärning med gas

Enligt de säkerhetsanvisningar, som gällde när kassunarbetet påbörjades, fick skärning och svetsning ej ske i tryckluft. Eftersom sådana arbeten skulle bli nödvändiga bl a vid kapningen av pålarna, utfördes tillsammans med Sta-

tens Institut för Folkhälsan och Aga en serie försök i örlogsvarvets dykarklocka under det största övertryck, som skulle bli erforderligt i kassunerna. Dessa prov visade, att skärningen ej medförde några speciella risker vid övertryck upp till 140 kPa (1,4 atö). Utvecklingen av nitrosgaser var ungefär densamma som vid arbete utan övertryck.

Småkassuner och kofferdammar

Vid själva Tegelbackskajen och 15 m söder därom är djupet till berg 11–16 m och täckt av jordarter i vilka en vanlig spont inte kan förankras. Inte heller kunde frysmetoden användas. Här utfördes en inspontning av småkassuner med planmått 10×2,5 m utförda på konventionellt sätt med arbetskammar, som hölls under ett övertryck motsvarande vattentrycket. Från arbetskammar utfördes erforderlig bottenförankring.

Söder om småkassunerna utfördes inspontningen med hjälp av kofferdammar tills vattendjupet blev så ringa, att en enkel träspontdamm kunde användas.

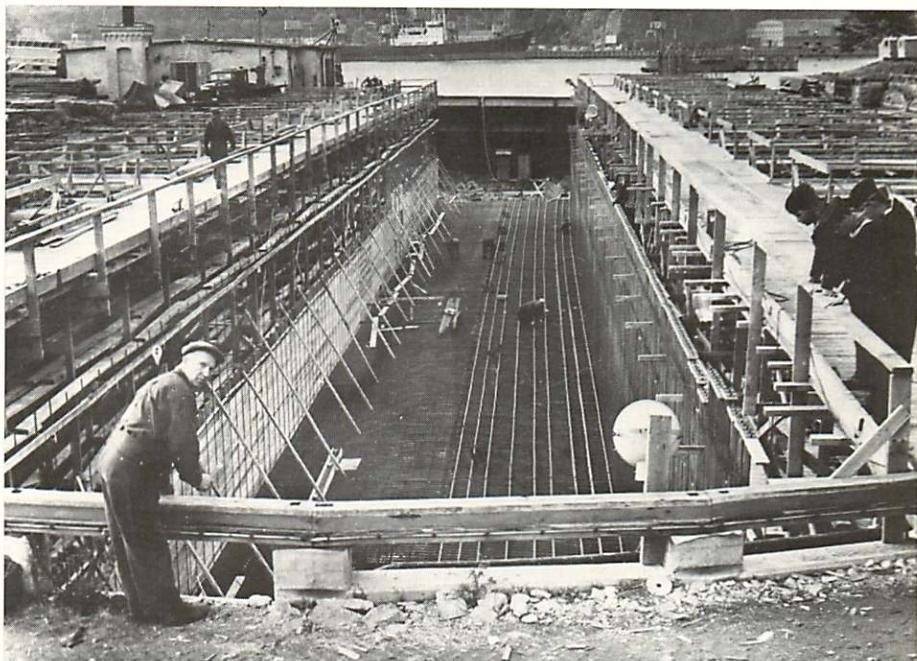
Sänktunnel under Liljeholmsviken

På ömse sidor om Liljeholmsviken ligger bergytan så högt, att banan har kunnat utföras i bergtunnel. I själva viken sjunker däremot bergytan till max –22 under MW (normal medelvattentyta). Då det var olämpligt att sänka banan till sådant djup, att bergtunneln skulle kunna utföras under viken, byggdes på denna sträcka en dubbel-spårig betongtunnel. Höjdläget på denna tunnel bestämdes av att djupet i farleden skall vara minst 6,9 m. För att förkorta stängningstiden för farleden utfördes tunneln som sänktunnel på en längd av 123 m.

Sänktunneln byggdes i en fartygsdocka vid Beckholmen. På grund av dockans begränsade längd måste tunneln utföras i två delar med 85 resp 38 meters längd. Efter gjutningen bogserades tunneldelarna till en plats i närheten av tunneläget där de sammanfogades flytande på vattnet. Därefter kunde den 123 m långa tunneln transporteras till tunneläget och sänkas på i förväg iordninggjorda stöd.

Betongtunneln är förspänd i såväl längd- som tvärlägen, varigenom den blivit vattentät utan någon speciell vatten-

Flottning av en sektion av Liljeholmens sänktunnel



Sänktunneln för Liljeholmsviken under byggnad i Beckholmsdockan

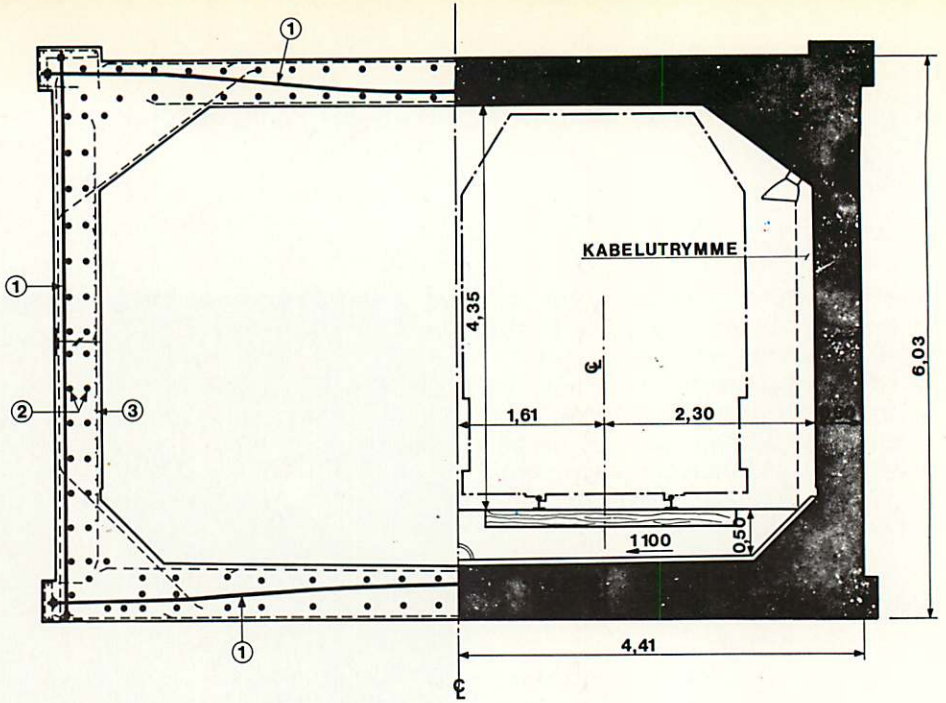


isolering. På en sträcka av 50 m över den djupaste bergklyftan är tunneln fribärande. Förutom övriga belastningar har tunneln som exceptionellt belastningsfall beräknats för lasten av antingen ett sjunkande 1 500 tons fartyg eller för helt vattenfylld tunnel. Anslutningen till bergtunnlarna har gjorts med platsgjutna betongtunnlar utförda i bergskärningar inom fångdammar.

Broar och viadukter

Plankorsningar mellan gatutrafik och tunnelbanetrafik får ej förekomma. I ytterområdena, där tunnelbanan ofta framgår på öppen banvall, har detta för de hittills utförda tunnelbanelinjerna medfört, att man måst bygga mer än hundratalet viadukter. Vanligen går banan ovanför vägen, men i ett mindre antal fall är det tvärtom. Tunnelbanan passerar vidare sex broar över vatten, nämligen Tranebergsbron, S:t Eriksbron, bron över Söderström, högbron vid Skanstull, bron över Albysjön samt Stocksundsbron.

Viadukt- och brobyggnadernas omfattning framgår kanske bäst vid en jämförelse med tunnelbanelinjernas totala längd som är 110 km. Härav utgör viadukterna 7,8 km och broarna 2,1 km, dvs sammanlagt 9,9 km. I det närmaste 9 % av tunnelbanan utgöres sålunda av broar och viadukter.



- 1= Stänger
- 2= Spännkablar
- 3= Mjukarmering

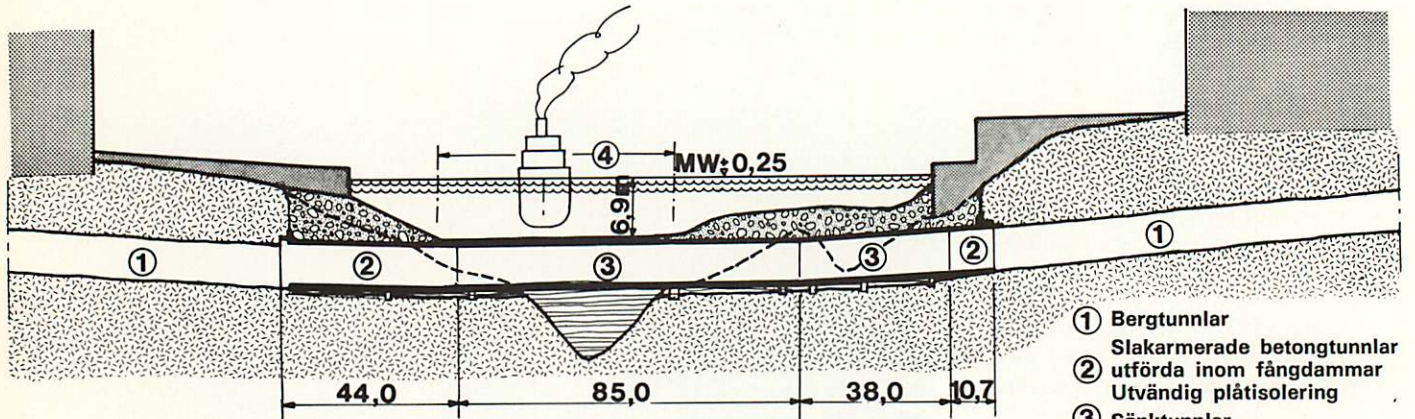
Plan och profil över sänktunneln mellan Södermalm och Liljeholmen

Bergtunnlar

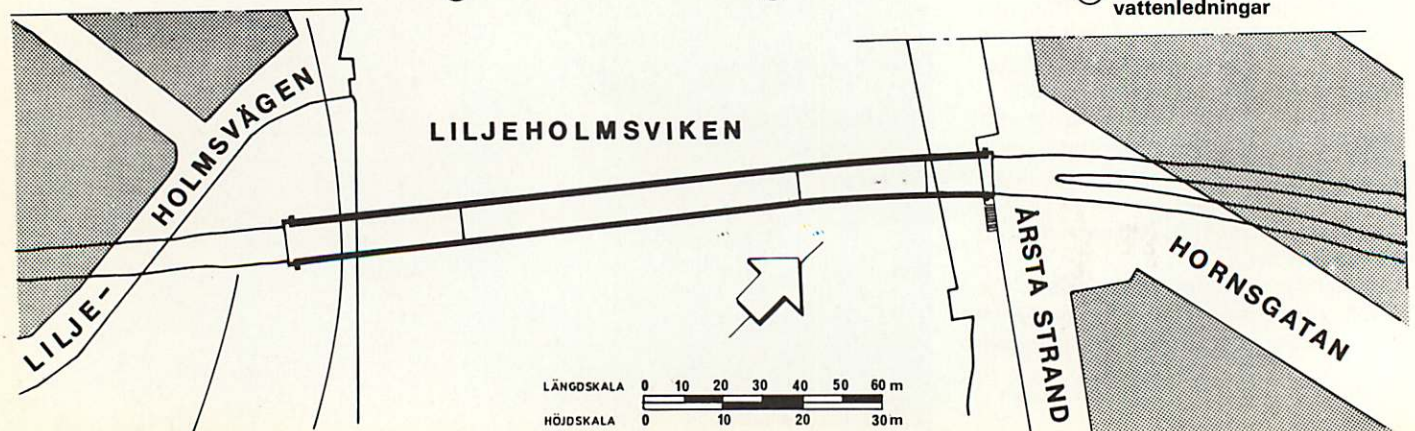
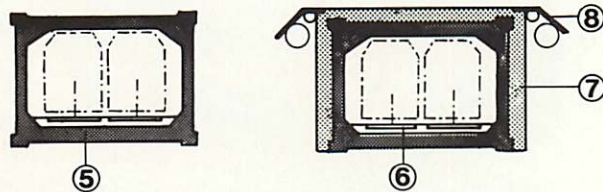
Slakarmerade betongtunnlar utförda inom fångdammar

Utvändig plåtisolering

Sänktunnlar



- ① Bergtunnlar
- ② Slakarmerade betongtunnlar utförda inom fångdammar
- ③ Utvändig plåtisolering
- ④ Sänktunnlar
- ⑤ Farled
- ⑥ Tvärsektion av sänktunnelns bärande element
- ⑦ Tvärsektion av sänktunneln under farleden
- ⑧ Skyddsplattor av betong
- ⑨ Skydd för gas- och vattenledningar



I förorternas större centrumbildningar förs i allmänhet tunnelbanan på långa viadukter över själva centrum för att kontakten mellan bebyggelsen på ömse sidor om banan skall bibehållas. I Farsta Centrum t ex, förs tunnelbanan på två ca 200 m långa parallella enkelspårviadukter över torg, busstation och park. Bredängs och Fruängens centra har utformats på liknande sätt.

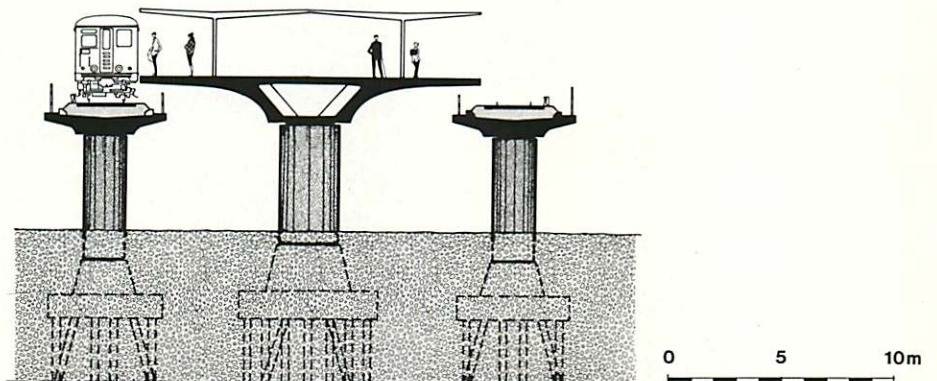
Miljövänligt

I några fall har man velat bevara öppenheten hos vissa särskilt vackra dalgångar och därför låtit banan korsa dem på viadukt i stället för på en hög bank. Så har bl a skett vid Räcksta träsk i Västerort och i Söderort vid dalgången mellan Björkhagen och Kärrtorp, mellan Gubbängen och Hökarängen, vid korsningen över Nynäsvägen vid Gubbängen samt i sydväst mellan Rågsved

och Hagsätra, vid Vårbydalen och på ömse sidor om station Fittja samt vid Igelbäcksdalen på Järvafältet i Norr. I de nya förortsområdena har man eftersträvat att ordna från gatutrafiken skilda gångstråk, varför man byggt ett relativt stort antal gångtunnlar under gator. Där dessa gångstråk korsar tunnelbanan, har gångtunnlar eller gångviadukter anordnats.

Konstruktionstyper

Viadukter har byggts i såväl stål som betong. Under de senaste årtiondena har betongen ställt sig billigare än stål, varför betongviadukter numera dominerar helt. Härtill kommer för betongviadukter mindre underhåll och väsentligt lägre bullernivå, vilket i tätbebyggda områden är av stor betydelse. Konstruktionstyperna omfattar nästan



Viadukter vid station Bredäng, tvärsektion

Gångviadukt vid station Hägerstensåsen



Eliptisk gångtunnel





STATION BREDÅNG

Pressbyrån



hela registret från fritt upplagda eller kontinuerliga plattor och balkar, plattor, ramar, lådbalkar och bågar till förspända konstruktioner.

Om banan går på viadukt omedelbart intill en station, där avståndet mellan spåren är stort, uppbärs vardera spåret av en viadukt, som vilar på en enda centrisk pelarrad. Detta förfarande tillämpades tidigare, även där banan korsar större trafikleder under spetsig vinkel, för att undvika sned uppläggning av den kontinuerliga plattan, eftersom beräkningsmetoderna för sneda plattor då var ofullkomliga.

Förspända konstruktioner förekommer dels där det är ekonomiskt motiverat dvs vid spännvidder större än 25–30 m, dels där tillgänglig konstruktionshöjd är så knapp, att slakarmerat utförande ej är möjligt. Exempel på stora spännvidder är bron över Stocksundet, 55 m, bron över Albysjön, 48,5 m samt Kista-viadukterna, 36 m. Exempel på pressade konstruktionshöjder är viadukten över Lidingövägen, över Nynäsvägen vid Gubbängen samt för vagnhallsspår över Hägerstensvägen.

Vid stålviadukter läggs spåret på syllar direkt på konstruktionen, medan vid betongviadukter spåret i allmänhet läggs på makadamballast, vilket är lämpligast ur underhålls- och justeringssynpunkt. Vid större spännvidder har man i några fall för att minska den ständiga lasten — ballastens vikt är lika stor som tåglasten — lagt rälerna med gummimellanlägg på betongklotsar i ursparingar i skyddsbetongen. Denna metod kräver mycket små toleranser i höjdled vid utförandet dels av själva viaduktöverbbyggnaden, dels av rälsupplägningen.

Tranebergsbron



T-banans bropassager

Tranebergsbron, Tb 1

Tranebergsbron har inklusive tillfarts-
viadukter en längd av 580 m och en
maximal spännvidd av 181 m — på sin
tid (1934) världens längsta betong-
bågspann. Vid sidan av tunnelbanan
uppbär den en 19 m bred gatutrafikled.
Med undantag för de stålbalkar som
uppbär farbanedäcket är den utförd helt
i armerad betong.

S:t Eriksbron, Tb 1

Under åren 1935–37 företogs en om-
byggnad och en breddning av den gam-
la år 1906 färdigställda S:t Eriksbron,
varvid brobana och stålöverbyggnad
utbyttes mot helt nya konstruktioner.
Trots att det vid denna tidpunkt inte fö-
relåg något formellt beslut om en tun-
nelbana på Norr och ännu mindre var
klart, att en eventuell tunnelbana skulle
komma att gå fram i S:t Eriksbrons
sträckning utformades den nya bron på
sådant sätt, att det i en undre våning
kunde beredas plats för en blivande
tunnelbana.

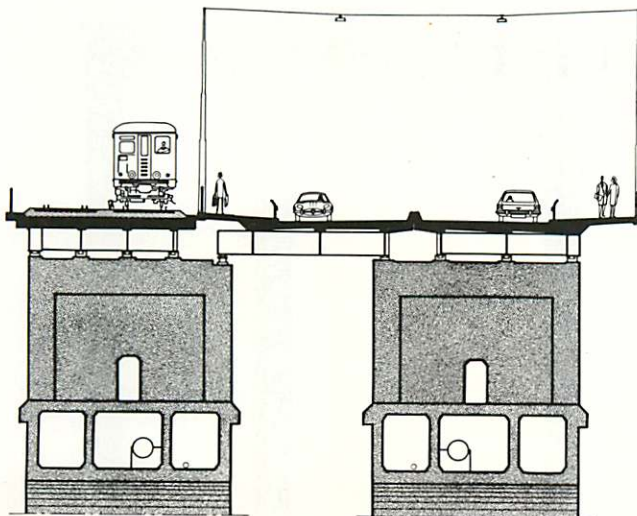
De båda innersta av gatubrons sex hu-
vudbalkar placerades därför på så stort
avstånd från varandra, att tunnelbanan
skulle få rum mellan dem. Däcket mel-
lan dessa huvudbalkar lät man uppbä-
ras av ett tvärbalksystem med minsta
möjliga konstruktionshöjd. Vidare för-
sågs de nya betongpelarna med ett för-
sänkt mittparti som svarade mot det
fria rummet för tunnelbanan samt med
upplagspallar för banans framtida hu-
vudbalkar.



S:t Eriksbron

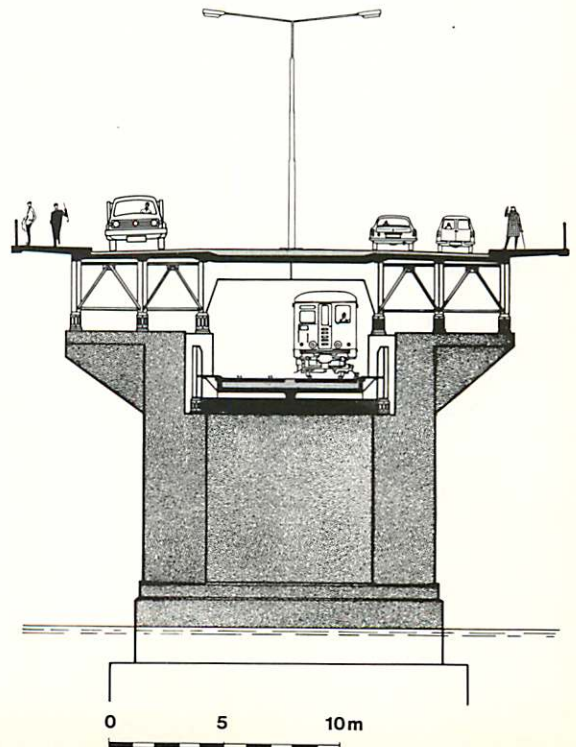
Tunnelbanebron har två 2,3 m höga
svetsade huvudreglar och mellan dem
tvärbalkar, som uppbär ett trågformat
betongdäck, på vilket spåröverbyggnad-
ens ballast vilar. Brons totala längd är
225 m och största spannet 40 m. Bero-
ende på önskemålet att nedbringa tra-
fikbullret i mesta möjliga mån med
hänsyn till den närliggande bebyggel-
sen har slirarna förlagts i ballast i stäl-
let för direkt på stålkonstruktionen.

S:t Eriksbron. Tvärsektion



0 5 10 m

Tranebergsbron. Tvärsektion



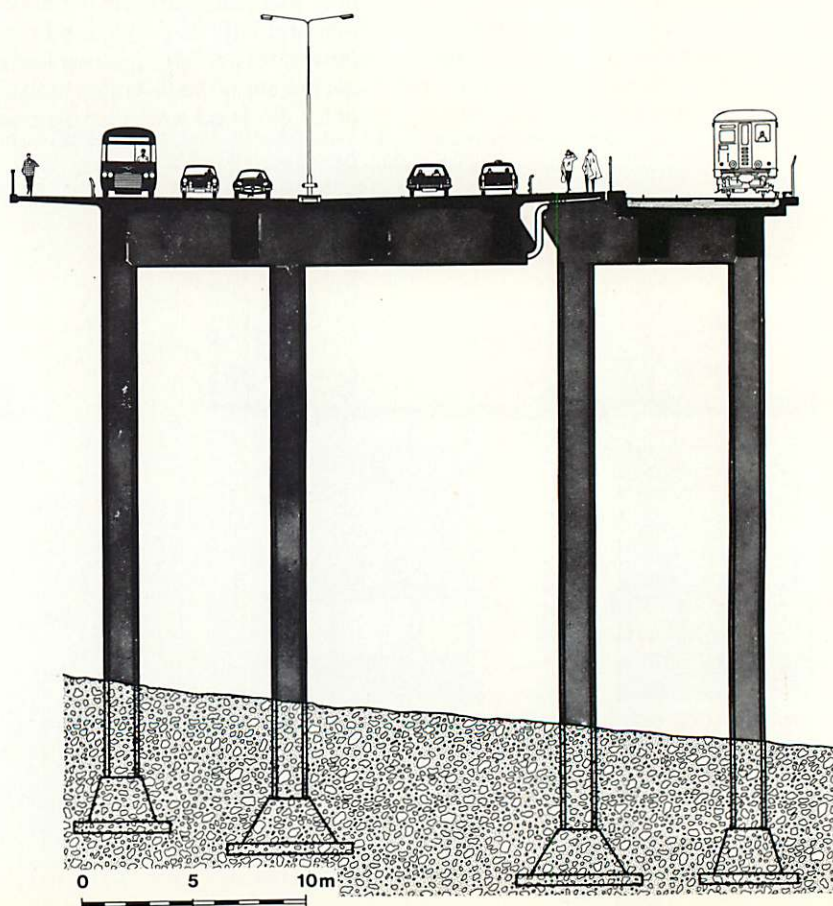
0 5 10 m

Bron över Söderström



Bron över Söderström, Tb 1–Tb 2

Tunnelbanebron över Söderström har i stort sett samma planläge som den tidigare, nu rivna järnvägsbron, men bredden är ungefär den dubbla. De omkring 80 år gamla träpålarna från järnvägsbrons grundläggning visade sig vara fullt friska och bärkraftiga och kunde därför utnyttjas för de nya brofundamenten. Pålgrupperna har emellertid kompletterats med dels ytterligare träpålar, dels betongfyllda stålörspålar. Bron har en längd av 172 m. Största spännvidden är 21,2 m och fria höjden i farleden 5,4 m. Brons bärande stålkonstruktion består av tio svetsade långbalkar med inmot 1,0 m höjd, vilka direkt uppbär sliprar och spår. Samtliga lager är justerbara i såväl höjd som sidled för att man skall kunna kompensera eventuella sättningar.



Skanstullsbron. Tvärsektion

Skanstullsbron



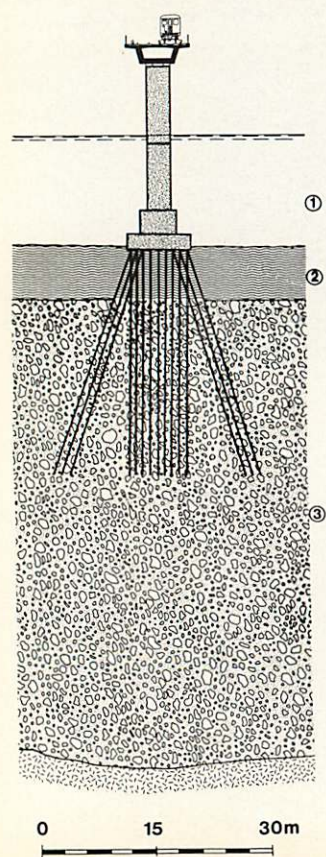
Skanstullsbron, Tb 1

Skanstullsbron består av en tunnelbanebro och en 26,3 m bred gatubro vid sidan av denna. Bron är utförd helt i armerad betong och har en längd av 574 m och en fri höjd över medelvattnenytan i Hammarbyslussen av 32 m. Spännvidderna varierar mellan 20 och 29 m utom över hamnbangården på Södermalm, där ett bågspann med ca 110 m spännvidd utförts.

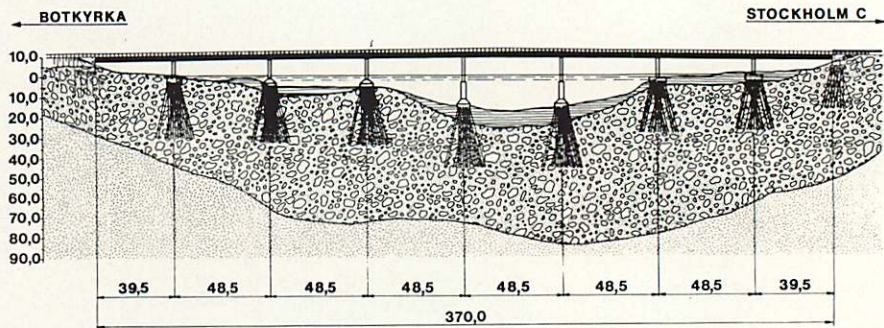
Bron över Albysjön, Tb 2

Bron över Albysjön måste byggas i ett läge med ogynnsamma grundförhållanden. Den tillhör det fåtal betongbroar, där rälerna är upplagda och fästade på betongklotsar på skyddsbe-
 tongen, varvid ballasten slopats. Ge-
 nom viktnedskningen och genom att
 brobredden därvid kunnat reduceras
 sparades ca 1 Mkr av totalt 6 Mkr. Den-
 na besparing reducerades emellertid till
 viss del genom att denna typ av spår-
 uppläggning blir dyrare än spår på syl-
 lar i konventionell ballastbädd.
 Albysjöns vattendjup är max 17 m. Un-
 dergrunden utgörs av löst lagrat frik-
 tionsmaterial — sk distalt åssediment
 — ända ned till berg. Vid sjömitt över-
 lagras friktionsmaterialet av ca 8 m
 gytta och lera. Djupet till fast botten i
 brons mitt är ca 90 m. Pålning till fast
 botten kunde därför ej ifrågakomma.
 Provpålning utfördes för att bestämma
 lämpliga påltyper och erforderliga pål-
 längder samt pålarnas bärighet. Totalt
 slogs femton provpålar fördelade på tre
 försöksställen. Sex pålar provbelasta-
 des. Resultatet av provpålningen visa-
 de, att pålarnas sjunkning vid stopp-
 slag ej kunde användas som kriterium

- Albybron. Tvärsektion
 1 Albysjön
 2 Kohesionsmaterial
 3 Friktionsmaterial



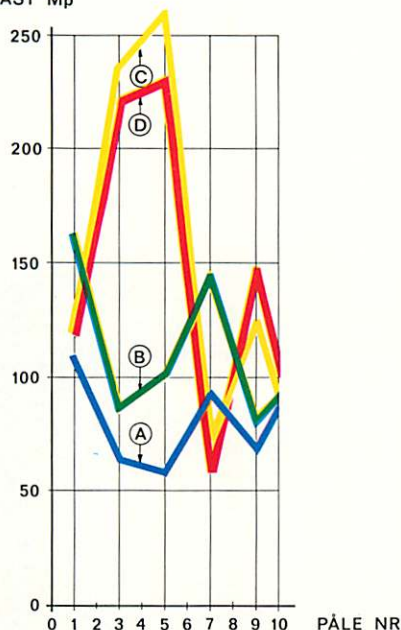
Albybron



Albybron. Längdsektion

Albybron. Formsättningen bärs av ett stål-
 fackverk



BROTTLAST M_p 

BRO ÖVER ALBYSJÖN
BERÄKNADE BROTTLASTER (A-C)
OCH BROTTLASTER FUNNNA VID
PROVBELASTNING (D)

$$(A) P_B = \mu \cdot K \cdot \frac{Q_h \cdot h}{e + \frac{c}{2}} \quad \text{ENL. KREÜGER}$$

$$(B) P_B = 0,8 \cdot K \cdot (1,0 - 0,1 \cdot \frac{Q_p}{Q_h}) \cdot \frac{Q_h \cdot h}{e + \frac{c}{2}}$$

$$(C) P_B = N \cdot \sigma_s \cdot A + \int_0^l K \cdot \text{tg } \delta \cdot \gamma \cdot z \cdot u \cdot dz$$

Albybron. Pålningsdiagram

på pålarnas bärförmåga, vilket annars vanligen är fallet. I stället erfordrades ett för varje pålgrupp bestämt neddrivningsdjup. Pålarnas brottlast vid provbelastning visade sig tämligen väl överensstämma med summan av beräknat spetsmotstånd och mantelfriktion. Erforderliga pållängder kunde härigenom bestämmas för de olika påltyperna och blev blott 20–30 m. Provpålningen visade vidare, att 300×300 mm betongpålar på grund av blockförekomst ej kunde slås ned hela till erforderligt djup vid de östligaste brostöden. Däremot kunde 250×250 mm betongpålar, som är vekare, och 600 cm² Herkulespålar (med sexhörning sektion) slås ned utan komplikationer.

Bron över Stocksundet, Tb 2

Bron över Stocksundet har med sina 55-m-spänn rekordet bland betongbalkbroar för tunnelbanan i Stockholm. Den är utformad som spännarmerad lådkonstruktion. De båda mellanstöden i vatten är grundlagda på betongpålar. Övriga stöd står på berg. Utbyggnaden skedde etappvis med ett spann i taget, som förspändes i erforderlig grad före gjutningen av följande etapp. Som formställning användes fackverksbalkar upplagda på de permanenta stöden och på hjälpstöden samt upphängda i änden av tidigare gjuten etapp.

Station Ropsten

Viadukter

Lidingövägen, Tb 2

Viadukten över Lidingövägen är den första sk delvis förspända konstruktionen i Stockholm och troligen även i Sverige. Av bl a estetiska skäl ansågs det fördelaktigt med jämntjock plattkonstruktion. En vutförsedd balk skulle även väsentligt försvårat formsättningsarbetet eftersom spännvidderna varierar. Genom den konstanta tjockleken kunde formsättningsarbetet mekaniseras i hög grad. Överbyggnaden göts på en underliggande stålställning som med hjälp av rullar och domkrafter kunde flyttas från fack till fack. Härigenom kunde spirställningar på SJ:s område och på Lidingövägen undvikas, varigenom trafiken där kunde fortgå ostört.

Med hänsyn till tillåtna lutningar för tunnelbanan samt kravet på bergtäckning för anslutningstunnlarna i Gärdeshöjden och Hjorthagsberget och fri höjd över Lidingövägen är utrymmet för konstruktionshöjd knappt. Viadukten har därför utförts med förspänd armering över stöden, där momenten är störst, och med slakarmering i fält.

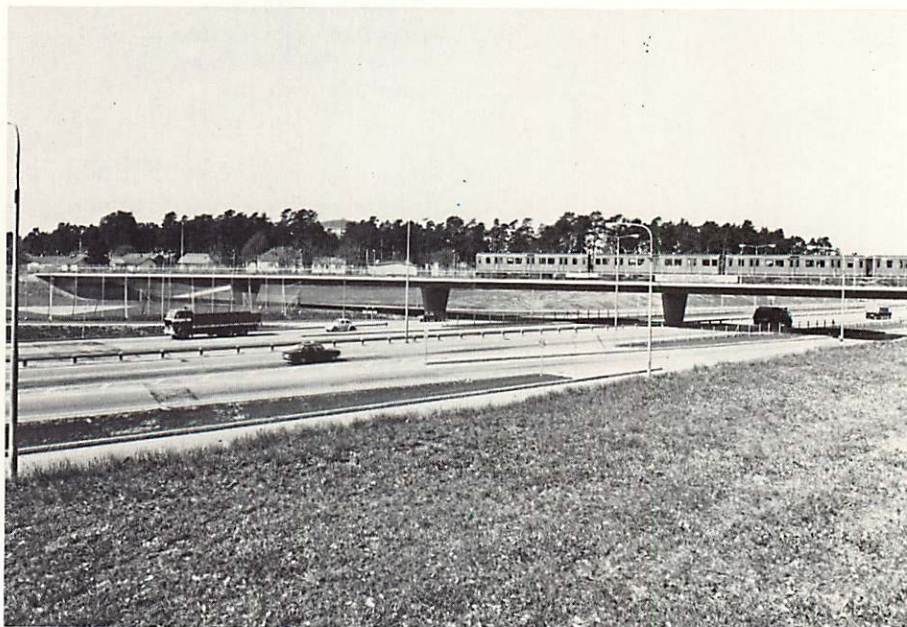
Lidingövägen. Formsättning



Farstabanans viadukt över Nynäsvägen

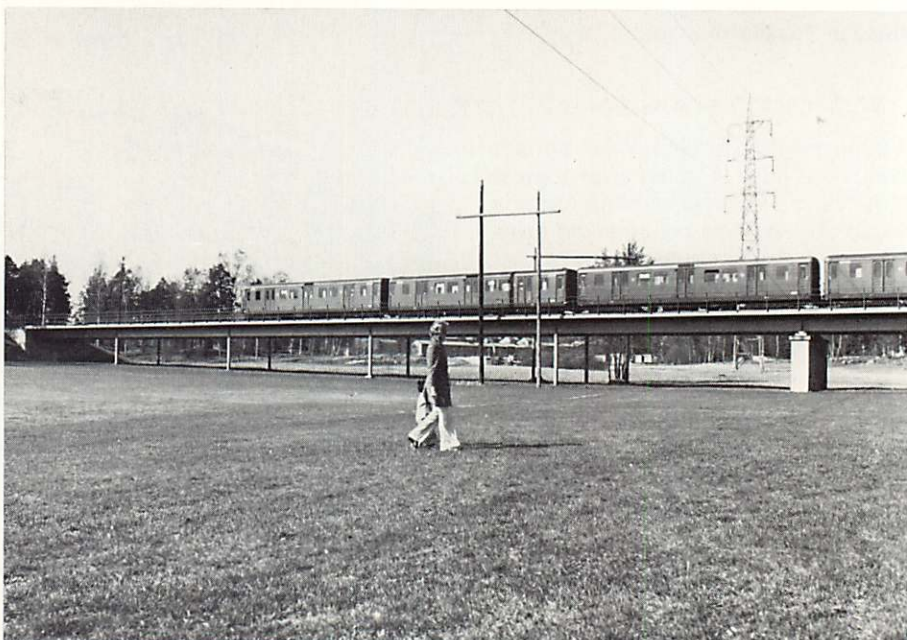
Ropsten, Tb2

Station Ropsten är placerad planskilt över gatuplanet på två plattformsviadukter och två spårviadukter. Mellan plattformsviadukterna finns förbindelsedelar på tre punkter. Stationen utgör ändstation på banan tills fortsättningen över vattnet byggs mot Lidingö. Därför har stoppbockar ordnats på viadukterna. Traditionella fastlager har inte kunnat utföras på grund av den ansevärd påkörningskraften som kan uppkomma mot stoppbockarna. Viadukterna har i stället förankrats i landfästena medelst armeringsstänger. I viaduktändarna mot norr har armeringsstängerna försetts med skarvmutterar för att på ett enkelt sätt kunna förlängas, när banan en gång i framtiden eventuellt förs vidare till Lidingö på bro över Stora Värtan.



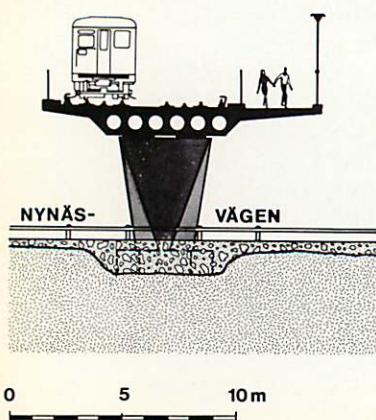
Nynäsvägen, Tb 1

Tb 1:s korsning med Nynäsvägen har inneburit en del problem. Sålunda måste viaduktens ytterspann med hänsyn till underliggande trafikled vara lika långa som innerspannen. Dessutom står extremt liten konstruktionshöjd till förfogande för att uppnå erforderlig fri höjd 4,6 m för gatutrafiken. Viadukten har utförts som ramkonstruktion, varvid bromskraften och övriga horisontalkrafter upptas i ramben. På mellanstöden vilar överbyggnaden på neoprenlager. Att det varit möjligt att utbilda konstruktionen som ram trots dess relativt stora längd, 140 m, beror bl a på att momenten av krypning och krympning motverkar momenten av ständig last och trafiklast. Den knappa

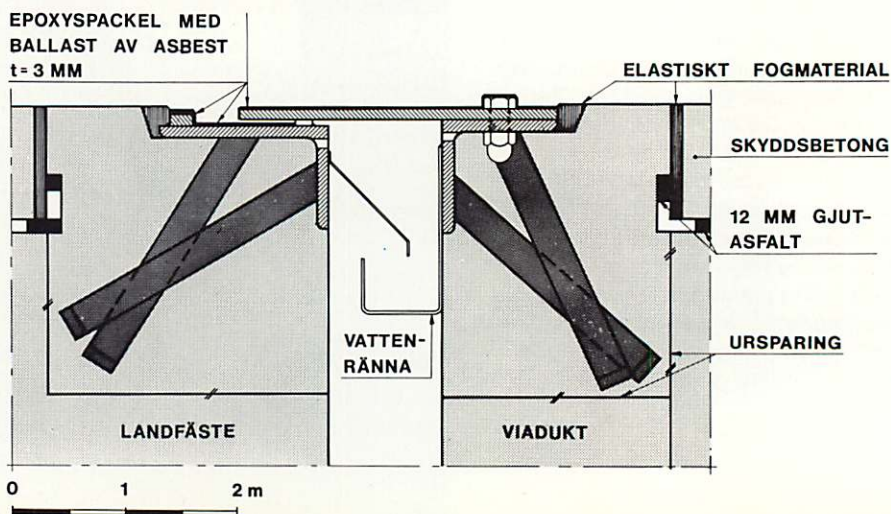


Viadukt över dalgången mellan Gubbängen och Hökarängen

Farstabanans. Viadukt över Nynäsvägen. Tvärsektion



Viadukt över Nynäsvägen. Dilatationsfog



konstruktionshöjden har gjort, att bal-lasten slopats och spåren lagts på betongklotsar som beskrivits ovan. Det västligaste spannet, som ej motiveras av något trafikutrymme, har tillagts för att bevara sambandet mellan grönområdena väster om Nynäsvägen på ömse sidor om tunnelbanan.

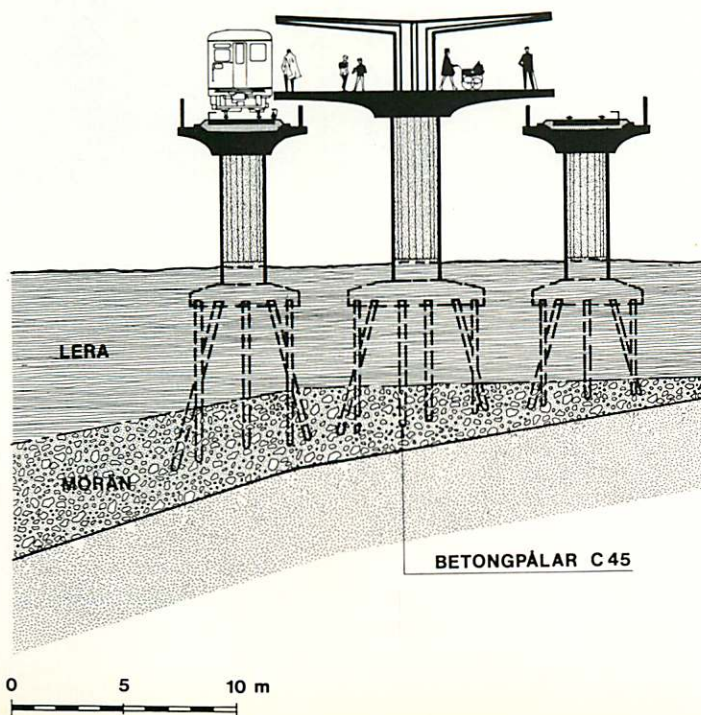
Vårbydalen, Tb 2

De 300 m långa viadukterna över Vårbydalen vid Vårby Gård är ett exempel på strävan att bibehålla natursköna dalgångar och andra friområden. Spännvidderna är ca 20 m och pelarna har elliptisk tvärsnitt.



Viadukter över Vårbydalen

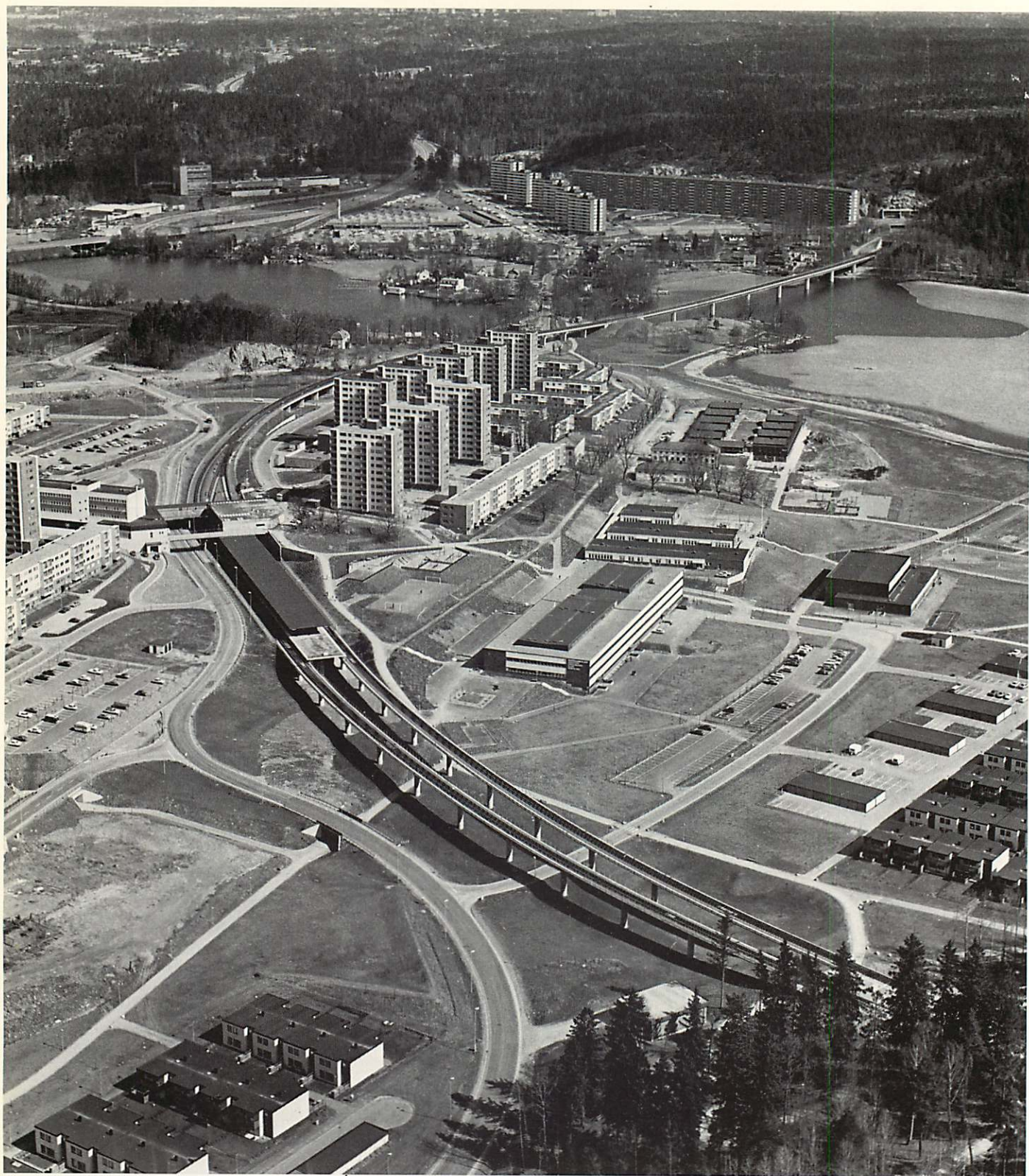
Viadukter över station Vårby Gård. Tvärsnitt



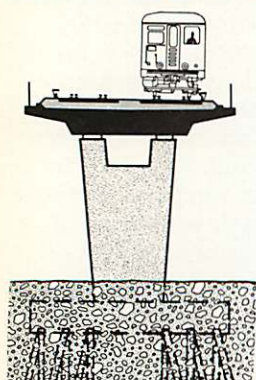
Station Fittja, Tb 2

Station Fittja har sin biljetthall placerad på ett däck över tunnelbanan. Banan och en omedelbart norr om denna i samma plan löpande matargata överbyggs på östra sidan av biljetthallen med en ca 14 m bred viadukt avsedd som gångförbindelse till biljetthallen och till anslutningsbussar. Omedelbart väster om biljetthallen finns en gång- och cykelviadukt över tunnelbanan och matargatan.

Stationens utformning har krävt långa betongstödmurar. De stora muryornas enformighet har mildrats genom profilerad mönstersättning. På ömse sidor om station Fittja har banan av miljömässiga skäl förlagts på viadukter. Därigenom medges också högre exploatering än om banan framförts på bank. Viadukten öster om stationen är ca 350 m lång i 18 spann och uppbär dubbelspår. Pelarnas V-form härrör från att utbyggnaden från början planerades med flyttbar formställning för vilken utrymme måste lämnas genom pelarstöden. Viadukten göts sedermera på fast ställning, men pelarutformningen bibehölls av estetiska skäl. Viadukten är grundlagd på pålar i en jordgrund som huvudsakligen består av åsmaterial. Inom ett parti vid östra landfästet orsakade ett mycket motståndskraftigt lager halvvägs ned till fast botten stora svårigheter vid pålning. Då åsmaterialet var alltför löst lagrat för att direkt medge ändring till plattgrundläggning utfördes markkomprimering med hjälp av pliggpålning.



Östra Fittjaviadukten. Tvärsektion



0 5 10 m

Botkyrkabanan mellan Masmo och tunnel-
inslaget i Albyberget. I bildens mitt syns
station Fittja och längst bort bron över Al-
bysjön.

Västra Fittjaviadukten

Station Kista. Modellfoto

Viadukterna väster om stationen har utformats som två enkelspårviadukter i spännbetong om vardera ca 280 m längd, fördelad på tolv spann om ca 25 m.

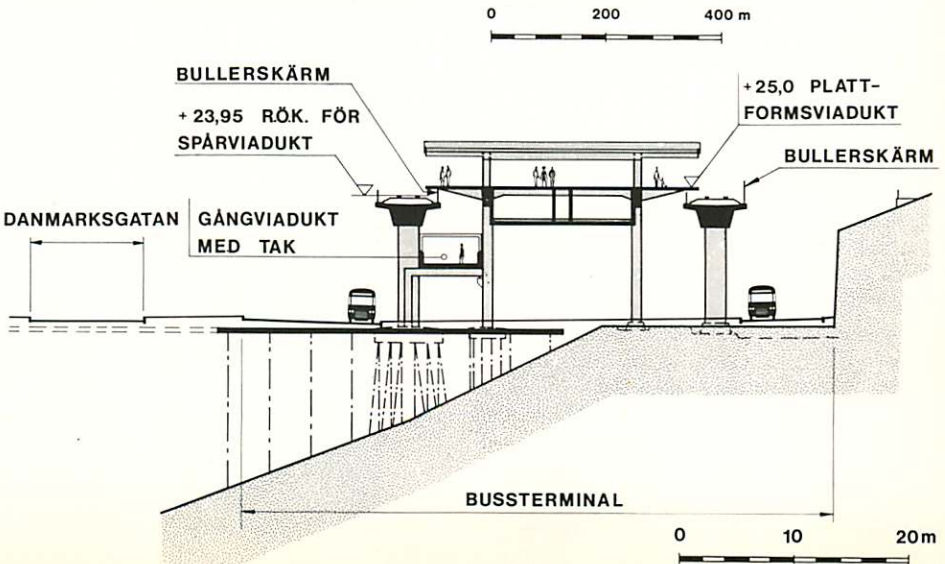
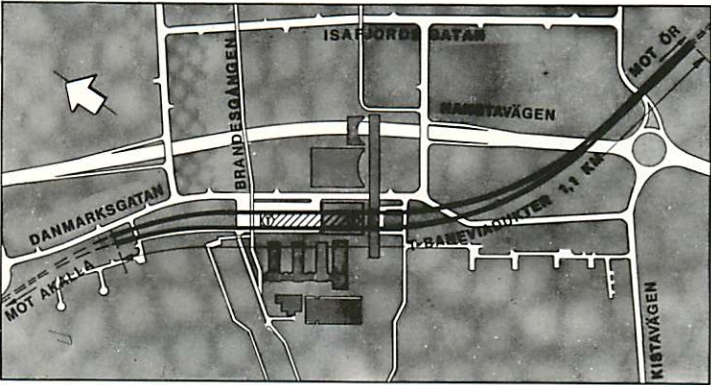
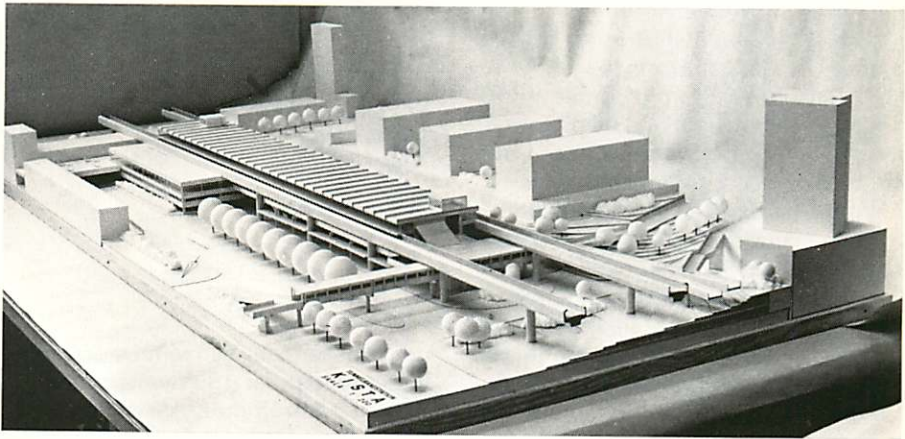
Igelbäcksdalen, Tb 3

De båda enkelspårviadukterna över Igelbäcksdalen på Järvabanan har fått relativt stora spännvidder, 42 m, för att bevara öppenheten hos den som friområde reserverade dalgången. Viaduktlängden, ca 360 m, har valts med tanke på att inga större bankuppfyllnader skall skjuta fram utanför skogsbrynen.

Station Kista, Tb 3

Vid station Kista passerar tunnelbanan en 1,1 km lång sträcka på två enkelspåriga viadukter i spännbetong, förlagda 12 à 13 m över markplanet. Spännvidderna är vid stationen 36 m, ett mått som sammanhänger med stationsbyggnadens modulindelning. Undergrunden består i området av lös lera av stor mäktighet. Detta i kombination med grundvattensänkning väntas orsaka stora marksättningar, upp till 1,5 m. Den snedbelastning detta ger på lutande pålar, har beaktats vid dimensioneringen av dessa. För ett antal pålar i varje pålgrupp har inspektionsrör dragits upp till markytan för att möjliggöra fortlöpande uppmätning av pålarnas krökning.

Station Kista är en stomkonstruktion av betong i huvudsakligen två plan, ett övre med plattform och biljetthall och ett undre med maskinrum och serviceutrymmen. Byggnaden överdäcker buss- och taxistation i markplanet. Tillträde till stationen sker via gång- och rulltrappor samt hissar förutom från markplanet även från två gångviadukter förlagda tvärs spårviadukterna och under dessa vid vardera plattformsändan. Sammanbyggt med stationen finns ett större butikshus, vilket inrymmer entréer till tunnelbanan med trappor och hissar med tillhörande maskinrum. Konstruktionerna är platsgjutna. Med hänsyn till grundförhållandena har man inom stationsområdet liksom i övrigt inom stora delar av det centrala Kista tvingats utföra påldäck för gator o dyl.



Station Kista. Plan

Station Kista. Tvärsektion

Speciella konstruktioner Skydd mot påkörning från gatutrafik

Flera allvarliga olyckstillbud och materiella skador har inträffat genom att för högt lastade fordon har kört på korsande viadukter. Stålkonstruktioner är genom sin relativt ringa vikt speciellt känsliga i detta hänseende. I syfte att förhindra påkörning av i första hand tunnelbaneviadukter, där utomordentligt svåra katastrofer kan inträffa, om ett tåg befinner sig ute på viadukten vid olyckstillfället, har olika möjligheter till påkörningsskydd eller alarmsystem utretts.

Sålunda har skyddsanordningar iordningställt på två platser inom kommunen. År 1963 anordnades vid Alvik (Tb 1) ett alarmsystem på ömse sidor om tunnelbaneviadukten över Drottningholmsvägen. Systemet fungerar så, att ljud- och ljussignaler träder i funktion, då fordon kommer i kontakt med en mall placerad över körbanan på något lägre nivå än viadukten.

Den andra skyddsanordningen har använts vid en nu riven stålkonstruktion för Farstabanan över Nynäsvägen. Här användes fotocellprincipen. För höga fordon bröt ljusstrålen, varvid ljud- och ljussignaler utlöstes.

Som skydd för formställningar vid viaduktbyggen, då fria höjden är tillfälligt begränsad, sätts påkörningsmallar upp på ömse sidor om arbetsplatsen. Dessa utgörs av kraftiga stålbalkramar försedda med tydlig röd-gul markering och uppgift om tillgänglig fri höjd. Dessa mallar har visat sig effektiva genom att flera gånger stoppa för höga fordon.

Vattenisoleringar

Då tunnelbanebygget i Stockholm påbörjades 1945 påverkades byggnadsarbeten och konstruktioner på banan genom dess höga läge endast i ringa omfattning av grundvattnet. Den huvudsakliga isoleringen utfördes mot yt-vatten på betongtunnlarnas överyta, varvid gjutasfalt användes. På tunnlar under gatumark, där belastningarna var höga och en eventuell reparation skulle medföra besvärliga störningar för trafiken, användes två lager om vardera 10 mm, i övriga fall ett lager om 12 mm gjutasfalt. Det mekaniska skyddet utgörs av en skyddsbetong, numera med tillsats av luftporbildande medel för erhållande av frostbeständighet.

Omkring 1950 kom de nu konventionella plastfolieisoleringarna till användning. De användes vid tunnelbanebygget först på sträckan mellan Hötorget



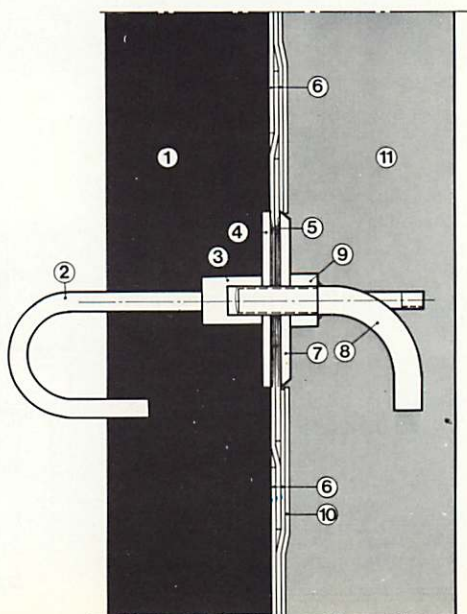
Varningsportal

och Slussen, där banan till stora delar ligger helt under grundvattenytan. Speciellt beträffande skarvningen av isoleringen mellan botten och väggar nedlades ett stort arbete på att utforma lämpliga konstruktioner.

Vid Tegelbackens sänkkassuner fanns risk för att friktionen vid sänkningen skulle riva sönder isoleringen och skilja konstruktionsbetong och skyddsbetong. Därför utformades särskilda förankringsbultar med tillhörande isoleringsbrickor av hårt fibermaterial, där den då använda Oppanolfolien fastklistrades.

När tunnarna under Strömmen skulle byggas monterades först skivor av skyddsbetong, därefter isoleringen och slutligen göts konstruktionen mot detta skal. För att få full anliggning mellan isolering och skyddsbetong, när konstruktionsbetongen krymt, ställdes de prefabricerade skyddsbetongskivorna på ett glidskikt, så att vattentrycket skulle pressa dem mot isolering och konstruktionsbetong.

Plastmaterialet har undan för undan

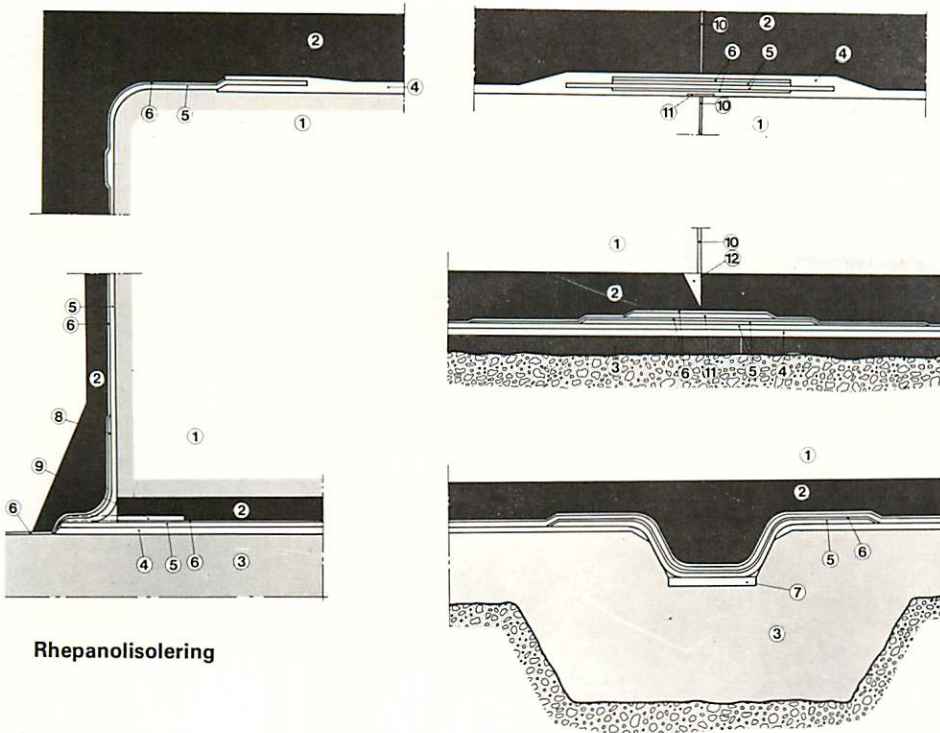


Förankringsbult

Tegelbackskassunerna

Förankring av skyddsbetong

- 1 Konstruktionsbetong
- 2 Ingjuten förankringsbult
- 3 Mutter
- 4 Planslipad stålplatta
- 5 Prefabricerade skivor av hårdfiber med fastvulkaniserad isoleringsfolie
- 6 Isoleringsfolier, skarvas mot folier i 5
- 7 Planslipad stålplatta
- 8 Förankringskrok för skyddsbetong
- 9 Mutter
- 10 Skyddspapp
- 11 Skyddsbetong



Rhepanolisolering

Isolering med plastfolie (PVC)

- 1 Konstruktionsbetong
- 2 Skyddsбетong
- 3 Betongavjämning
- 4 Gjutafalt 12 mm
- 5 Isoleringsfolie
- 6 Asfaltpapp
- 7 Kork
- 8 Asfaltpapp med aluminiumfolie
- 9 Hård träfiberplatta
- 10 Dilatationsfog
- 11 Kopparplåt
- 12 Fogmassa
- 13 Ytfogband av PVC, till vilken isoleringsfolien ansluts
- 14 Förankringsarmering

förbättrats mot större hållfasthet och bättre smidighet. Olika fabrikat har använts, såsom Rhepanol, Oppanol, Trocal och Rhenofol, varvid principerna för anbringande och skarvning förändrats endast i detaljer.

Vid utförande av sänktunnlarna i Liljeholmsviken beslöt man, att isoleringen skulle slopas, vilket var genomförbart på grund av att monoliterna gjordes förspända i såväl längd- som tvärläng och därigenom sprickfria. Även skarvarna mellan monoliterna utfördes med förspänning.

Vibrationsisolering

I samband med utbyggnaden av Tb3 under det planerade nybygget för Statens Institut för Folkhälsan i Västra Skogen, Solna, bedömdes, att risk förelåg för besvärande vibrationer i huset. För att söka klarlägga störningsnivåerna från tunnelbanan ur både luftljuds- och vibrationssynpunkt utfördes därför en serie mätningar i jämförbara byggnader i anslutning till det redan trafikerade tunnelbanesystemet. Med ledning härav samt de tillåtna ljudnivåer som ingick i förslag till kommande »Byggnormer» fann man, att kravet på vibrationsdämpning skulle uppgå till mellan 15 och 30 dB (A). Det ansågs också lämpligast, att erforderliga isoleringskonstruktioner skulle förläggas i anslutning till tunnelbanans spårunderbyggnad, dvs »vid källan». För att lösa de uppkommande problemen och få fram en från alla syn-

punkter lämplig vibrationsdämpande konstruktion anlätades en specialist på akustiska frågor.

Ett första förslag till banunderbyggnad, bestående av en ca 1 m tjock betongplatta upplagd på speciella gummilager, förkastades med hänsyn till de höga kostnaderna och den praktiska svårigheten att utföra konstruktionen. Nästa förslag utgjordes av en s k sandwichkonstruktion av två på varandra liggande betongplattor med ett mellanlägg av s k viskoelastiskt material placerat mellan två stålplåtar. Mätningar av vibrationsdämpningen utfördes på en modell av denna konstruktion och gav lovande resultat. Teoretiskt och genom försök undersöktes även dämpningsförmågan hos andra utföranden, såsom tjockare ballast, mineralull och bränd, expanderad lera.

För att få definitiv klarhet om olika konstruktioners dämpande effekt utfördes slutligen fullskaleprov på en provsträcka i en ännu ej trafikerad bergtunnel sydväst om station Vårberg. Viss uppfattning erhöles härigenom även om kostnader för olika utföranden. Följande utförande provades:

- a) Normal ballast och banunderbyggnad enligt SL:s standard (referensobjekt)
- b) Sandwichkonstruktion enligt ovan nämnda princip upplagd på gummilager
- c) En trågkonstruktion med 1 m ballast upplagd på gummilager, av den typ

som använts i bl a Berlins tunnelbanan.

- d) En konstruktion med mineralullsplattor under ballasten.

Provspåret var förlagt i en bergtunnel och hade en längd av 150 m vid proven med mineralullsplattor och en längd av 60 m vid proven med sandwichkonstruktion och tråg. Tåghastigheterna varierade vid mineralullsproven mellan 20 och 65 km/h och vid övriga prov mellan 55 och 65 km/h. För registrering av acceleration och kraft mot underlaget användes givare av piezoelektrisk typ. För registrering av bergvibrationer användes hastighetsgivare av seismisk typ.

Mätningarna utfördes på betongkonstruktionerna, på tunnelväggarna i två nivåer, i tunneltaket samt på bergets överyta. Till en början studerades enbart vibrationernas vertikala komponent, senare undersöktes även svängningar vinkelrätt mot banan och i banans längdriktning.

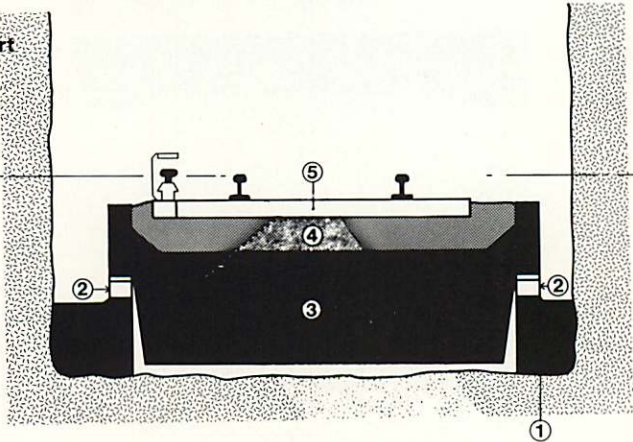
De på teoretisk väg framräknade dämpningseffekterna, som var följande, har ej kunnat verifieras vid de praktiska proven:

mineralullsplattor 10–15 dB (A)
sandwichkonstruktion 15–20 dB (A)
trågkonstruktion mer än 25 dB (A)

Detta framgår av diagram på sidan 97, där erhållna dB (A)-vägda hastighetsnivåer lagts in för de använda mätpunkterna i olika svängningsriktningar.

Bullerisolering i tunnel. BS-konsult

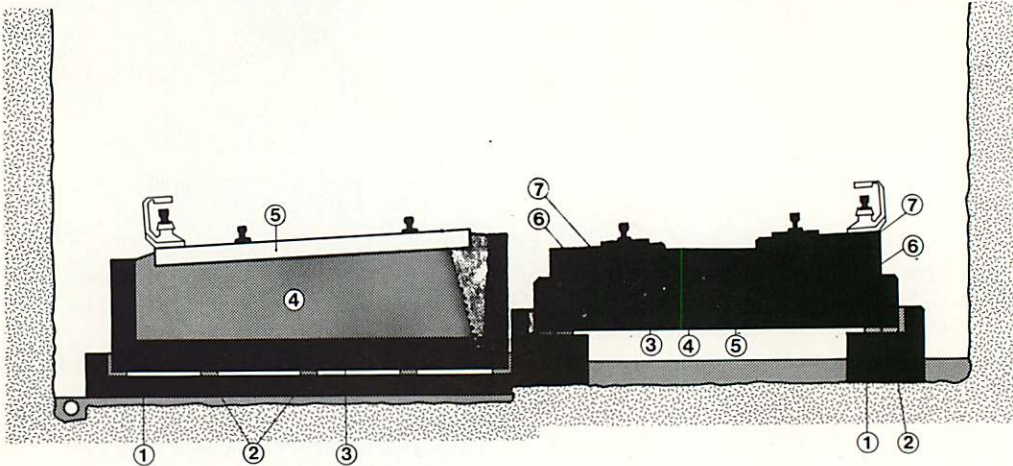
- Vibrationsdämpande konstruktion, ej utfört förslag
- 1 Betongplintar
 - 2 Speciallager av stål och gummi
 - 3 Betongbalk
 - 4 Ballast (makadam)
 - 5 Syll



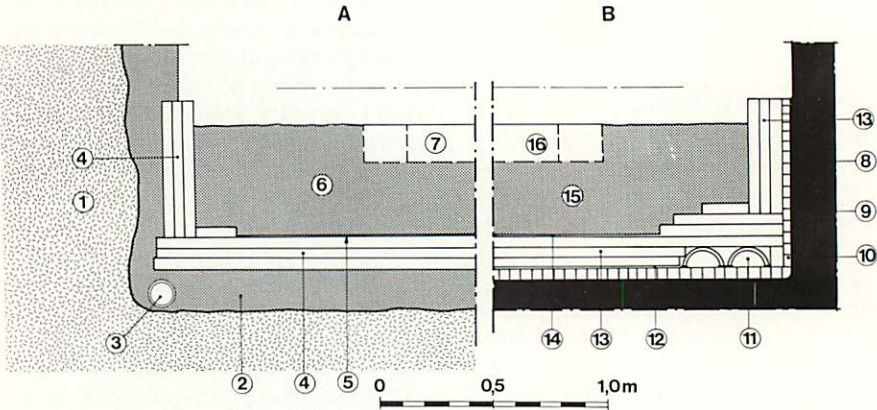
Bullerisolering i tunnel. Sandwichkonstruktion

- Vibrationsdämpande konstruktion. Trågkonstruktion
- 1 Betongavjämning
 - 2 Gummilager, neopren
 - 3 Betongtråg
 - 4 Ballast (makadam)
 - 5 Syll

- Vibrationsdämpande konstruktion. Sandwichbalk
- 1 Betongfundament
 - 2 Gummilager, neopren
 - 3 Undre betongbalk
 - 4 Viskoelastiskt mellanlägg
 - 5 Övre betongbalk
 - 6 Sidobalkar, betong
 - 7 Upplagsplintar för spår (betong)



Bullerisolering i tunnel. Mineralull



Vibrationsisolering av mineralull (Rock-wool)

- A Utförande i bergtunnel
- 1 Berg
 - 2 Avjämnings- och dräneringslager av finmakadam
 - 3 Dräneringsrör
 - 4 Mineralull 3×5 cm (=225 kg/m²)
 - 5 Mekaniskt skydd av fiberduk
 - 6 Ballast
 - 7 Syllar

- B. Utförande i betongtunnel
- 8 Konstruktionsbetong
 - 9 Gjutafaltisolering
 - 10 Skyddsbetong
 - 11 Dränering av halvrör
 - 12 Dräneringsmatta
 - 13 Mineralull 3×5 cm (=225 kg/m²)
 - 14 Mekaniskt skydd av fiberduk
 - 15 Ballast
 - 16 Syllar

Bullerisolering. Diagram

Under vibrationskänsliga anläggningar utförs isolering med 15 cm mineralull som avtrappas mot isoleringens ändpunkter. Isoleringsringen läggs ut på ett väl dränerande lager av ren, finkornig makadam. Mineralullen måste hållas torr så att de vibrationsdämpande egenskaperna ej försämras. På isoleringen läggs som mekaniskt skydd en matta av syntetiskt fibermaterial och på denna byggs sedan konventionellt ballast.

Försöksresultat vid vibrationsisolerad tunnelbana

A-E Mätpunkter

1 Trågkonstruktion

2 »Sandwich»-konstruktion

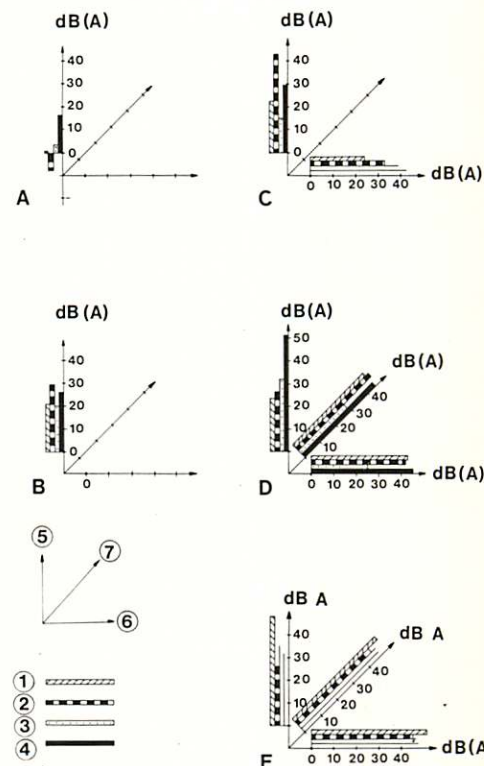
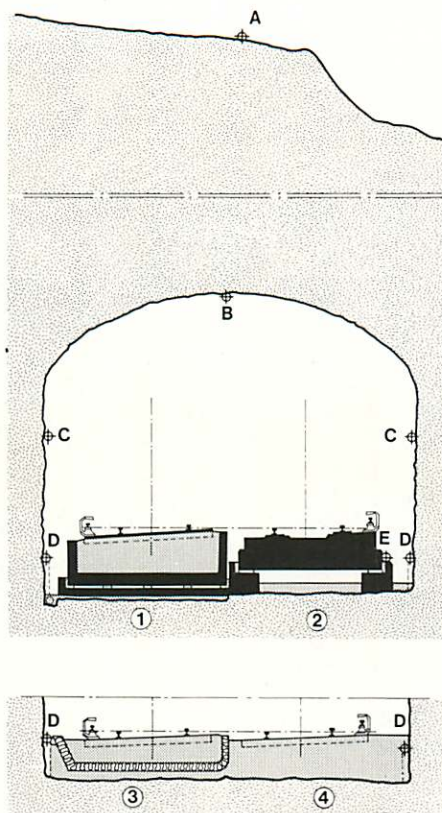
3 Mineralulls-konstruktion

4 Oisolerad bana

5 Vertikala svängningar

6 Horisontella svängningar vinkelrätt mot banan

7 Horisontella svängningar längs med banan



Trågkonstruktion och sandwichkonstruktion hade god dämpningseffekt för vertikala svängningar men ringa effekt på svängningar i tunnelns längs- och tvärled. Mineralullsmattans dämpningseffekt var däremot lika i alla riktningar och lika stor eller större än vid övriga alternativ.

De genom fullskaleprovet erhållna byggnadskostnaderna visar, att kostnaden per meter spår för de olika alternativen uppgår till följande:

mineralullsplattor ca 500 kr/m

trågkonstruktion ca 3 000 kr/m (1971 års prisnivå)

sandwichkonstruktion ca 4 600 kr/m (1971 års prisnivå)

Med hänsyn till de vid försöken under driftförhållanden erhållna resultaten har beslut fattats, att där vibrationsiso-

lering bedömts nödvändig, sådan skall utföras med mineralullsplattor. Isoleringsringen har hittills utförts i tunnelarna vid station Näckrosen, vid Västra Skogen och vid Danderyds sjukhus.

Bullerdämpande åtgärder

I vissa områden har tunnelbanan framdragits så nära befintlig eller planerad bebyggelse, att bullerdämpande åtgärder behövt vidtagas.

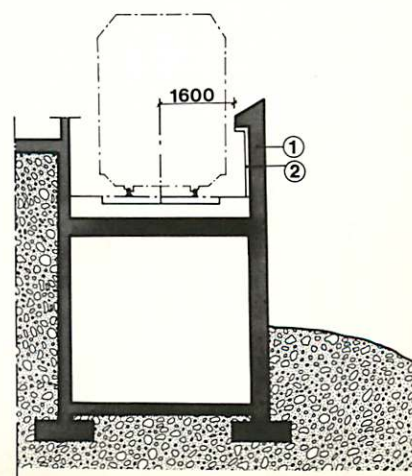
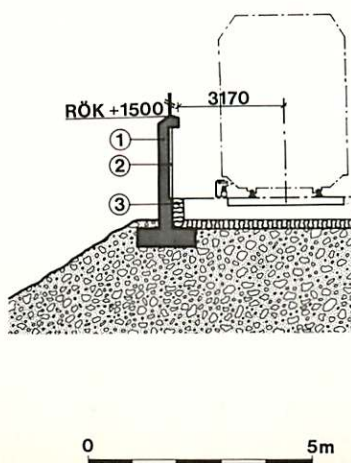
Vid Vårby Gård har sålunda utförts en bullerskärm av betong genom att den stödmur, som bär upp banvallen längs stationen, dragits upp ca 2 m över rälsens underkant (Ruk). För att så effektivt som möjligt dämpa ljudet utformades murkrönet som en konsol, som nära anslöt till tunnelbanevagnarnas sida. Själva bullermuren ligger på sådant av-

Bullerskärm på bank

1 Bullerskärm av betong

2 Bullerdämpande beklädnad av träullsplattor

3 Vibrationsdämpande underlag av mineralull



stånd från spårcentrum, att skyddsutrymme erhålles upp till 1,5 m över Ruk. Insidan bekläddes med träullsplattor som bullerdämpning. Vid mätning på platsen har bullerdämpningen uppmätts till ca 12 dB (A).

Vid station Kista på Järvafältet har bullerskärmar anordnats på spårviadukternas sidor för att reducera bullernivån för ett närbeläget pensionärshotell samt centrumbebyggelsen. Skärmen har utformats som ett på räckat monterat sandwichelement bestående av fasadskiva med vit marmorkross på utsidan och träullsplatta som absorptionsmaterial mot spårsidan.

Norr om Stocksundsbron passerar Täbybanan ett mindre bostadsområde, Inverness, innan den dyker in i berget under Mörbylund. För att minska den estetiskt störande förskärningen och återställa tomtmarken för ett par villor samt för att reducera bullerstörningarna för de kringboende utfördes här en ca 40 m lång betongtunnel.

Med hjälp av modell studerades detalj-utformningen av denna, varjämte en akustikexpert anlätades för bullerskärmar utformning. Längs den öppna delen av banan har skärmarna utförts av betong med ljudabsorberande material på insidan. En ljuddämpning av ca 12 dB (A) uppnås därvid.

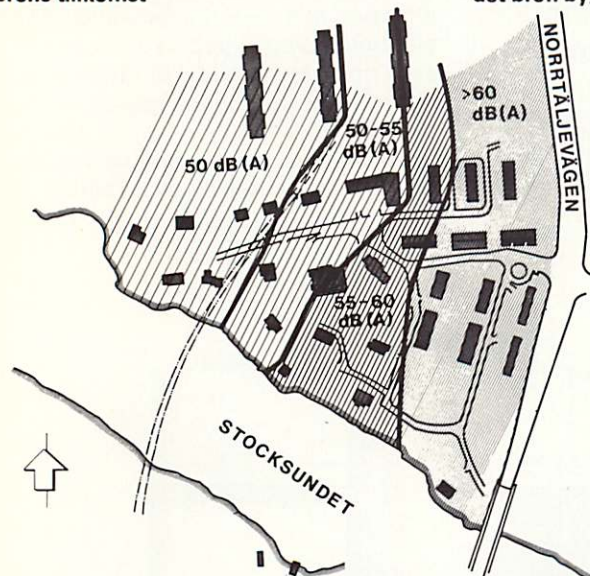
Bullersituationen kring tunnelbanan i Invernessområdet före och efter tunnelbanans framdragande framgår av illustrationerna. Genom att Norrtäljevägen orsakar ganska stora bullerstörningar blir förändringarna förhållandevis små.



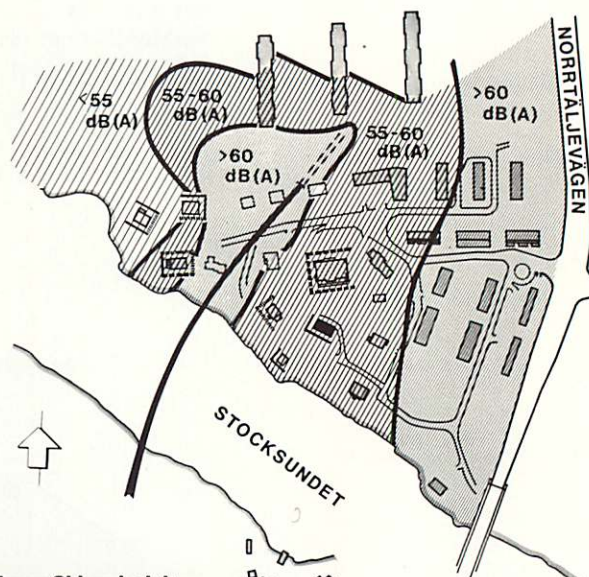
Bullerskydd på Kistaviadukten

Ovan beskrivna åtgärder kombinerade med förstärkning av fönsterisolering i vissa fastigheter beräknas medföra, att planverkets riktlinjer för acceptabelt buller uppfylls.

Invernessområdet. Bullersituationen före brons tillkomst



Invernessområdet. Bullersituationen efter det bron byggts



- 1 Fastighet som lösts in av SLL och rivits
- 2 Fastighet som lösts in av SLL och sålts
- 3 Fastighet som ej berörs av T-banans tillkomst
- 4 Målsättningen för inomhusbuller uppfylls med väl tätade standardfönster
- 5 Målsättningen för inomhusbuller uppfylls med specialåtgärder beträffande fönster
- 6 Målsättningen för inomhusbuller uppfylls med specialfönster

Berginjektering

Berginjektering har kommit till användning i stor omfattning vid tunnelbanearbetena. Injektering har tillgripits i huvudsakligen tre fall:

1. Tätning av bergtunnlar för att undvika grundvattensänkning som blivit ett allt större problem i urbaniserade områden.
2. Tätning av bergtunnlar för att minska vattendropp — oftast kompletterat med dräner — eftersom framförallt farskena och strömskena inte »tål» dropp utan snart korroderar och därför måste bytas ut.
3. Tätning av bergbotten, där det visat sig ekonomiskt att injektera bergbotten i stället för att utföra en uppflytningssäker sluten betongkonstruktion (ex station T-Centralen, uppgång Vasagatan samt station Danderyds sjukhus).

Vid alternativ 1 och 2 utförs injektering vanligen som förinjektering. Denna måste kompletteras med en efterinjektering. Målsättningen är att begränsa inläckningen till 2–10 dm³/min och 100 m tunnel. Inläckningsmängden mäts vid speciella mätdammar. Variationen i tillåten inläckningsmängd är avhängig av grundvattenbalans (lokala grundvattensjöar), bebyggelse och geologiska förhållanden i övrigt.

I samband med tunneldrivning lokaliserar på senare tid vattenförande zoner medelst undersökningsborrning efter ett visst system, varvid det längsta borrhålet har en längd av 15–25 m. Efter en kombination av subjektiv bedömning och vattenförlustmätning som utförs för hela hållängden och/eller för 3 m intervall avgörs om förinjektering skall ske. Sådana skall utföras om vattenförlusten per tidsenhet och meter borrhål för visst tryck utöver grundvattenstrycket i de båda fallen uppgår till vissa värden. Hur injektionsborrning m m utförs framgår av vidstående illustrationer. I tabellen lämnas exempel på minsta bergtäckning och injektionsbredd vid några standardtunnlar.

Hur förinjektering av ett tunnelavsnitt utförs framgår också av beskrivningen över problemen vid Gömmarbäcken. Injektering enligt alternativ 3 ovan har utförts för T-Centralens biljetthall i Vasagatan. Grundvattenbalansen inom detta område tillåter en utpumpning av max 5 m³ grundvatten per dygn. För att uppnå sådan täthet har injekteringen utförts som ridåinjektering, ytinjektering och kontaktingektering.

Ridåinjektering utfördes ner till 8 m under grundplintarna och avsåg att förlänga grundvattnets läckvägar. Hållavståndet valdes till 3 m, vilket successivt

halverades tills fullgod tätning erhöles. Injektionsövertryck 500–1 000 kPa (5–10 atö). Inom ett bergparti utanför kvarteret Blåmannen upptäcktes ett horisontellt, jordfyllt slag, som trots upprepade cementinjektering inte kunde tätas. Här tillgreps kemisk injektering, vilken på kort tid gav avsett resultat. Ytinjektionen utfördes ner till 5 m i berg under lägsta konstruktionsnivå och avsåg att resultera i en minst 3 m tjock, tät skiva under hela biljetthallen. Hållavståndet valdes här till 5 m och injektionsövertryck 500–1 000 kPa (5–10 atö).

Zoner mellan berg och grundplint tätades med kontaktingektering. Hållavståndet valdes till 2 m, håldjupet till ca 1 m och övertrycket 200 kPa (2 atö). Hittills gjorda kontroller tyder på ett mycket tillfredsställande resultat eller en total inläckning av 1–2 m³/dygn.

Kostnader

Totalt har injektionsarbetet för biljetthallen vid T-Centralen kostat ca 900 000 kr, varav borrning m m för 400 000 kr utförts i egen regi och injektering för 500 000 kr av entreprenör. Kostnaden per m² biljetthallsyta är ca 300 kr fördelad på följande sätt:

1. Ridåinjektering			
borrning	60 kr/m ²		
injektering	120 kr/m ²	180 kr/m ²	
2. Ytinjektering			
borrning	30 kr/m ²		
injektering	35 kr/m ²	65 kr/m ²	

3. Kontaktingektering			
borrning	7 kr/m ²		
injektering	18 kr/m ²	25 kr/m ²	
4. Övrigt			30 kr/m ²
Summa			300 kr/m ²

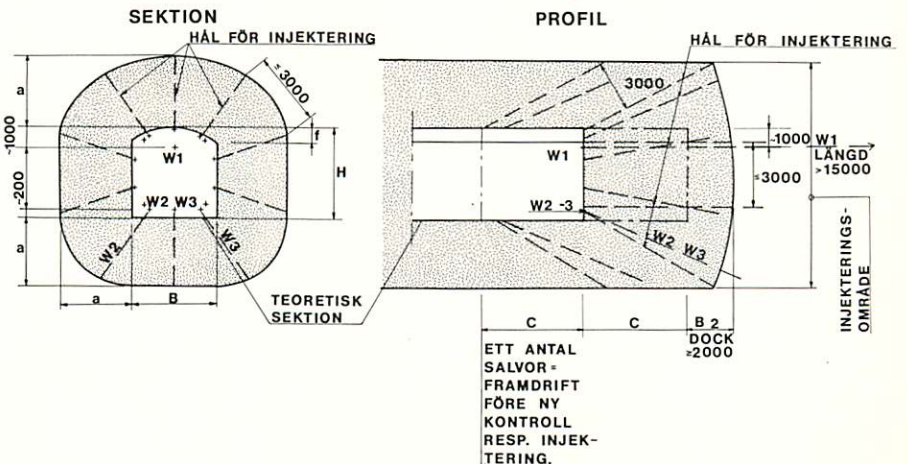
Antalet bormeter i berg är ca 3 000 m och injekterad cementmängd ca 130 ton, vilket motsvarar ca 43 kg cement per bormeter.

Som ovan nämnts har injektering enligt alternativ 3 också utförts vid station Danderyds sjukhus. Vid dessa arbeten har sk multipelinjektering tillämpats genom ett ventilspel. Härvid har flera hål injekterats samtidigt. Metoden är under utveckling. Tillvägagångssättet är i korthet följande.

Metoden innebär, att från en injektionspump leds bruket via en tryckslang till ett ventilbord, där det fördelas till för närvarande maximalt sex distributionsslangar. Ventilerna är så konstruerade, att de släpper igenom en maximal bruksmängd och när respektive manometer visar, att hålet är fyllt, dvs manometern står still vid avsett tryck under en viss tidsrymd så kan ventilen stängas manuellt. Slangen med sin manschett kan då flyttas till nästa hål, medan de övriga fem hålen fortfarande fylls. Fördelen med denna injektionsmetod är, att man kan driva bergtätningen på bred front.

Som injektionsmedel har huvudsakligen använts snabbhårdnande cement. Vid höga krav på täthet har också använts kemiska injektionsmedel t ex

Principskiss för förinjektering



Exempel på minsta bergtäckning och injektionsbredd vid några standardtunnlar

plaster, silikat m m. Vid berg med hög kishalt eller då analyser visat, att grundvattnet är aggressivt mot järn och betong används sulfat och/eller syra-beständigt injekteringsmedel.

Jordinjektering vid Konserthuset

Kemisk jordinjektering har tillämpats i flera fall, där det gällt att schakta sig ned intill fundament, grundlagda på grus eller sand. Den mest omfattande jordinjekteringen ägde rum vid Konserthuset.

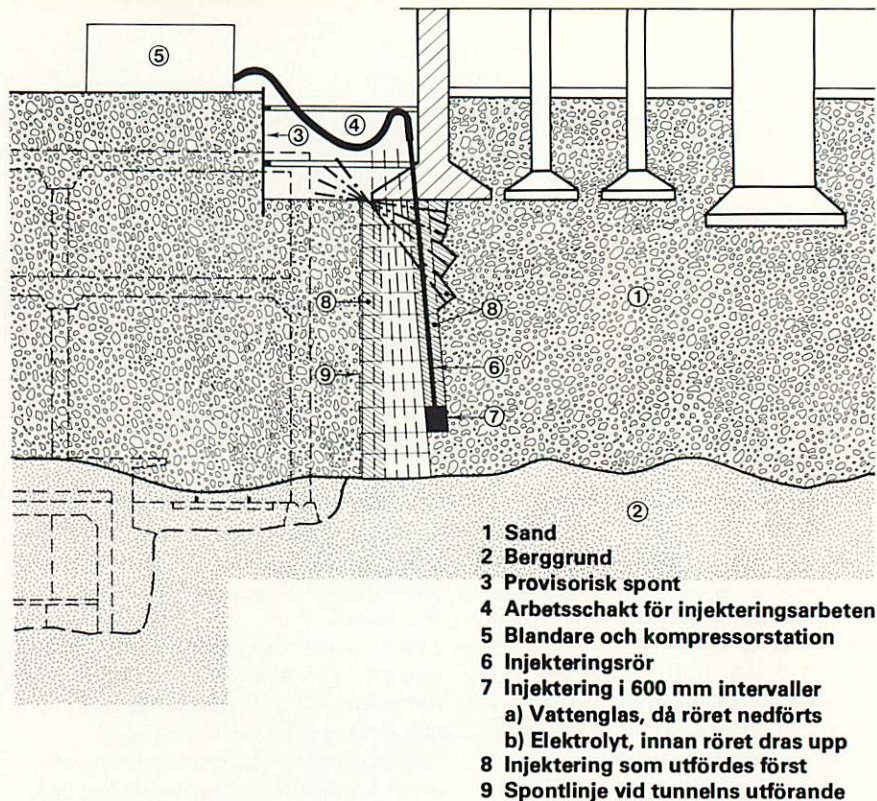
Tunnelbanans närmaste begränsningsvägg ligger endast 1,5 m utanför grundplattan till husets östra fasadvägg, som ligger 6,5 och 8,4 m över tunnelväggs grundläggningsdjup. Grundplattan vilade på jordlager av grus, sand, mo och pinnmo.

Efter omfattande provtagningar av jordgrunden och injekteringsförsök i laboratorium utfördes en kemisk jordförstening under Konserthusets grundmurar enligt Joostens förfarande. Injekteringen syftade till att åstadkomma en förstenad jordridå av ca 2 m mäktighet.

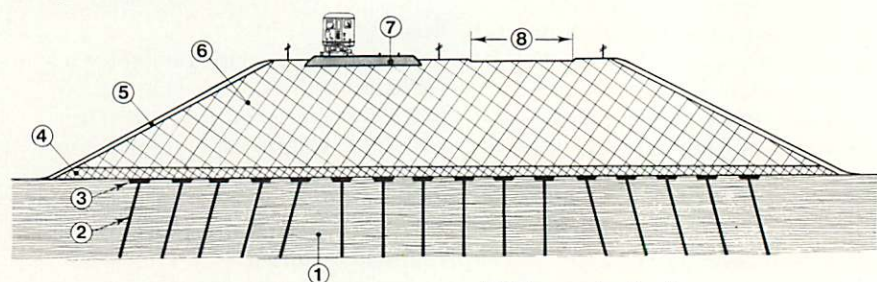
Den avsedda mängden vattenglas injekterades i intervaller allt eftersom injekteringsröret drevs ned, medan den häremot svarande mängden kalciumkloridlösning injekterades i motsvarande intervaller, när röret åter drogs upp. Hållfasthetsprovningar utfördes på den injekterade jorden. För mo uppgick kubhållfastheten till ca 500 kPa (5 kp/cm^2), medan morän med lämplig gradering kunde ge en kubhållfasthet på upp till 3500 kPa (35 kp/cm^2). Hållfasthetsvärdena var fullt tillräckliga för det avsedda ändamålet. Schaktväggen stöttades dessutom för säkerhets skull med stämpling. Sättningar har icke kunnat iaktas i Konserthuset.

Grundförstärkning Bankpålning

Där bankfyllning lagts på så dålig jordgrund, att sättningarna skulle bli för stora eller speciella åtgärder krävts för stabiliteten, har på några ställen utförts bankpålning. Därvid har trä- eller betongpålar placerats i rutnät och nedslagits till fast botten. Kraftöverföringen sker antingen genom att varje påle försetts med en kvadratisk betongplatta eller att pålarna ingjutits i ett betongdäck. För en del av tunnelbanebanken mellan stationerna Hallunda och Norsborg på Tb 2 har en bankpålning med däck utförts för att säkerställa stabiliteten.



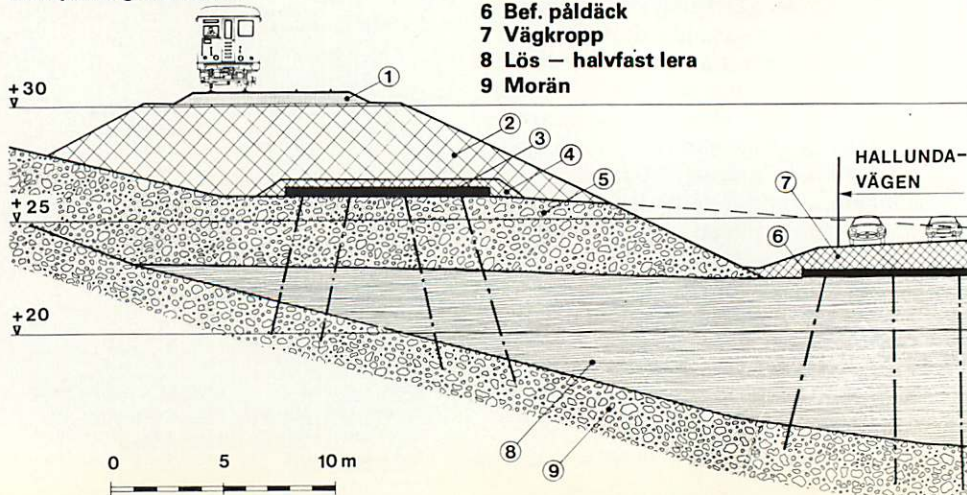
Bankpålning. Separata plattor



Pålning under bank

- 1 Lera
- 2 Påle
- 3 Pålplatta
- 4 Tätnings- och skyddslager, ca 800 mm
- 5 Slämbeklädnad
- 6 Sprängstensfyllning
- 7 Ballast
- 8 Vägbanan

Bankpålning. Helt däck



Vertikaldränering

Vid Holmögadsvägen i Kärrtorp utfördes för Tb 1 vertikaldränering med sanddräner för att beräknade sättningar skulle uppstå, innan banan togs i trafik. Den hållfasthetstillväxt som man samtidigt erhåller var här icke nödvändig för bankens stabilitet. Dräneringen är avsevärt billigare än urschaktning och ersättning med annat material. Vid Malmövägen i Björkhagen utfördes även vertikaldränering på en övergångssträcka mellan pålning och urgrävning till fast botten, där pålar skulle bli för korta. Dräneringen gjordes i båda fallen med sanddräner, som drivits ned med ett aggregat, kopplat till en grävmaskin som monterats för pålning. Sanddränernas diameter är 160–200 mm och avståndet emellan dem ca 1,25 m. I båda fallen beräknas 90 % av sättningen vara uppnådd inom ett år. Vertikaldränering har även utförts för en del av tunnelbanebanken mellan Kista och Husby på Tb 3. Temporär överlast ovanpå den egentliga bankfyllningen medförde redan under byggnadstiden en stor del av den sättning som den förmodade framtida grundvattensänkningen skulle förorsaka. Av stabilitetsskäl kunde inte tillräckligt med överlast påföras banken för att åstadkomma hela sättningen. Överlasten var påford ett år. Tryckbankar har på flera platser anordnats för att säkra stabiliteten.

Urgrävning

Ett sätt att komma till rätta med sättnings- och stabilitetsproblem vid bankuppfyllnad på lera är att utföra partiell urgrävning och återfyllning med friktionsmaterial. Denna metod har tillämpats på flera ställen bland annat för en tunnelbanebank mellan Kista och Husby.

Lätt fyllning

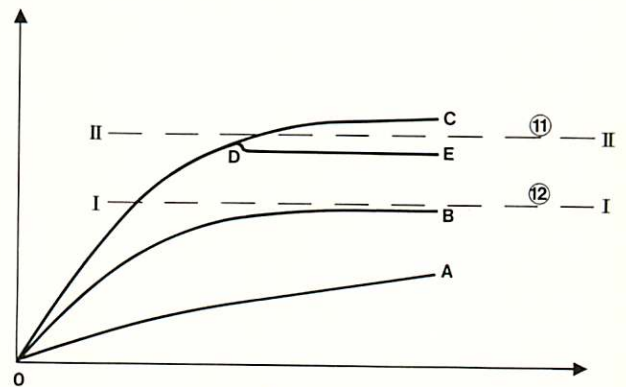
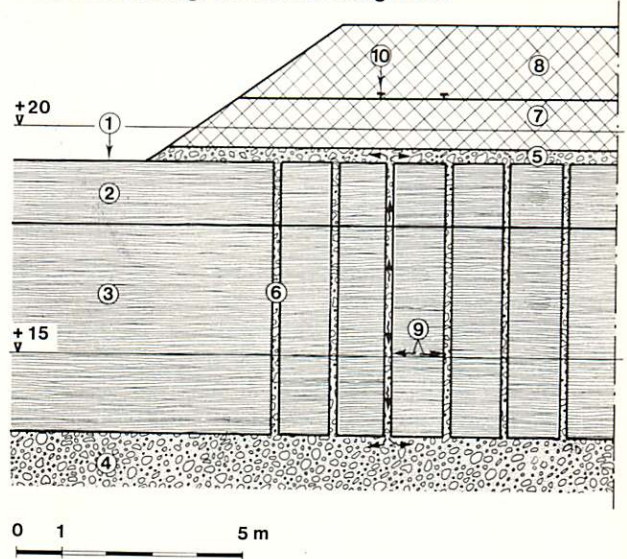
I några speciella fall har lätt fyllning använts i bankar, som i annat fall skulle blivit instabila eller fått för stora sättningar.

Grundförstärkning. Urgrävning

För att minska sättningarna i den kvarlämnade lersträngen sedan spårbädden iordningställdes utfördes bankuppfyllnaden ett år innan arbetena med spårbädden vidtogs. Sättningar i leran uppstår både av den redan påförda lasten från banken och av en framtida förmodad grundvattensänkning till nivå under underkant lera. Ursprungligen låg grundvattenytan i nivå med torrskorpelerans underkant. Förmodligen blir det nödvändigt med framtida uppjusteringar av spåren. Tidpunkten för dessa är beroende av när grundvattensänkningen inträffar.

Partiell urgrävning

- 1 Bankfyllning av friktionsmaterial
- 2 Friktionsmaterial som ersatt den urgrävda lerjorden
- 3 Kvarlämnad innesluten lersträng
- 4 Torrskorpelera
- 5 Lera
- 6 Morän
- 7 Berg



Vertikaldränering

- 1 Markyta
- 2 Torrskorpelera
- 3 Lera
- 4 Friktionsmaterial
- 5 300 mm grus (arbetsbädd)
- 6 Sanddrän $\varnothing$ 160 mm c/c 1,3 m
- 7 Bank
- 8 Överlast
- 9 Horisontell vattenutpressning mot dränera
- 10 Blivande räls

Sättningsförlopp före grundvattensänkning

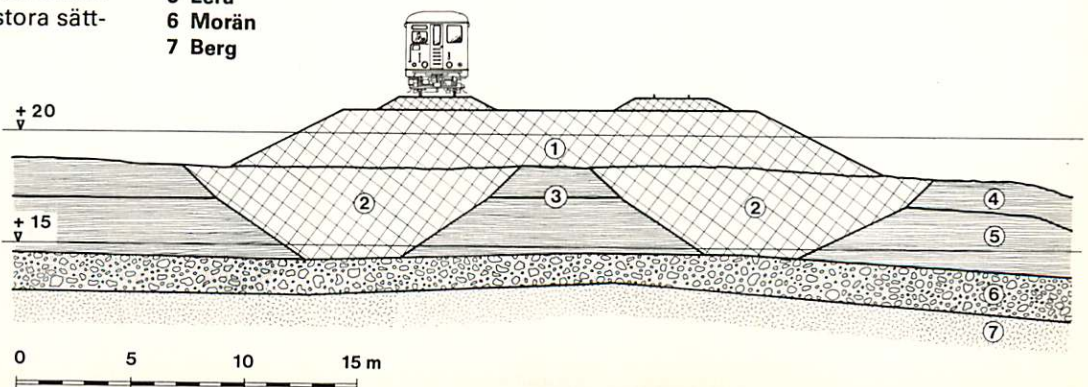
- 11 Totalsättning av bankuppfyllnad och grundvattensänkning
- 12 Totalsättning av bankuppfyllnad

OA: Utan åtgärder (Asymptot I–I)

OB: Med dräner (Asymptot I–I)

OC: Med dräner och överlast

ODE: Med dräner och temporär överlast
Överlasten tas bort vid D



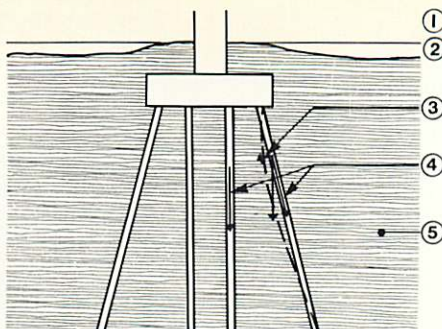
Inverkan av jordsättning på lutande pålar

När jorden runt en påle sätter sig uppstår nedåtriktade påhängskrafter. Krafterna ökar belastningen på pålen i vertikallad. Om denna lutar ger sättningen upphov till tryck vinkelrätt mot dess längdaxel, varvid böjmoment uppstår. Detta böjmoment har beräknats för Kistaviaduktens pålar. Då ca 5 m grundvattensänkning befaras kunna uppstå, kan sättningarna i det upp till ca 13 m mäktiga lerlagret bli så stora som 1,5 m. Det var därför nödvändigt att ta hänsyn till dessa vid pålarnas dimensionering. Storleken av sidotrycket på pålen är beroende av hur mycket jorden rör sig mot denna. För att förenkla beräkningen av momentet antogs, att sättningen avtog linjärt med djupet och att jorden hade en konstant bäddmodul oberoende av djupet och rörelsen. Genom dessa approximationer låter sig problemet lösas genom användande av kända formler för balkar på elastiskt underlag åverkade av såväl längsgående som transversella krafter.

I verkligheten avtar sättningen storleksmässigt snabbare i de övre jordlagren än i de undre, vilket emellertid är mindre farligt än linjärt avtagande. Bäddmodulen är beroende ej endast av lerans egenskaper (konsolideringsgrad, kompressionsindex m) utan även av rörelsens storlek. I tämligen homogena jordar som lerlagren vid Kistaviadukten kommer lutande pålar dock att sidoblastas huvudsakligen inom några meter under pålskallen. Genom att konsolideringsgraden ökar och jordens rörelse vinkelrätt pålen minskar med djupet kommer variationen i bäddmodulens storlek att vara tillräckligt liten för att ej påverka noggrannheten i beräkningen. Redan grundvattensänkningsprognosen och sättningsberäkningen innehåller större felkällor än variationen i bäddmodulen ger. Bäddmodulen är av storleksordningen $k=400 \text{ kN/m}^3$ (40 Mp/m^3).

De nedåtriktade krafterna på pålarna innebär också, att dessa har lyftande inverkan på jorden. Sättningens storlek som ligger till grund för momentberäkningen kan därför reduceras med summan av pålarnas lyftande inverkan. Den lyftande inverkan av en $270 \times 270 \text{ mm}$ påle på omgivande kohesionsjord har beräknats med dator för olika skjuvhållfasthet och djup hos jorden vid olika avstånd från pålar. Effekten är väsentlig. Vid Kistaviadukterna reducerades sättningen härigenom till ca hälften.

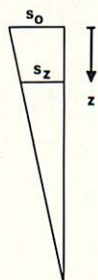
Genom begränsning av pållutningen, ökning av armering och eventuellt ökning av de lutande pålarnas tvärmått kan man bemästra inverkan av de stora, förväntade sättningarna. Denna metod är betydligt effektivare än skyddspålning, som är det vanliga sättet att minska inverkan av sättningar.



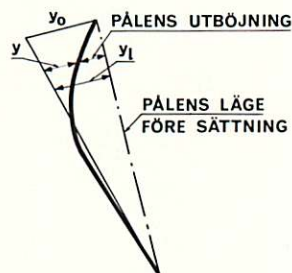
Inverkan av sättning på lutande pålar

- 1 Ursprunglig markyta
- 2 Markyta efter sättning
- 3 Påhängskraft vinkelrätt mot pålen
- 4 Påhängskraft i pålens längdriktning
- 5 Lera

Sättningars inverkan på pålar. Diagram



SÄTTNINGEN s_z AVTAR LINJÄRT MED DJUPET



y_l = DEN RÖRELSE PÅLEN SKULLE FÅ OM DEN EJ ERBJÖD NÅGOT MOTSTÅND

$$y_l \approx \frac{s_z}{n}$$

PÅLLUTNING $n:1$



SIDOBELASTNING PÅ PÅLEN

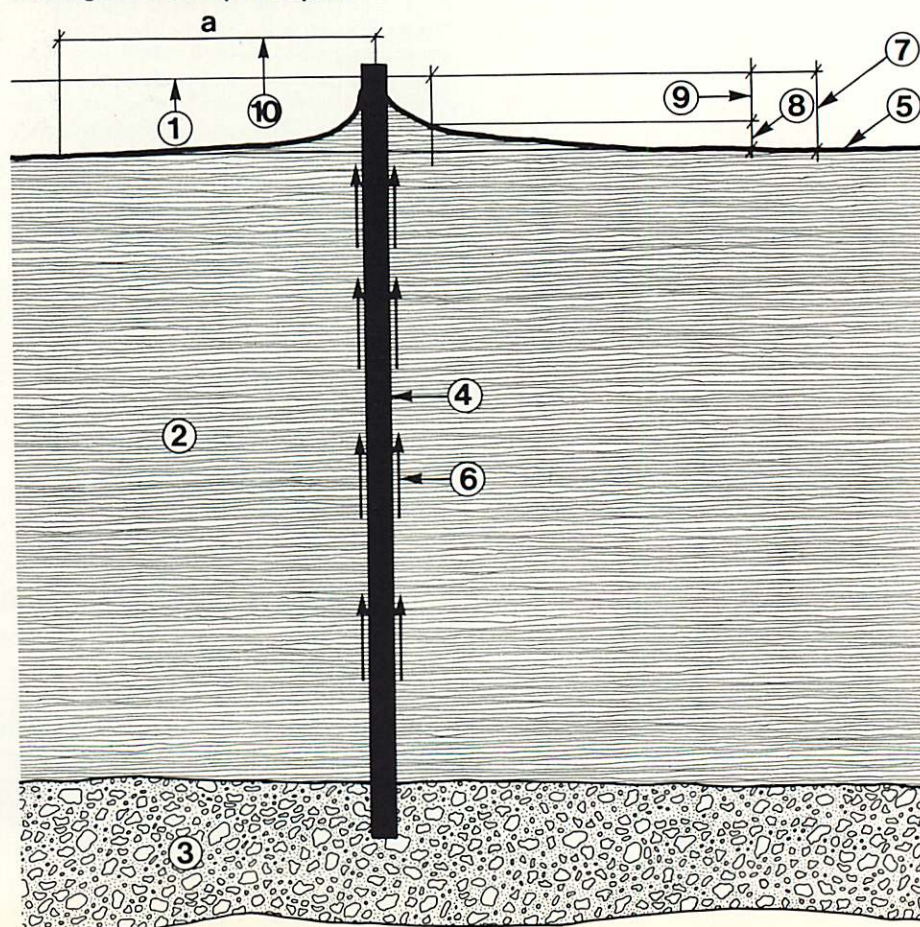
$$p_z = k \cdot y$$

k = BÄDDMODULEN

MED BEFINTLIGA FORMLER KAN EN RELATIVT ENKEL FORMEL FÖR BÖJMOMENTET UPPSTÄLLAS:

$M = F \cdot y_0$; $y_0 \approx \frac{s_0}{n}$ F BEROR PÅ JORDENS BÄDDMODUL, PÅLENS ELASTICITETSMODUL SAMT NORMALKRAFTEN PÅ PÅLEN.

Sättningars inverkan på snedpål



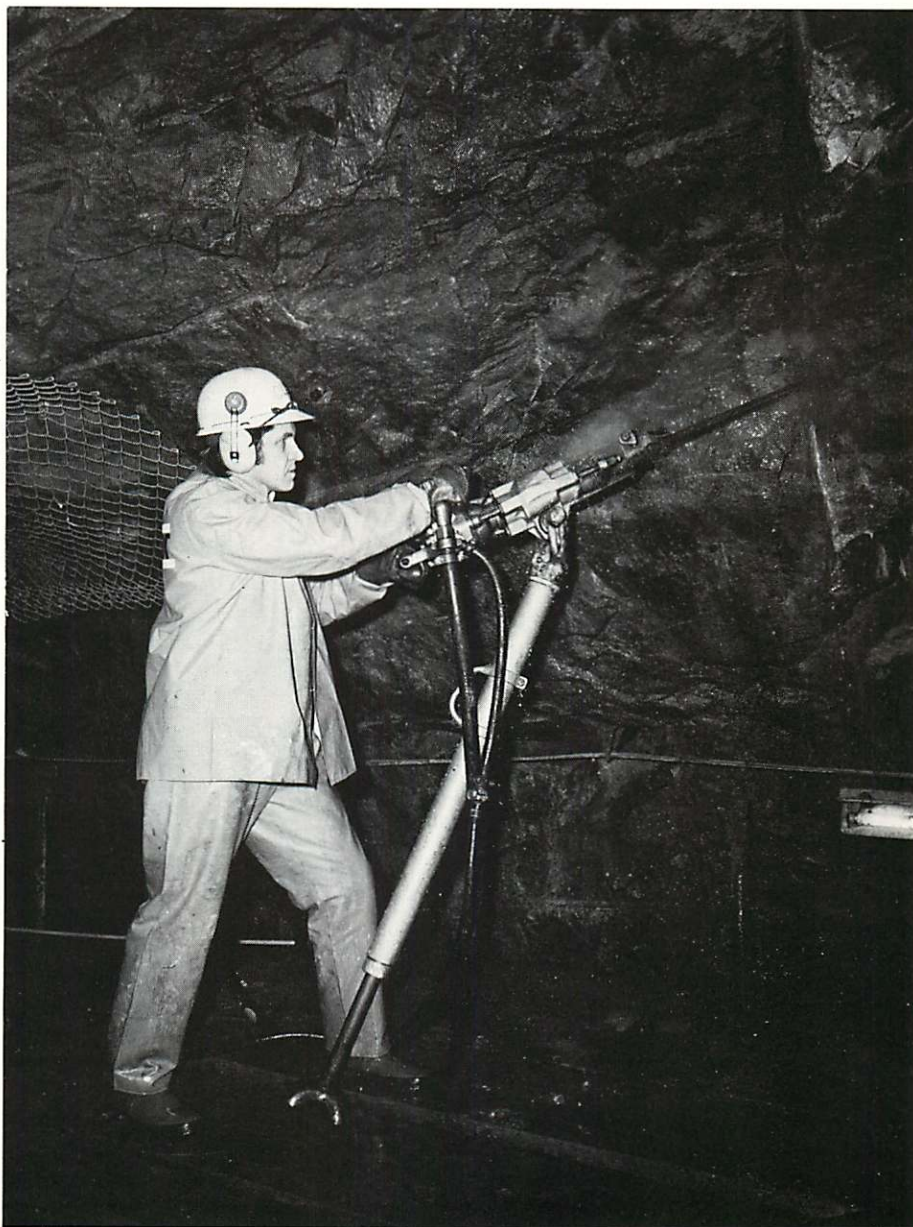
Bergsprängning

Tunnelbanan har på långa avsnitt sådan sträckning, att det för byggandet krävs bergsprängning. Underjordssträckornas andel har ökat från 18 % för Tb 1 till ca 72 % för sydvästra-östra banan, Tb 2, och till nästan 92 % för Järvabanan, Tb 3. Det är framförallt bergtunnlarnas omfattning som ökat från ca 3 km för Tb 1 till 24 km för Tb 3. Enkelspårtunnlarnas area är 22–24 m², dubbelspårtunnlarna är 44–47 m² och de flesta stationstunnlarna är 53 m². Sprängningstekniken har i sina grunddrag varit densamma under de 30 år som det egentliga tunnelbanebygget pågått. Arbetstempon och hjälpmedel har varit: borrar med tryckluftdrivna slående maskiner, borrarstål med hårdmetallskär, laddning med dy-

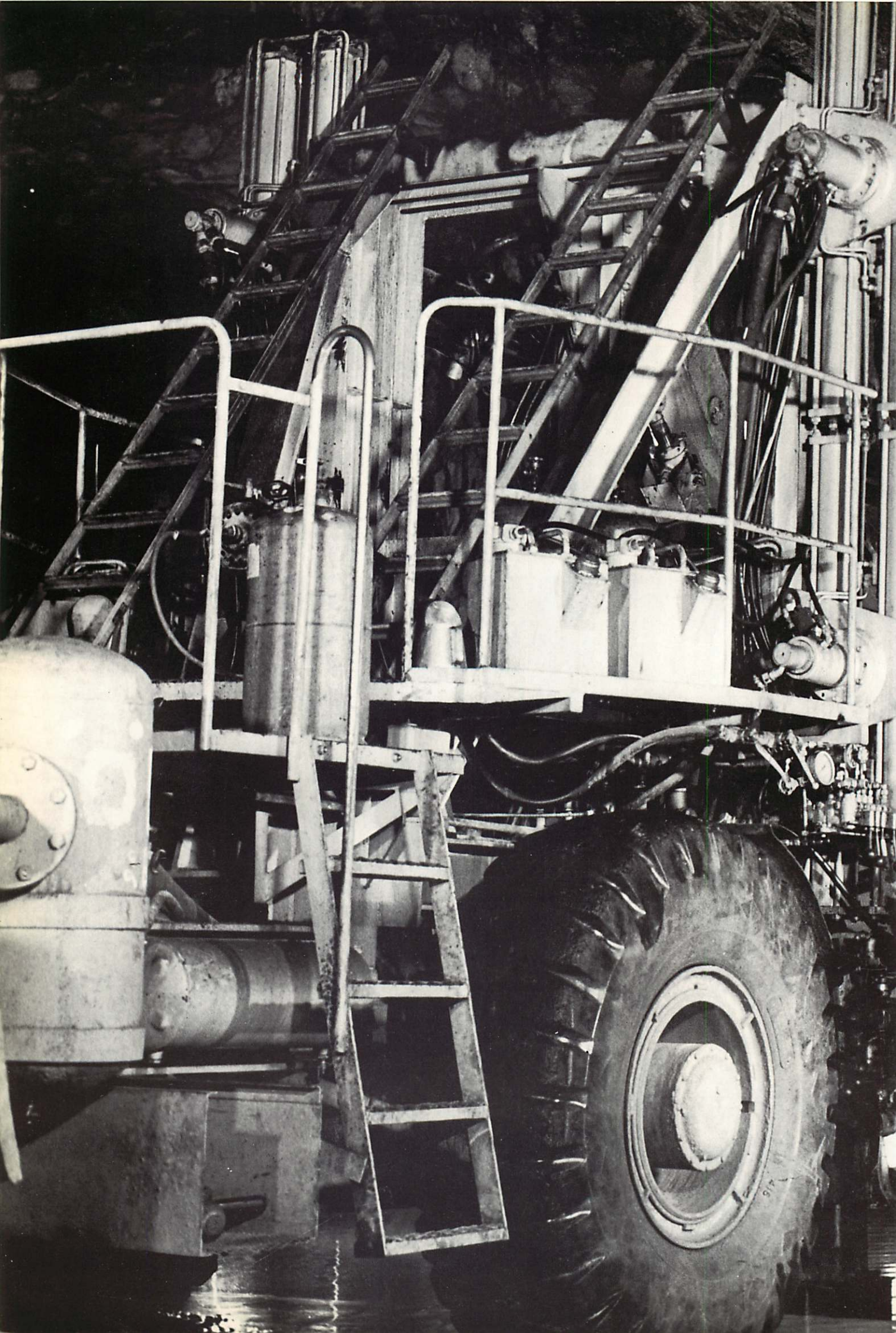
namit och initiering med elsprängkapslar, maskinell utlastning. Om än principerna varit desamma har en utveckling och förfining skett av hjälpmedlen. Den på kontinenten välkända »Svenska metoden», nämligen borrar med lätta handhållna maskiner med knämatrare, är ungefär jämnårig med tunnelbanan och användes vid Fridhemsplan i slutet av 1940-talet.

Metoden hade dessförinnan för första gången använts i Sverige 1945 i en spårvägstunnel under Hägerstensåsen som senare kom att ingå i tunnelbanan. På 1950- och 1960-talen gjordes maskinerna tyngre — borrarjunkningen ökade från 300–400 mm/min till över 600 mm/min — och knämatarna försågs med reglage för steglös ökning av matningstrycket och återgång av kolvstången.

Den klassiska utrustningen vid handhållen borrar i tunnel. Lätt borrarstål med knämatrare.



- 1 Markyta
- 2 Lera
- 3 Friktionsmaterial
- 4 Påle slagen till fast botten
- 5 Markyta efter sättning
- 6 Pålen påverkar leran med uppåtriktade krafter
- 7 Sättning utan hänsyn till pålens lyftande inverkan
- 8 Pålens lyftande inverkan
- 9 Reducerad sättning
- 10 Utanför a är pålens lyftande inverkan försumbar $a=2-5$ m







Noggrann borrhning, tät hålsättning och små laddningsmängder kan ge en jämn tunnelkontur. Dubbelspårtunnel söder om Slussen.

Mekaniserad borrhning

På Järva-, Botkyrka- och Täbybanorna prövades hydraulbommarna, 1960-talets stora nyhet på borrhningsområdet. Det är utrustningar för mekaniserad borrhning, där maskinerna bärs av rörliga stålarmar, sk bommar, som borrar manövrerar från en panel med reglage. Efter ingående förundersökningar köpte gatukontoret 1968 en finsk utrustning med tre bommar. Vid de omfattande bergtunnelarbeten som utförts på entreprenad har såväl svensk som finsk utrustning kommit till användning. Tyngre bormaskiner än de handhållna kunde nu användas och borrhastigheterna steg till 1 000 mm/min. Normalt används till dessa tunga utrustningar grövre borrhåll än vid handhållen borrhning men på tunnelbanan har inte tillåts grövre hålldiameter än 33–35 mm med tanke på betydelsen av försiktig sprängning. En nackdel med mekaniserad borrhning har varit svårigheten till omsorgsfull konturhålsborrning. Svenska aggregat med fyra bommar har använts i stor utsträckning på Järvabanan. Två man betjänade fyra maskiner och borrhningskapaciteten hade därvid på 20 år ökat från 11 till 50 bormeter per mantimme. Anspråken på jämnast möjliga tunnelkontur har alltid varit stora och därför

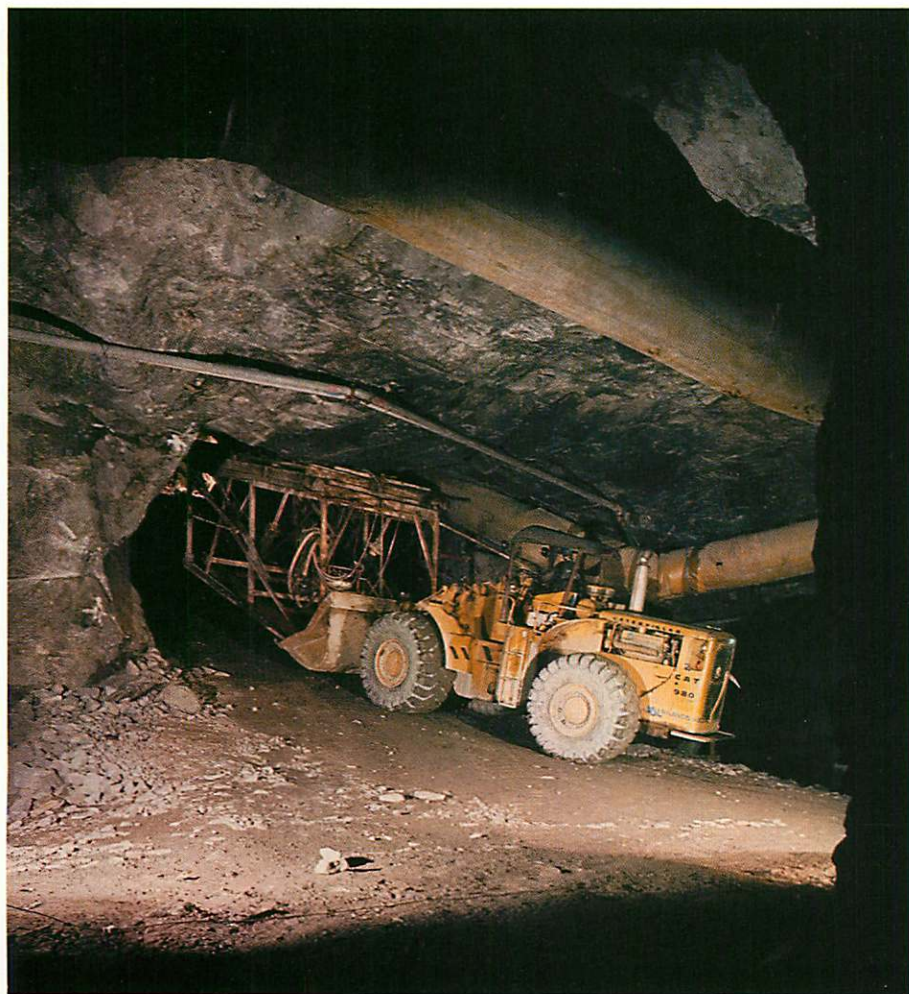
har slätsprängning varit ett krav. Konturhålsavstånden har varit 0,5–0,6 m. För att ytterligare skona omgivande berg har avsevärt flera hål borrats för salvan än vad som erfordrats enbart för att bryta loss berget. Föreskrivna hålsantal under 1960- och 1970-talen har varit minst 80 hål i enkelspårtunnlar och 115 hål i dubbelspårtunnlar.

Sprängmedel

Lika stora förändringar har inte skett med sprängmedlen – dynamit har varit förhärskande hela tiden. Några nyheter har dock introducerats. Långt drivna krav på slätsprängning har kunnat tillgodoses genom användande av rörladdningar av gurit. I viss utsträckning har ammoniumnitrat (AN-olja) och laddapparat använts. Under bansystemets byggnadstid har kortintervallsprängning med millisekundkapslar »uppfunnits». Denna metod har sin största betydelse vid arbeten ovan jord, varom mera längre fram. För underjordssprängning innebär den, att den erforderliga sprängämnesmängden kan fördelas på flera intervall än vad de sk eltidtändarna med 5 sekundersintervall på sin tid medgav. Vid sprängning i vibrationskänslig miljö har kortintervallskapslarna avgörande inverkan på salvstorleken och därmed



Hjullastare med sidtippande skopa



Vid sprängning av rulltrappschakt bärs borrhällningen upp av en hjullastare

kapaciteten. För att eliminera risken för oavsiktlig initiering används numera huvudsakligen sprängkapslar med förhöjd säkerhet s k VA-kapslar.

Ny lastteknik

En ur kapacitetssynpunkt mycket väsentlig utveckling av lastmaskiner har i tid sammanfallit med tunnelbygget. När sträckan mellan Fridhemsplan och Odenplan utfördes 1945–1950 lastades berget i en enkelspårstunnel med skrapspel – en metod som redan i mitten av 1950-talet tedde sig helt omodern. Då introducerades nämligen amerikanska hjullastare som ersatte även schaktbladstraktorer och grävmaskiner i tunnarna. Hjullastarna i sin tur utvecklades mycket snabbt. Skopvolymen ökade från drygt 1 m³ till 4 m³ och avgasreningen förbättrades. De byggdes midjestyrd och fick därmed ökad rörlighet. Från att lastningen hade den större andelen av den totala tiden – to m två lastningsskift mot ett borrhällningsskift förekom – har en svängning skett till det omvända. En modern maskin lastar två 3,2 m salvor i enkelspårstunnlar på ett skift.

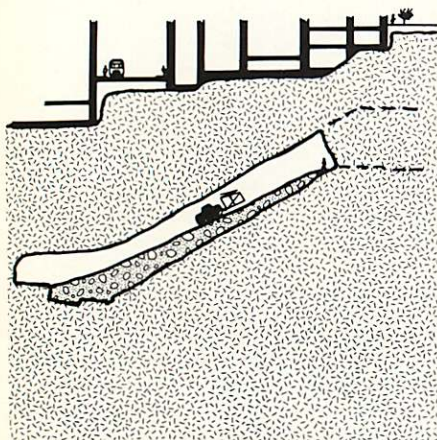
Sprängning av rulltrappschakt

På Tb 1 och Tb 2 ligger med några undantag – Fridhemsplan, Östermalms-torgstationerna – förhållandevis nära markytan och rulltrappschakten är följaktligen korta. Järvabanan stationer ligger djupt. Sprängning av rulltrappschakt blev därmed mera komplicerat. Schaktens area är beroende av om de skall rymma 3 rulltrappor enbart eller 3 rulltrappor och snedhiss. Arealen för de mindre schakten är ca 50 m² och för de större ca 75 m². De större schakten är 10 m breda och 8 m höga i hjässan mått vinkelrätt mot lutningen. Det längsta är mer än 70 m. Lutningen, 30°, är inte tillräcklig för att massorna ska självrasa men den är för brant för bilkörning. På de äldre stationerna sprängdes sektionen i flera etapper: bottenort och takstross eller takort och pall. Mått vertikalt är det 9 m från botten till tak. Ställningar måste därför ofta byggas vid sprängning och framförallt vid bergförstärkning.

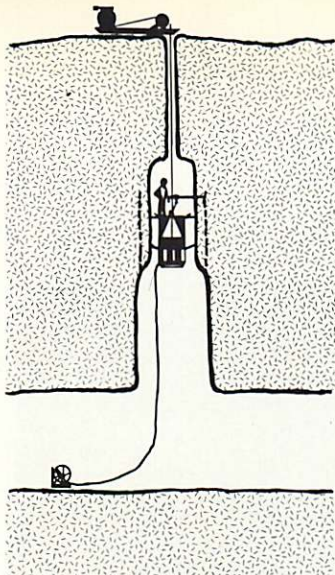
Utlastning gjordes från början med skrapspel och kapaciteten var följaktligen låg.

En betydande rationalisering av detta tidsödande och besvärliga arbete var möjlig, när Järvabanan byggdes, tack vare de lastmaskiner som då fanns i marknaden.

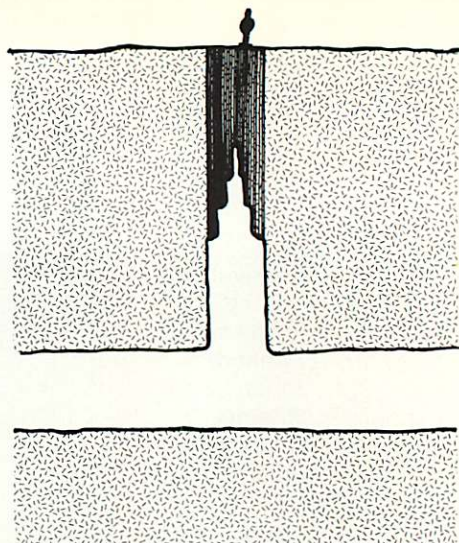
En hjullastare på ca 185 kW (250 hk)



Genom vägbygge med sprängsten minskades lutningen i rulltrapporna



Stigortssprängning med hiss. Sprängning i två omgångar; mittpartiet först och väg-garna därefter.



Stigortssprängning med långhålsborrning. Laddning och sprängning utfördes från ytan och måste ske i etapper efter ett visst mönster.

med turbinkoppling kan på gott underlag gå i en lutning som är nästan lika brant som en rulltrappa. Om därför botten i schaktet successivt höjdes genom vägbyggnad med sprängsten kunde den alltid köra fram till sprängningsfronten.

Trots att full sektion sprängdes ut kunde taket nås från borrställning genom att följande mönster tillämpades. Först sprängdes underdelen av tunneln på full bredd och ca 2 m:s höjd. Borrdjupet var 1,6–3,2 m. Arbetet utfördes utan ställning. Massorna planerades ut till väg.

Därefter sköts en salva av överdelen på 3,2 m:s längd som lastades ut nästan helt, endast en mindre del gick åt till vägen. Närmast fronten byggdes vägen nästan horisontell för att ge gott underlag för borring av ny omgång. En specialtillverkad ställning som lastmaskinen bar i skopan användes till en början men det visade sig, att om vägen byggdes med omsorg kunde maskinen föra upp en vanlig borbil genom att bära den i skopan.

För att den beskrivna metoden skulle fungera krävdes en skicklig maskinist och en noggrann uppföljning salva för salva.

Sprängning av stigorter

I varje ände av en station finns normalt ett tryckutjämningsschakt. Dessutom finns särskilda schakt för kablar. De flesta av dessa schakt är vertikala och har sprängts som stigorter.

De äldre ur arbetarskyddssynpunkt mindre lämpliga metoderna med bygge av kista eller ställning har övergivits. I stället har på innerstadssträckorna använts en hiss som manövrerades av bergsprängarna. Den hängdes i en wire som gick i ett i förväg från markytan

borrat hål. Hisskorgens tak tjänstgjorde som skydd under upptransport och som ställning vid skrotning och borring. Den firades ner i tunneln vid sprängning och drogs undan på en vagn. Om stigorternas area var 10 m² kunde hela sektionen nås för vertikal borring och orten sprängas med full sektion.

De större schakten är 15 m². Konturen låg då utom räckhåll från borrarplattformen. Då sprängdes i stället mittort och väggstross i växelspel. Strossen borrades radiellt med horisontella hål. Trots att hålens uddar sålunda bildade konturen blev väggarna slätsprängda. Även långhålsborring av stigorter har förekommit. All erforderlig borring gjordes därvid på en gång med hjälp av tung utrustning monterad på en rigg i tunneln. Borring kunde göras med god precision och hållavvikelsen hållas

vid 1 %. Ett noggrant mönster för hela sprängningsförloppet måste följas. Risk för fastskjutning var en av systemets nackdelar. En annan var den omständliga laddningen. Tändkapseltrådarna måste vid sprängningens början vara lika långa som den blivande orten och om borrhålen var igensatta p g a dåligt berg var det ett tidsödande arbete att få laddningarna på plats. En stor fördel med denna metod var, att allt sprängningsarbete kunde utföras från markytan.

Bergförstärkning

Bergförstärkning av tunnlar har under åren utförts på mycket skiftande sätt beroende dels på växande erfarenhet, dels på utvecklingen av de tekniska hjälpmedel som stått till buds. De första åren betydde detta, att den enda tillgängliga metoden var förstärkning med



Förstärkningsbult i berg. Hålen fylls med cementbruk med hjälp av tryckluftspruta.

Bergförstärkning med spurtbetong. Här sprutas först de dräner som skall ta hand om framläckande vatten.

platsgjutna betongvalv. På station Fridhemsplan t ex har ett hundratal sådana valv byggts. På Tb 1 finns förutom sporadiskt förekommande betonggjutningar ingen annan bergförstärkning. Efter det banan tagits i drift har dock underhållsarbeten i form av skrotning måst utföras i spårtnullarna. Då denna skrotning måste utföras nattetid ledde detta till ökade krav. När sydvästra banan byggdes i början av 1960-talet ställdes därför anspråk på minutiöst noggrann skrotning. Även andra metoder stod nu till förfogande. Några år tidigare hade tre svenska metoder för bergförstärkning med ingjuten bult introducerats och bultsättning blev därför en vanlig rutin i tunnlnarna.

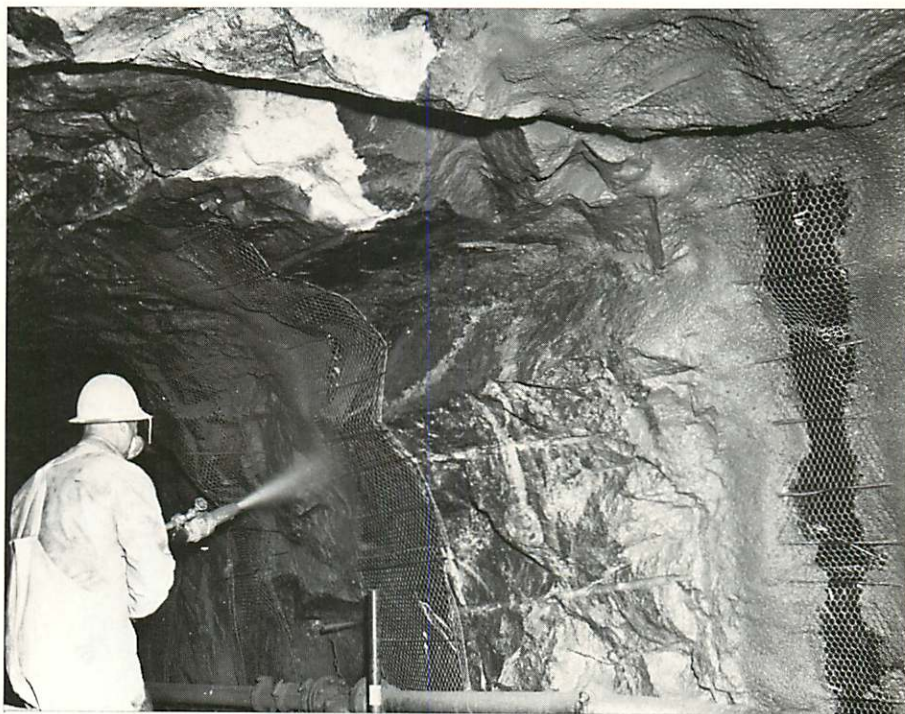
Förstärkning med sprutbetong

Förstärkning med sprutbetong hade sedan länge praktiserats på kontinenten men fick inte någon utbredd användning i Sverige förrän på 1960-talet. Det var först 1963–1964 på sydvästra banan, Tb 2, sträckan mellan Axelsberg och Bredäng som bergtunneltaken generellt förstärktes med sprutbetong. Dessa och alla därefter utförda bergtunnlar har i taket försetts med ett minst 30 mm tjockt oarmerat sprutbetongskikt. I stationerna gjordes dock sprutbetongen 75 mm tjock och armerades, numera 100 mm. Efter lokala bedömningar utföres fortfarande förstärkningar i form av sprutade eller platsgjutna bågar. Speciella metoder har använts bl a för utsprängning av station T-Centralen under Klara kyrkogård och av tunnlnarna under Brunkebergsåsen mellan T-Centralen och Östermalmstorg.

Ovanjordsprängning

Sprängning i öppen skärning har utförts på många ställen efter tunnelbanan. Det har främst gällt arbeten för biljetthallar i gatumark, där p g a närhet till bebyggelse sprängningen måste utföras med starka restriktioner på laddningsmängder och salvstorlekar. Trots att det således för arbetena i ytan till skillnad från i tunnlnarna inte varit fråga om mekaniserad stordrift har naturligtvis utvecklingen av de tekniska hjälpmedlen varit av betydelse. Handhållen borring har praktiserats hela byggnadstiden och endast på några få stora objekt på 1970-talet har pallborrningsaggregatens kapacitet utnyttjats, nämligen vid Danderyds sjukhus och Bergs-

Pallborring för station Universitetets norra biljetthall. Borrkaxet samlas i en dammsugare.



hamra. Den överlägset viktigaste förändringen har gällt tändmedlen, nämligen införandet av kortintervallsprängning 1952–53, när arbetena utfördes för stationen i Vällingby Centrum. Tidigare hade endast några få hål i varje salva kunnat skjutas, då eljest risk fanns för stenkastning. Kortintervallskapslarna innebar möjlighet till skjutning av större salvor och hade även andra betydande fördelar såsom ökad säkerhet, minskade markvibrationer och bättre sönderslagning av berget.

Lastning ovanjord

Lastning av sprängsten har genomgående gjorts med grävmaskiner. De äldre typerna från 1940-talet har slagits ut av mera lätttröliga aggregat med hydraulisk manövrering. Transport av sprängsten har skett med lastbilar, vars lastkapacitet ökades från 6 ton till 12 ton omkring tiden för Järvabanans byggstart 1966.

God arbetsmiljö krävs

En lång rad nya faktorer har påverkat sprängningsarbetets bedrivande. Kravet på en god arbetsmiljö — 1970-talets stora slagord — har ställt alltmer ökade anspråk på ventilation i tunnlar. En av arbetsmedicinsk expertis uppgjord katalog på högsta tillåtna halter av olika föroreningar i luften, s k hygieniska gränsvärden, har i tillämpliga delar tjänat som riktmärke vid dimensionering av ventilationsanläggningarna. Vid luftkontrollerna som utförts med bl a Drägerapparat och reagensrör har de vanligaste observationerna gällt följande ämnen med tillhörande hygieniska gränsvärden för genomsnittlig exponering under 8 timmar enligt Arbetarskyddsstyrelsens »Berganvisningar nr 67» med »ändringsmeddelande 1973: 18».

Koloxid 25 ppm (delar per miljon)

Koldioxid 5 000 ppm

Kvävedioxid 2 ppm

Kväveoxider ($\text{NO} + \text{NO}_2$) 20 ppm

Kvarts < 5 μm , 0,2 μm , vilket motsvarar ca 3 mg totaldamm per m^3 luft

Mineralolja 5 mg/m^3

För att tillgodose dessa anspråk krävs betydande mängder ventilationsluft. De i »Berganvisningarna av år 1969», alltså i ett sent skede av tunnelbygget givna anvisningarna för dimensionering av ventilationssystem innebär en mycket stor ökning av luftbehovet jämfört med tidigare.

När tunnelbanan byggdes under Östermalm och Gärdet i början av 1960-talet användes 500 mm plåttuber med insatsfläktar var 100 m. I Järvabanans



Borrning med handhållna maskiner och aggregat vid Bergshamra. Borrkaxet samlas i dammsugare.

Den övre delen av station Universitetets norra rulltrappschakt sprängdes först sedan plattformarna byggts i tunneln. Lastning av sprängsten måste därför ske uppåt av grävmaskiner som lämpas till varandra.



»Urtappning» av berget mellan Vårberg och Vårby Gård

transporttunnlar matades ventilations-systemet, som nu byggdes med tuber av plast $\varnothing$ 800–900 mm, av högtrycks-fläktar i ledningar med 1 000–1 200 mm diameter. Detta innebär, att 4–5 gånger mer luft än tidigare förs ner i tunneln.

Maskinerna har bullerdämpats

En förbättring av arbetsmiljön ovan jord har skett genom att buller från maskiner dämpats. Bäst har detta lyckats med kompressorer, som tidigare var ett starkt störande inslag i närheten av bebyggelse.

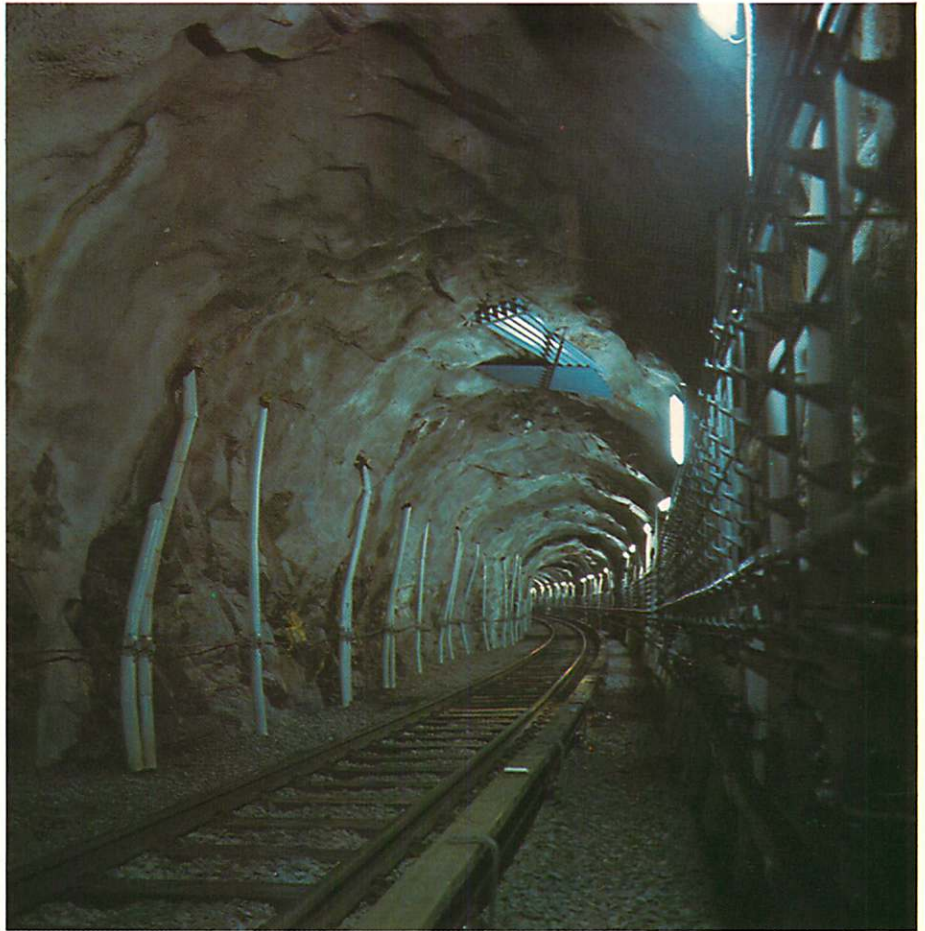
Från slutet av 1960-talet är alla transportabla kompressorer för arbetet från ytan bullerdämpade. Den stationära kompressorstationen för Järvabanan på Blasieholmen har utförts med så effektiv bullerdämpning — ljudnivån utanför är ungefär 65 dB (A) — att motorljuden inte hörs över det vanliga gatubullret.

Vattenproblem

Bergläckage mellan Vårberg och Vårby Gård

I entreprenaden för arbetena mellan Vårby Gård och Masmo ingick berg-tunneldrivningen norrut från Vårby Gård till stadsgränsen söder om Vårberg — en sträcka på ca 400 m med huvudsakligen enkelspår-tunnlar. Tunnelarna utsträngdes från hösten 1967 till midsommar 1968.

Under detta arbete uppstod ett flertal vattenläckage men dessa var inte av sådan storleksordning, att förinjektering ansågs erforderlig. Sedan sprängningsarbetet var avslutat ökade emellertid vatteninläckningen, varför efterinjektering blev nödvändig. Denna utfördes i väggar och tak med placering och riktning av borrhål enligt successiva anvisningar av beställaren, dvs injektering punktvis, där inläckningen var som störst. Vatteninläckningen minskade — men ej tillräckligt. Därför tillgreps såväl botteninjektering som injektering av väggar och tak med borrhålen placerade i bestämt ruttmönster och med etappvis injektering av borrhålen. Trots detta blev resultatet ej tillfredsställande. En bidragande orsak till denna bedömning var det inläckande vattnets sammansättning. På läckställena uppstod betydande utfällningar av brunt slam (järnhydroxid). Järnhydroxiden bildades först när det i och för sig klara läckvattnet kom i kontakt med luft. Även om vatteninläckningen kvantitativt kunde tillåtas så kunde SL ej acceptera, att hela ballastuppbbyggnaden med tiden skulle kunna bli helt igensatt av det bruna slammet. Utförd vattenanalys visade därtill, att vattnet var



starkt aggressivt mot betong. På grund härav kunde risk finnas för sprutbetong-förstärkningarnas och även injekteringarnas framtida beständighet.

Dessa problem födde tanken att »tappa ut» vattnet ur berget och avleda det.

Denna ur grundvattensynpunkt till synes drastiska lösning kunde här accepteras, då hela det aktuella banavsnittet låg under Skärholmstippen.

»Urtappningen» utfördes på följande sätt:

1. Borrhål, $\varnothing$ 50 mm, utfördes i bergtak och sidor och försågs med tättslutande manschetter för anslutning av 50 mm polyetenslangar. Dessa i sin tur anslöts till uppsamlingsledningar av 100 mm polyetenrör, som via tre inspektionsbrunnar leder vattnet till en pumpstation. Uppsamlingsledningarna är försedda med stosar och gängade lock för att möjliggöra renspolning.

2. Polyetenslangar och -rör enligt punkt 1 kompletterades med en termostatsstyrd elektrisk värmeanläggning för att säkerställa driftfunktionen även vid kraftig vinterkyla.

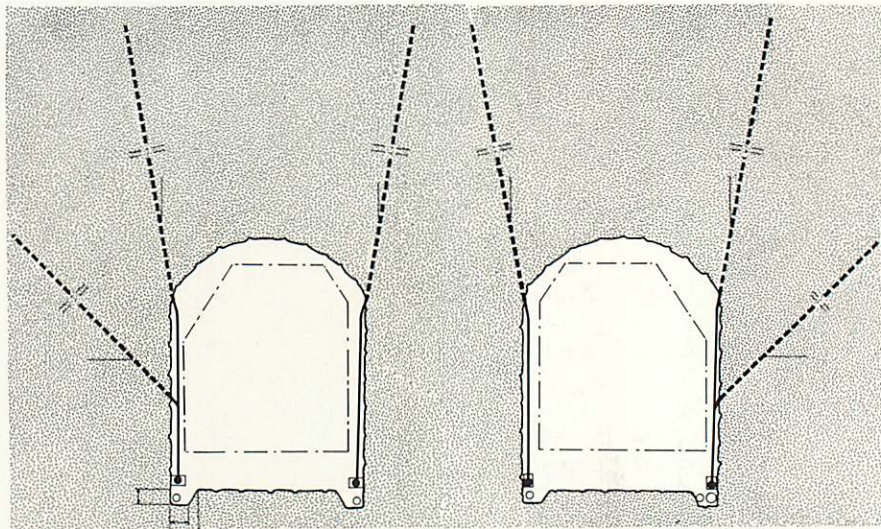
3. Dräneringsledningarna av 150 mm betongrör med tillhörande spolbrunnar utfördes. Ledningarna anslöts till samma inspektionsbrunnar, som anges i punkt 1.

Genom åtgärderna enligt punkt 1 uppsamlas läckvattnet inne i berget och avleds i slutet system utan nämnvärd kontakt med fria luften. Härigenom undviks dels ogynnsam inverkan på sprutbetongen på grund av vattnets aggressivitet, dels att slambildning inträffar alltför tidigt i systemet. Slangarna enligt punkt 2 är som komplement till eluppvärmningen värmeisolerade med rörsålar av mineralull och skyddsinklädda med vit plastduk.

Dräneringsledningarna enligt punkt 3 är ett extra skydd för att säkerställa ren ballast om trots övriga åtgärder vissa mindre läckage skulle uppstå. Arrangemanget har fungerat tillfredsställande och tunneln är torr.

Problemen vid Gömmarbäcken

På tunnelbaneavsnittet mellan stationerna Vårby Gård och Masmo går banan i enkelspår-tunnlar under Gömmarbäcken. Berget i ett parti söder om denna är dåligt på grund av en kraftig krosszon. Noggranna geologiska undersökningar hade utförts och enligt dessa fanns det risk för grundvatteninläckning i tunnarna på grund av att berget var mycket söndersprucket och att den minsta bergtäckningen endast var ca 4 m i en 40 m djup bergsvacka,

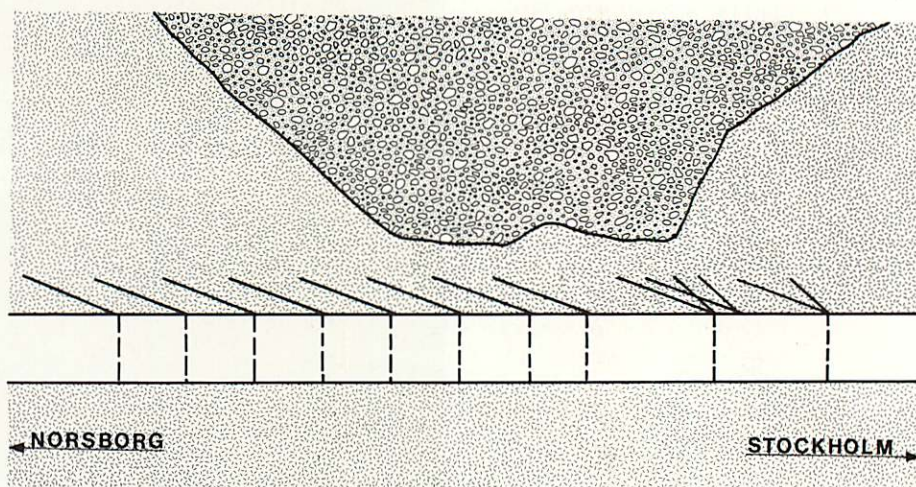


Borrhål 2'' för uppsamling av läckvatten

2'' slang anslutes till borrhål med manschett 0,5–1 m innanför bergyta

● Uppsamlingsledning 4'' av polyeten

Anmärkning: Anfangshålen utföres c/c 3,0 m med ev. kompletteringshål. Vägghålen bestämmes på plats.



Bergsvackan mellan stationerna Vårby Gård och Masmo. Förinjekteringsområdet med hållriktningar.

vari bäcken rinner fram ca 20 m över svackan.

Då grundvatten från två nivåer inom Gömmarbäcksravinens område springer fram vid Vårby källa, där vattnet tillvaratas och användes i öl- och läskedryckstillverkningen vid Vårby bryggeri, måste grundvatteninläckning i tunnarna förhindras. Om källan sinat i samband med tunnelbanearbetena, skulle detta kunna medföra skadeståndsanspråk, då bryggeriet har vattentendens på att få utnyttja en viss mängd vatten för sin verksamhet.

Bryggeriet anlätade Vattenbyggnadsbyrå (VBB) som kontrollerade de vattenmängder, som tas ut från Vårby käl-

la, mätte vattenståndet i brunnarna och i de observationsrör, som anordnats av gatukontoret samt mätte de vattenmängder som pumpades för länshållning av tunnarna.

Huvudmomenten i arbetsgången blev följande:

Förinjektering utfördes framför tunnelfronterna via 12–15 st solfjädersformigt fördelade borrhål per tunnel runt hela sektionen. Fronterna i de två tunnarna fick förskjutas inbördes högst en salvlängd och injekteringen låg minst 5–6 m före aktuell tunnelfront.

Provborrhningar (sonderingsborrning) genom det förinjekterade berget och ytterligare ca 2–5 m in i oinjekterat berg

Schaktningsarbete för betongtunnel under Golfängarna i Sundbyberg. I bakgrunden synes Hallonbergens bostadsområde och Lötsjön skymtar till vänster. Den mellersta tredjedelen av schaktet har utförts enligt vakuummetoden.

utfördes för kontroll av vattenföringen så snart utsprängda bergmassor var utlastade. Injekteringshålens vinkel mot tunnelns längdaxel avpassades så, att avståndet mellan teoretisk tunnelkontur och borrhäls spets blev ca 3 m. Härfter verkställdes mätningar enligt särskilt program.

Inläckande vatten undersöktes fysikaliskt-kemiskt, varigenom det var möjligt att avgöra, om vattnet var av samma sort som det i Wårby källa.

Slutligen utfördes kompletterande efterinjektering av smärre resterande läckage.

Den tillämpade arbetsmetodiken lyckades och Wårby källa fortsätter att leverera vatten för bryggeriets behov.

Läckage mellan Hallunda och Norsborg

Ovannämnda banavsnitt, ca 1 000 m, går helt i dagen med växelvis skärningar i jord och berg och på bank. Terrängen är brant lutande tvärs banan. Bergskärningarnas ena sida är upp till 10 meter höga.

Motsvarande jordslänter har måst läggas i lutning 1 : 1,5 och sträcker sig upp till den parallellt med banan och ca 15 meter ovanför (vertikalmått) liggande Skarpbrunnvägen — en stor matargata till stadsdelen Eriksberg. På grund av banans respektive gatans planläge kunde ej flackare jordsläntning medges.

Arbetena var avslutade i december 1973. Intill dess hade inga problem med läckvatten förekommit varken i berg- eller jordsidor. Under den milda vintern 1973–1974 med upprepade töpperioder började vatten läcka fram genom bergsidorna. Stora svallsbildningar uppstod. Även i jordslänterna trängde vatten fram, de låga stödmurarna vid släntheten översvämmades av eroderande jordmassor och svallsbildningar uppstod långt ute på banterassen. Åtgärder måste snabbt vidtas för att ej hindra SL:s spårbyggnadsarbeten — banan skulle tas i trafik vid nyåret 1975. Efter ett komplicerat val mellan olika alternativ utfördes våren 1974 följande arbeten. Bergsidorna värmeisolerades enligt vidstående illustration med 200 mm mineralull uppbyggd av fyra lager mattor à 50 mm. Närmast berget ligger en plastfolie. Läckvattnet rinner mellan bergytan och folien. Isoleringen täcks med armerad sprutbetong, som förankrats i berget med bult. Läckvattnet »släpps» ner till befintlig bandränning. Åtgärderna har utförts på en sammanlagd yta av ca 600 m².



Jordslänterna har vid släntfoten kompletterats med en dräneringsledning av 125 mm betongrör, som via brunnar leder vattnet under stödmurarna till banterrassens dräneringssystem.

Schaktning under grundvattennivån

Schaktning under grundvattennivån under samtidig vakuumsugning (sk wellpointmetod) har utförts på ett flertal platser. Vid dessa har jordmaterialet varit flytbenäget och för att minska eller helt komma ifrån spontningskostnaderna har man stabiliserat jordmaterialet genom sänkning av grundvattnet. Den använda metoden kan beskrivas genom en kort redogörelse för schaktningsarbetena för betongtunneln under Golfängarna i Sundbyberg. Under Golfängarna passerar Järvabanan en svacka i berggrunden, utfylld med lera och flytbenägen morän. Då berget här ligger mycket djupt (– 25 m),



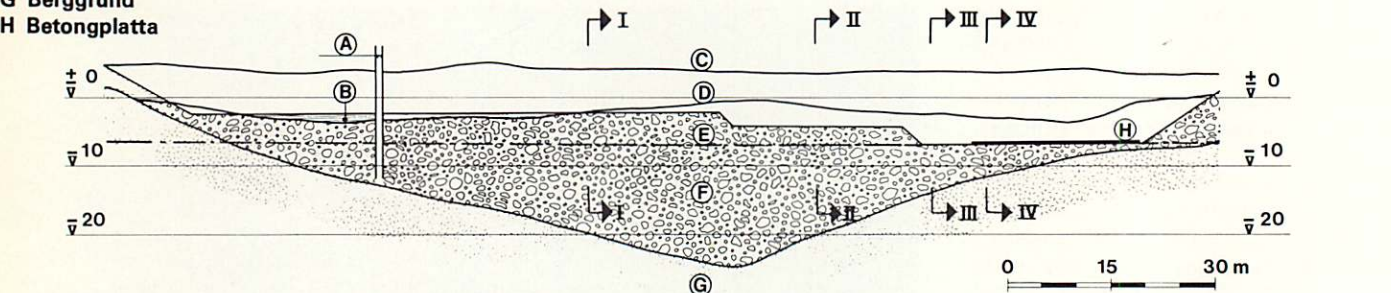
Schaktning enligt vakuummetoden för betongtunnel under Golfängarna. Sugspetsarna synes intill spontsidan.

Undervattengjuten betongplatta som förankras med förspända dragstag för att förhindra uppflytning under byggnadstiden. Dragstagen förankras i berget och dimensioneras för det uppträdande vattentrycket. Provdrastring och förspänning av dragstagen utförs innan länspumpning sker.

Tunnelbanearbeten vid Golfängarna. Längdsektionen visar schaktnivåer på olika delar av arbetsområdet vid samma tidpunkt. Sektionerna visar situationen efter att ett visst antal arbetsmoment utförts. Samtliga arbetsmoment 1–15, som visas i sektion I–I, II–II, III–III och IV–IV utförs på hela arbetssträckan.

- A Ursprunglig grundvattennivå i tänkt grundvattenrör
- B Lera
- C Ursprunglig markyta
- D Ursprunglig jordartsgrens
- E Slutlig schaktbotten
- F Friktionsmaterial
- G Berggrund
- H Betongplatta

LÄNGDSEKTION

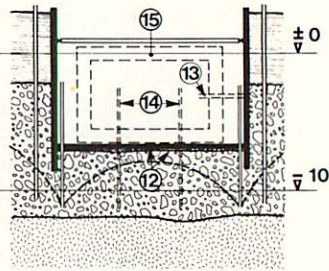
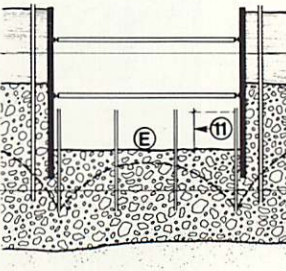
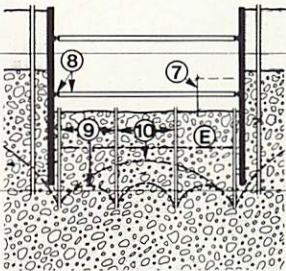
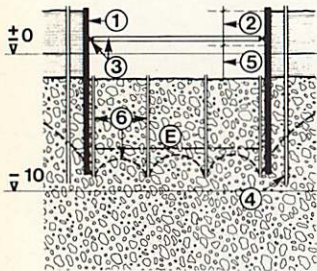


SEKTION I–I
ARBETSMOMENT 1–6

SEKTION II–II
ARBETSMOMENT 7–10

SEKTION III–III
ARBETSMOMENT 11

SEKTION IV–IV
ARBETSMOMENT 12–15



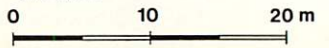
- 1 NEDSLAGNING AV SPONT.
- 2 URSCHAKTNING TILL ca 2,5 m:s DJUP
- 3 MONTERING AV ÖVRE HAMMARBAND OCH STRÄVOR.
- 4 NEDSÄTTNING AV VATTENSTÄNDRÖR UTANFÖR SPONTEN.
- 5 URSCHAKTNING TILL 5 m:s DJUP UNDER SAMTIDIG LÄNSPUMPNING.
- 6 MONTERING AV SUGRÖR I SCHAKTBOTTEN MED c/c ca 4 m OCH SUGSPETSAR ca 1,5 m UNDER SLUTLIG SCHAKTBOTTEN. VAREFTER SUGNING (GRUNDVATTENSÄNKNING) PÅBÖRJAS. TILLHÖRANDE GRUNDVATTENYTA VISAS I FIGUREN.

- ARBETSMOMENT 7, 8 OCH 9 NEDAN UTFÖRS SUCCESSTIVT I KORTA ETAPPER.
- 7 NÄR VATTENNIVÅ I OBSERVATIONSÖREN LIGGER LÄGRE ÄN 7,5 m UNDER MARK SCHAKTAS TILL 7,5 m:s DJUP.
- 8 PROVISORISKA HAMMARBAND OCH STRÄVOR MONTERAS.
- 9 BEFINTLIGA SUGSPETSAR NEDFÖRS ca 4 m UNDER SLUTLIG SCHAKTBOTTEN. VAREFTER SUGNING ÅTERUPPTAS. TILLHÖRANDE GRUNDVATTENYTA VISAS I FIGUREN.
- 10 NÄR PUMPNING PÅGÅTT VISS TID FRÄNKOPPLAS SUGRÖREN I DE INRE RADERNA OCH DESSA ANVÄNDS I STÄLLET FÖR ATT MÄTA VATTENNIVÅ. TILLHÖRANDE GRUNDVATTENYTA VISAS I FIGUREN.

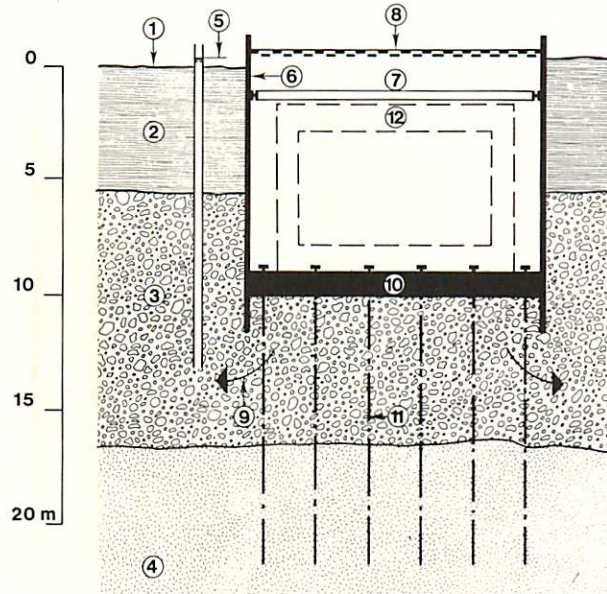
- 11 NÄR VATTENNIVÅ I MÄTRÖREN INNUTI SCHAKTEN LIGGER LÄGRE ÄN 0,5 m UNDER SLUTLIG SCHAKTBOTTEN SCHAKTAS TILL FULLT DJUP.

- 12 UTLÄGGNING AV FILTER OCH GJUTNING AV BOTTENPLATTA.
- 13 RIVNING AV PROVISORISKA HAMMARBAND OCH STRÄVOR (BOTTENPLATTAN FULLGÖR NU HAMMARBANDENS OCH STRÄVORNAS TIDIGARE FUNKTION).
- 14 UPDRAGNING AV DE INRE SUGRÖREN.
- 15 ISOLERING AV BOTTENPLATTA OCH UTFÖRANDE AV BETONGKONSTRUKTION.

SEDAN ARBETSMOMENT 1–15 UTFÖRTS PÅ HELA ARBETSSTRÄCKAN SKER ÅTERFYLNING OCH UPDRAGNING AV RESTERANDE SUGRÖR SAMT SPONT.



Golfängarna. Tvärsektion



har banan här lagts i en 500 m lång betongtunnel, som på en sträcka av 120 m är grundlagd på flytbenägen morän. Allt schaktningsarbete har utförts inom spont. Då moränen är fast lagrad och mycket blockrik har blocksprängning och uppluckring av moränen i spolith varit nödvändiga vid spontneddrivningen. Schakten har sedan bedrivits i etapper, vilket framgår av vidstående illustration.

Den beskrivna metoden har avsevärt sänkt byggnadskostnaderna för betongtunneln. Utan grundvattensänkning och jordstabilisering hade schakt- och bottenarbetena måst utföras under vatten.

Skred vid korsningen med väg E4

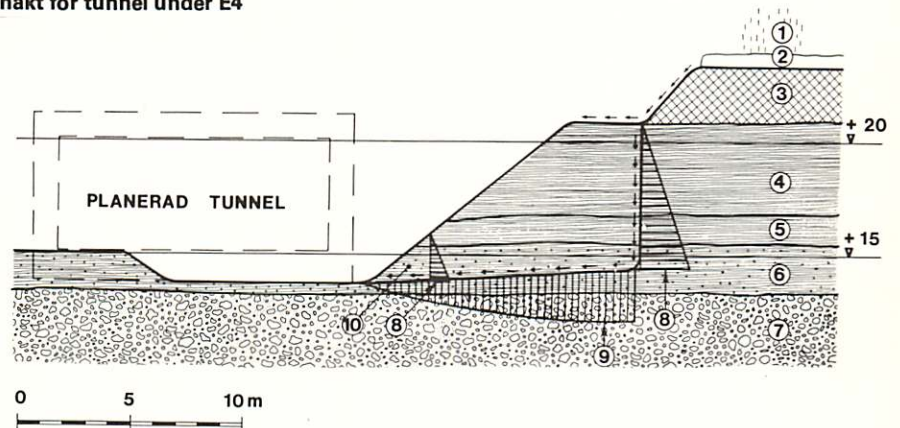
I schakten för en betongtunnel vid Tb2:s korsning med väg E4 inträffade ett skred vid schakt utan spont. Jordmaterialet i slänten bestod huvudsakligen av fast lera nedåt övergående i skiktade lager av mo och lera. En förutsättning för att slänten skulle vara stabil var, att vatten ej trängde ner i sprickorna i den uppspruckna leran. Den dränering som utförts ovan slänten var dock otillräcklig för att ta hand om det regn- och smältvatten, som kom under en töperiod efter en tids snöfall och kallt väder. Vattnet rann därför ner i sprickorna och gav upphov till extratryck i jorden. Upptrycket därav minskade mothållande friktionskrafter i moskikten och det horisontella trycket sköt iväg slänten mot schaktgropen.

Lyckligtvis var skredområdet relativt begränsat. Av den 40 meter långa slänten gled 12 meter ner i schaktgropen. Risken för att även en brant vägg bakom de utglidna massorna skulle ge sig iväg mot schakten var stor. Därför fylldes hålrummet efter skredet genast med sprängsten som dels utgjorde ett

stöd för väggen, dels fungerade som dränering. För att minska risken för ytterligare skred i den kvarstående slänten avledes vattnet ovanför genom invallning och bortpumpning. Slänten gjordes också flackare, 1 : 2,4. För att ytterligare öka säkerheten nedfördes dessutom till moskikten sugrör (wellpoints), vilka skulle användas, om vattentrycket trots dränering skulle stiga i jorden.

- 1 Markyta
- 2 Lera
- 3 Friktionsmaterial
- 4 Berggrund
- 5 Grundvattennivå före schakt
- 6 Spont
- 7 Sträva med tillhörande hammarband
- 8 Vattenyta vid senare delen av schaktningen samt vid undervattensgjutningen
- 9 Grundvattenström
- 10 Undervattensgjutens betongplatta
- 11 Förspända dragstag
- 12 Tunnelkropp

Schakt för tunnel under E4

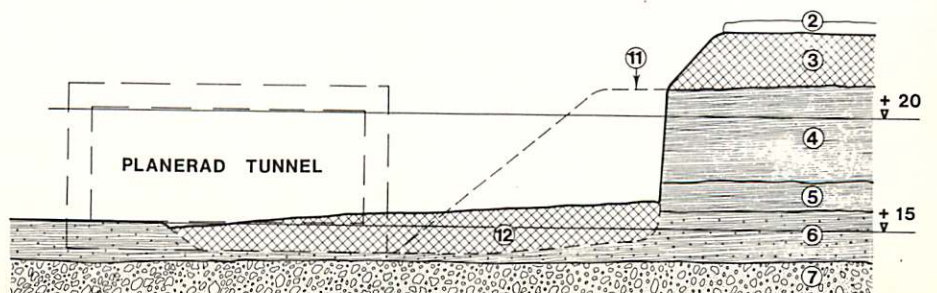


Före skred

- 1 Regn
- 2 Snö
- 3 Fyllning
- 4 Torrskorpelera
- 5 Halvfast lera
- 6 Skiktad mo och lera
- 7 Mo
- 8 Horisontellt vattentryck i vertikal spricka i leran
- 9 Vattenupptryck i moskikt på glidkroppen
- 10 Sannolikt har skredet inletts med ett lokalt skred vid släntfot

Efter skred

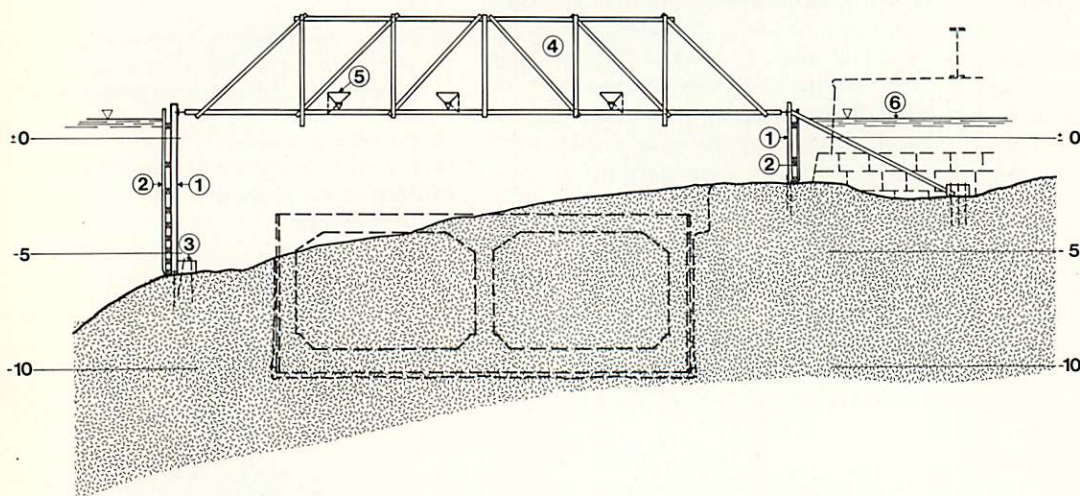
- 11 Slänt före skred
- 12 Skredmassor



Fångdammar och spontkonstruktioner Fångdammar

I kapitel 10 har tunnelbygget vid Tegelbacken redovisats och under rubriken »Småkassuner och kofferdammar» har anslutningen mellan tunneldelarna i kajkanten berörts. Här nedan redovisas det under åren 1952–1956 utförda stora fångdammsbygget söder ut i Norrström och Riddarholmskanalen. Som redan tidigare nämnts måste arbetet uppdelas i tre etapper för att dämningsskador i Mälaren skulle undvikas. Hur fångdammsarbetet utfördes framgår av nedanstående illustrationer. Vid vattendjup 3–5 m utfördes fångdammen av träspont och järnbalk som fixerades vid berg och tätades med hjälp av dykare samt stöttades ovan vatten av en fackverkskonstruktion. Vid större djup och där utrymme fanns, byggdes fyllnadsdammar av järnspons på ömse sidor om tunnelläget.

På en 40 m lång sträcka utanför Tegelbackskajen, där djupet till berg var relativt stort (11–16 m) och berget var rikt på sprickor och slag byggdes fångdammar av 10 m långa betongkassuner med arbetskammare för arbete i luft-övertryck längst ner. Från arbetskammaren kunde berget noggrant rensas och betongkassunen förankras med spännstag inborrade i berg. Arbetskammaren fylldes sedan med betong. Spalterna mellan betongkassunerna tättades med undervattensgjuten betong. Fångdammsväggarna stöttades upptill med järnbalk som hölls under relativt konstant temperatur för att inte temperaturrörelsen skulle bryta sönder de fast inspända betongkassunerna. Ett annat exempel på fångdammsbygge är arbetena med Tb3:s passage under Karlbergskanalen. Här har berggrunden mitt i kanalen en depression till nivån – 7 och överlagras närmast berg av hårda stenlager. Järnspons slogs tvärs över kanalen,

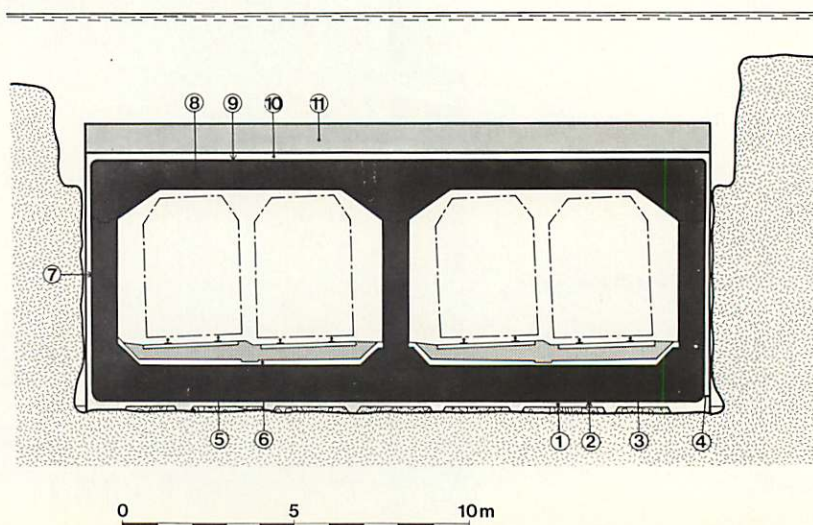


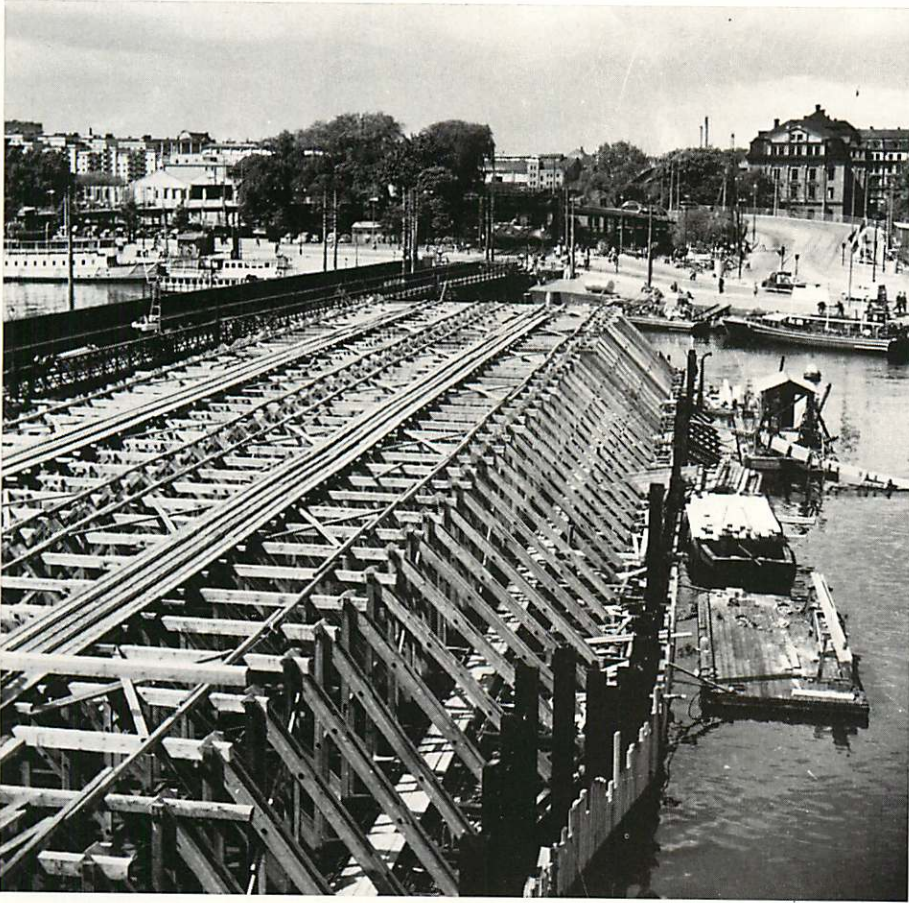
Tunnel i Norrström
Fångdamm i Strömmen med bordläggning
av trä

- 1 Stålbalk
- 2 Träspont
- 3 Betongplint
- 4 Stämp av fackverk
- 5 Mono-rail
- 6 Medelvattenyta

Tunnel i Norrström

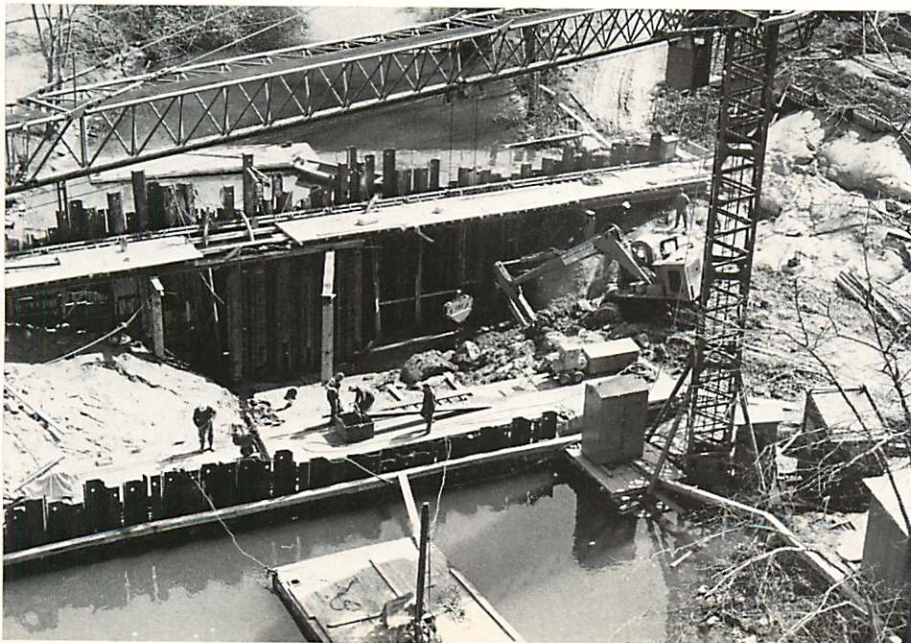
- 1 Betongavjämning
- 2 Gjutasfaltisolerings
- 3 Konstruktionsbetong
- 4 Glidlager för skyddsbetong
- 5 Isolering mot vagabonderande strömmar (10 mm gjutasfalt)
- 6 Skyddsbetong
- 7 Oppanolisolerings
- 8 Konstruktionsbetong
- 9 Gjutasfaltisolerings
- 10 Skyddsbetong
- 11 Motviktsbetong





Fångdamm i Norrström

Fångdamm i Karlbergskanalen



muddring utfördes och rensning av bergytan gjordes med hjälp av dykare. Sponten förankrades och tätades mot berg genom betongplintar. Ovan vattenytan utfördes bakåtförankring med dragstag.

Spontkonstruktioner

Ett flertal spontkonstruktioner har utförts anpassade efter geotekniska och trafiktekniska förhållanden samt till byggnadsteknisk erfarenhet. Här en av de mer intressanta.

För att trafiken på S:t Eriksgatan skulle kunna fortgå under byggnadstiden 1949 användes på en sträcka av 200 m på ömse sidor om bron den byggnadsmetod, som redovisas på sida 118. Vid byggnadsarbetena utfördes först smala, separata schakt inom träspont för tunnelkroppens ramben. Efter avschaktning utlades formen för betongdäcket på det hårdgjorda markplanet, varefter ramkonstruktionen kunde gjutas, återfyllning ske och gatutrafiken återgå till ursprungligt läge.

Metoden kunde tillämpas, där det inte fanns något större problem med grundvatten. Gjutning av takplattan utfördes sålunda innan tunnelkroppen urschaktades, vilket innebar minsta störningen för gatutrafiken.

Härutöver kan också nämnas de besvärliga byggnadsförhållandena på sträckan Vasagatan–Tegelbacken, som närmare beskrivits på sidorna 75–79.

Bakåtförankrade sponter

Under 1960-talets början utvecklades metoden med bakåtförankrade sponter. Metodens fördel består i, att schaktning och formsättningsarbete inte hindras av stämpkonstruktioner.

Ursprungligen utgjordes förankringsstagen av stänger av spännstål $\varnothing 26$ och $\varnothing 32$ med tillåtna laster 250 resp 400 kN. På senare tid användes oftast kabelstag sammansatta av erforderligt antal 5–6 mm:s trådar.

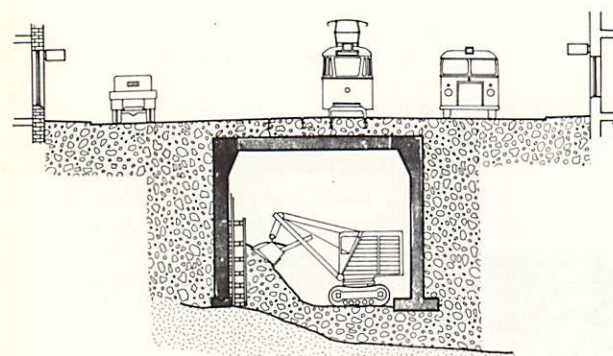
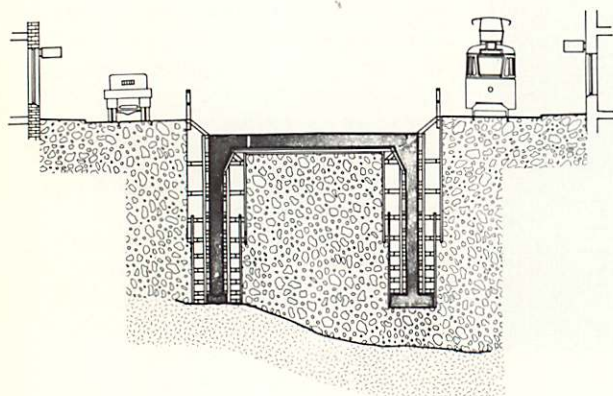
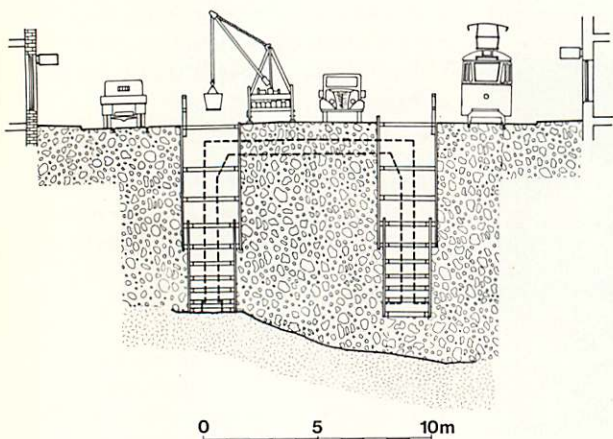
Stagen förankras genom ingjutning i berg eller genom fastinjektering i friktionsjord.

En nackdel med stagen är, att inbörningen ofta medför markstörningar som kan leda till sättningar samt att stagen oftast blir kvar till hinder för framtida grundläggningsarbete.

Ett exempel på ovannämnda metod är sponten för biljetthall vid S:t Göransgatan–Kellgrensgatan.

Vid Bergshamra har stål balk eller rälér drivits ned till berg och sedan schaktningen igångsatts har mellan balkarna

»S:t Eriksgatsmetoden«



inlagts horisontell träspont. Vid Bergshamra finns inga tvärgående stämp utan sponten har hållits i läge med horisontella hammarband (dubbla stål-balkar) som förankrats med stag som borrats genom jord och in i berg bakom sponten. Stagen har gjutits fast i berget och därefter spänts.

Fördelen med denna sponttyp i förhållande till en konventionell spont är, att man i blockig undergrund har lättare att komma ned till berg med ett fåtal relativt kraftiga balkar än med en vanlig stålspont. Dessutom blir slagningstiden och därmed bullerstörningarna väsentligt mindre.

Nackdelen är, att man dels får en spont som ej är vattentät, dels får mer eller mindre kraftiga marksättningar utanför sponten eftersom återfyllningen bakom träsponten ej går att utföra med önskvärd packningsgrad. Dessa problem kan dock bemästras, om man ersätter den horisontella plankningen med valvformad armerad sprutbetong. I viss utsträckning har detta utförande tillämpats i Bergshamra.

Vid Danderyds sjukhus har problemet varit att driva ned en mycket djup spont (delvis 15 m) genom en på djupet svårslagen blockig morän. Dessutom gällde det att åstadkomma en tät spont för att

få minsta möjliga sättningar utanför sponten. Därför valdes en konventionell stålspont för själva spontväggen. Grova stål-balkar med påsvetsade ståldubbar drevs och borrades ned till och i berg på ca 6 m:s avstånd från varandra. Därefter restes spontväggen och drevs ned så långt som möjligt i den blockiga moränen.

Uppstagningen av sponten gjordes med horisontella hammarband av armerad betong, som i korsningarna med stål-balkarna bakåtförankrats med mycket kraftiga dragstag, max spännkraft 1 100 kN (110 ton). Därefter utfördes schaktning. Översta hammarbandet utfördes strax under markytan. Sedan fortsatte arbetet med schaktning till den nivå, där nästa hammarband skulle sättas osv. Väl nere i den blockiga moränen efterslogs den tidigare satta spontväggen så att väggens botten alltid följde schaktningsdjupet. När schaktning och spontväggen nått ner till bergnivån göts en tätklack av armerad betong mellan spont och vägg.

Miljöproblem vid spontslagning

Spontslagning med tryckluftshejare tillhör de mest bullerstörande byggnadsverksamheterna. Ljudnivån kan uppgå till 100–115 dB (A) på ett avstånd av 7 m från spontplankan.

Bullret sammansätts av ljud från den vibrerande spontplankan, slagljudet från sponthammaren samt det ljud som avloppsluften från hammaren orsakar. Bullerdämpande åtgärder är komplicerade och förlänger spontslagningstiden.

Där spontslagning måste utföras i närheten av bostadshus har en anordning som visas på bild på sidan 119 använts. En plåthuv täcker hela hejaren. Huvens förlängs med blygummimattor som dämpar ljudet från plankan. Anordningen gav en bullerdämpande effekt på 5–10 dB (A), dvs en minskning med närmare hälften av den upplevda bullernivån.

Formsättning

Vid formsättningsarbeten för innerstadsdelarnas tunnelbanesystem har för betongtunnlarna mellan stationerna huvudsakligen använts formluckor av mindre format ca $\frac{1}{2}$ – $\frac{3}{4}$ m²:s storlek. Anledningen till, att inte större formenheter kommit till användning beror dels på att tunnelkroppen har varierande bredd på grund av att banorna har mittplattformar, dels på att den bakåtförankrade dragstagssponten inte hade



»uppfunnits», då dessa bandelar byggdes. Dessa båda omständigheter medverkade till att möjligheterna att använda sig av stora formenheter blev starkt begränsade.

På stationer och vid vissa betongtunnlar med konstant tvärsnitt har det varit möjligt att använda flyttbara formställningar som kommit till upprepad användning, ända upp till 48 gånger på en station. I bergtunnlarna har det vanligen varit förstärkningsvalv som gjutits på en spårbinden formställning. »Omloppstiden» var en vecka och formkostnaderna reducerades med ca 30 %.

Flera stationer har utförts med mobila formställningar. Så byggdes t ex mellanbjälklaget på station S:t Eriksplan med en formvagn med 12 m längd. Formvagnen användes 12 gånger. Station Odenplan utfördes i tio monoliter med 15 m längd. Stationsbredden var i de båda sistnämnda fallen ca 16 m. Bergstationerna utfördes med ett innertak av betong till skydd mot bergnedfall och dropp. Taken utfördes genomgående med formvagn — ett fall, station Fridhemsplan, mot betongform — i övrigt mot plattform.

De sk Stridbecksvalven utgöres av betongvalv med spännvidden ca 9 m och en tjocklek av 80 mm. Valven, som placerades nära bergtaket (0,6 m), tillverkades på en lägre nivå och lyftes med domkrafter till sitt slutliga läge. Sådana valv har vid fullskaleprov konstaterats kunna ta upp lasten av från taket fallande stenblock med en vikt av ca 10 kN (1 Mp).

Spontningsmetod vid Kellgrensgatan

Spontningsmetod vid Bergshamra

Spontslagning vid Parmmätargatan

Betongelement, tillverkning – montage

I stationer som byggts efter 1962 har plattformarna i stor utsträckning utförts som elementbyggeri. Även taken i några rulltrappschakt har utförts av betongelement.

Den del av Järvabanan, som öppnas för trafik hösten 1975, framförs i hela sin sträckning, ca 15 km, under jord. Av banan har ca 1 200 m förlagts i betongtunnlar. Formsättningen till dessa har i huvudsak utförts med formelement. Dessa har byggts lika höga som tunnelväggarna, dvs ca 5 m och i längder varierande från 3 m till hel monolitlängd. De avstyvande balkarna har utförts i lättmetall eller trä. Formelementen har sammanfogats med höghållfasta formstag på endast tre nivåer. Elementen rullas eller lyfts från den färdiggjutna monoliten för att på nytt användas vid nästa.

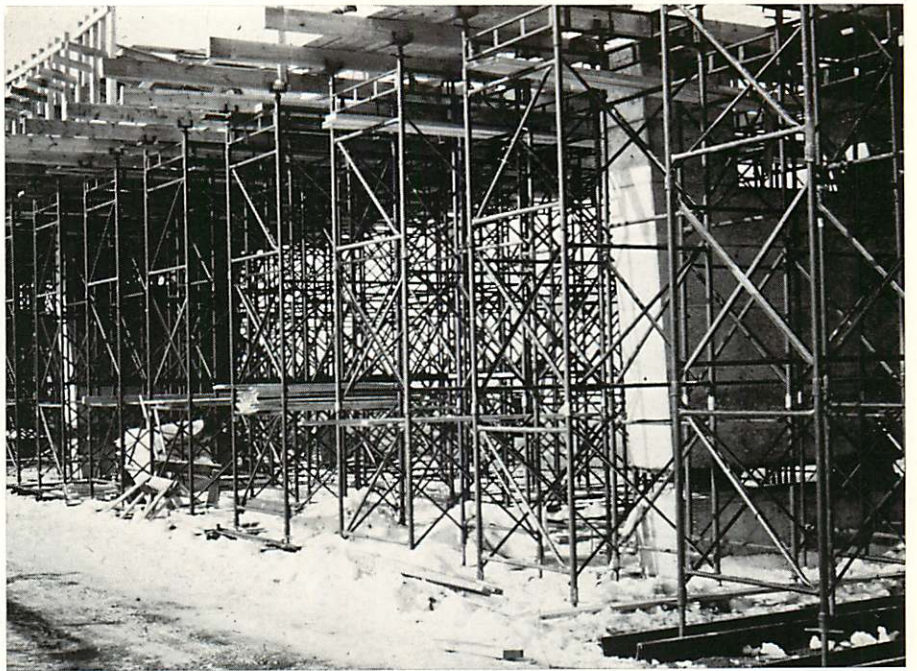
Vid utbyggnaden av banorna mot Norsborg, Täby och på Järvafältet har stämptorn av stål kommit till stor användning vid såväl viaduktbyggen, t ex östra Fittjaviadukten och bron över Stocksundet som vid andra bärande betongkonstruktioner, t ex avlastningsbågar för planerat kontorshus i Ekelunds-dalen. Vid den senare platsen har hela valvformen byggts i ett stycke som flyttats från en båge till nästa sedan bågen gjutits, vilket upprepats för åtta bågar. Vid formsättning för viadukten över Lidingövägen för Ropstensbanan, bron över Albysjön samt Kistaviadukten har stora fackverk eller stålbalkar använts, som skjuts fram från stöd till stöd med vidhängande form (s k lansering). På detta sätt har stöd för valvformen ej behövt byggas från marken eller sjöbotten.



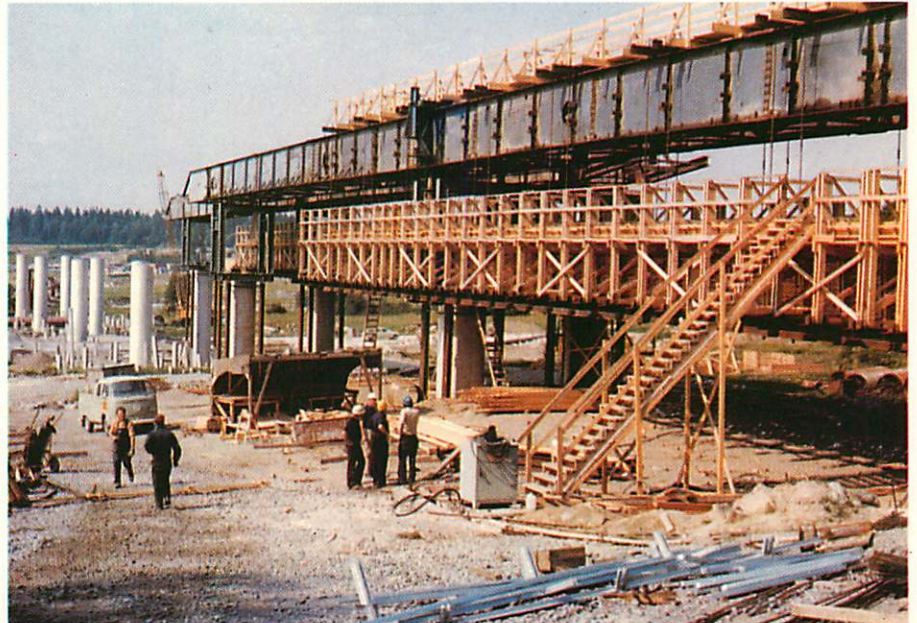
Formelement vid bergtunnel i Ekelunds-dalen. I bakgrunden skymtar på höjden punkt-husen i Västra Skogen.



På Stocksundsbron hade en vit fågel sitt rede under byggnadstiden



Formsättning till viadukt öster om station Fittja



Kistaviadukterna. Formsättning som bärs av 2 m höga stålbalkar.

Pelarstöd för Kistaviadukterna. Buntad armering i tre lager

Armering

Vid utbyggnaden av de senaste bangrenarna har slakarmeringen i huvudsak utförts i kvalitet Ks 40 och Ks 60 samt svetsade nät Ns 50. Armeringsjärnen har i stor utsträckning kommit till arbetsplatserna färdigbockade från järnbruken.

Buntning av armeringsjärnen har varit nödvändig vid kraftigt armerade betongkonstruktioner. Som exempel kan nämnas pelarstöd för Kistaviadukterna, som har buntad armering i flera lager. Spännarmering har använts i stor utsträckning vid armering av broar och viadukter, huvudsakligen enligt system BBRV och VSL. Betongkonstruktionen har på så sätt kunnat utföras betydligt smäckrare.





Bron över Albysjön. Armering av brobana
under stål balkar som bär formen

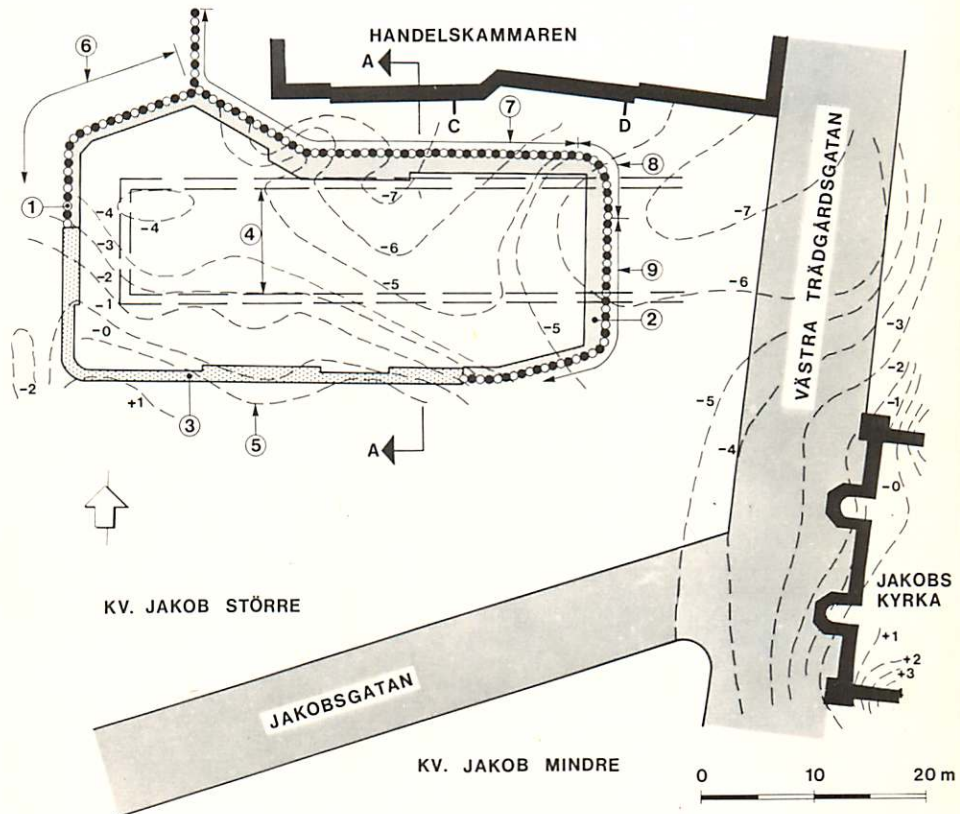
Grävpålar

Markbeskaffenheten i kvarteret Jakob Större vid station Kungsträdgården är sådan, att invallning med traditionell spont skulle bli praktiskt taget omöjlig att genomföra till rimlig kostnad. Man beslöt därför att undersöka om den sk grävpålemetoden skulle kunna tillämpas. Denna är fördelaktig, då jorden är svärgenomtränglig exempelvis vid riklig blockförekomst samt då vibrationerna vid schaktningen måste begränsas, exempelvis om närliggande byggnader är sättningskänsliga. Omfattande förberedande försök med grävpålar utfördes därför, varvid sättningar och vibrationer mättes. Man konstaterade då, att en grävpålemur ej borde ge några sättningar i Jakobs kyrka. I handelskammarens hus skulle sättningar däremot ej kunna undvikas, men de borde ej bli större än att fastigheten kunde repareras till måttliga kostnader.

Sedan försöken, som utfördes som fullskaleprov, utvärderats bestämde man sig för att tillämpa nämnda metod. Förfarandet innebär, att stålrör med i detta fall 900 mm diameter och 600 mm fritt avstånd trycks ned genom marken till berg under samtidig vridning fram och åter. Block som påträffades kan antingen mejslas sönder med kraftiga fallmejslar eller sprängas. Rören nedmejslas till bärkraftigt berg och urschaktas samt fylls med betong under samtidig uppdragning. Sedan sålunda varannan påle i muren gjutits, nedborras stålröret på nytt i mellanrummen mellan de först gjutna pålarna, varvid röret skär igenom även dessa pålar. Efter urschaktning av andra omgångens rör, nedsänks en armeringskorg, varefter betonggjutning sker som tidigare. Sålunda erhålls en vägg bestående av omväxlande armerade och oarmerade pålar. I detta speciella fall var det på en del av sträckan nödvändigt att armera även första omgången pålar. Muren försågs med hammarband av betong vid krönet och vid berganslutningen samt på erforderligt antal nivåer däremellan. Förankringen skedde med förspända i berget inborrade stag. Beräkningen av muren skedde med passningsmetod, varvid förskjutningen av jorden och murens utböjning sattes lika.

Under arbetena med grävpålemurens utförande gjordes kontinuerliga sättningsmätningar, huvudsakligen i Handelskammarens fastighet.

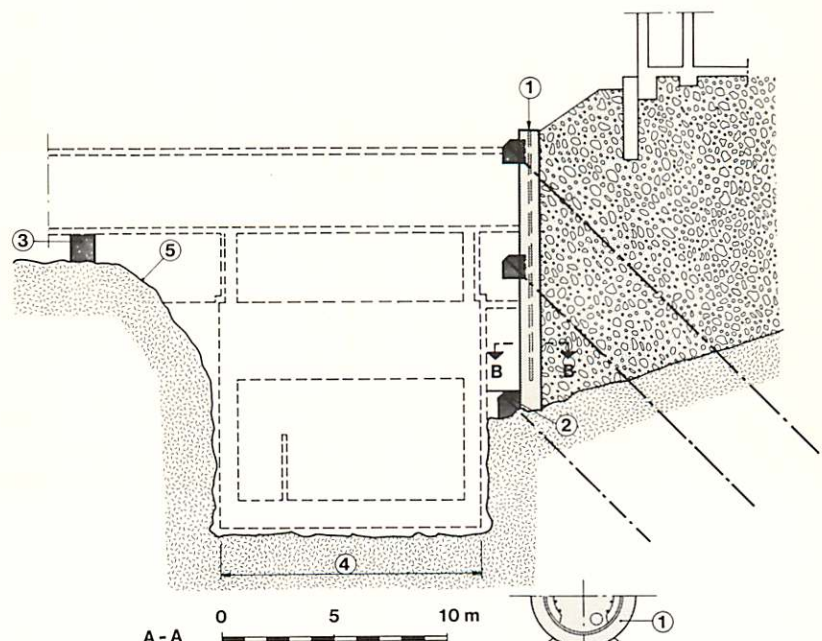
I diagram på sidan 124 visas sättningsförloppet i två mätpunkter, C och D. Sättningarna orsakades såväl av arbetena med själva grävpålemuren som



Grävpålemur intill Handelskammarens fastighet vid Västra Trädgårdsgatan

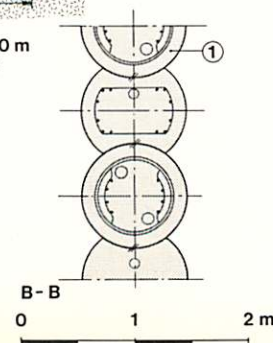
- 1 Grävpålemur
- 2 Hammarband vid berg
- 3 Plastgjuten stödmur
- 4 Rulltrappschakt

- 5 Bergnivåer
- 6 Grävpålemur Ök +1,0
- 7 Grävpålemur Ök +5,5
- 8 Grävpålemur Ök +4,5
- 9 Grävpålemur Ök +1,0

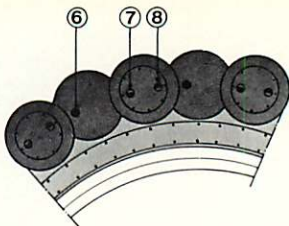
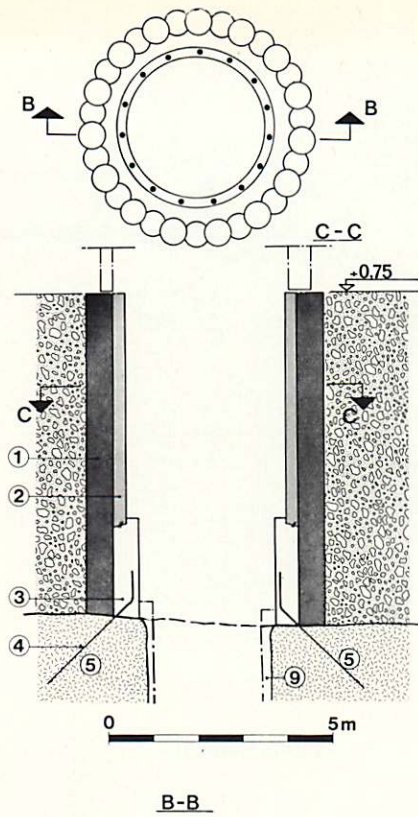
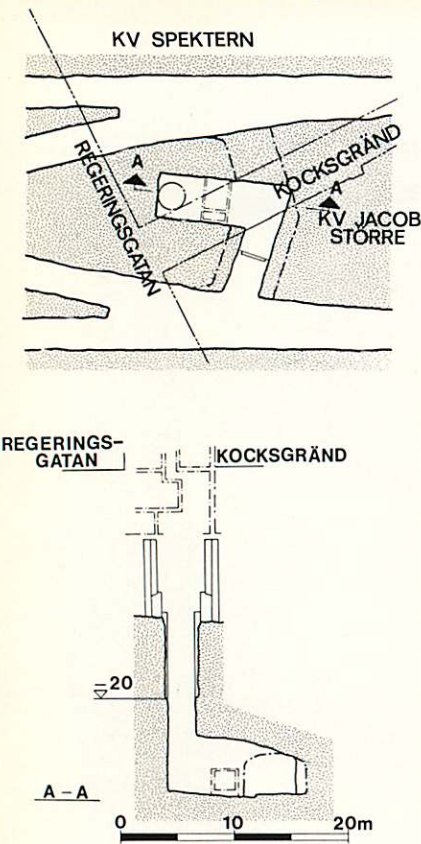


Grävpålemur, sektioner

- 1 Grävpålemur
- 2 Berghammarband
- 3 Betongmur
- 4 Betongkonstruktion
- 5 Utsprängd bergkontur

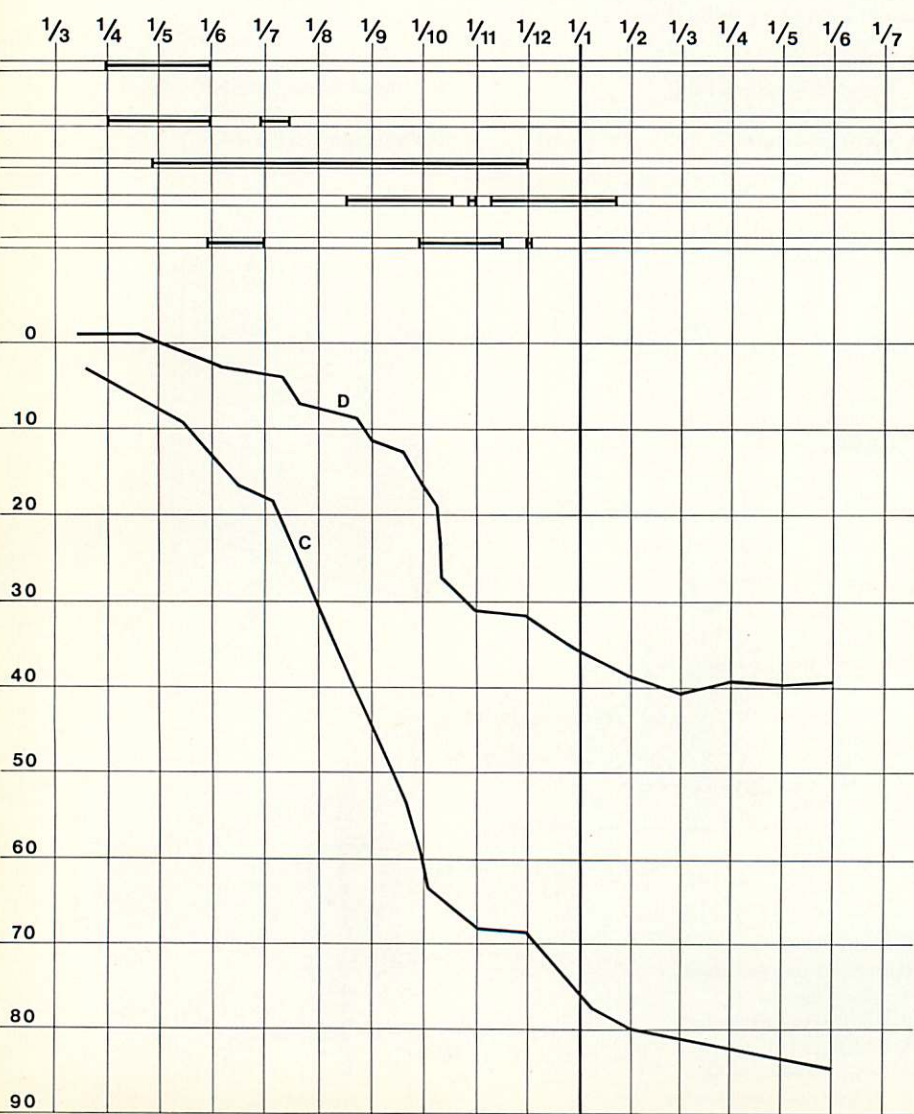


Grävpåleschakt vid kvarteret Spektern



- 1 Grävpåleskärm
- 2 Stödcylinder, övre del
- 3 Stödcylinder, undre del
- 4 Bergbult vid varje påle
- 5 Berget injekterat
- 6 Injekteringshål
- 7 Injekteringskontrollhål
- 8 Ursparingshål för ev. vertikala förspända stag
- 9 Bergförstärkning

Sättningsdiagram för grävpålemur
1973



Borttagning av grundmur utefter Handelskammaren

Sonderingsborrning för grävpålar

- Schakt o. gjutning
- Grävpålar
- Stagsättning
- Plintar för hus

av appliceringen av bakåtförankrade dragstag. Dessa går bl a in under Handelskammarens byggnad. Man fick även sättningar på grund av de grävpålar som utfördes för det hus inom vilket uppgången ligger. Maximalt har sättningen uppgått till 80 mm.

Trycket mot betongväggarna under bergytan i rulltrappschaktet har beräknats enligt jordtrycksteori. Se vidstående illustration. Detta förfarande är lämpligare än elasticitetsteori, då eventuella rörelser i berget sker under ett tillstånd som närmast liknar brott. Den elastiska rörelsen utbildas redan vid sprängningen, då intet eller litet motstånd mot rörelsen finns. Borrningar visar, att berget är sprickigt och inhomogent, vilket gör elasticitetsteorin än mindre motiverad.

Grävpålemuren upptar förutom jord- och vattentryck även viss last från ovanför liggande kontorshus. Då grävpålemuren är oisolerad och man således ej kan bortse från möjligheten av vatteninläckning framdeles, har rulltrappschaktet försetts med utvändigt isolerad betonginklädnad.

På grund av riklig förekomst av sprickor

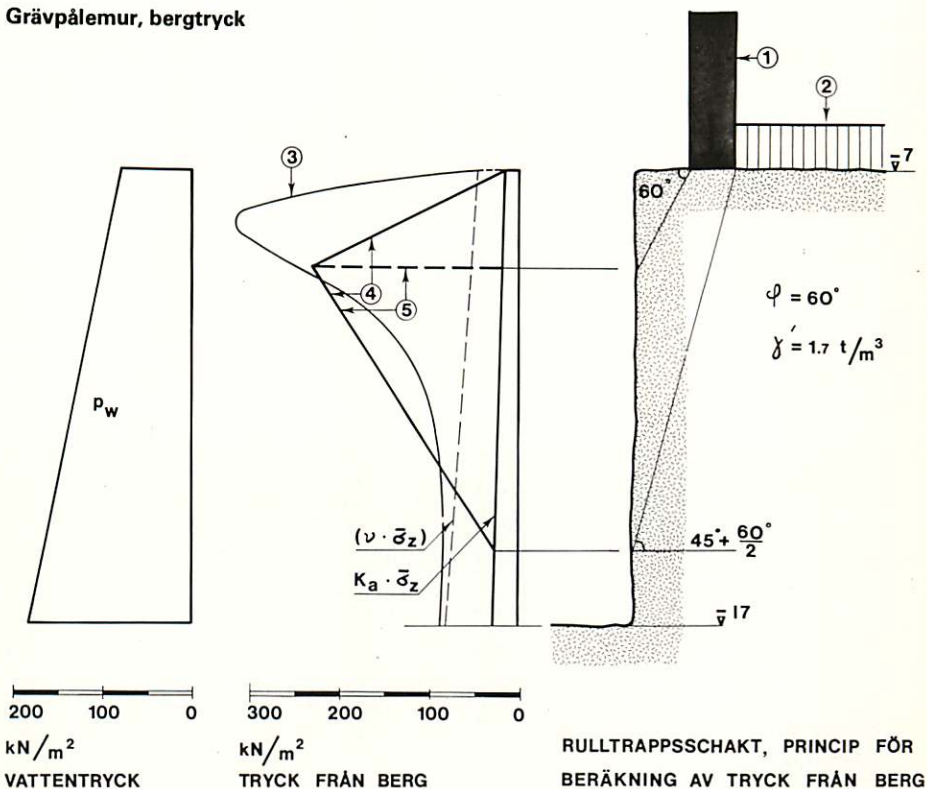
och slag i ytberget har delen i berg försetts med isolerade betongvalv beräknade för hela ovanförliggande lasten av berg, jord, vatten och husplintar.

Olycksfallsfrekvens

Anläggningsarbete som måste utföras i vattendrag eller under jord är oftast tekniskt komplicerade och kan även vara riskfyllda. Tunnelbanebygget i Stockholm som i delarna genom centrala staden har utförts både i berg, i naturliga och utfyllda jordlager, nästan ständigt under grundvattenytan, och även under vatten, som vid passeraandet av Norrström och Liljeholmsviken, utgör inget undantag härifrån. Trots en omsorgsfull planering och en intensiv skyddstillsyn såväl genom arbetsledning och skyddsombud som genom en särskild skyddstjänst har olyckor inträffat som under de trettio år arbetet pågått krävt tio personers liv. Av dessa var sju anställda vid gatukontoret och tre hos entreprenörer. Av ovannämnda omkom en man av brännskador vid isoleringsarbete i en tryckluftkammare vid Tegelbacken, två har förolyckats vid sprängningsarbeten, två har skadats till döds av fallande sten från tunneltak, tre har dödats vid lastnings- och transportolyckor, en man kom i vägen för en fallande påle och en omkom vid fall från ställning.

Verkligt nära en stor katastrof var det 1952 vid arbetena i Norrström. Som redan nämnts i kapitel 10 inträffade ett ras i berget, varvid ca 12 m av en fångdammsvägg förstördes. På några få minuter strömmade 60 000 m³ vatten in i fångdammen som vattenfylldes. Någon minut tidigare hade ett 20-tal man lämnat fångdammen för att ta rast.

Grävpålemur, bergtryck



Kv. Jakob Större

1 Grävpålemur $O = 2580 \text{ kN/m}$ (258 Mp/m)

2 Överlast av jord och »Handelskammaren»
 $O = 230 \text{ kN/m}^2$ (23 Mp/m²)

Tryck från berg:

3 Enligt Boussinesq (elasticitetsteori)

4 Tryck använt vid dimensionering

5 Enligt jordtrycksteori

Bergborrning för grävpålar intill Handelskammarens fastighet

Grävpåleaggregat i arbete



»Tag plats»



Allmänt

Spårkonstruktionen vid byggandet av Tb 1 och Tb 2 bestod av makadam, träsliprar, räler med vikt 43–50 kg/m och i huvudsak två typer av rälbefästning, nämligen fjäderspik för Tb 1 och Pandrolbefästning för Tb 2. Vidare fanns ett antal provsträckor med varierande typer av befästning. Tåghastigheten är 80 km/h.

Driftserfarenheterna under de gångna åren har gett vid handen, att det med hänsyn till den stora trafikbelastningen (upp till 22 miljoner axelton per spårsträcka/år), korta nattarbetstider och därmed förenade höga underhållskostnader var nödvändigt, att inför de omfattande utbyggnaderna av tunnelbanenätet införa en ny spårkonstruktion, som fyller högt ställda krav från teknisk och ekonomisk synpunkt icke minst med tanke på en ökad tåghastighet till 90 km/h för Tb 3. Vidare måste hänsyn tas till ökade krav på bullerbekämpning och bättre arbetsmiljö.

Vid bedömning av spårkonstruktion för Tb 3 har hänsyn tagits till egna och utländska erfarenheter av olika slipers- och befästningstyper jämte prisutvecklingen inom det aktuella området. Förekomsten av bra berg (granit) för makadamtillverkning i Stockholmsområdet samt betongslipersns snabba utveckling såväl ifråga om kvalitet som konkurrenskraftiga priser contra träslipern medförde, att en spårtyp med makadamballast och betongsliper valdes. En företagen jämförelse mellan ballast- och helbetongspår visade (nuvärde av anläggning och underhåll), att helbetongspåret skulle medföra en merkostnad av ca 75 % i jämförelse med kost-

naden för ballastspår förutom andra nackdelar såsom risk för ökad ljudnivå, förlängd byggnadstid, komplicerad befästning och svårigheter att spåra läckströmmar. I detta sammanhang måste noteras, att förhållandena i Stockholm är gynnsammare än i flertalet länder i Mellaneuropa vad gäller de rent ekonomiska synpunkterna rörande frågan om ballastspår contra helbetongspår. Sålunda består de nya tunnelbanesträckningarna i Stockholm i huvudsak av bergtunnlar med gott berg, under det att tunnelbanorna i Mellaneuropa saknar bra berg och därför i huvudsak består av betongtunnlar. Vidare saknas där makadam av god kvalitet samtidigt som priserna är mycket höga. Valet av ballastspår är således med hänsyn till de förhållanden som gäller för nu beslutade tunnelbanedelar både tekniskt och ekonomiskt riktigt. Innan spårkonstruktionen för ballastspåret bestämdes företogs omfattande tekniska och ekonomiska undersökningar. Den valda spårkonstruktionen beskrivs här nedan.

Spåröverbyggnad

Ballast

Ballasten består av bergmaterial som fyller fordringarna för styrkegrad 1 enligt Trafik- & Väginstitutets föreskrifter. Kornstorleken ligger inom följande dimensioner: Övre sikt 45 mm och undre sikt 24 mm (Kvadratiska hål i mm). Makadamen skall vara kantig och ha kubisk form. Den vattenspolas i samband med tillverkningen och är godkänd för leverans, då finmaterialhalten vid provtagning ej överstiger 0,5 % och

fraktion som stannar på sikt 9 ej överstiger 3,5 %. 90 % av materialet skall stanna på sikt 24 och 36. Max 6 % tillåts på sikt 52. Det är höga krav som ställs på makadamen, men det är nödvändigt för att i möjligaste mån förebygga dammbildning vid spårarbeten i tunnelarna. Genom de krav som ställts förekommer ringa dammning såväl vid utläggning av makadam som vid spårstoppling.

Med tanke på sidkrafterna i det helsvetsade spåret är det av största vikt, att makadamen påföres till full ballastsektion.

Sliprar

Linspänd betongsliper av monolittyp enligt nedanstående bild har valts, längd 2,4 m. Strömskeneslipern, 2,7 m lång, inläggs normalt som var fjärde sliper. Slipern är förspänd med 8 st 6,4 mm tjocka sjuslagna stållinor med en total uppspänningskraft före förluster av 240 kN (24 Mp). Betongkvaliteten är Btg I, K 600. Sliperns höjd är 150 mm och bredden är 220 mm i under- och 170 mm i överyta. Undersidan är ej gjuten mot form, varigenom friktionen mot makadamen ökar.

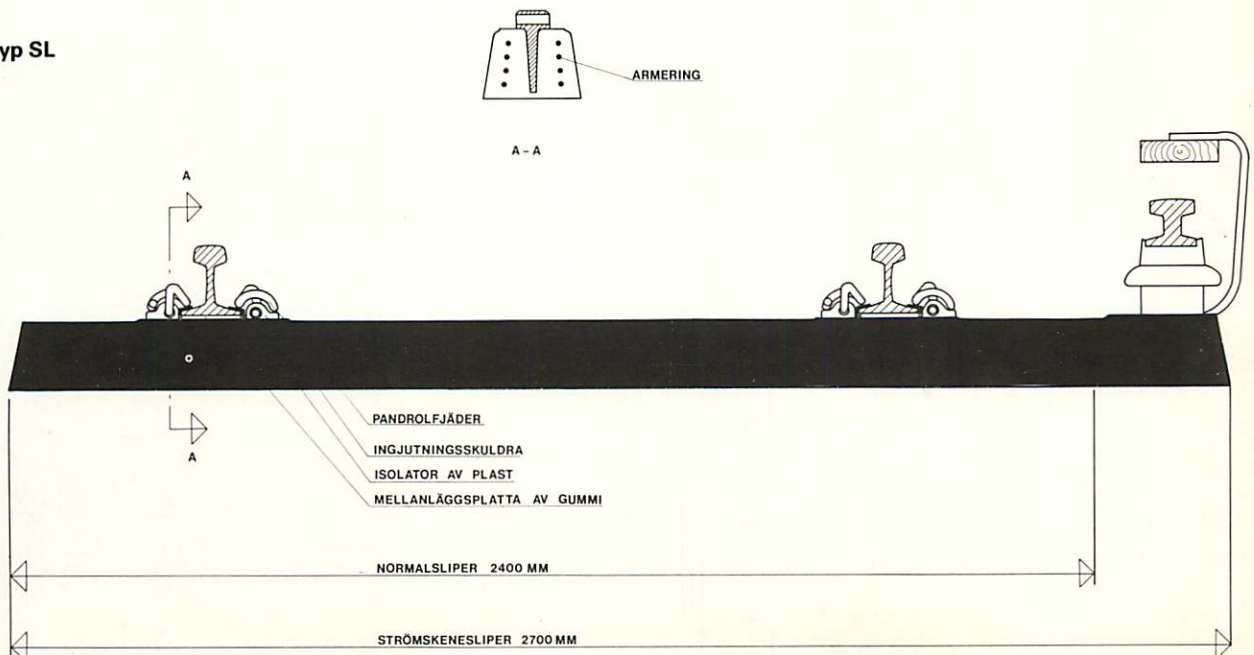
Spårvidden är 1431 mm, då rälererna är placerade centralt mellan ingjutningsdetaljerna. Någon spårutvidning i kurvor förekommer ej.

Rälen står vertikalt i förhållande till slipern. Slipersavståndet är 741 mm.

Räler

Rälen är av SJ 1940 års modell, typ SJ 50, med en vikt av 50 kg/m och tillverkas av elektrostål enligt bestämmelserna i UIC norm 860, sjätte utgåvan.

Betongsliper typ SL



Erfarenheter från uppmätning av rälsitage visar, att rälsens slitstyrka ökar med ökad manganhalt. En räl med hög hållfasthet har därför valts, dvs med en brottgräns av minst 900 MPa (90 kp/mm²).

Rälen kan med hänsyn dels till transporttunnlarnas krökningsradier, dels till de spårgående kranarnas lyftförmåga ej ha större längd än 20 m. Rälen skulle med hänsyn till det dimensionerande axeltrycket 120 kN (12 Mp) kunna ha lägre vikt. För närvarande tillverkas endast denna räl i stor skala i Sverige, varför det ej blir billigare att övergå till en räl med lägre vikt. Inverkan av större rälvikt har, i samband med att ny befästningstyp införts, kompenseras genom att sliperavståndet ökas från 690 till 741 mm. Det är inte uteslutet, att ytterligare ökning av sliperavståndet är möjlig. Ett annat skäl för högre rälvikt och därmed större tvärsnitt är, att rälerna som används som återgångsledning för driftströmmen erbjuder mindre elförluster ju större arean på rälen är. Bockning av rälerna sker före inläggning, då kurvradien understiger 300 m.

Befästning

Den valda befästningen består av skuldra av aducerat gjutjärn ingjuten i betongslipern, klämfjäder typ PR 401/1 A, gummimellanlägg samt isolator av nylon.

Betongsliper och befästning har testats genom utmattningsprov i anläggning av »Vibrogir»-typ med en effektiv körningstid av $10,4 \cdot 10^6$ cykler motsvarande ca 4 års trafik på tunnelbanans mest utsatta delar. Den dynamiska kraft som påfördes varierade mellan -88 kN (-8,8 Mp) till +8 kN (+0,8 Mp). Inga skador noterades på befästningsdetaljerna.

Prov har vidare utförts för bestämning av befästningens rälvandringsmotstånd och vridningsstyvhet samt bestämning av klämfjäders fjädevägskurva. Resultaten var tillfredsställande. Sålunda uppgick medelvärdet av rälvandringsmotståndets max-värden vid vibrering av rälen under den statiska belastningens genomförande till över 9 kN (900 kp). Fjäderkraften vid normal uppspanning av fjädern varierade mellan 7-8 kN (700-800 kp) per fjäder. Gummimellanlägget mellan sliper och räl har ökat i tjocklek från 4,5 till 5,5 mm. Mellanlägget har 22 st längsgående slitsar, varav endast 50 % passerar plattans mittdel. Belastningen påföres på detta sätt mjukare. Gummimellanlägget är vidare försett med tunna snibbar för att nylonisolatorn ej skall ligga an mot mellanlägget och förhind-

ra full fjäderkraft mot rälen.

Isolatorn är av nylon och försedd med inblandning av glasfibrer, vilket innebär, att den har fått ca 4 ggr ökad tryckhållfasthet. Det är av största vikt, att isolatorn får i stort sett samma livslängd som rälen, så att både räl och isolator kan bytas samtidigt. Inblandningsprocenten av glasfiber i nylonet får ej bli för stor, då isolatorn i så fall blir spröd och lätt går sönder vid inläggning i kall väderlek.

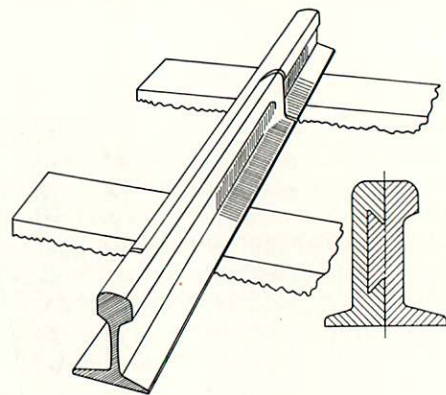
Pandrolfjädern är av rundstål med en diameter av 20,6 mm. Fjädern är vid anläggningspunkten mot isolatorn avplanad på en yta av ca 100 mm². Denna plana yta är förutsättningen för att en nylonisolator av denna typ skall kunna användas. Isolatorns tjocklek är 4 mm i fjäderläget. Den tidigare omnämnda Vibrogirtesten visade en nedslitning av isolatorn med 0,2 mm efter $10,4 \cdot 10^6$ cykler. Resultatet är en följd av både slitage, plastisk deformation och monterings inverkan och är av så ringa omfattning, att den saknar praktisk betydelse.

Skarvkonstruktion

På tunnelbananätet är spåren normalt helsvetsade mellan isolerskarvarna, även i kurvor ner till 130 m radie. Detta är möjligt endast om en fullgod rälbefästning, som ger spåret stor sidostyvhets, används och ballastsektionen är tillräcklig.

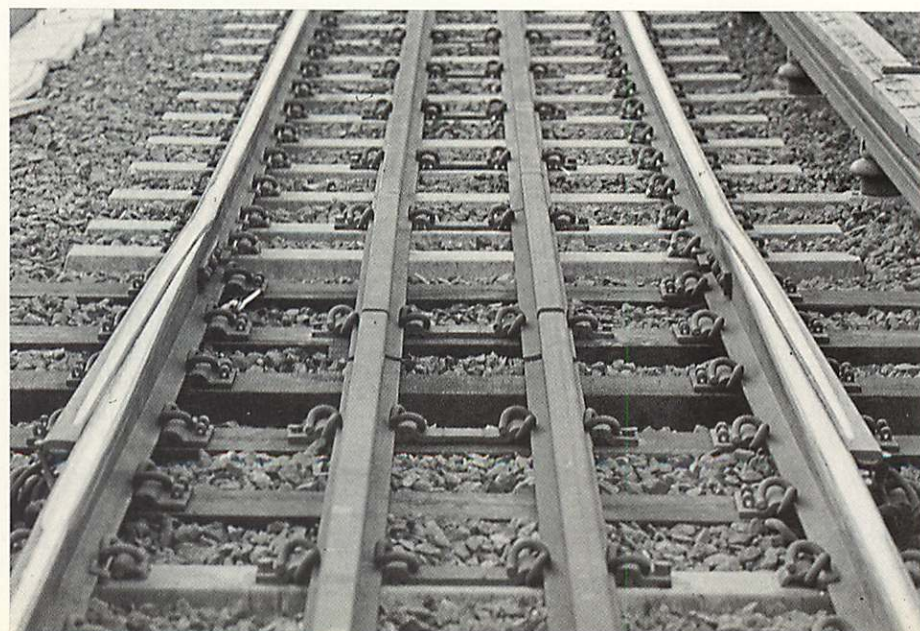
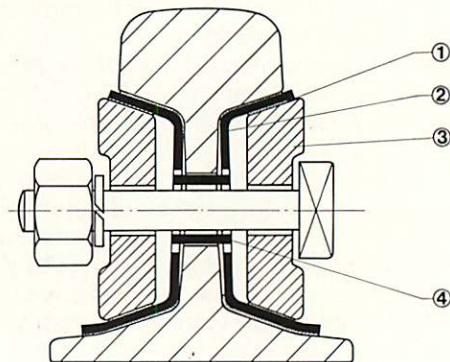
Vid broar och viadukter erfordras över rörliga lagret en större dilatationsanordning i spåret

Rälerna sammanfogas medelst formsvetsmetoden. På enstaka, för stora temperaturskillnader särskilt utsatta ställen, inläggs dilatationsanordningar i spåren.



För att öka hållfastheten hos isolerskarvarna förstärks skruvförbanden genom att epoxilim anbringas mellan isoleringens sidostycke och räl respektive skarvjärn. För att minska slag samt stukning av rälandarna i isolerskarvarna kapas rälsens huvud och liv i 40° vinkel, medan rälfoten kapas vinkelrätt för att kunna ta upp höga tryckkrafter.

- 1 Epoxilim
- 2 Fiberisolering
- 3 Skarvjärn
- 4 Fiberhylsa



Spårväxlar

Huvuddelen av spårväxlarna är utförda i samma rälsprofil som spårsystemet i övrigt, dvs räls SJ 50. Så långt möjligt har standardisering skett, så att endast ett fåtal växeltyper används. Specialväxlar såsom dubbla korsningsväxlar, tredeliga växlar och växlar med icke standardiserad korsningsvinkel undviks där så kan ske och ersätts med enkla växlar i standardutförande. Korsningarna utförs huvudsakligen i blockkonstruktion, dvs hjärtstycket består av ett massivt block mot vilket räler stuksvetsas. I sådana spårväxlar, där ena spåret befares endast i undantagsfall, utförs korsningen obruten, dvs huvudspåret passerar korsningen med obruten farbana, medan fordon på avvikande spår »lyftes» så att det passerar med hjulflänsen vilande på huvudspårets farbana vid passage av denna. Största tillåtna hastighet i spårväxel med obruten korsning är 15 km/tim.

Radien i avvikande spåret är normalt 300–600 m, men såväl mindre som större radier kan förekomma, där så är nödvändigt.

I spårväxlarna används träsliprar och Pandrolbefästning.

På grund av den hårda trafikbelastningen på tunnelbanenätet utsätts spårväxlarna för mycket hårt slitage, varför underhållsarbetet är omfattande. Slipning av korsningar pågår kontinuerligt liksom påläggssvetsning.

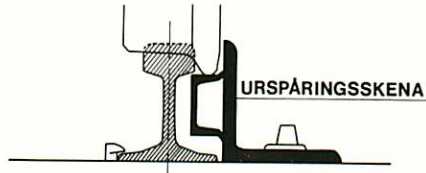
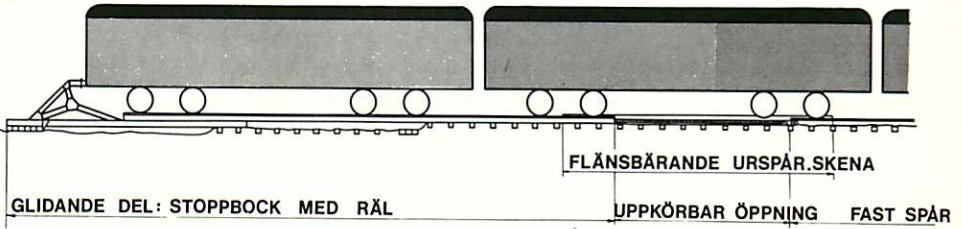
På vibrationsisolerade spåravsnitt utförs spårväxlarna i huvudspåren med omläggbar korsningsspets eller obruten korsning för att minska slagverkan vid passage av korsningen.

Samtliga spårväxlar i huvudspår, som är förlagda utanför tunnel, förses med eluppvärmning.

Stoppbockar

Vid SL används stoppbockar av stålkonstruktion med stötfångare av trä i höjd med vagnarnas klätterskydd. Bockarna utförs glidbara och är hopkopplade med en så lång spårdel, att tre vagnboggier belastar konstruktionen. Då bocken påkörs glider denna med anslutande spår och upptar på så sätt genom friktionsarbete det påkörande tågets rörelseenergi. För att inte efterföljande boggie skall gå ner i den uppkomna öppningen mellan glidande del och spåret kompletteras anläggningen med flänsbärande urspåringskena. En stoppbock är konstruerad för att kunna uppta stöten från ett fullastat 8-vagnarståg med en hastighet av 15 km/h. Glidsträckan blir då 8–9 m. På sådana platser där utrymmet ej medger erforderlig glidsträcka för en konventionell stoppbock ersätts denna

Stoppbock och urspåringskena



med ett betongfundament på vilket en energiupptagande deformbar stålkonstruktion anbringas. De största nackdelarna med denna konstruktion är, att uppbromsningssträckan blir mycket kort och att anordningen är förbrukad efter endast en påkörning.

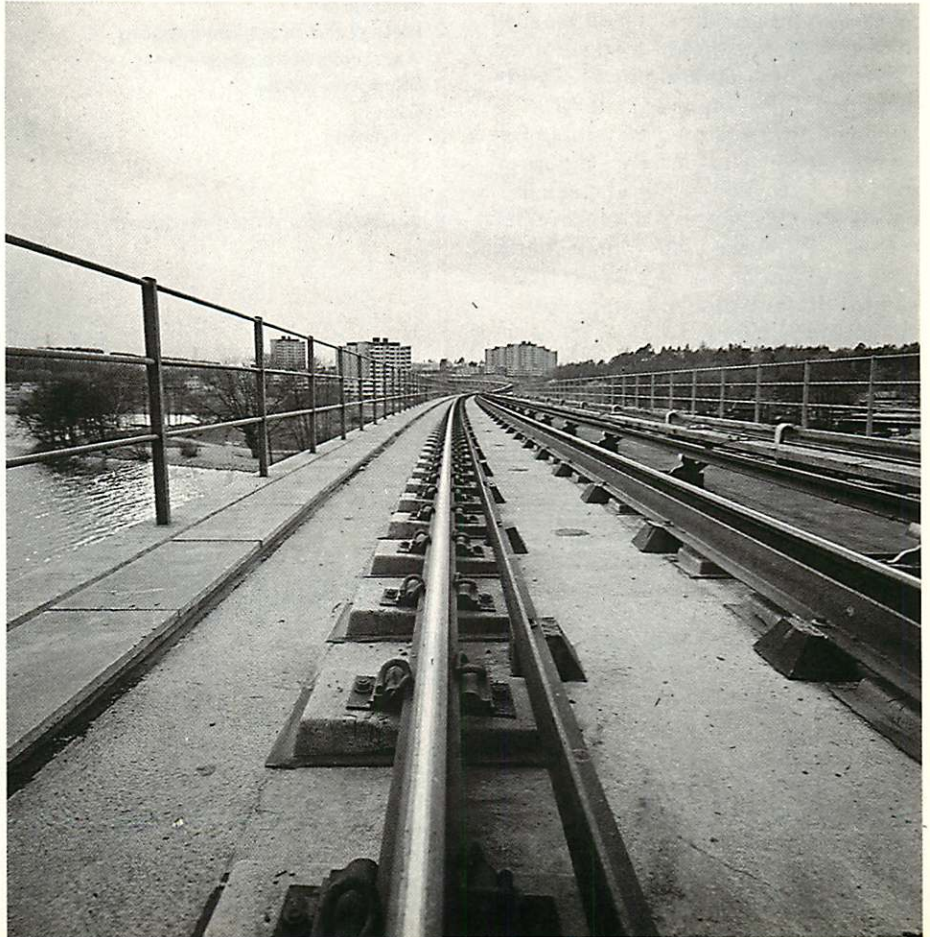
Helbetongspår på broar och viadukter

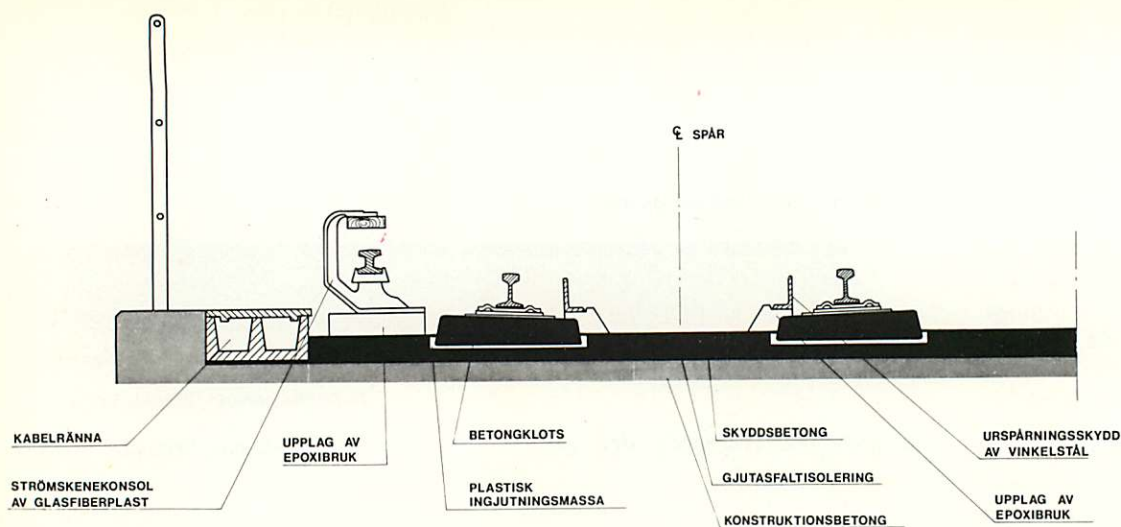
En tunnelbanebro eller viadukt måste givetvis dimensioneras så att den förutom tåglasterna även skall kunna bära spårkonstruktionen. Om dennas vikt

reduceras kan bron eller viadukten utföras smäckrare och belastningen på stöd och landfästen minskas. Detta kan ha stor ekonomisk betydelse om grundläggningsförhållandena är dåliga. Även där utrymmet i vertikalled är begränsat kan en smäcker konstruktion framtvingas.

Då enbart makadamen i ett konventionellt ballastspår på en tunnelbanebro eller viadukt åstadkommer ungefär lika stor belastning som trafikången kan

Helbetongspår på bron över Albysjön





Helbetongspår på bro, tvärsektion

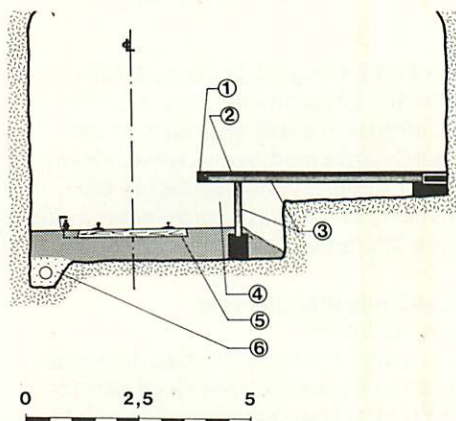
brokonstruktören i vissa fall tvingas ställa krav på att ballastfria spår anordnas. Härvid kommer totala byggkostnaden med i bilden eftersom anläggningskostnaden för ett ballastfritt spår även i dylika fall är högre än för ett konventionellt ballastspår.

Då bron över Albysjön och viadukten över Nynäsvägen, söder station Skogskyrkogården, skulle konstrueras, visade det sig ekonomiskt och tekniskt fördelaktigt att anordna lätta, ballastfria spår. En konstruktion som fyller SL:s krav på hållfasthet, elasticitet, elektrisk isolation och enkelhet i utförandet togs fram. Principen är, att ursparingar, »lådor», under respektive rälläge anordnas i skyddsbetongen, varvid noggrannheten måste vara relativt stor. Vid rälererna anbringas, medelst ett elastiskt rälfäste, betongelement med samma indelning som ursparingarna i skyddsbetongen. Spåret fixeras i sitt rätta höjd- och sidoläge med justerbara fixturer, varefter detsamma »fastgutes» med en specialkomponerad elastisk massa som får hårdna. Rälbefästningen medger en mindre justering av spårläget, om en sådan skulle visa sig nödvändig. Konstruktionen framgår av ovanstående bilder.

Övriga komponenter såsom skyddsräler och strömskeneupplag anbringas därefter med hjälp av andra fixturer. Dessa helbetongspår har anlagts sedan mycket noggranna och omfattande utmattningsprov utförts i Statens Järnvägars laboratorium, varvid det främst var den elastiska ingjutningsmassan som utsattes för de hårdaste testerna.

Plattformer och vändbryggor

På station i tunnel utförs plattformarna av prefabricerade betongelement, såväl de vertikala som de horisontella delarna. Plattformskanten närmast spåren platsgjuts eftersom avståndet till spårmitte har mycket små toleranser. Beläggningen på de underjordiska stationerna utgörs i allmänhet av platsgjuten mosaik. Dessa plattformar har en lutning mot plattformsmitt av 1 : 100.



Plattform, underjordsstation

- 1 Platsgjutes
- 2 Platsgjuten mosaikbeläggning
- 3 Prefabricerat betongelement
- 4 Skyddsutrymme
- 5 Spår
- 6 Dränering

Fyllnadsplattform med skyddsutrymme



På öppen bansträcka byggs plattformarna av prefabricerade kantelement av betong. Elementen sätts med kran på väl komprimerad bädd och mellanrummet fylls med icke tjälskjutande material. Beläggningen utgöres av asfalt eller gångbanepplattor av betong och lutningen är 1 : 50 ut mot spåren. Alla plattformar utförs med skyddsutrymme under plattformskanterna. Här framdrages även signalkablarna på särskilda konsoler, vilka anbringas på den vertikala plattformssidan.

På de platser, där trafiktagen byter färdriktning, anordnas vanligen en så kallad vändbrygga utmed spåret på vilken förarna förflyttar sig utmed tågets hela längd. På grund av faran för bränder i tunneln utförs dessa bryggor numera huvudsakligen i stål och betong.

Vibrationsisolerade spår

Då ett rälgående fordon framförs i nämnvärd hastighet på ett spår uppstår vibrationer som i tunnel via räler, sliprar och ballast överförs till berget, där de sedan fortplantas och avtar med



ten. För att möjliggöra den nödvändiga inspektionen och organisationen av underhållet är tunnelbanesystemet uppdelat i bevakningsområden. Bevakning och inspektion sker dels från tåg, dels till fots, så att varje linjedel är besiktigad minst en gång varannan vecka. Linjenätets trafikintensitet framgår av nedanstående bild. De mest belastade innerstadsdelarna har en trafikintensitet (1973) av 22 miljoner axelton per spårsträcka och år. Rälsplitaget på dessa delar är med sina snäva kurvradier och korta stationshåll betydande, vilket nödvändiggör noggrann bevakning för att i tid upptäcka brottanvisningar. Alla i trafikspår liggande räler kontrolleras med ultraljudapparater.

Ett annat stort problem på de mest belastade delarna är den omfattande vågbildning och korrugering av rälen som förekommer. Vidtas inga åtgärder ökas korrugeringen snabbt, vilket i sin tur ger upphov till orolig tåggång och ökad ljudnivå samt skador på räl och hjulringar. Genom inhyrning av ett speciellt sliptåg, försett med roterande slipskivor, tas korrugeringen bort. Tack vare möjligheten att snedställa de roterande slipskivorna återställs rälen i sin ur-

Vämbrygga

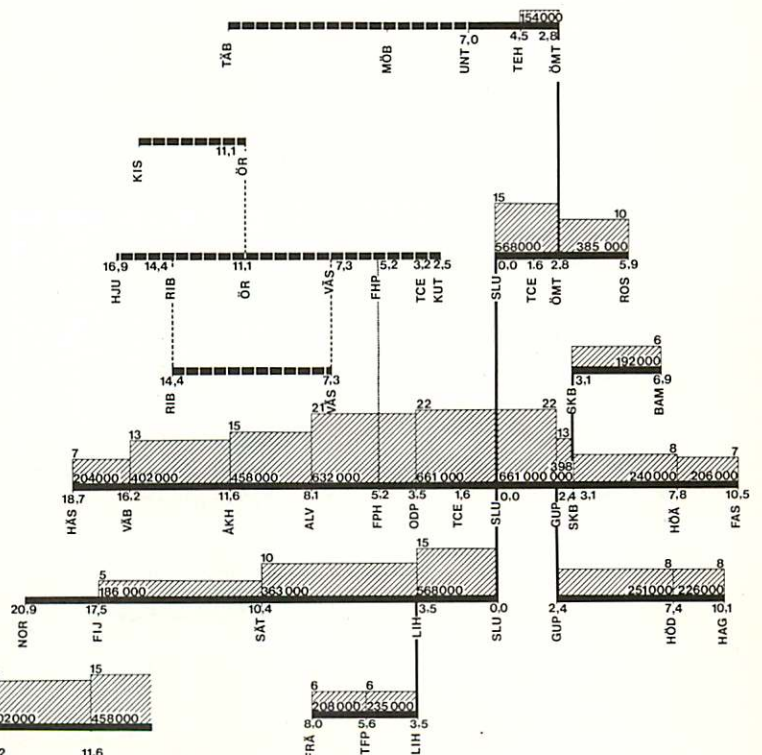
ökat avstånd. Huru vibrationsproblemen analyserades och löstes, då det gällde tunnelbanans passage under en vibrationskänslig fastighet i Solna framgår av en redovisning under rubriken »Vibrationsisolering».

Spårunderhåll

Nuvarande tunnelbanesystem har i sin äldsta del (Tb 1) varit i trafik sedan 1950. Under dessa år har driftserfarenheterna givit en god kartläggning av spårens slitage och även bekräftat, att man måste använda spårmaterial av god kvalitet och att standarden måste hållas hög. En mindre defekt, som på ett tidigt stadium är relativt lätt och billig att avhjälpa, förvärras snabbt under trafikbelastningen och kan senare kräva omfattande underhålls- och reparationsarbe-

TECKENFÖRKLARING

MILLIONER AXELTON/SPÅRSTRÄCKA OCH ÅR	
ANTAL VAGNAR/SPÅRSTRÄCKA OCH ÅR	
BEFINTLIG BANA	
SEKTIONSANGIVELSE I KM	
STATION	
PLANERAD BANA	
FÖRBINDELSESPÅR MELLAN TB I & TB III	



sprungliga profil. Detalj av slipaggregaten framgår av illustration.

Spårets läge i sid- och höjdded undersöks periodiskt med mätvagn, vilken registrerar alla avvikelser beträffande kurvradie, rälförhöjning och spårvidd. Mätvagnens uppgifter erhålls på ett diagram, vilket ligger till grund för revisionsarbeten och årlig jämförelse. Vidare finns en kurvkorrektor för snabb uppmätning av baxfel i kurvor.

Renhållning

Bananläggningen, speciellt i tunnlar och vid stationer, är utsatt för stark nedsmutsning. Vanligast förekommande är textildamm, stenpartiklar och järnstoft från räler och hjul. På stationerna förekommer dessutom rikligt med pappersavfall, tändstickor, cigarettfimpar och även grövre gods såsom ölburkar, flaskor o dyl. Avfallet innebär stora brandrisker om ej städningen sker kontinuerligt.

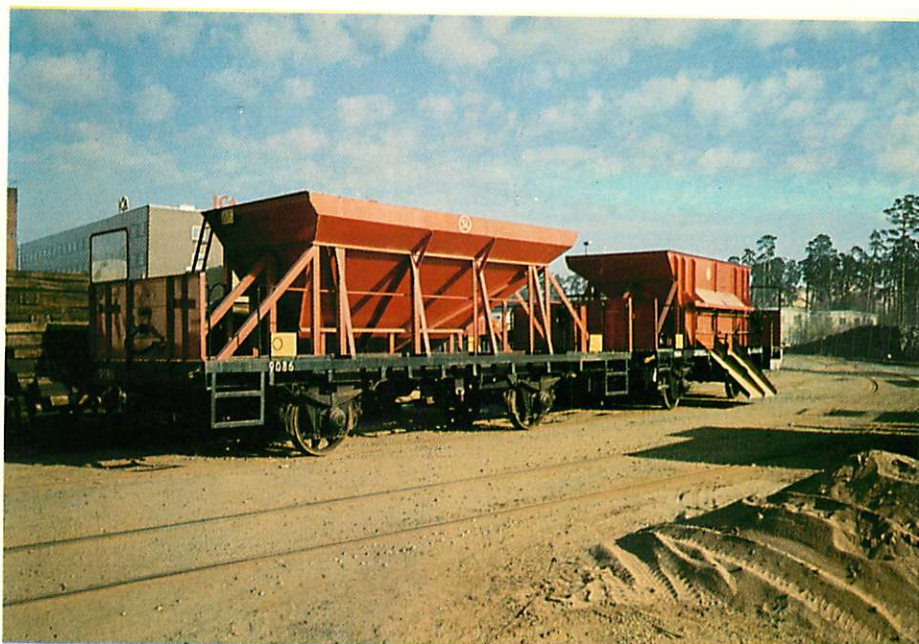
Renhållningen av spårplanet sker med hjälp av sugtåg bestående av lok, sugvagn och filtervagn jämte manuell insats för att klara det grövre skräpet som måste handplockas, läggas i säckar och köras bort med speciella transporter. Arbetet utföres huvudsakligen nattetid. Sugtågets kapacitet har på grund av de senare årens ökade nedskräpning blivit alltmer ansträngd. År 1975 ökade banlängden med ca 19 km. Det finns inga möjligheter att klara städningen med befintlig utrustning. Undersökningar pågår därför rörande anskaffning av en ny sugvagn med fläktarna placerade efter skräpbehållaren, vilket eliminerar dels risken för sönderslagning av fläktarna, dels risken för eldsvådor i fläktuset.

Dammavsättningar på tunnelväggar och andra anläggningar skapar lätt dålig luft. För att bemästra detta problem spolas hela tunnelsystemet ett par gånger per år. För att underlätta detta arbete finns permanenta spolvattenledningar installerade i samtliga tunnlar. Ledningen består av 76 mm varmförzinkat stål rör och är numera invändigt plastbelagd för att minska korrosionen. Ledningen som kan anslutas till stadens tryckvattensystem är försedd med slanguttag på var 50 meter.

Lok, vagnar och arbetsmaskiner

I samband med lossning av makadam används en enkel makadamplog, som byggts upp på en gammal spårvagnsboggie för fördelning av den lossade makadamen.





4



5

1
Detalj av slipaggregat på sliptåg, gnistskyddet demonterat

2
Det finns fyra lok, fyra motortrallor och en mindre lokomotor. Lokens vikt ligger mellan 20 och 40 ton och huvuddelen är diesel-elektriska med möjlighet att koppla från dieselgeneratorerna och köra med matning från strömskenan, en icke oväsentlig fördel i tunnelarna.

3
Motortrallorna är betydligt lättare och försedda med lastflak och hydrauliska kranar. De används i huvudsak för transporter av sliprar, verktyg och lättare materiel, sophämtning m m.

4
Vagnparkens tyngre del består av 6 st makadamvagnar för sido- och botten tömning med en volym av 15 m³, 6 st bankettvagnar à 10 m³ för makadamisering längre ut åt sidorna.

5
Därtill finns 2 st 20 m långa rälvagnar med en lastkapacitet av vardera 28 ton. Dessutom förekommer ett antal äldre vagnar såsom tvåaxliga godsvagnar och rälvagnar med lastförmåga upp till 10 ton, vagnar för kabelutläggning m m.

6
För utläggning av räler och lyftarbete finns 4 st diesel-elektriska spårgående kranar med en maximal lyftkapacitet av 8 ton och med möjlighet att framför sig bära en 20 m räl. Dessutom finns 3 st mobilkranar.



6

För spårsänkning disponeras en spårgående schaktmaskin, Michigan 35, som lastar på en likaså specialbyggd elevator, vilken transporterar schaktmassorna till makadamvagnar.



Spårjustering sker med två maskiner, en äldre Plasser, VKR-05, som stoppar och nivellerar samt en Matisa BNRI-85 (1973), vilken dessutom baxar spåret. För enbart baxning finns dessutom två Nordberg baxmaskiner.



Snöröjning

Snöröjning utgör en speciell form av arbeten i banan. Den bedrivs framförallt med hjälp av snöblåsningståg. Växelpartierna hålls snöfria med hjälp av elektrisk uppvärmning. Strömskenan befrias från isbark genom uppvärmning. Uppvärmningen sker genom kabelslingor anslutna till strömskenans 700 V matning och kan äga rum oberoende av om trafik pågår eller ej. Strömskenuppvärmningen ger under gynnsamma förhållanden strömskenan en temperatur som är ca 14° högre än den omgivande luftens. Maskinella resurser för snöröjning är sju spårgående maskiner för koppling

till lok. Samtliga är uppbyggda på gamla spårvagnsboggier. Av dessa är fyra snöplogar samtliga försedda med spårrensare. De övriga är dels en spårrensare, som bl a bearbetar utrymmet mellan strömskena och farskena, dels en plog som kan avlägsna drivor bakom strömskenan. Snöröjning av hallgårdar sker med större dieseldriven snöslunga. Därutöver disponerar trafikavdelningen tre snöblåsningsvagnar som har till uppgift att blåsa ren strömskenan från yrsnö och drivor. Dessa vagnar kopplas vid behov in i tunnelbanetåg.

Tågen strömförsörjs med likström 750 V, som tillföres strömskenan från likriktarstationer via fränkskiljare i kopplingsrum vid banan. Likriktarstationerna byggs och handhas av Stockholms Energiverk, som är ensam leverantör av drivström till tunnelbanorna. Kostnaderna bestrides av SL. SL bygger och sköter strömskaneanläggningen.

Primärsystem

Varje likriktarstation matas primärt med 30 kV 3-fas växelström. Matningen sker med två parallelllöpande kabelförband som i huvudsak är förlagda i bantunnlarna och fästade på konsoler vid tunnelväggen. Vid normal drift är till vardera förbandet varannan likriktarstation ansluten, varigenom bästa beredskap erhålles för reservmatning vid kabelfel. Varje 3-faskabel matar normalt 3-4 stationer men kan vid behov belastas med dubbla antalet stationer. 3-faskablarna utgöres av 3 st enledarkablar med 400 mm² aluminiumledare, PVC-isolering, skärm av koppartrådar och kopparband samt PVC-mantel.

Likriktarstationer och matarkablar

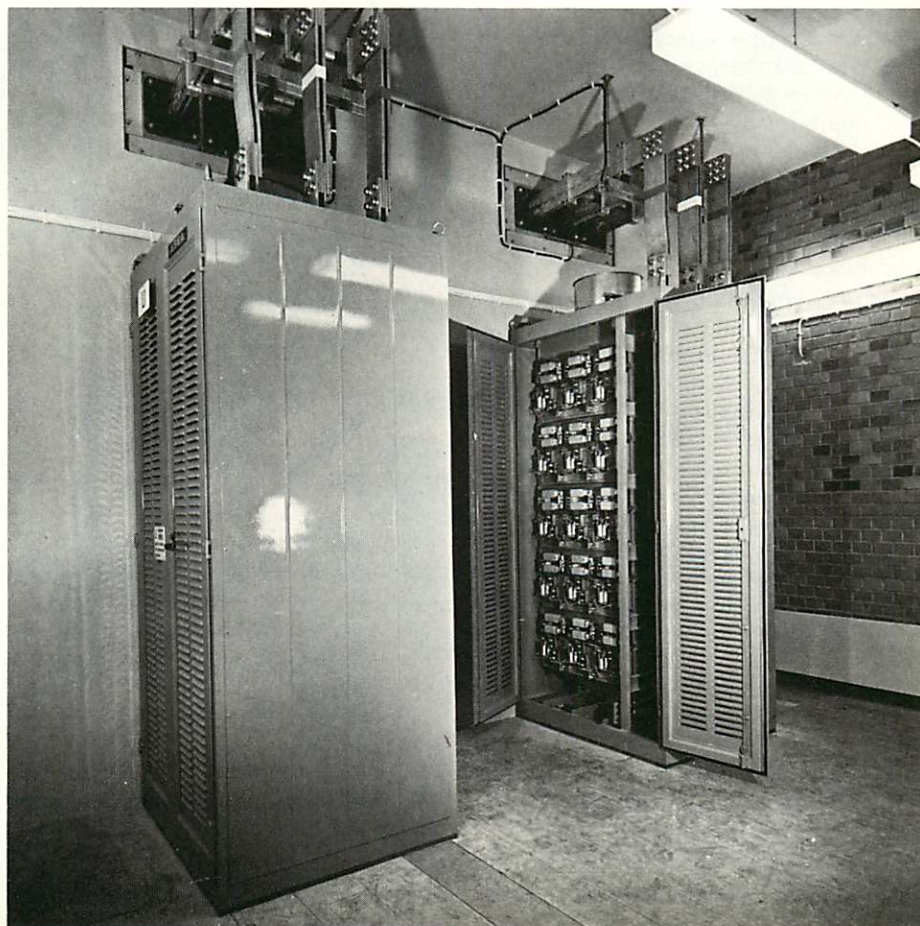
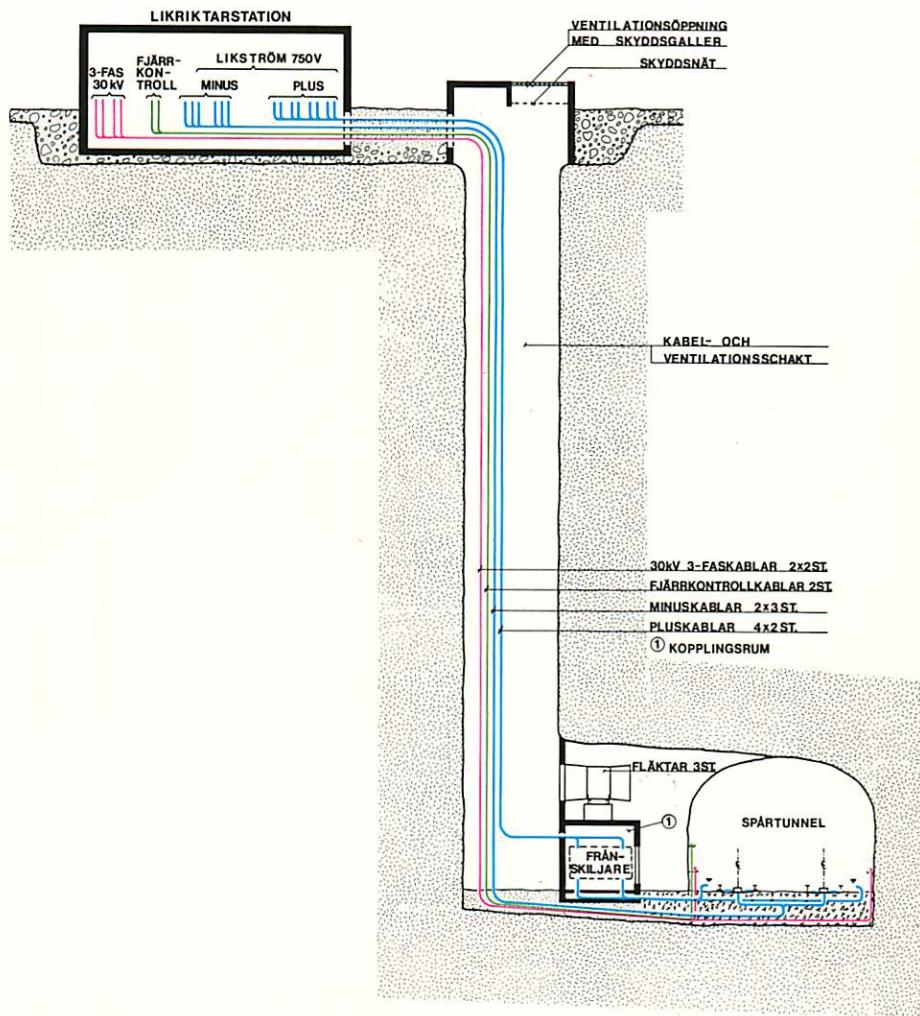
Likriktarstationerna har en nominell effekt om 5,6 MW och kan kortvarigt belastas med 11 MW. Deras inbördes avstånd varierar mellan 1,0 och 2,2 km beroende på bandelens trafikbelastning. Stationerna byggs i markytan såsom fristående byggnader eller helt eller delvis insprängda i berg eller inrymda i andra byggnader.

Stationen består i huvudsak av 30 kV-ställverk, huvudtransformator, likriktare och likströmsställverk. 30 kV-ställverket innehåller normalt 2 eller 4 st 30-kV-brytare.

Huvudtransformatorn har Y-kopplad primärlindning, medan sekundärlindningen antingen är Y- eller D-kopplad. Likriktaren består av kiselventiler anordnade i en 3-fas 2-vägs bryggkoppling. De enskilda ventilerna är dimensionerade för hela spänningen, men med hänsyn till strömbelastning måste ett visst antal vara parallellkopplade. Ventilerna kyls med hjälp av fläktar. Likriktaren består vanligen av två lika enheter.

Kabel- och ventilationsschakt med kablar från likriktarstation till kopplingsrum och spårtunnel

Ventilskåp i likriktarstation



I likströmsställverket finns normalt fyra linjebrytare av sk trucktyp, en brytare för varje utgående matarledning. Varje linjebrytare har en märkström på 4 000 A och är försedd med en överströmsutlösare inställbar mellan 6 000 och 12 000 A. Linjebrytaren har dessutom en specialutlösare, som är känslig för brantheten och strömstegrings varaktighet hos en inträffad överström. Denna utlösare får brytaren att lösa för kortslutningar, även sådana som är avlägset belägna.

Från likströmsställverket utgår förutom de fyra plusmatarledningarna, vilka var och en utgöres av en eller två kablar, även minusledningar, var och en bestående av två eller tre kablar. Plus- och minuskablar, liksom även 30 kV-kablar och kontrollkablar, ledes ned till banan via ett vertikalt schakt, som vanligen även utnyttjas för ventilation av spår-tunneln. Schaktets nedre ände anslutes till banan med en tvärtunnel som avslutas med ett kopplingsrum. Plusmatar-kablarna anslutes till fränkskiljare i kopplingsrummet, varifrån gummikablar utgår till strömskenan i spåret. Minuskablarna ledes i rör under kopplingsrummet fram till spåren, där de via impedanslådor anslutes till farskenorna. Alla likströmskablar är enledarkablar med följande uppbyggnad:

Pluskablar:

1 000 mm² kopparledare, PEX-isolering, potentialskärm av 1 st kopparband, skärm av koppartrådar samt PVC-mantel.

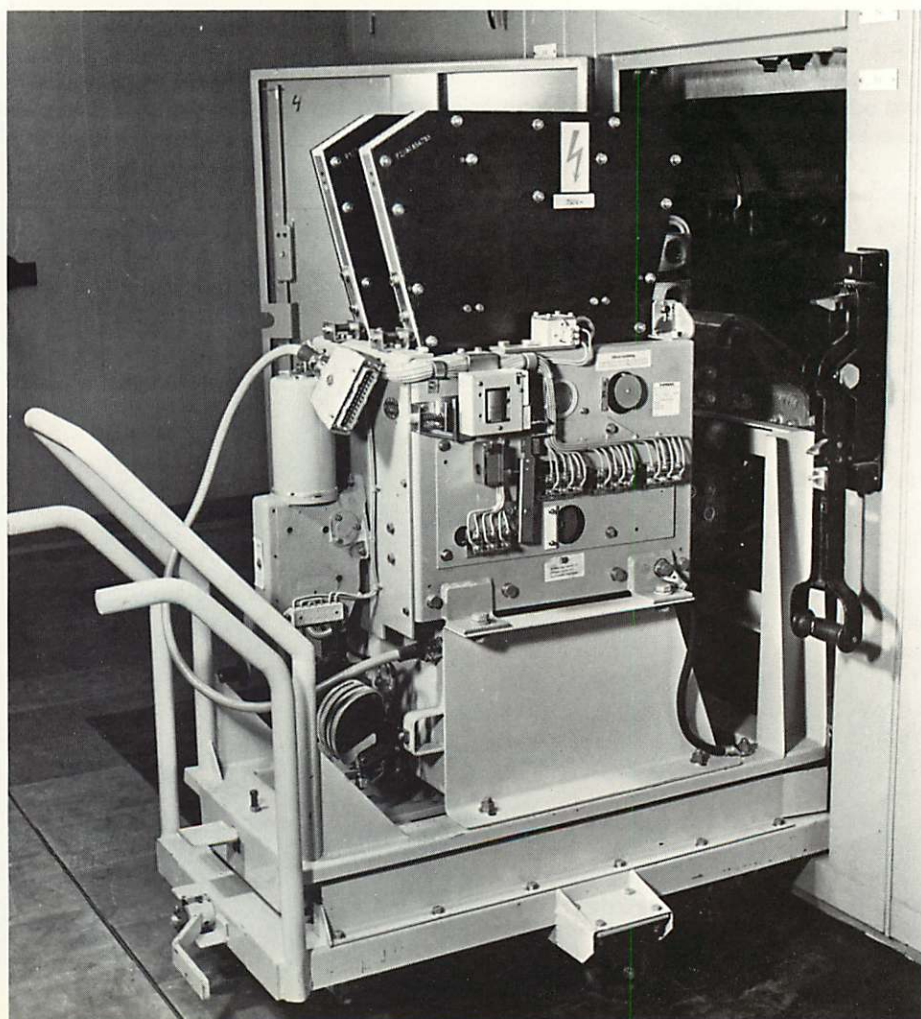
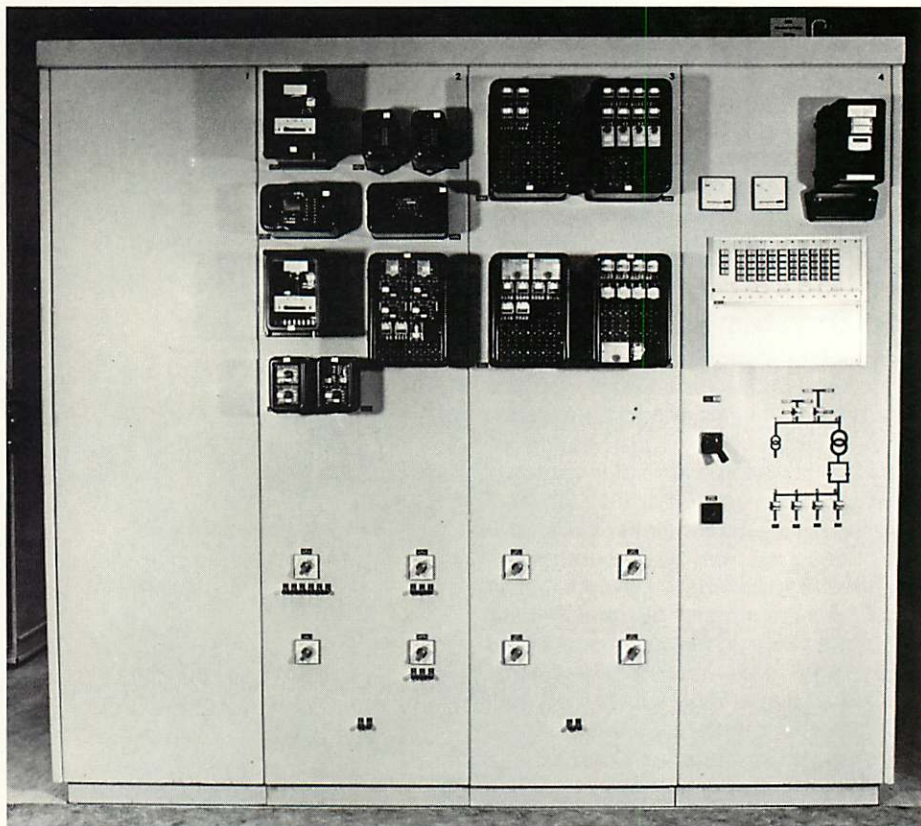
Minuskablar:

800 mm² kopparledare, PEX-isolering, skärm av koppartrådar samt PVC-mantel.

Gummikablar:

240 mm² kopparledare, isolering av EP-gummi och mantel av neopren.

Reläskyddet för stationen utgöres på 30 kV-sidan av tre tidöverströmsreläer, två momentana överströmsreläer och ett underspänningsrelä. Strömreläerna matas från strömtransformatorer på huvudtransformatorns primärsida och underspänningsrelät känner sekundärspänningen på den stationstransformator för lokal växelströmsmatning, som finns i likriktarstationen.



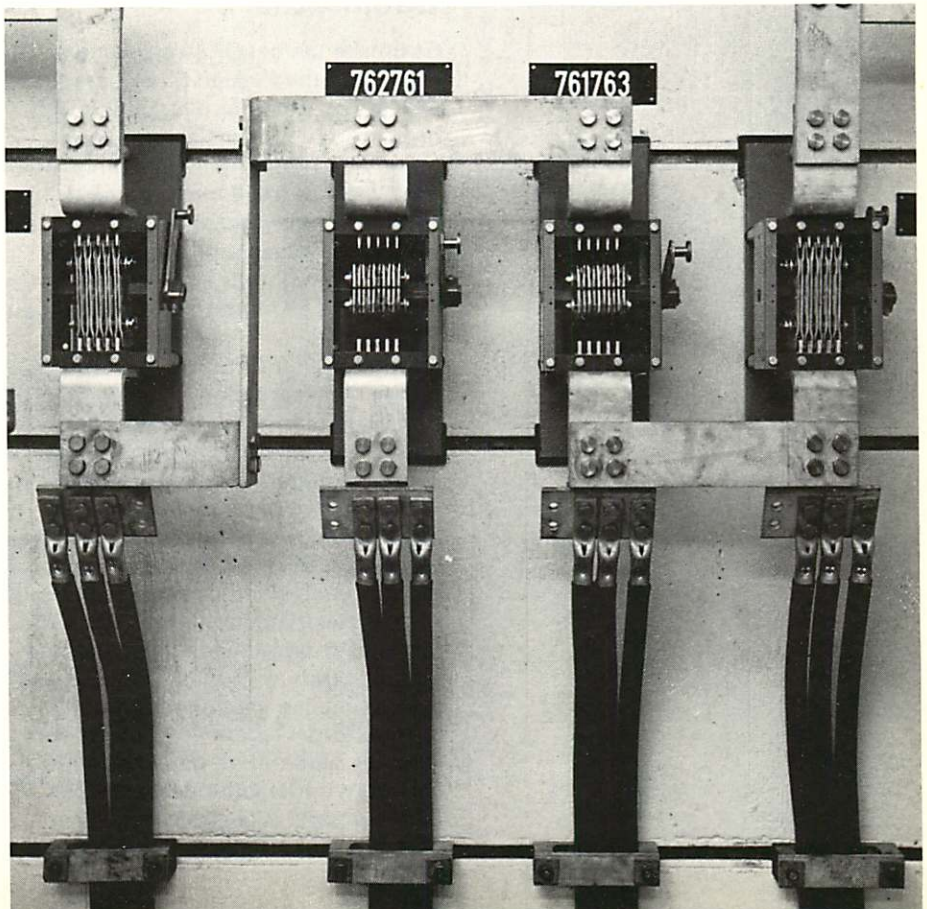
Kontroll- och relätavla i likriktarstation

Linjebrytare av truckutförande i likriktarstation



Kabelschakt mellan likriktarstation och bana

Frånskiljare i kopplingsrum



Fjärrkontroll

Likriktarstationerna är alla obemannade och fjärrkontrolleras med hjälp av en datoranläggning. Styrplatsen är förlagd till Tunnelcentralen, där en man från Stockholms Energiverk sköter om övervakning och kontroll av samtliga tre tunnelbanors likriktarstationer med hjälp av två manöverpaneler och två bildskärmar. Fjärrkontrollanläggningen ombesörjer automatisk återinkoppling av 30 kV-brytare och linjebrytare. Vid fel på matande 30 kV-kabel kopplas anslutna likriktarstationer automatiskt över till felfri kabel. Manuell betjäning med hjälp av manöverpanelen behöver endast användas vid omkopplingar eller vid fel och störningar. Det aktuella kopplingsläget kan avläsas på bildskärmarna. Datoranläggningen nedskriver dessutom automatiskt med tidsangivelse vissa väsentliga inträffade händelser för strömförsörjningen såsom brytarutlösningar, stationsutlösningar, likriktarstationsfel m m. En överskådlig helhetsbild av det aktuella kopplingsläget för strömförsörjningen har man dessutom på en indikeringsstavla (12×2,2 m) i Tunnelcentralen. På tavlans symbolscheman indikeras samtliga tre bansystem.

Strömskena

Strömskenan består av en skena av mjukt järn med vikten 60 kg per meter. Den är utformad för överkontakt och uppbäres av porslinsisolatorer som vilar på förlängda slipers. Ledningsarean motsvarar ca 1 000 mm² koppar. Skenan som levereras i längder på upp till 18 m svetsas ihop till längder på högst 300 m. I mitten på varje sådan längd finns en punkt, där skenan är fast förankrad till en sliper. För övrigt kan strömskenan fritt förskjutas i upplagspunkter, vilket medger längdförändringar vid temperaturvariationer. Vagnarna för Tb 3 är hopkopplade till 2-vagnsenheter. Endast den ena vagnen i enheten har strömvtagare. Strömvtagarna är av gjutjärn och fyra till antalet. De är placerade på boggiernas båda sidor. Strömvtagarna, som är elektriskt förbundna, gör kontakt mot strömskenans översida med en fjäderkraft av ca 100 N (10 kp). Avståndet mellan vagnens främre och bakre strömvtagare är 11 m. När ett vagnpar passerar ett gap i strömskenan, som understiger detta avstånd, blir vagnparet icke strömlöst, vilket däremot sker om gapet överstiger 11 m. Elektriskt är strömskenan uppdelad i

sektioner med en sektion per spår mellan två närbelägna likriktarstationer. I sektionens båda ändpunkter sker inmatningen av ström. Varje sektion kommer härigenom att matas från två likriktarstationer. Undantag härifrån är vissa ändsektioner, där inmatning saknas i ytteränden. I gränsen mellan två sektioner finns ett gap i strömskenan större än 11 m. Härigenom kan icke en vagn eller ett tåg elektriskt förbinda två sektioner med varandra. Varje sektion kommer på så sätt att fungera som en avgränsad matningsenhet vid kortslutning eller överbelastning.

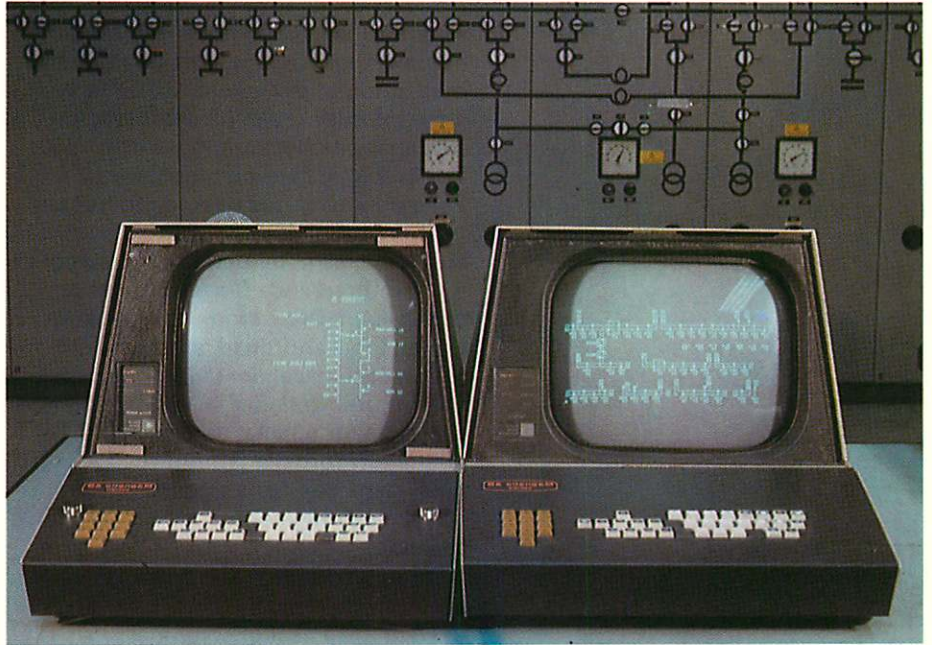
För bandelar ovan jord kan störningar i strömvtagningen uppträda vintertid på grund av att en isolerande ishinna bildas på strömskenan i samband med strömvtagning i snö, om temperaturen är under fryspunkten. Som förebyggande åtgärd blåses snön bort från och under strömskenan med hjälp av speciella snöblåsningsvagnar. Denna åtgärd är icke tillräcklig vid svårare snöväder, då dessutom uppvärmning av strömskenan måste tillgripas. På startsträckor och andra ställen där snöförhållandena kräver detta finns för detta ändamål uppvärmningskablar permanent förlagda i strömskenans liv och matade från strömskenan.

Läckströmmar

För att så vitt möjligt nedbringa storleken av läckströmmar från skensystemet har anläggningen utförts så att spår, minuskablar och likriktarstationernas minuspoler är isolerade från jord. Endast en punkt på banan är jordad. Jordpunkten erhålles genom att skensystemet är förbundet med det väl jordade spårssystemet i banans skötselhall.

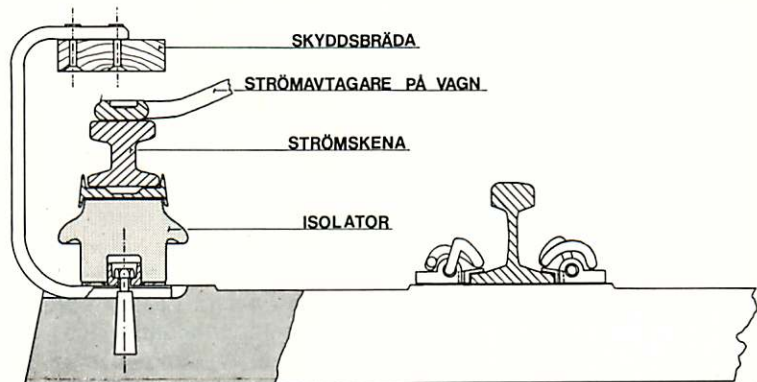
Energiförbrukning

För Tb 1 och 2 är medelvärdet av energiförbrukningen för närvarande ca 3 kWh per vagnkilometer. Detta värde förutsättes bli lägre för Tb 3 än för Tb 1 beroende på bl a längre hållplatsavstånd, förbättrad banprofil samt lättare vagnar på vilka även andra energibesparande åtgärder vidtagits. Vid trafikeringsmed enbart tyristorvagnar och återmatning från tågen beräknas energiförbrukningen icke öka trots att maxhastigheten då avses höjas från 80 till 90 km/h.

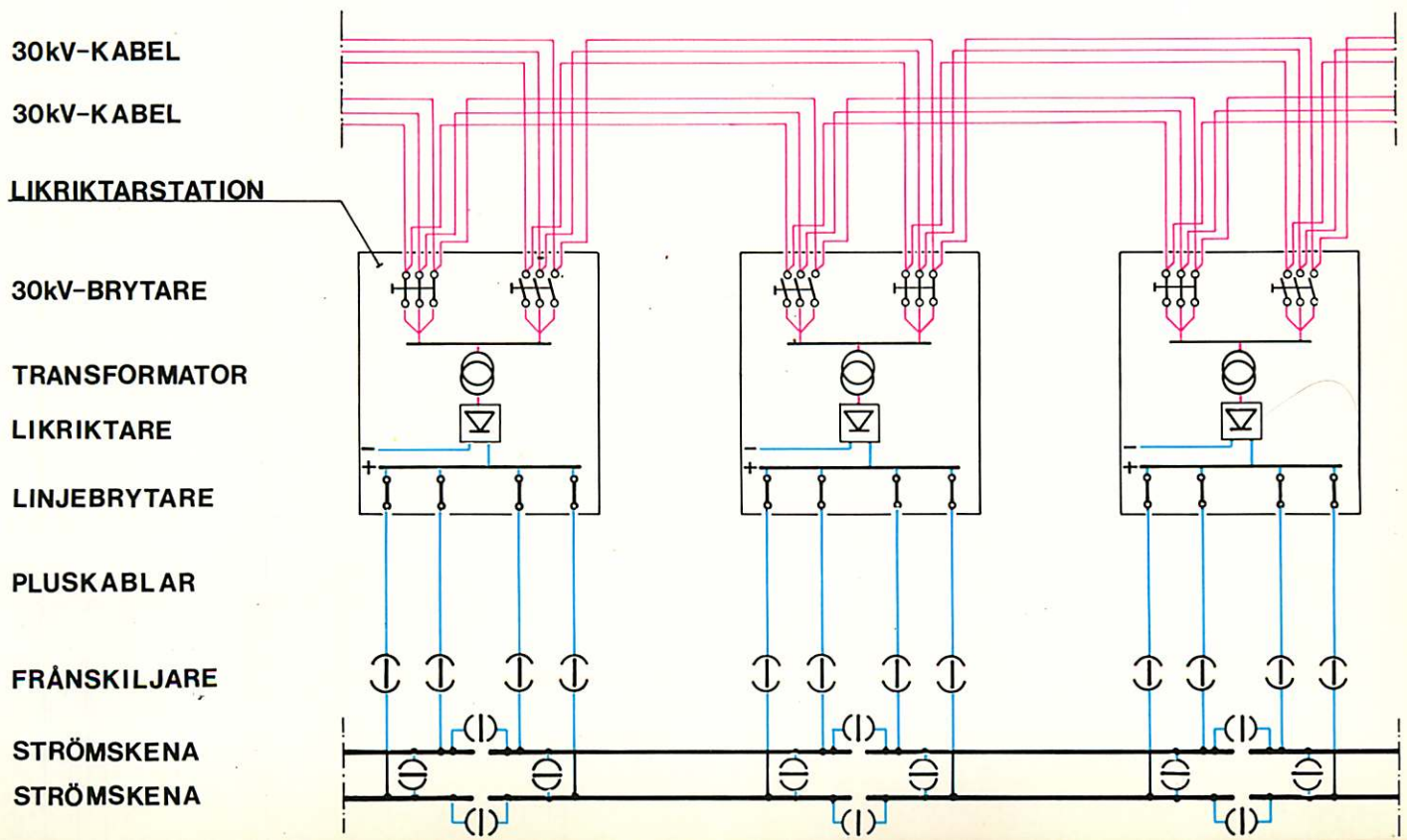


Bildskärmar och manöverpaneler för fjärrkontroll av likriktarstationer

Arrangemang av strömskena vid betongsliper



Principschema över primärförmatning av likriktarstationer samt likströmsmatning av strömskenan



Tunnelbanan i Stockholm är utrustad med ett kontinuerligt hyttsignalsystem med automatisk tågkontroll. Detta system infördes redan på det första tunnelbanesystemet som togs i drift 1950. Tre hastighetsbesked utnyttjas och i varje ögonblick ges besked om högsta tillåten hastighet. Det hastighetsbesked som erhålles är beroende på avståndet till framförvarande tåg eller annat hinder i banan. Den automatiska tågkontrollen är så anordnad, att tåget automatiskt bromsas, om tåget framföres med högre hastighet än vad hyttsignalsystemet för tillfället medger.

Systemets fördelar jämfört med ett signalsystem med fasta signaler placerade i banan och tågstopp är huvudsakligen följande:

- 1 Tågens hastighet kontrolleras i varje punkt av banan.
- 2 Flera olika hastighetsgränser kan kontrolleras.
- 3 Signalerna (i förarhytten) är fullt synliga oberoende av sikten ute.
- 4 Inga anordningar för tågkontroll behöver placeras i spåret, vilket underlättar underhållsarbetena. Fasta mekaniska tågstopp skulle sannolikt ha vållat bekymmer i Stockholm på grund av väderleksförhållandena vintertid.
- 5 Anskaffnings- och underhållskostnaderna beräknas bli lägre.
- 6 Systemet underlättar avsevärt införande av automatiserad tågdrift.

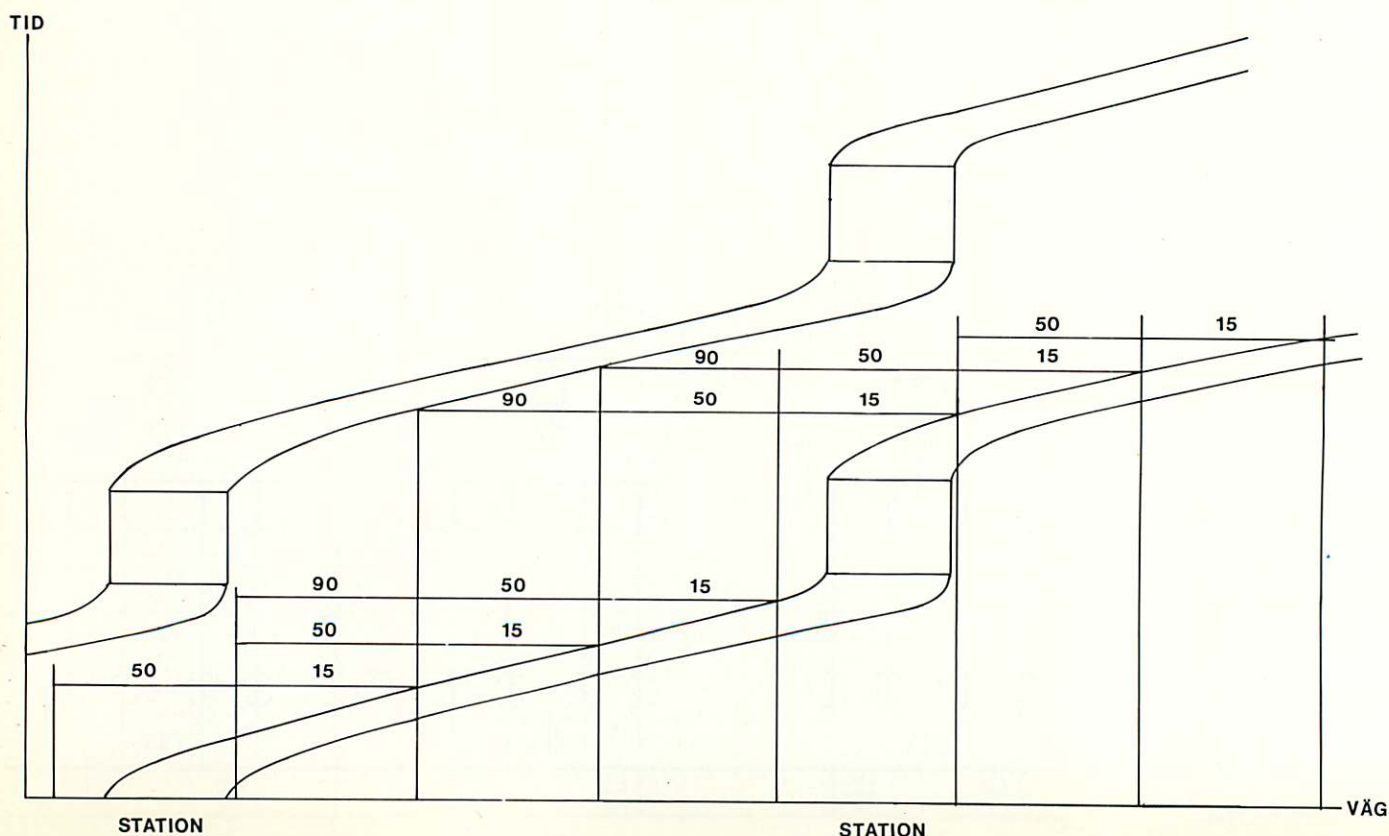
- 7 Den bärfrekvens och de kodfrekvenser som används liksom även förekommande signalnivåer medför, att störningskänsligheten vid tyristordrift är synnerligen ringa. Signalsystemet har konstruerats med utgångspunkt från följande förutsättningar. Största tåglängd 10 vagnar, acceleration och nödbromsretardation ca 1 m/s^2 på horisontellt spår, högsta tåghastighet ca 90 km/h , tågtäthet 90 s/spår vid normalt körsätt och 30 sekunders stationsuppehåll.

Banustrustning

Banustrustningen består dels av spårledning, signaler, växeldriv m m som är placerade i banan, dels av ställverk och relärum.

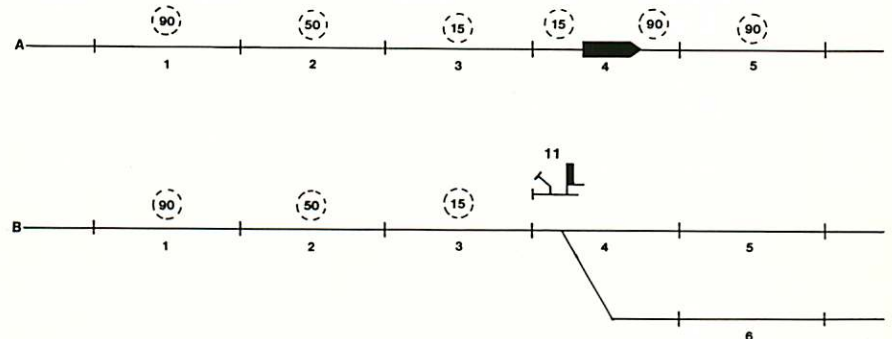
Spårledningarna matas med växelström 75 Hz . Spår(lednings-)relä är normalt attraherat. Först då ett tåg har kommit in på spårledningen och kortslutit spårreläet, tillförs spårledningen hyttsignalström. Denna är antingen kodad med 180 eller 75 impulser per minut eller okodad, motsvarande 90, 50 resp 15 km/h beroende på hur långt fram spåret är fritt. Inkopplingen av lämplig hyttsignalström sker med hjälp av spårreläerna. Koden 75 impulser per minut levereras av en givare av pendeltyp. Koden 180 impulser per minut genereras av ett elektroniskt aggregat, som med en transistorstyrd tyristor

Färddiagram för två konsekutiva tåg. Spårledningar och hyttsignalbilder inlagda



periodiskt sönderhackar signalströmmen.
Bilderna visar hur hyttssignalen i ett tåg påverkas av avståndet till ett föregående tåg eller annat hinder i banan. I fallet A förutsättes, att ett tåg befinner sig på spårledning 4. Efterföljande tåg får då hyttssignalbilderna »90», »50» och »15» på spårledningarna 1, 2, 3 resp 4. I fallet B antas den fasta signalen 11 visa stopp. Ett tåg får hyttssignalbilderna »90», »50» och »15» på spårledningarna 1, 2 resp 3. På platser där man av speciella skäl — t ex starka utförlutningar, skarpa kurvor, inkörningar till ändstationer — inte vill låta tåget framföras med högsta hastighet, ges endast signalbilderna »50» eller »15».

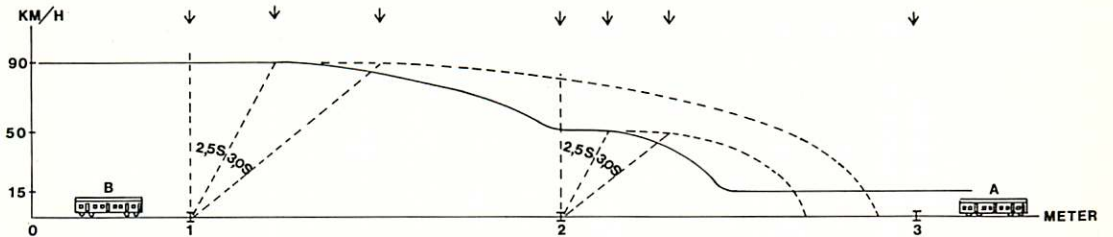
Spårledningarnas längder och placering av isolerskarvarna har kalkylerats med utgångspunkt från ett datorberäknat färdplan för tåg, vagnarnas bromsegenskaper och den önskade tågtätheten. Signalbildsväxlingen i ett tåg sker först viss tid efter det att tåget



Hyttssignalbilder på olika spårledningar (A) bakom ett tåg och (B) före en fast signal på stopp

vägar finns, används signalbilderna 2 eller 3 gröna sken för sidotågvägar. Fasta signaler har även uppsatts på vissa platser för att underlätta arbetstågkörningarna, då arbetstågen som regel ej har hyttssignallutrustning. Körningen tillgår så att arbetståget under hela färdens framföres mellan fasta signaler på stopp. Signalerna är uppbyggda av ett antal individuella lyktenheter bestående av ett lykthus med en ljusöppning. Lykthuset innehåller linssystem och lamphål-

Bromsdiagram för tåg vid växlande hyttssignalbilder. Ett tåg B kör på hyttssignalbilden »90» med 90 km/h. Då det närmar sig tåget A driftbromsas tåget automatiskt i huvudsak enligt den heldragna linjen. Skulle driftbromsning utebli nödbromsas tåget enligt någon av de långstreckade linjerna.



Signal i tunnel och kablar på konsoler

passerat gränsen mellan de båda spårledningarna. Tidsfördröjningen kan uppgå till högst 2,5 s och har införts för att hindra, att hyttssignalbilden växlar falskt till signalbeskedet 15 km/h, då ett tåg kör långsamt över en isolerskarv. Om signalbilden växlar till mer restriktiv hastighet och tåget enligt den nya signalbilden kör för fort driftbromsas tåget automatiskt och strömmen bryts till motorerna. Om automatisk driftbromsning uteblir inträffar nödbromsning efter $2,5 \pm 0,5$ s. Vid beräkning av spårledningslängderna har dessutom en säkerhetsmarginal på ca 20 % av bromssträckan tillagts. Hänsyn har tagits till lutningar och kurvor i banan. På horisontellt och rakt spår är varje spårledning ca 200 meter lång.

Fasta signaler i banan har ej helt kunnat undvaras. De behövs framför alla växlar eller växelgrupper, där det inte är tillräckligt att nedbringa tågens hastighet till 15 km/h eftersom man måste kunna förhindra, att ett tåg t ex kör in i en växel som är under omläggning. Här används följande signalbilder: Grönt — kör för tåg, viss tågväg; rött — stopp; rött och gult — stopp för tåg, därefter kör varsamt. I de fall då alternativa tåg-



lare. Transformatorer för sänkning av spänningen till lampspänning 12 V ingår också i signalhuvudena. Lyktorna är monterade antingen på en rörmast eller på en konsol.

Växelomläggningsdonen (växeldrivarna) består i huvudsak av en elektrisk motor, växellåda med friktionskoppling, kontrollkontakter samt kombinerad omlägnings- och låsstång och kontrollinjalier. Växeldriven är i stort sett av samma typ, som används vid Statens Järnvägar och är ej uppkörbara. Motorn är utförd för 1-fas växelström 220 V, ca 1 kVA. Växelomläggning kan i nödläge utföras manuellt med en vev, som insätts genom en öppning i växeldrivlådan. Reläutrustning med transformatorer, likriktare, säkringar och kondensatorer är placerad dels i lokala relärum, i regel ett per station, dels i centralstallverk. Varje relärum vid en station har all utrustning installerad för ett banområde, som utöver egen station också sträcker sig halvvägs mot de två närliggande stationerna. I det lokala relärummet är spårreläer och reläer för säkerhetskretsar placerade i relästativ. Såväl spårledningarna, signalerna och växlar som säkerhetsreläerna efter funktion sammanförda i spårlednings-, signal- och växelgrupper, är numererade enligt ett system som baserar sig på avståndet i dekameter till en vald nollpunkt på banan. Reläer av telefonrelätyp är monterade i stallverket för kommunikation mellan relärum och stallverk. Samtliga reläer är av instickstyp och har enhetlig storlek. Flertalet reläer är av engelsk konstruktion. Kraftförsörjningen till relärummen sker från lågspänningsserviser. Genom automatisk omkoppling kan utrustningen anslutas till en av två skilda serviser. I stor utsträckning är dessutom relärummen anslutna till diseldrivna reservkraftaggregat för stationerna. Spårledningarna matas med växelström 75 Hz från roterande omformare. Utrustningen i varje relärum har anslutningsmöjlighet till två omformare med automatisk omkoppling. Kablarna, som är förlagda på kabelkonsoler eller i kabelrännor, utgörs av dels signalkablar av flera dimensioner upp till $37 \times 1 \text{ mm}^2$, dels telefonkablar för kommunikationer t ex $101 \times 2 \times 0,6 \text{ mm}$. I installationerna används polyetvinylisolerad signalkabel och polytenisolerad polyvinylmantlad telefonkabel. Signalkablarna är vidare ståltrådsarmerade. Som överföringssystem mellan relärum och stallverk används sk direkttrådsystem.



Växel med växelomläggningsdon



Relärum

Vagnutrustning

Hyttsignalen är placerad i förarpulpeten och kan ge följande tre signalbilder: »90» (högsta hastighet ca 90 km/h), »50» (medelhastighet 50 km/h), »15» (låg hastighet 15 km/h).

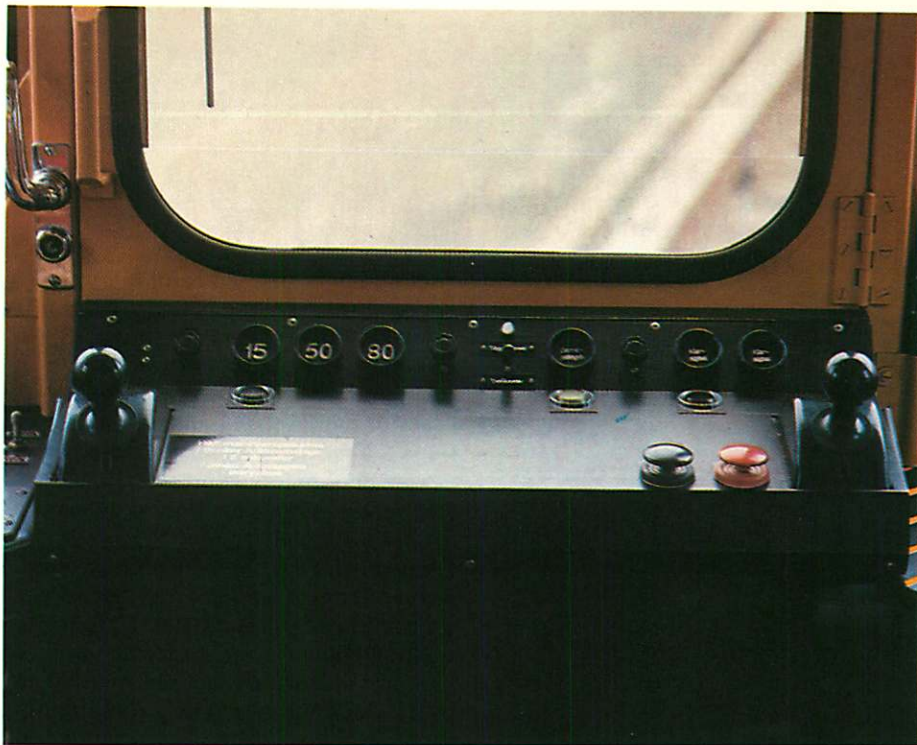
På äldre vagnar är hyttsignalen utformad som en miniatyrsignal på frontväggen i förarhytten.

I förarhytten finns en summer, som ljuder då hastigheten överskrider den av hyttsignalbilden tillåtna. Detta gäller såväl då hyttsignalbilden är oförändrad och tåget ökar hastigheten över den medgivna som då signalbilden växlar och hastigheten vid växlingen är högre än vad den nya signalbilden tillåter. Tåget driftbromsas härvid automatiskt ned till den beordrade lägre hastigheten samtidigt som drivströmmen bryts. Skulle driftbromsning ej ske nödbromsas tåget automatiskt inom ca 1 sek och tåget bringas till stopp.

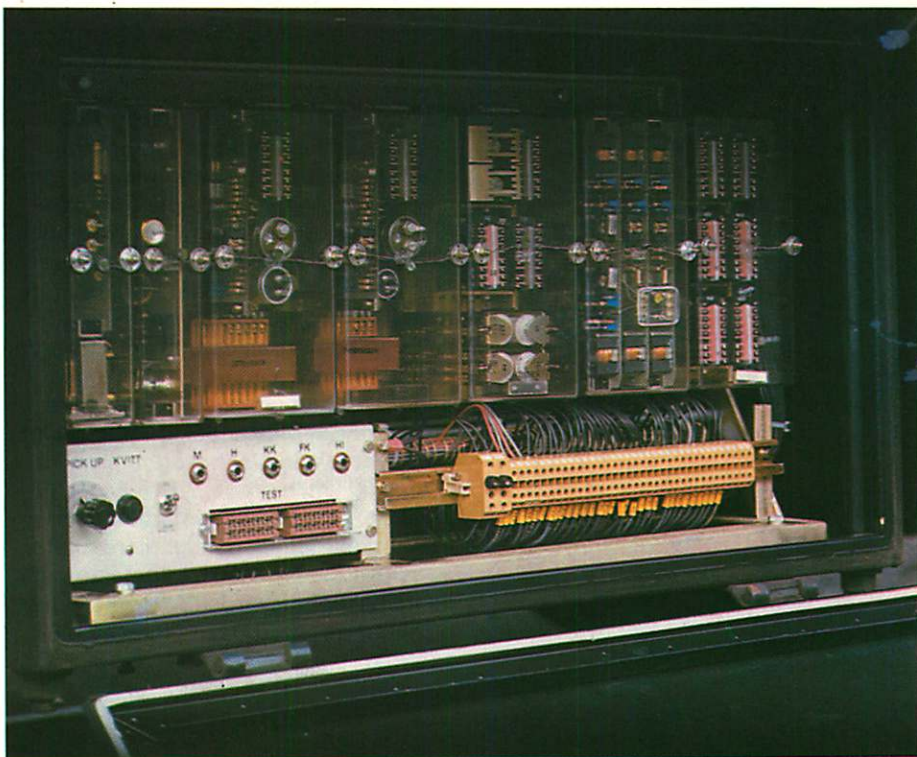
När hastigheten är något lägre än den som motsvarar signalbeskedet hävs bromsningen automatiskt och ström kan åter tillföras motorerna efter uppkopplingsmanöver.

På äldre vagnar måste föraren dels föra kör-kontrollern till noll-läge, dels föra bromshandtaget till full driftbroms. Utföres ej dessa båda manövrar går tåget automatiskt i nödbroms.

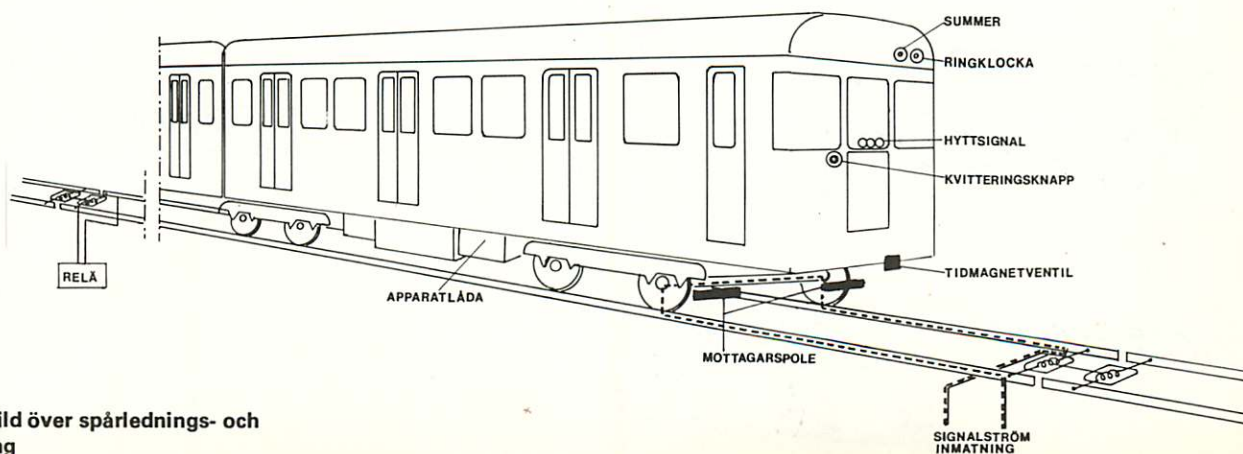
Efter nödbromsning kan tåget åter starta efter ett 20-tal sekunder och köra med högst den hastighet som hyttsignalbilden tillåter. Någon registrering av att nödbromsning ägt rum sker inte. För att accentuera vikten av, att tåget framföres med extra försiktighet, då det kommer mycket nära ett hinder i bana, ljuder dessutom en ringklocka i förarhytten, då signalbilden växlar från »50» till »15». Denna ringklocka kan tystas genom att föraren trycker på en kvitteringsknapp eller kvitteringspedal. Kvitteringen sätter inte hastighetskontrollen ur funktion. Nedanstående bild visar huvudelementen i signalsystemet i



Förarpulpet med hyttsignal



Apparatlåda på vagn innehållande filter, förstärkare, reläer m m



Schematisk bild över spårlednings- och vagnutrustning

spårledningar och tåg samt hur impulser överförs från bana till tåg. Båda rälna nyttjas för signalströmmen. Spår-impedanser finns för likströmsåtergången.

Framför det främsta hjulparet i tåget finns två mottagarespoler. Dessa påverkas genom induktion av signalströmmen i skenorna. Bärfrekvensen för denna signalström är $75 \pm 4,5$ Hz. Frekvensen 75 Hz har valts för att man skall undvika störningar från det kommersiella växelströmsnätet (50 Hz). Via ett ingångsfilter avstämt för denna bärfrekvens förs signalströmmen till en på halvledare baserad vagnutrustning. En till 24 V stabiliserad likspänning matar via en trigger två dekodkretsar. Dekodkretsarna är avstämde för kodfrekvenserna 75 resp 180 impulser per minut. Via likströmsreläer styrs härefter hyttsignalbeskeden 50 resp 90 km/h. Utebliven kod ger det lägsta signalbeskedet 15 km/h.

Hastighetsövervakningen sker med hjälp av en på motoraxeln monterad takometergenerator, vars frekvens ger de olika hastighetsbeskeden. Av säkerhetsskäl är utrustningen för hastighetsövervakning dubblerad och det mest restriktiva beskedet gäller. Vidare är utrustningen så utförd, att om skillnaderna överstiger vissa värden görs föraren uppmärksam på att ett fel föreligger genom att hyttsignallamporna i förarbordet börjar blinka. Säkerhetsmässigt sker övervakning av hastigheterna 15, 50 och 90 km/h.

På äldre vagnar sker hastighetsövervakningen med en hastighetsregulator av centrifugaltyp med tre kontaktpar för de tre hastighetsvärdena. Regulatören är placerad på lagerboxen till en av hjulaxlarna.

Tidigare var hyttsignalutrustningen på vagnarna i huvudsak uppbyggd av elektromagnetiska komponenter. Frekvenser och signalnivåer är givetvis desamma vid båda utförandena. Hyttsignalsystemet ansluts till vagnens bromsutrustning med ett tiddon för fördröjning av nödbromsansättningen och med en tryckkännande apparat som känner om tillräckligt driftbromstryck finns.

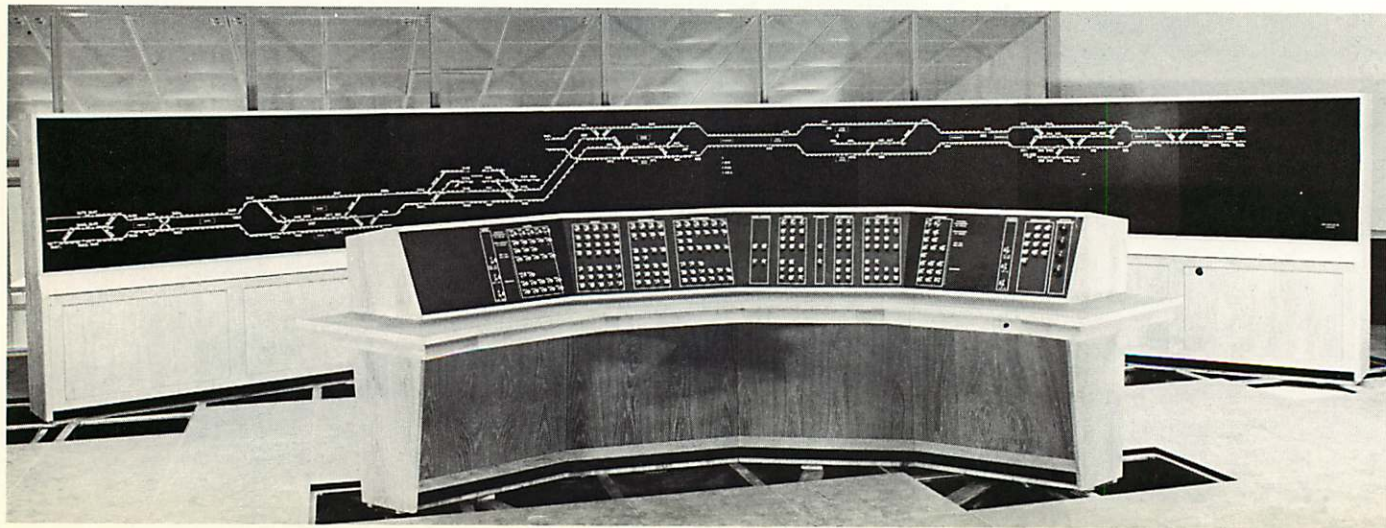
Ställverk

Tunnelbanan har fyra ställverk. Av utbyggnadstekniska skäl har den första tunnelbanan försetts med två ställverk, ett vid Alvik och ett vid Johanneshov (Gullmarsplan), den andra och den tredje tunnelbanan har vardera ett ställverk för hela banan, belägna vid Liljeholmen resp Västra Skogen. I ställverken finns förutom ett större relärum och diverse personalutrymmen ett manöverrum.

De två först byggda tunnelbanorna har manöverapparat och spårplan sammanbyggda till en enhet. Den tredje tunnelbanan har fått manöverorgan och indikeringslampor placerade i skilda enheter sk paneler. Indikeringspanelen har uppställts i U-form så att den kan överblickas från den centralt uppställda manöverpanelen. Till skillnad från de tidigare byggda ställverken, där ställverksvakten arbetar framme vid den kombinerade manöverapparaten och spårplanen, har alltså vakten i ställverket vid Västra Skogen sin plats vid manöverpanelen.

På indikeringspanelen finns en (ej skalriktig) bild av spår- och växelsystem, av stationsplattformar och av de fasta signalerna. Spårlinjerna är uppbyggda av

Manöverrummet i ställverket Västra Skogen



långsmala ljusenheter, spårledningslampor och i spårlinjen finns även ljusenheter för signalindikering. På spårplanen indikeras följande:

Tågposition såsom ett rött streck i spårlinjen.

Växel under omläggning såsom röda blinkningar i den del av spårlinjen, som representerar växel i kurvläge.

Växelläge såsom ett kort vitt streck i spårlinjen. Denna indikering lämnas normalt endast om växeln är låst.

Signalbild med fast gult sken för »kör», blinkande gult sken för »kör varsamt» och rött för stopp.

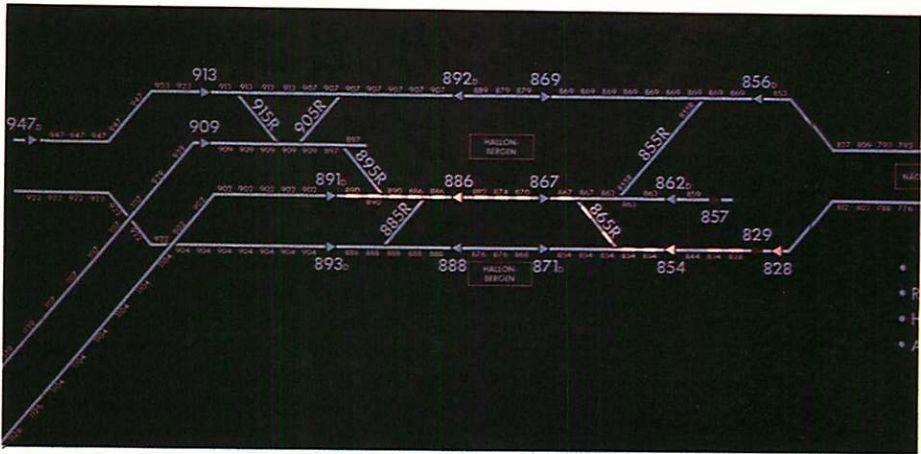
Besked om vilka alternativa tågvägar som kan väljas — ett kort vitt streck i spårlinjen.

Lagd och låst tågväg med ett vitt band i spårlinjen utesluter hela tågvägen.

Spänningslöshet på strömskenesektion med ett blinkande rött band i spårlinjen utesluter hela sektionen med undantag för de platser, där tåg står. Tågpositionen anges även i detta fall såsom ett fast rött streck i spårlinjen.

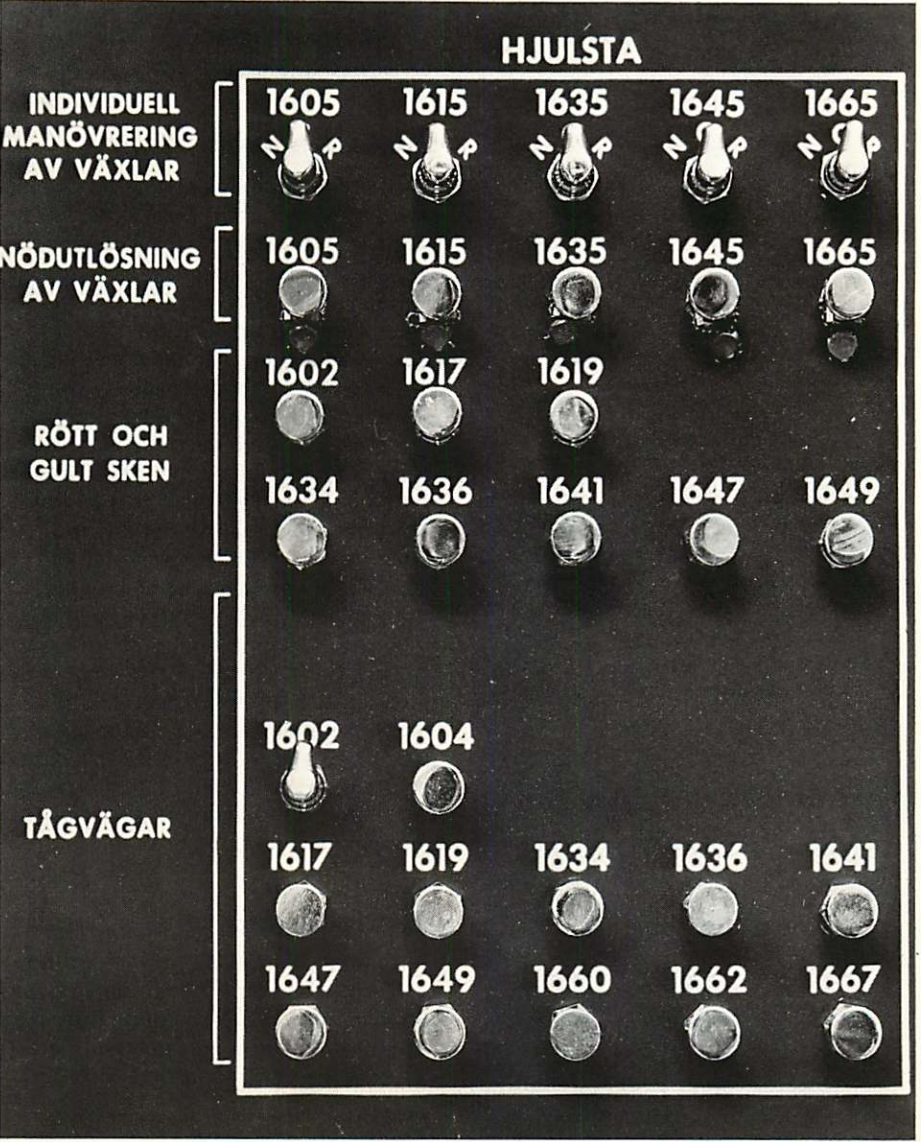
Manöverpanelen är bestyckad med manöverställare och i panelen återfinns en ställare för varje signal. Manövrering av en växelgrupp tillgår så, att ställverksvakten genom att vid manöverpanelen trycka på en ställare i indikeringspanelens spårplan utpekar en signal i spårlinjen vid IN-änden av växelgruppen. Därefter utpekas signalen i UT-änden av växelgruppen för önskad tågväg. Växlarna i tågvägen läggs då automatiskt och signalen går över till klart. Efter manövermetoden kallas ställverkstypen IN-UT-ställverk.

Ställverksvakten behöver ej göra klart för sig genom vilka växlar tåget skall köra. Han kan manövrera direkt på informationen om var tåget befinner sig och vart det skall. För att ytterligare underlätta manövreringen har sådana inställare, vilkas motsvarande fasta signaler berör tågvägar som sällan behöver ändras, försetts med anordningar, som kan ställa signalerna på automatisk drift. På platser där två eller flera växelgrupper är belägna intill varandra utan mellanliggande station, har man ordnat så, att en tågväg kan klargöras direkt från IN-änden av första växelgruppen till UT-änden av den sista växelgruppen. Om därvid två eller flera parallella tågvägar är möjliga utväljs automatiskt den kortaste som är ledig. I avsikt att avlasta ställverksvakten har banans ändstationer försetts med en skvändningsautomatik. Automatiken reglerar tågens in- och utfarter efter ett förutbestämt program och ställverksvakten behöver normalt ej ingripa vid vändningen av tågen på dessa platser.



Del av indikeringspanel i ställverk

Del av manöverpanel i ställverk



Telefoner

Inom tunnelbanan finns ett antal telefonapparater anslutna till SL:s automatiska telefonväxel. De är i huvudsak placerade i spärrar, på plattformar samt i sekundärutrymmen inom stationerna. Även vid vissa övergångsväxlar och matarpunkter för likströmsförsörjningen finns telefoner installerade. Såväl öppna som spärrade anknytningar förekommer. Ett särskilt telefonsystem, selektortelefon, är installerat mellan relärum för signalsäkerhetsanläggningen och ställverk. Detta system har även anslutningsapparater inom tunnelcentralen och signalbefälskontor. Mellan vissa signaler och signalställverken finns induktortelefonförbindelse installerad för snabbförbindelse mellan tåg och ställverkets manöverrum. Inom spårtunnlarna finns ett larmtelefonsystem installerat. Apparaternas inbördes avstånd är maximalt 200 meter. Dessa apparater är försedda med en blå markeringslampa för att kunna iakttas även vid icke tänd tunnelbelysning. Larmtelefonerna förbinder spårtunnlarna med tunnelcentralen.

Högtalaranläggningar

Tunnelbanan har utrustats med en högtalaranläggning med centralmanövrering från tunnelcentralen. På alla stationsplattformar, i biljetthallar, spärrar, signalställverk och i vissa andra driftsutrymmen är högtalare placerade. Meddelanden kan sändas från tunnelcentralen till varje station, antingen till enstaka stationer eller till flera samtidigt. På varje station kan dessutom interna meddelanden sändas från mikrofonplats i biljettspärren och eventuellt från ytterligare mikrofonplatser på plattformen. Utrustningen kan även kopplas för konferenssamtal mellan tunnelcentralen och spärrkiosker, ställverk m m. Anläggningen är heltransistoriserad och batterimatad, vilket medger samtal även vid strömvabrott. Vissa stationer har även utrustats med lokala högtalaranläggningar för plattformsvakter, som med hjälp av dessa kan påskynda trafikanternas av- och påstigning.

Överfallsalarm

Genom en överfallsalarmanläggning står biljettspärren i förbindelse med tunnelcentralen. Då en knapp inträffas i spärren, ges larm i tunnelcentralen, där man ser varifrån larmet kommer.

Larmtelefon i spårtunnel



Uranläggning

Tidgivningen ombesörjes av en centraluranläggning med klockor (sekundärur) på stationsplattformar, i biljetthallar och vissa andra utrymmen. Huvuduret är placerat i tunnelcentralen. Från detta utsänds varje minut via telefonkablar längs banan och viss reläutrustning polariserade likströmsimpulser, som driver sekundäruren. Dessa stegar alltså fram varje minut. Vissa sekundärur har försetts med en synkronmotor driven sekundvisare med rättställning varje minut, efter huvudurets impulser. Till tunnelbanans uranläggning har också anslutits de ur, som finns vid ytnätets ändstationer.

TV-anläggningar

I likhet med vad som installerats på en del stationer på Tb 2 kommer inom vissa stationer på Tb 3 TV för plattformsovervakning att sättas upp. Sådan anläggning för enmansbetjänade tunnelvagnståg har monterats på plattformar, där föraren ej har möjlighet att direkt överblicka hela plattformen vid trafikanters av- och påstigning. Anläggningen består av en till två kameror och en eller två monitorer som är placerade vid plattformssändan. Tågföraren har då möjlighet att utöver direktsikt av de första vagnarna i tåget även iakttaga förhållandena vid sista vagnarna i monitorer.

Tunneltågradio

Under 1967 installerades tunneltågradio i samtliga tunnelvagnar. Ett basradionät bestående av ett samverkande ytrationät och tunnelradionät med manöverutrustning i tunnelcentralen, TUC, stod klart för invigning kring halvårsskiftet 1968. Detta radionät har sedan byggts ut i takt med tunnelbanans expansion. Tunneltågradionet kom snabbt att bli ett nödvändigt hjälpmedel för tunneltågdriften och används bl a vid följande tillfällen:

1. Meddelanden från tunnelcentralen, TUC, till tunneltåg angående
 - a) ändrade tågvägar,
 - b) ändrade tågtider,
 - c) ändrade körförhållanden efter driftstörningar.
2. Rapportsamtal från tunneltåg till TUC:
 - a) belastning (förseningar),
 - b) banfel,
 - c) signalfel,
 - d) diverse iakttagelser av trafikantintresse.

två bassändarfrekvenser för varje bana, varav den ena är identisk med den frekvens som används på ytan, dvs om ett tåg går in i en tunnel kommer tågets mottagare att mottaga följande: Ytfrekvens (på ytan), tunnelfrekvens (alltid vid tunnelmynning och ca 1 km inåt), ytfrekvens, tunnelfrekvens, osv. Tågets mottagare är försedd med en passningsenhet som automatiskt kopplar in rätt frekvens.

Basradionätet

För att täcka tunnelbanans ytsträckor används för vardera Tb 1 och Tb 2 en 50 W sändare placerad i Skattehuset och en mottagare med hög antenntäthet i Mälarhöjden. All denna utrustning är dubblerad och reservsändare och mottagare kopplas in från TUC. För täckning av tunnelsträckorna används tunnelbasstationer bestående av en 10 W sändare och en mottagare inneslutna i ett vattentätt kabinett. Dessa basstationer är anslutna till en balanserad antennkabel (200 ohms bandkabel), som inte bör överstiga 1 km längd för att god radioförbindelse skall erhållas. Tunnelantennen är förlagd utefter tunnelväggen på konsoler ca 3.0 m över spårnivån och 50–100 mm från tunnelväggen. Antalet tunnelbasstationer i drift är för de olika banorna:

Tunnelbana 1	15 st
Tunnelbana 2	55 st
Tunnelbana 3	35 st (i första etappen)

Samtliga basstationers sändare och mottagare har trådförbindelse med TUC. Vid sändning från TUC går talet ut samtidigt över alla sändare i en och samma bana. För mottagning av samtal



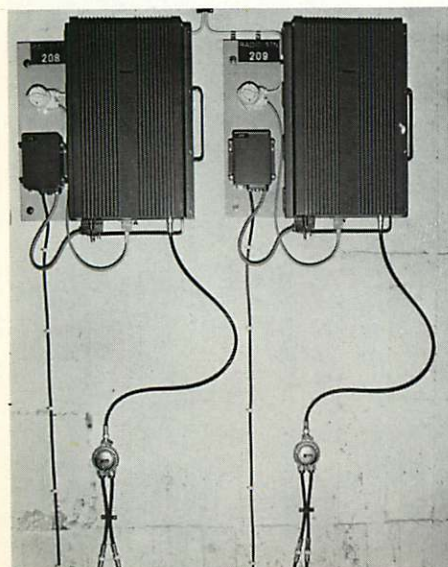
Radioutrustning i tunnelvagn typ C8

till TUC används sk diversity-mottagning, vilket betyder, att ledningar från de olika mottagarna går till en elektronikenhet som känner av och väljer ut den mottagare som tar emot den starkaste och bästa radiosignalen och sedan kopplar den till TUC:s högtalare. Samtidigt kan TUC se på en siffervisande display numret på den mottagare som är inkopplad. En registrering sker också i ett minne, som en gång per dygn avläses och raderas. Icke registrerad mottagare kan misstänkas vara felaktig. Hela radionätet är anslutet till tunnelbanans reservkraft.

Radioutrustning i tunnelvagnar

I princip behövs endast en radiostation per tunneltåg, men av praktiska skäl har samtliga vagnar måst utrustas med manöverutrustning i varje förarhytt och antenn. Innan ett tåg går ut förses det med radioutrustning i varje tågande. Ett 8-vagnståg, som senare skall delas i två 4-vagnståg, måste således förses med fyra radiostationer. Detta betyder, att det erfordras en radiostation per två vagnar men en manöverutrustning och

antenn per vagn. Radiostationen är lätt flyttbar och försedd med bärrem och två anslutningskontakter med snabb-lås. Tunnelvagnhallarna svarar för att radiostationer placeras i aktuella vagnar, innan tåget går ut. Antalet mobila radiostationer uppgår till ca 465, varav omkring 5 % utnyttjas som reservstationer. Manöverutrustningen består av en manöverapparat och en mikrofon med sändningstangent. Manöverapparaten innehåller en högtalare, en volymkontroll och en kanalväljare som ställs in på antingen kanal 1, 2 eller 3 och då motsvarar Tb 1, 2 eller 3. Mikrofonen används även för trafikant högtalaranläggningen i tåget.



Basstation i tunnel

3. Hjälpssamtal för tunnelståg till TUC:
 - a) vid tåg- och vagnfel,
 - b) vid ordningsstörningar i tåg och på tunnelstationer,
 - c) vid olyckor.
4. Övriga samtal med TUC:
 - a) verkfordon (lok, motortrallor m m),
 - b) tunnelpolisens bilar, bärbara radiostationer,
 - c) spårvagnar (linje 120).

Radionätets funktion

Som framgår av ovanstående erbjuder tunnelstågradion goda direkta förbindelser i alla situationer som kan påverka driftsäkerheten och förebygga driftstörningar. Via TUC kan tåg och övriga radiostationer på samma bansystem erhålla radioförbindelse med varandra. Radiotrafiken mellan å ena sidan de bärbara och mobila radiostationerna och å andra sidan TUC sker på ytsträckan via sändare i Skattehuset och mottagare i Mälarhöjden, som har trådförbindelse till manöverutrustningen på TUC. På tunnelsträckorna sker radiotrafiken via sk tunnelbasstationer, vars sändare och mottagare också har trådförbindelse med TUC.

Tunnelradiostationerna är uppsatta i apparatrum eller ute på tunnelväggarna och med ett inbördes avstånd av ca 1 km. De är anslutna till var sin antennkabel, som tillsammans täcker hela tunnelns längd. Trafiksättet är semiduplex, vilket innebär, att sändning sker på en frekvens och mottagning på en annan. Vid de bärbara och mobila radiostationerna måste sändning och mottagning ske växelvis. På TUC däremot sker sändning och mottagning samtidigt, vilket möjliggör, att inkommande samtal kan återutsändas till samtliga mobila och bärbara stationer inom ett och samma bansystem. Inkoppling av radiohögtalarna i tågen sker med en pilotton (94,8 p/s) som alltid går ut vid sändning över bassändarna. Anrop från TUC föregås av en lystringston. Om TUC ej omedelbart kan besvara ett anrop, utsänds automatiskt en upptagetton till samtliga tåg. Tönen ljuder tills TUC besvarar anropet.

Radionätets uppbyggnad och omfattning

Basradionätet består av tre separata radionät, ett för varje tunnelbana. Det betyder, att tre radiokanaler utnyttjas. Samtliga radiokanaler ligger inom 160 MHz-bandet. För att störningar inne i tunnelarna skall undvikas, när ett tåg går från en tunnelbas till en annan utnyttjas



Biljetthall med ur och högtalare

TV-monitor för enmansbetjänade tunnelvagnståg. Slussen

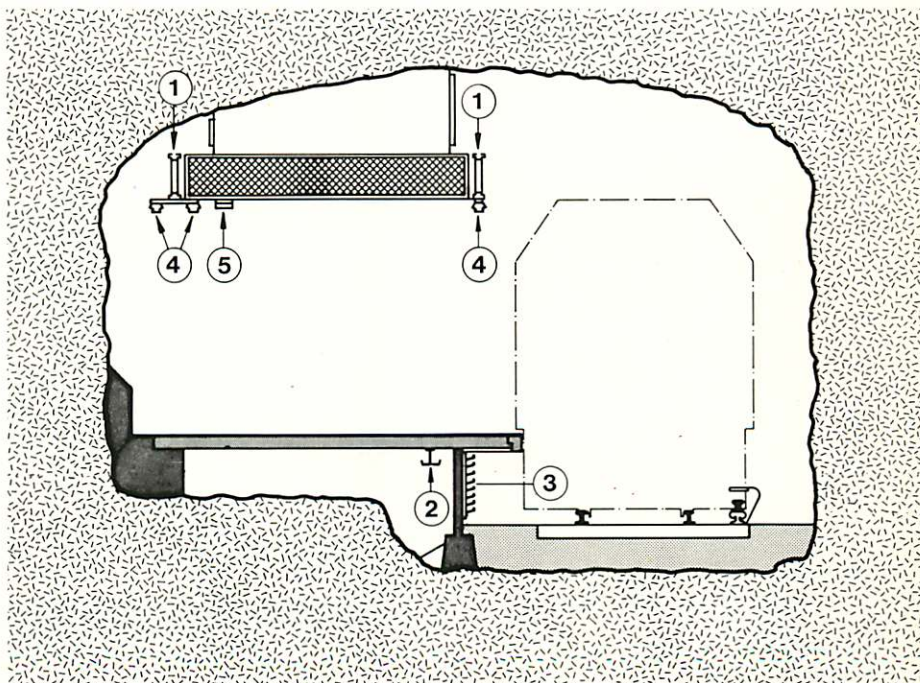


Belysningen på stationerna på Tb 3 har fått en mer miljöskapande utformning än den på de äldre tunnelbanestationerna. Följaktligen har hög belysningsstyrka eftersträfvats endast på sådana ställen där särskild uppmärksamhet krävs. Principen för utförande av belysningen inom stationerna är, att rummets form och de i rummet ingående komponenterna lätt kan avläsas och väl definieras genom ljus och skugga och att ögat inte tröttnas på grund av en monoton och likformig belysning. Kontrasterna mellan ljusa och mörka partier får ej heller bli så stora, att en irriterande bländning uppstår. Således har trappor, spärrar, rulltrapplan, hissar, plattformar och platser, där text- och bildinformation ges, fått en belysningsstyrka mellan 300–500 lux. På andra platser har belysningsstyrkan tillåtit gå ned till ca 150–200 lux. Placeringen av armaturer har valts med hänsyn till ovanstående krav och armaturen har utformats så att den skall ingå som en del i stationens balkliknande innertakselement. En specialkonstruerad armatur har för detta ändamål framtagits. Armaturen är helt öppen, direktstrålande och försedd med ett lysrör på 40 W som vid behov kan förses med en plan heltäckande plastskiva. Eftersom armaturen ofta placeras lågt, har den utformats så att irriterande bländning undviks. Den kan även monteras i vissa bestämda vinklar i såväl tak som på vägg, vilket underlättar framtida förändringar och kompletteringar. Armaturen är vidare robust, tålig och — icke minst väsentligt — anpassad för ett rationellt underhåll. Inom stationerna har också sk panikbelysning installerats. Denna består av ett begränsat antal batterimatade lampor på 25 W med en matningsspänning på 100 V. Antalet lampor per station uppgår till 20 à 30 st.

Belysningen i spårtunnelarna är utförd med helkapslade plastarmaturer för två lysrör på 40 W som ger en belysningsstyrka på omkring 70 lux. I dubbelspår-tunnelarna är armaturerna monterade på var tionde meter utmed var och en av tunnelväggsidorna i zig-zag-form och i enkelspår-tunnelarna på ungefär sju meter utmed ena spårvidan.



Belysning på plattform



Armaturplacering och kabelförläggning på plattform på Tb 3. Tvärsektion

1 Gruppledningar

2 Huvudledningar

3 Fjärrkabel

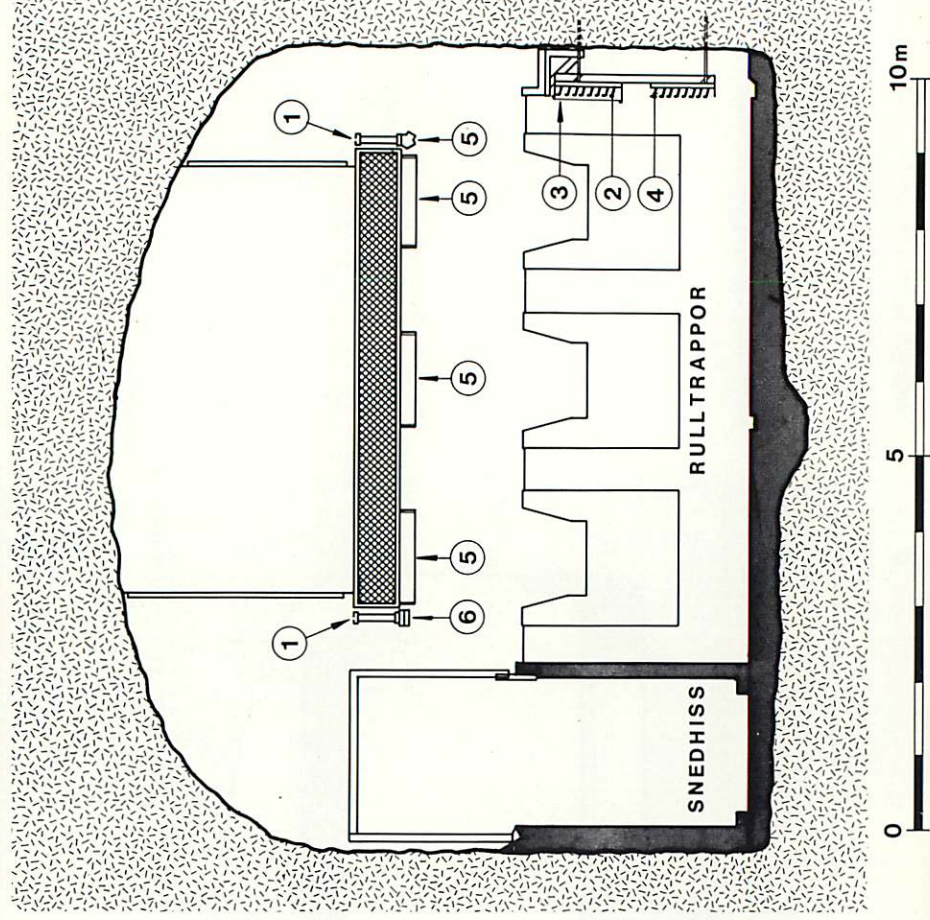
4 Belysningsarmatur 1×40 W, lysrör

5 Panikbelysningsarmatur 25 W, glödljus, 110 V likström

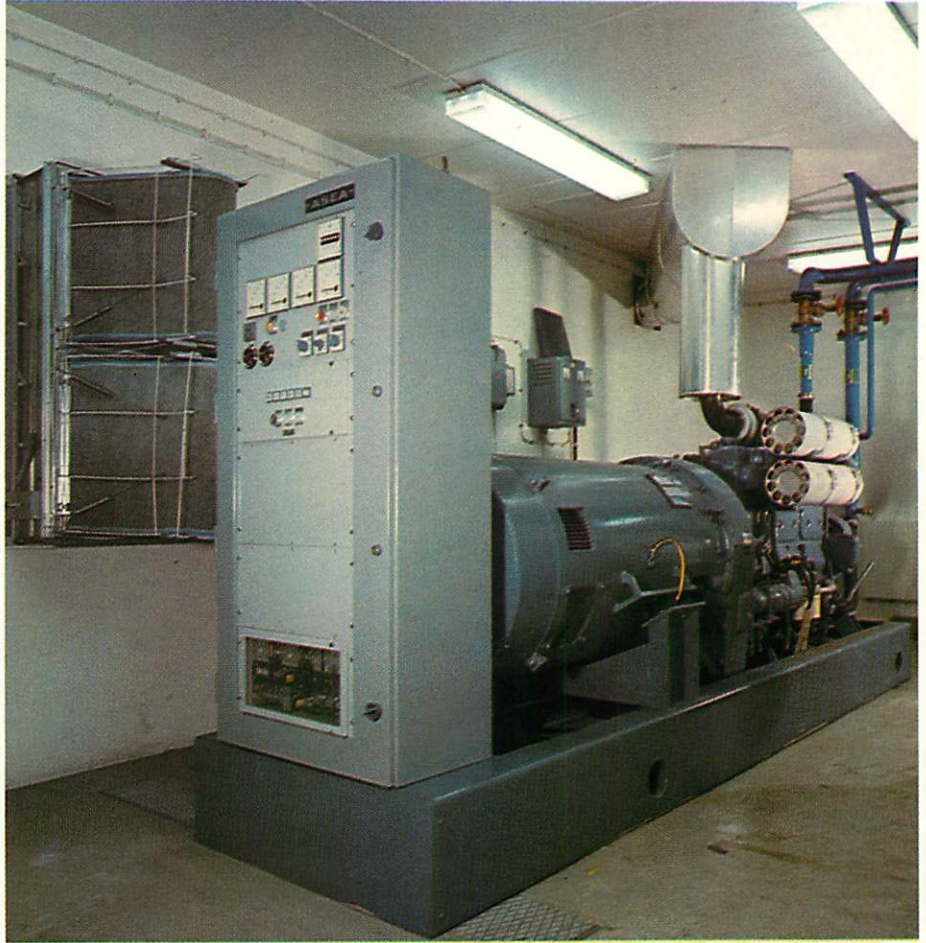
0 5 10m



Rulltrappbatteri



- Rulltrappschakt med snedhiss. Tvärsektion.
Armaturplacering och kabelförläggning
- 1 Grupppledningar
 - 2 Huvudledningar
 - 3 Eternitskiva
 - 4 Grupppledningar
 - 5 Belysningsarmatur $1 \times 40 \text{ W}$, lysrör
 - 6 Panikbelysningsarmatur 25 W , glödljus, 110 V likström



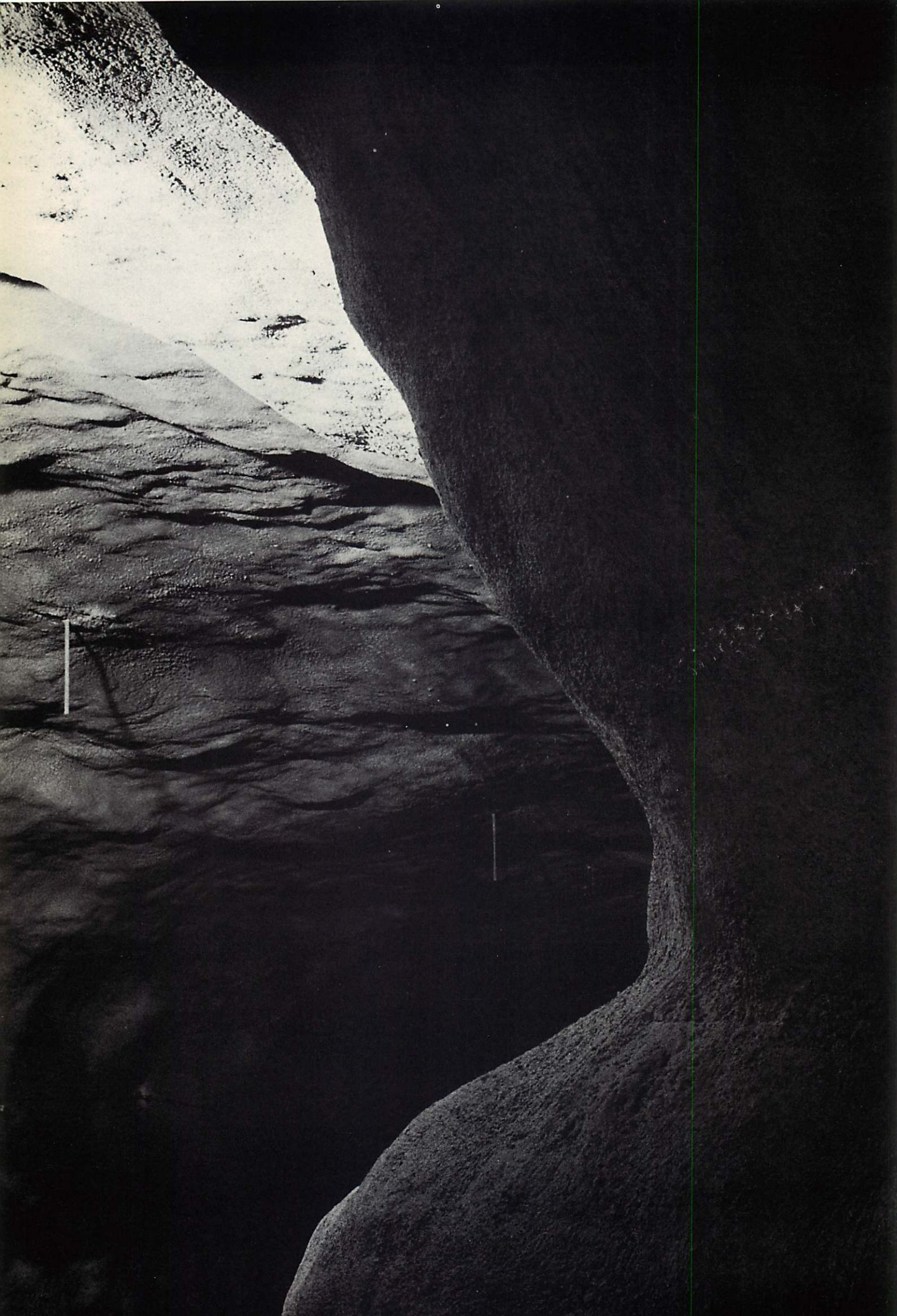
Reservelverksrum

Denna belysning tänds och släcks från tunnelcentralen. Normalt hålles belysningen släckt i spårtunnlarna. I tunneldelarna har kraftuttag installerats för anslutning av kompletterande arbetsbelysning och arbetsmaskiner. Kraftuttagen, som är placerade med ett inbördes avstånd av ca 60 meter, är utförda i europeisk standard för 380/220 V med anslutning av 3×63 A och 3×25 A.

Vid stationer med endast en entré har nödutrymningsvägar ordnats via spårtunnlar och speciella utrymningsschakt. Dessa utrymningsvägar har fått en förstärkt belysning matad från reservelverk.

Samtliga stationer är utrustade med dieseldrivna reservelverk som automatiskt startar om stationens båda lågspänningsserviser skulle bli spänningslösa. Beroende på stationernas storlek varierar reservelverkens effekt mellan 150 och 250 kVA. Reservelverken matar ca 20 % av belysningen inom stationer och i spårtunnlar samt matar tunnelbanans signalsystem, stationernas telesystem och flertalet hissar. Reservelverken fjärrövervakas från tunnelcentralen.

Kabelförläggningen inom stationer och i spårtunnlar har utförts i olika skyddade stråk för att minska brandrisken och om trots allt en brand skulle uppstå minska dess omfattning.



Tunnelbaneresenären som färdas på de under 1950-talet först byggda banorna befinner sig ovan mark så fort han lämnat innerstaden. Nackdelar kan vara att stå och vänta på kalla och dragiga plattformar. Emellertid har bättre och mer ekonomiska metoder att spränga tunnlar, ökade markkostnader, krav på minskade störningar för bebyggelse och önskemål om klimatiskt skydd pressat ner banan till djup på mellan 20 och 30 meter.

Tb 2:s gren till Mörby Centrum är med undantag för passagen över Stocksundet helt underjordisk och av Tb 3:s stationer ligger samtliga utom en i berg. Hur skall man då ställa sig till de miljömässiga konsekvenserna för resenären av att tillbringa kanske upp till en timme per dag utan kontakt med dagsljus eller landskap?

Underjorden har heller inte det bästa rykte. Hades, helvetet, omänskliga arbetsförhållanden i gruvor har bidragit till skräckfyllda föreställningar som förknippats med den undre världen. Men där lever även sagornas prins Hatt omgiven av silver, guld och ädla stenar, där besvor man för 30 000 år sedan jakens väsen i grottor som Altamira och Santander och italiaturisten beundrar formationerna i Capris blå grottor. Det finns sålunda även lustbetonade sidor att anknyta till.

I och med stationen Masmo inleds en typ av underjordsstationer vars estetiska verkan utnyttjar kontrasten mellan den utsprängda, betongsprutade grottans mjuka former och de tekniska installationerna, mellan naturliga former och geometriska.

Grottstationen ger goda möjligheter till variation i upplevelser av ytstrukturer, ljus och skugga, färger och grafiska effekter.

Sprutbetongens grova yta är exempelvis på samma gång en oöm vägg som den bildar en verksam motvikt till den släta och lättstädade terrazzon hos golv och socklar.

Ljuset kan skifta från reflexer i takens aluminiumtor över vita informationszoner till mörkt skuggade bergpartier. De oregelbundna bergytorna har även en diffuserande effekt på ljudet. Ljudabsorbenter i undertak och kring plattform bidrar till ett bra ljudklimat.

Tryckutjämningsschakt placerade strax bortom stationsändarna förbättrar liksom vid tidigare stationer dragförhållandena. En ytterligare förbättring i förhållande till inklädda stationer får man av grottstationernas större volym.

Temperaturen kommer efter en tid att ligga vid ca 285 K (12°C) som ett resultat av ett jämviktsförhållande mellan berg-

temperatur och energi åstadkommen av tåg, människor och belysning. Stationerna kompletteras med en konstnärlig bearbetning av en eller flera konstnärer för att göra färden omväxlande och förbättra orienterbarheten. Arbetet varierar mellan stationerna och kan gälla alltifrån färgsättning, måleriska eller skulpturala betoningar av enskilda partier till »utblickar» i form av montrar eller tavlor på spårsidan. De senare byts eller flyttas mellan stationerna som reklamen och skall ge omväxling, där den fasta konsten fungerar som »landmärken».

Pelare och prång stör stora trafikströmmar, men kan även inge en otrygghet under lågtrafik. God översikt har betraktats som ett viktigt krav och har lett till att biljetthallarna, där så varit möjligt, gjorts pelarlösa och hissar och schakt öppnats för insyn. Snedhissen exempelvis löper som en bergbana i öppen kontakt med det stora rulltrappschaktet. Det från början införda systemet med mittplattform ger lätt överblickbara trafikytor särskilt i den typ av station där bergkvalitet och trappmått medger en hel mittplattform utan centrala bergpelare.

Kontakten mellan plattform och marknivå förmedlas av fasta trappor och rulltrappor. Alla nya stationer utrustas dock, oavsett lyfthöjden, med hissar som komplettering till rulltrappor och fasta trappor. I vissa fall, där de lokala förhållandena så medger, kan hiss ersättas av gångramp som ibland förses med rullband.

»Grottstationerna» går snabbare att bygga och gör, att spårtunnlarna kan hållas öppna för transporter under byggnadsskedet.

Kostnaden per station blir ca 1 Mkr lägre än inbyggda stationer av typen Mariatorget.

1950- och 1960-talets bergstation

Station Mariatorget

En i bergrummet fristående byggnad bestående av betongvalv, betongstöd och tegelväggar. De senare i allmänhet beklädda med keramiskt material. Golv av keramiska plattor eller cementmosaik.



70-talets bergstation

Täbybanan, station Tekniska Högskolan

I det med sprutbetong förstärkta och dränerade bergrummet hängs ett lätt undertak i aluminium bestående av strängsprutade kantprofiler och sträckmetallnät. Väggarna är delvis beklädda med element i plastbelagt stål. Golv i cementmosaik. Ljudabsorbenter ovan undertak, bakom spårväggselement och under plattformskant.



70-talets bergstation

Botkyrkabanan, station Alby

Tak som ovan. Väggar i sprutbetongbehandlat berg. Sockel och golv i cementmosaik.



70-talets bergstation

Plattform utan mittpelare



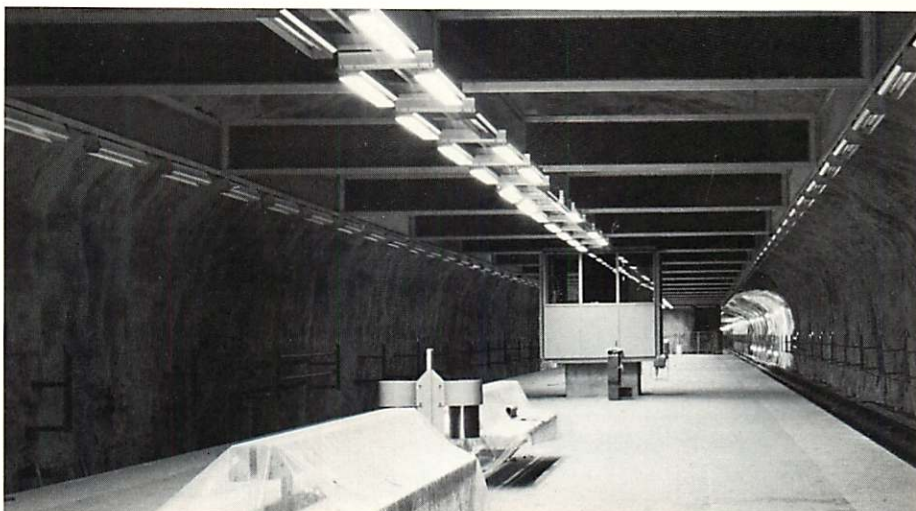
70-talets bergstation

Järvabanan, Stadshagen (under byggnad)
Bergrummet noggrant behandlat med dränering och sprutbetong. Innertaket ersatt av en ljudabsorberande balkkonstruktion i aluminium uppbyggd av strängsprutade skenor som flänsar och sträckmetallnät kring mineralull som liv. Väggar i sprutbetong. Sockel och golv i cementmosaik.



70-talets bergstation

Järvabanan, Hjulsta (under byggnad)
Plattform utan mittpelare



70-talets ytstation

Fittja
Stomme av plastbelagt fyrkantstål. Tak i korrugerad plåt. Golv av trottoarplattor.
Vindskydd i sträckmetall.



70-talets ytstation

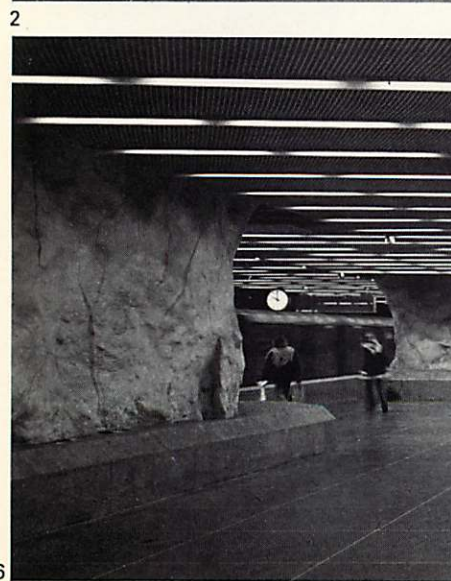
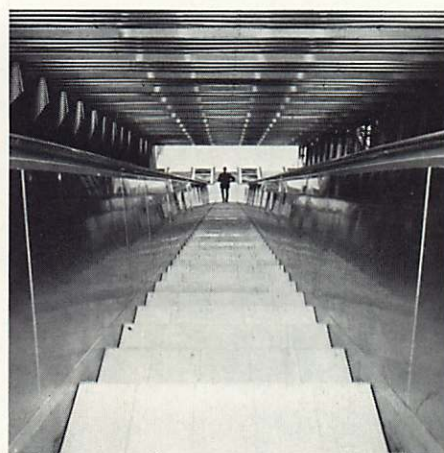
Hallunda
Stomme av plastbelagda valsade profiler. Tak i korrugerad plåt med ett ytterskikt av mineralull, plast och singel. Golv och vindskydd som ovan.





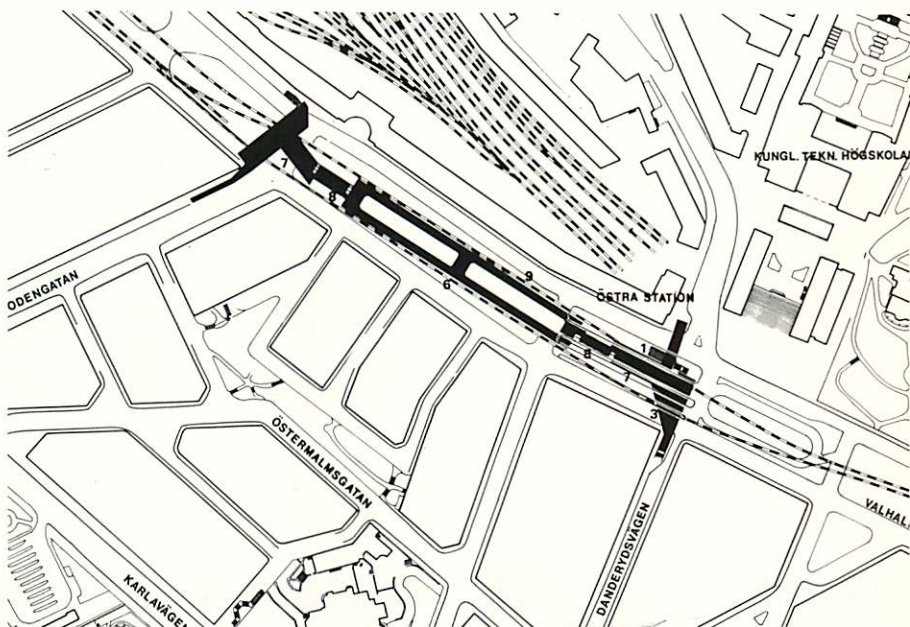
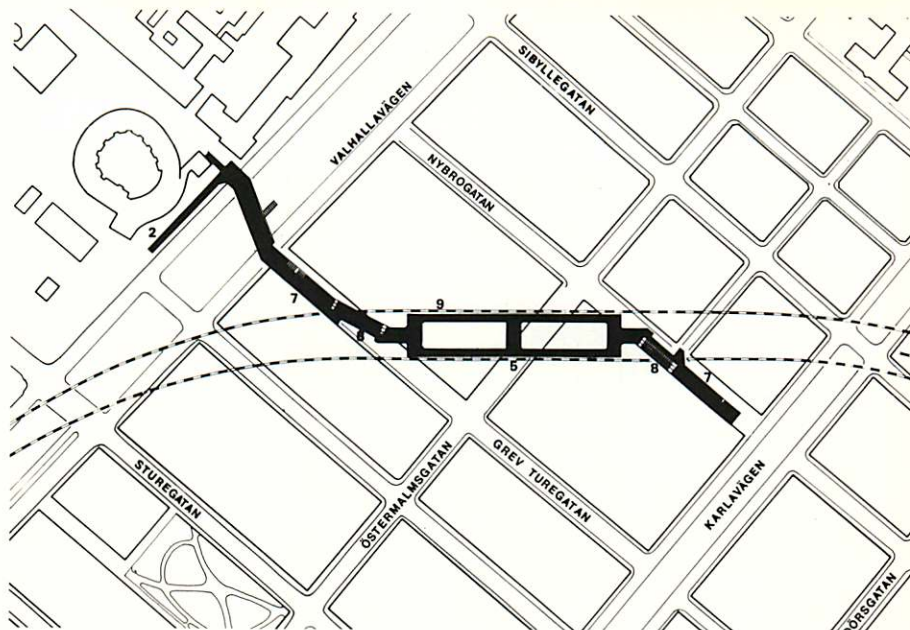
Sektion genom entré vid Nybrogatan, station Stadion

- 1 Entré i förzinkad PVC-belagd sträckmetall. Avstängning med rullgaller bakom entréskylt.
- 2 Nedgång med uppvärmda betongsteg med vaskad yta och väggar gjutna mot specialhyvlade brädor och plywoodform.
- 3 Biljetthall med golv i cementmosaik och tak av aluminium med ljudabsorbenter. Manuellt betjänade spärrkiosker. Trampgrind för utpassering.
- 4 Tre rulltrappor och snedhiss
- 5 Schakt för snedhiss
- 6 Vid plattformplanet
- 7 Hydraulhiss
- 8 Maskinrum
- 9 Elrum
- 10 Personalrum

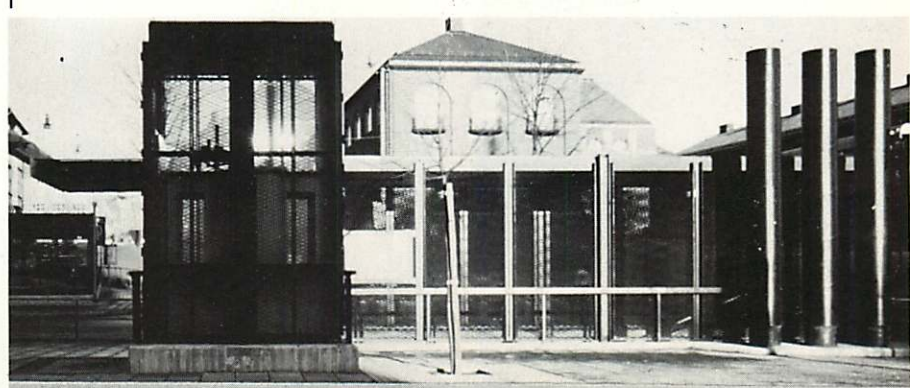


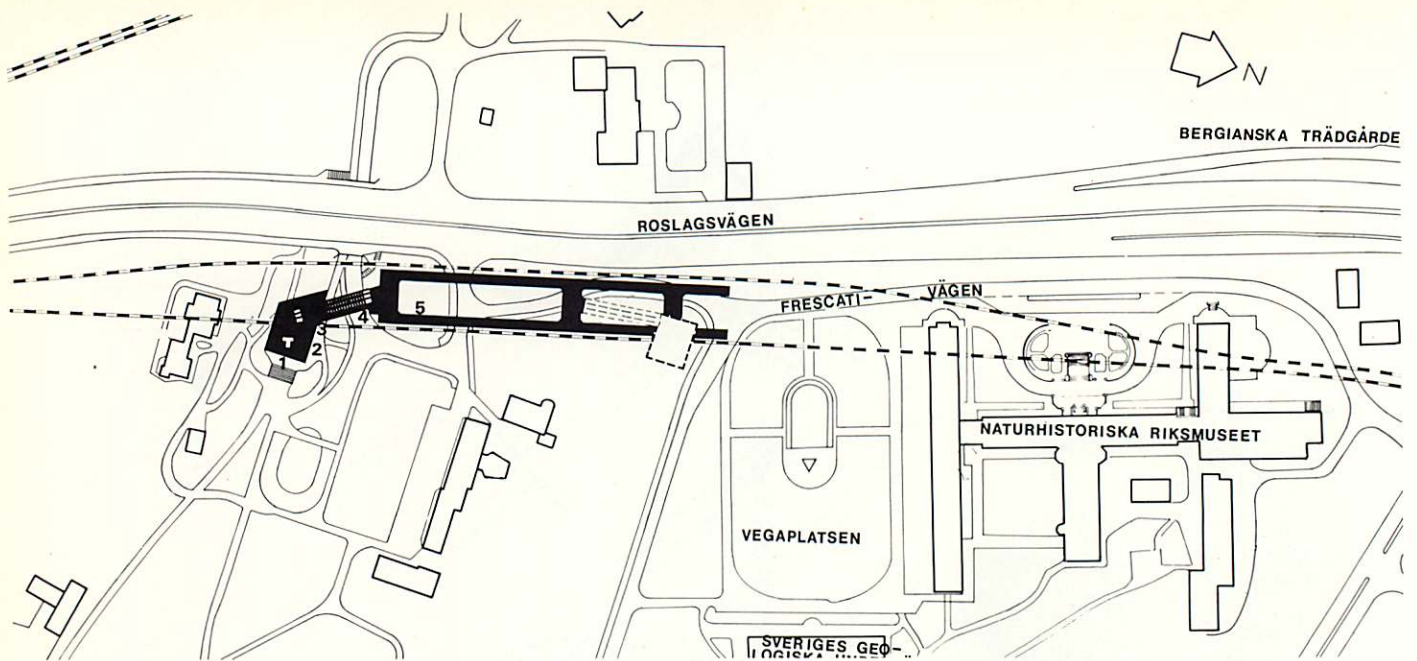
Täbybanan, station Stadion, situationsplan
145 meters plattformslängd

- 1 Hiss och entré vid Tekniska Högskolan
- 2 Ramp vid Stadion
- 3 Gångtunnel mot biljetthall Tekniska Högskolan
- 4 Telefon vid biljetthall
- 5 Tvärtunnel vid Stadion. Dekorationer anknyttande till idrott
- 6 Tvärtunnel vid Tekniska Högskolan. Dekorationer anknyttande till naturvetenskapens och teknikens utveckling



Täbybanan, station Tekniska Högskolan
situationsplan
180 meters plattformslängd





Täbybanan, station Universitetet

- 1 Entré vid Universitetet
- 2 Biljetthall
- 3 Rulltrappschakt
- 4 Rulltrappa vid plattform
- 5 Plattform. Stänkmåleri i infärgad betong. Lövmåleri i acryl

1



2



3



4

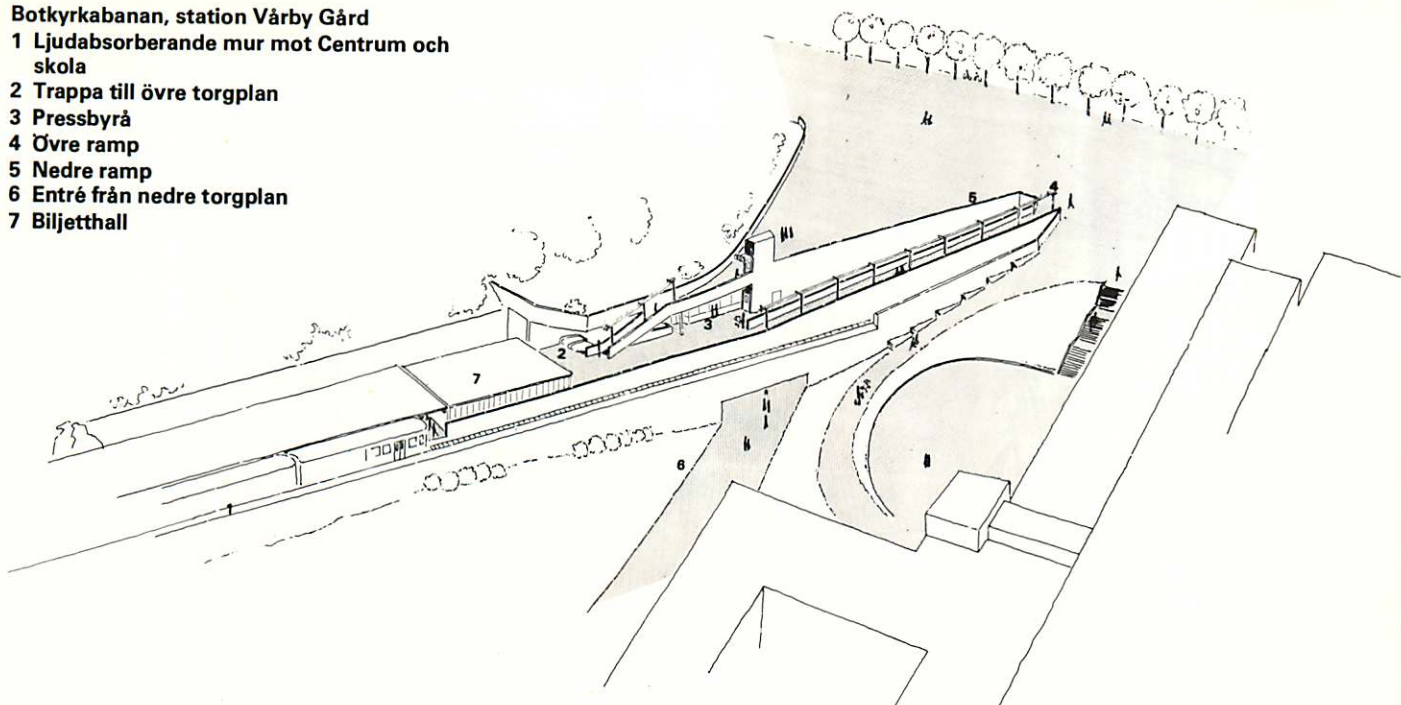


5

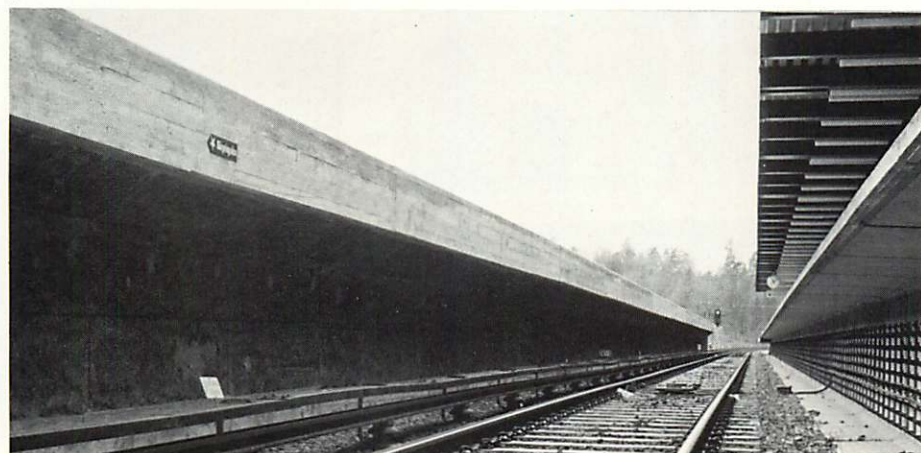


Botkyrkabanan, station Vårby Gård

- 1** Ljudabsorberande mur mot Centrum och skola
- 2** Trappa till övre torgplan
- 3** Pressbyrå
- 4** Övre ramp
- 5** Nedre ramp
- 6** Entré från nedre torgplan
- 7** Biljetthall



1



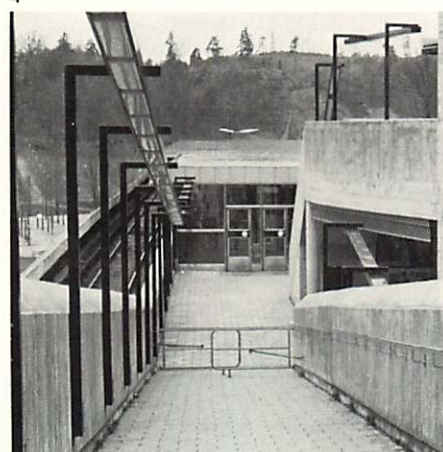
2



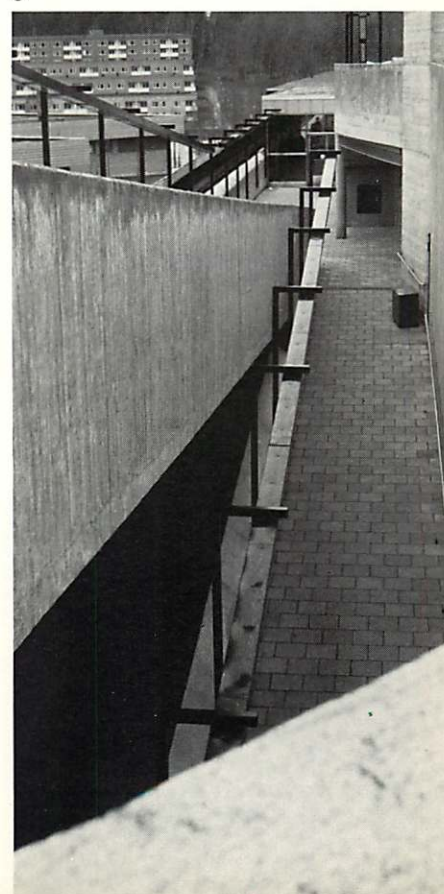
3



4

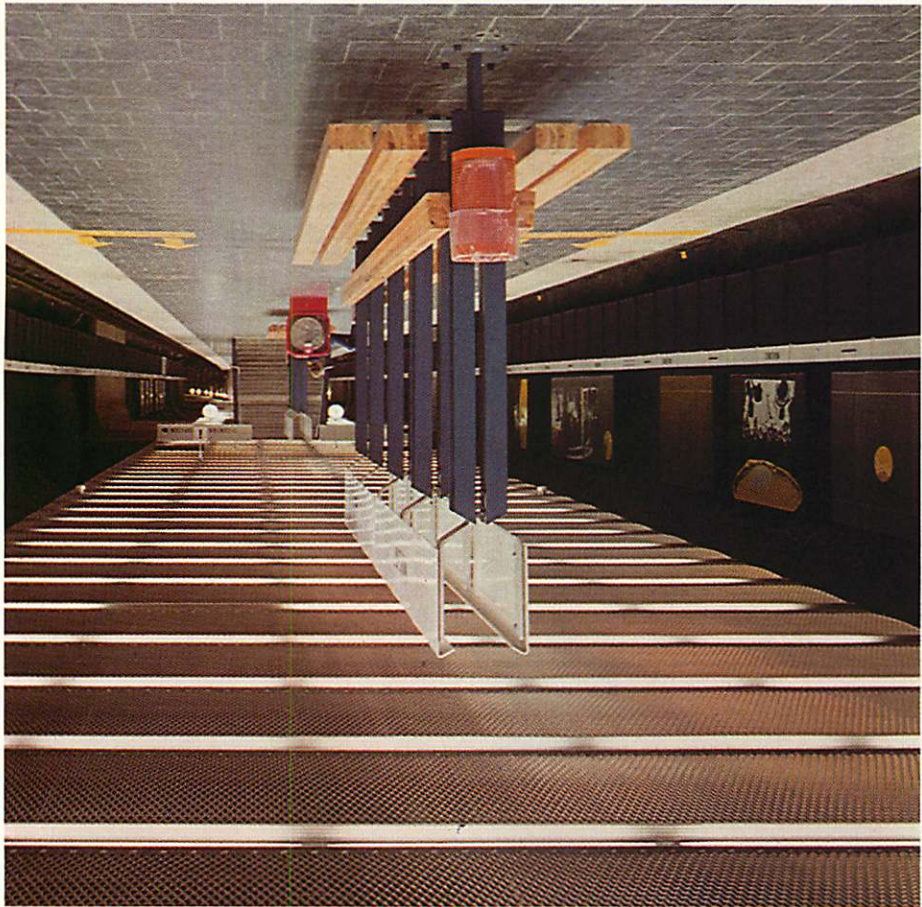


5



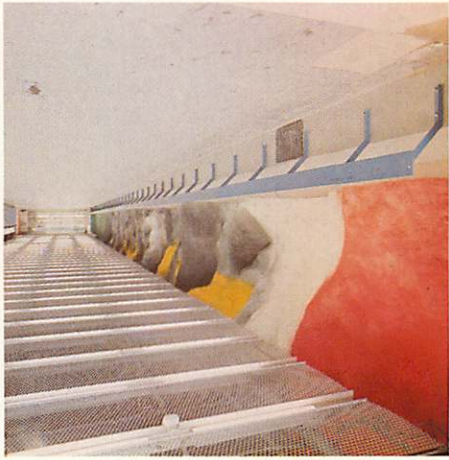
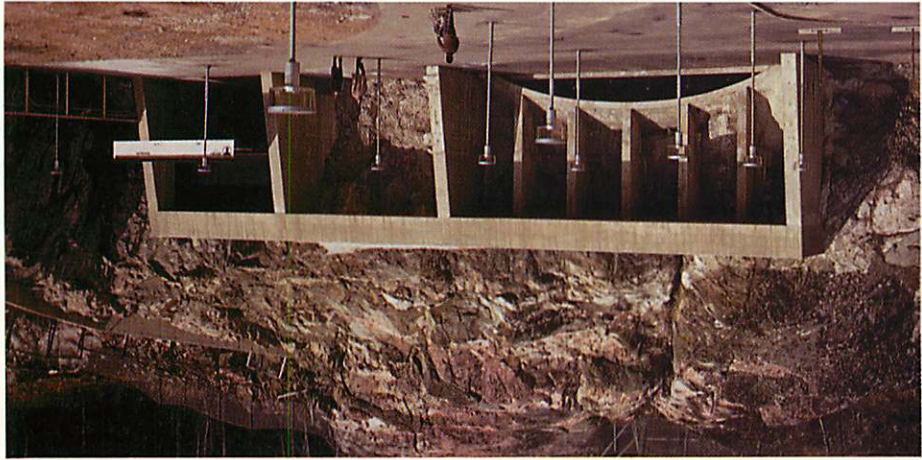
6



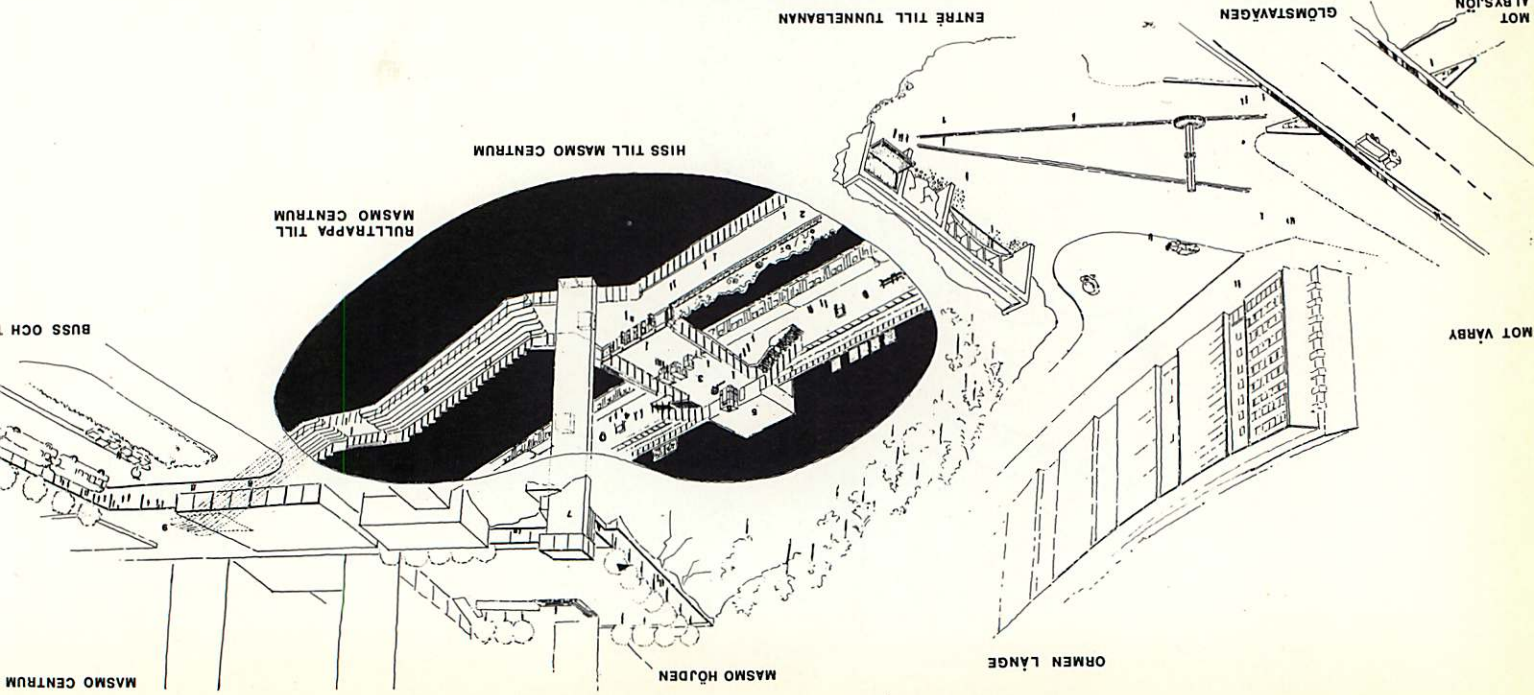


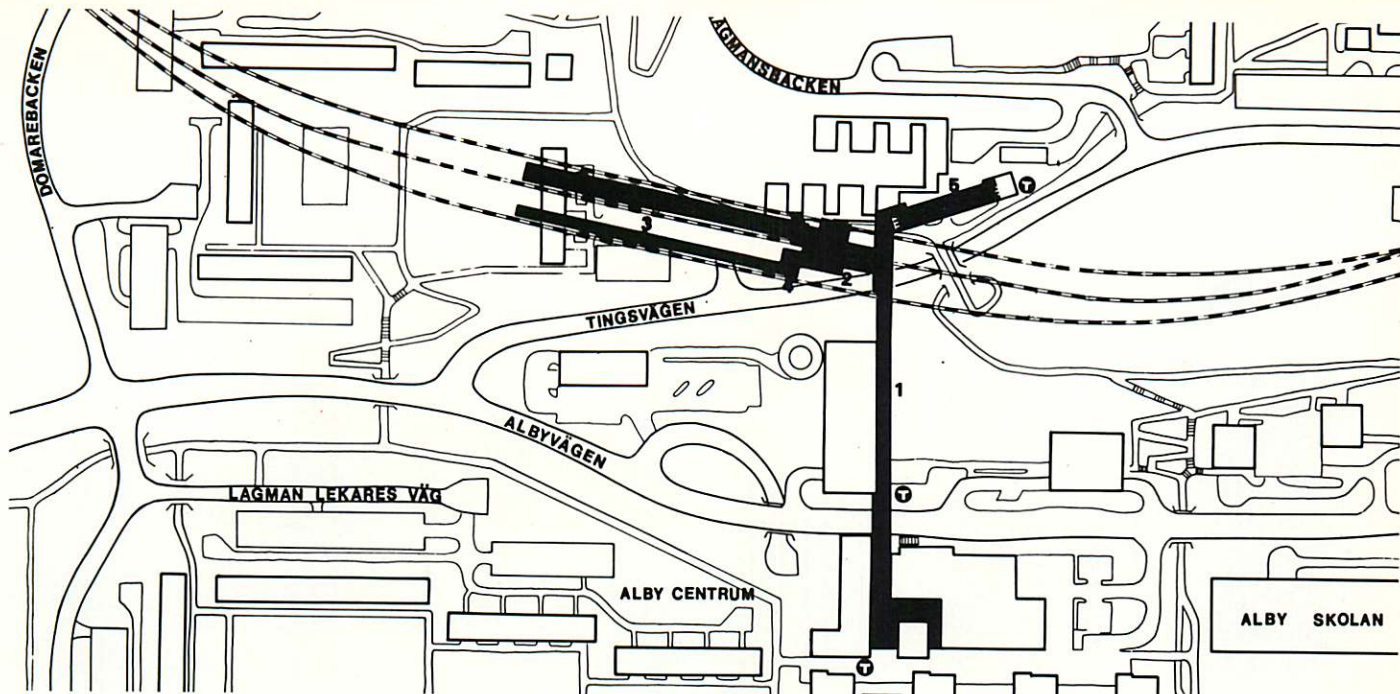
7

- 9 Entré och bussterminal ännu ej utförda
 - 8 Rulltrappor till planerad bebyggelse på
 - 7 Vertikalhiss
 - 6 Hydraulhiss
 - 5 Personalrum
 - 4 Plattform
 - 3 Biljetthall
 - 2 Gångpassage
 - 1 Entré vid Ormen Länge
- Botkyrkabanan, station Masmo



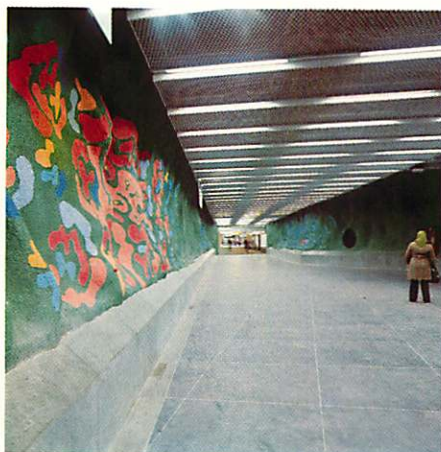
2





Botkyrkabanan, station Alby, situationsplan

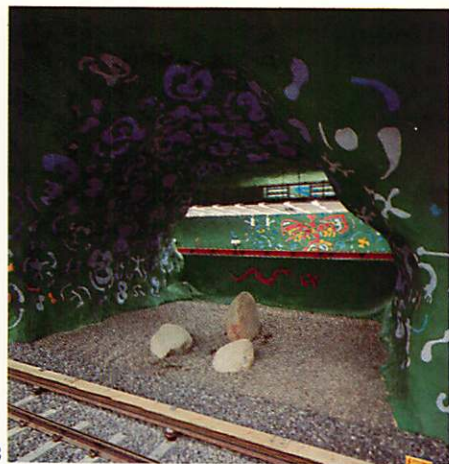
- 1 Gångtunnel förbindande Alby Centrum med biljetthall och Albybergets bostadsområde
- 2 Biljetthall med inläggningar i terrazzo
- 3 Mittvärtunnel. Dekorationer i acrylatmåleri erinrande om hedniska riter
- 4 Tvärtunnel
- 5 Rulltrappa och snedhiss till Albyberget



1



2



3



4

Botkyrkabanan, station Hallunda

- 1 Gångpassage över lokaltrafikled under T-banan, rulltrappa med snedhiss till bebyggelse på höjden
- 2 Entré på höjden
- 3 Plattform

2



3



1



1



Botkyrkabanan, station Norsborg, gångpassage under lokaltrafikled under T-banan och rulltrappa med snedhiss till bebyggelse på höjden

- 1 Entré
- 2 Biljetthall
- 3 Väntplats i plattformplan

2



3



Järvabanan, station Västra Skogen

1 Situationsplan

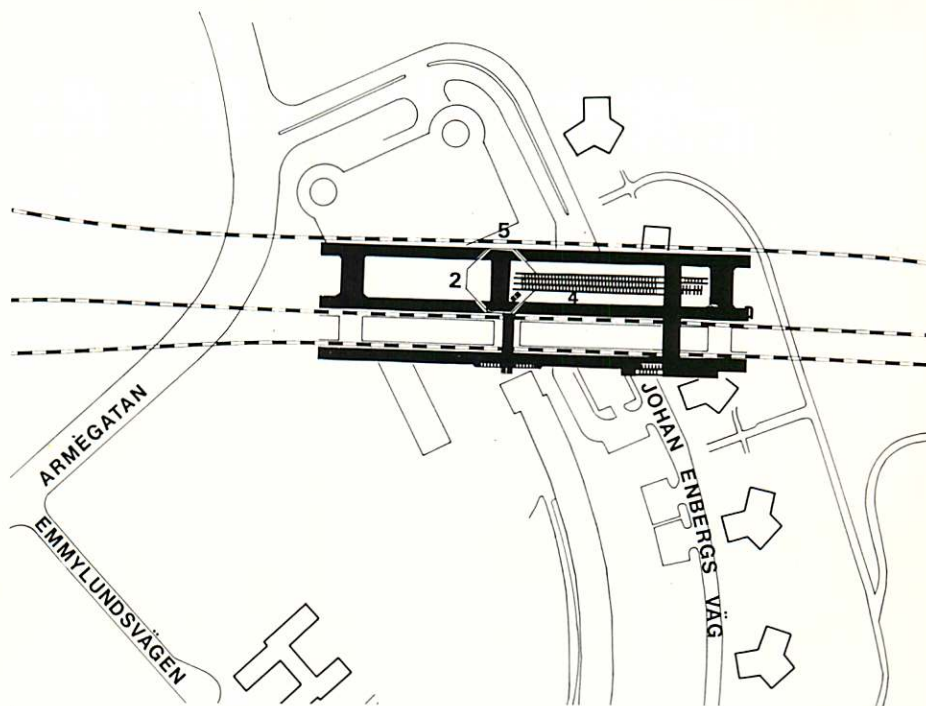
2 Biljetthall med ställverk och personallokal
er i övre del

3 Personalrum

4 Rulltrappa till plattform

5 Gångbrygga mellan plattformar

6 (under byggnad)



3



4



5

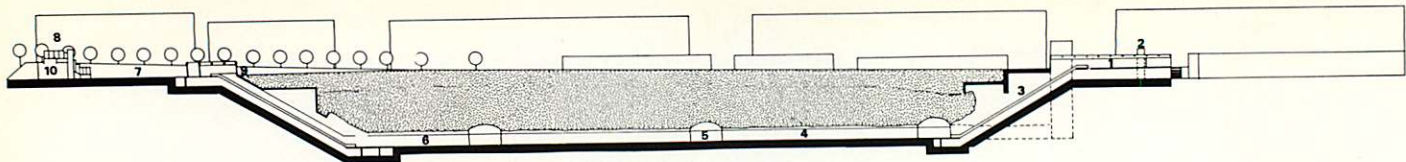


2

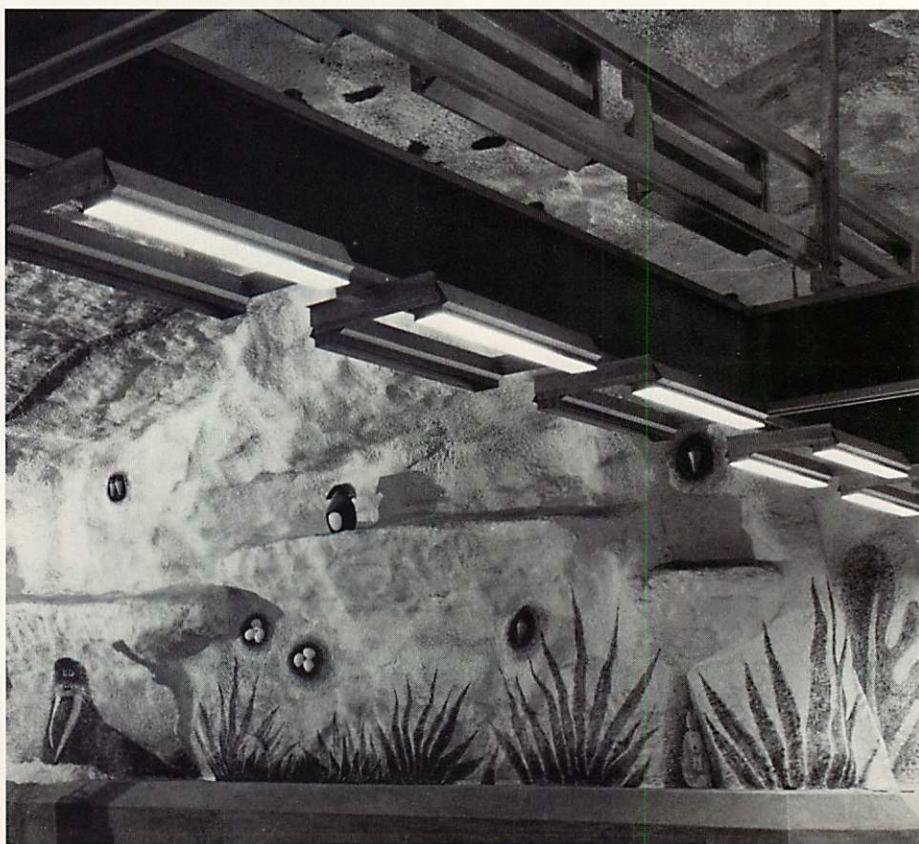
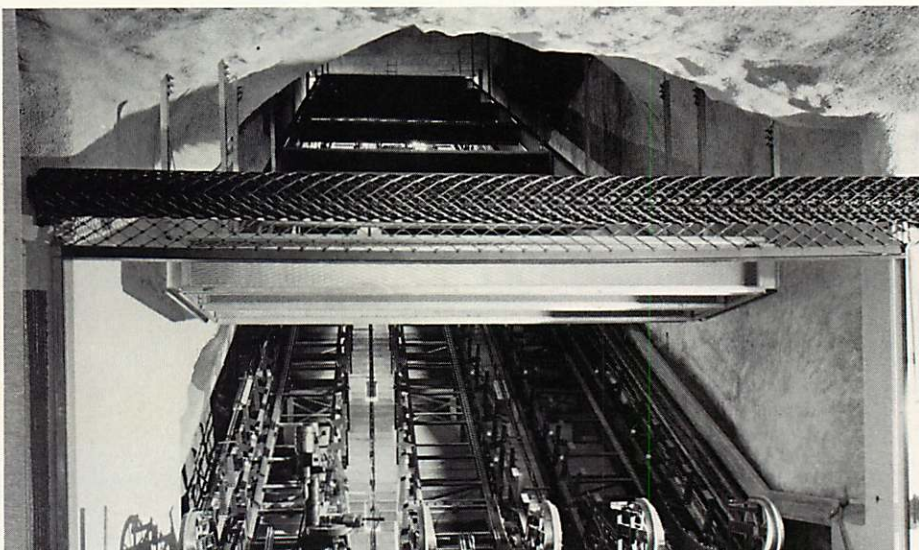


6





- Järvabanan, station Tensta, sekt.
- 1 Biljetthall Tensta Torg
 - 2 Hydraulhiss till Taxingebränd
 - 3 Rulltrappschakt
 - 4 Plattform
 - 5 Mittvärtunnel
 - 6 Biljetthall i plattformplan
 - 7 Bussterminal
 - 8 Hydraulhiss, rulltrappa och trappa
 - 9 Ramp till Tensta Torg
 - 10 Pressbyrå





»Blå tåget». Den nya färgsättningen på tunnelvagnarna av typ C8 och C9

Först litet tunnelvagnshistoria

1949

levererades den första tunnelvagnen. Denna som har s k amerikansk planlösning fick typbeteckningen C1. Sammanlagt levererades 20 sådana vagnar. De tre första av dem har senare ombyggts till C2-typ. Den amerikanska planlösningen innebär, att sofforna intill passagerardörrarna är placerade i vagnens längdriktning och övriga soffor i tvärriktningen. C1-vagnarna liksom senare vagnar typ C2–C4 och de första C6-vagnarna tillverkades av Aktiebolaget Svenska Järnvägsverkstäderna (ASJ) i Linköping och Allmänna Svenska Elektriska Aktiebolaget (ASEA) i Västerås i samarbete. För C1-vagnarna liksom SL:s alla senare tunnelvagnar gäller, att de är byggda för multipeldrift och att varje vagn har fyra drivmotorer. I alla vagnar utom C7 och C9 är två motorer i varje boggi ständigt seriekopplade. Vagnarnas utrustning medger multipelkörning av upp till 10 vagnar i ett tåg. På Tb1 och Tb2 medger dock plattformslängderna inte tåg med mer än 8 vagnar. Den elektriska drivutrustningen i C1-vagnarna är av amerikansk tillverk-

ning. Kontrollern är försedd med noll-läge och följande tre körlägen:

1. Växlingsläge. De fyra motorerna kopplade i serie och samtliga körmotstånd inkopplade.
2. Serieläge. De fyra motorerna fortfarande kopplade i serie. Körmotstånden urkopplas automatiskt stegvis i en takt, som bestäms av ett strömgränsrelä.
3. Parallellläge. I detta läge parallellkopplas motorgrupperna och de på nytt inkopplade motståndsgrupperna urkopplas automatiskt stegvis av strömgränsrelät, varefter shuntningen av motorernas fält sker likaledes automatiskt. Kontrollerveven kan direkt ställas i läge 3, varvid uppkoppling sker automatiskt över samtliga manöversteg. För att samma acceleration skall erhållas oberoende av passagerarlastens storlek påverkas strömgränsrelät av en lastväxel. Detta gör, att relät alltid arbetar med gränsvärden för motorströmmen, vilka svarar mot passagerarlasten.

När kontrollerveven ställs i nolläge bryts drivströmmen till motorerna och dessa kopplas tillsammans med bromsmotstånden till en bromskrets. Härvid upprätthålls, om vagnen är i rörelse, en mindre »kännande ström» genom att ett s k bromsförberedelserelä

reglerar fältförsvagningen och motståndskopplingen till ett läge, som motsvarar vagnens hastighet. Härvid bygges motorernas generatorspänning upp för säker och snabb verkan av den elektrodynamiska bromsen. Den känande bromsströmmen ökar med hastigheten och ger vid hastigheter mellan 70 och 80 km/h en märkbar bromsning och hindrar t ex att tåg som rullar i nedförslutningar får allt för hög hastighet. I C1-vagnarna liksom SL:s alla senare tunnelvagnar utgöres bromssystemet av en kombination av elektrodynamisk broms och tryckluftbroms. Vid driftbromsning är den elektrodynamiska bromsen fullt verksam ned till en tåghastighet av 5 à 6 km/h, varvid luftbromsen endast är ansatt så mycket, att bromsblocken ligger lätt an mot hjulen. När den elektrodynamiska bromsen vid lägre hastighet ebbar ut ökas luftbromsens styrka automatiskt. Driftbromsen manövreras med ett för den elektrodynamiska bromsen och luftbromsen gemensamt handtag vid förarplatsen. Vid nödbromsning, t ex på grund av att ett nödbromshandtag dragits ned, utför enbart luftbromsen bromsarbetet. Nödbromsen påverkas av en lastväxel, så att bromssträckorna vid nödbroms är oberoende av passagerarlastens storlek. För några år sedan kompletterades driftbromsen på alla vagnar så att även vid maximal driftbroms (fullbroms) bromssträckorna är oberoende av lasten. Vagnkopplen på C1-vagnarna är automatiska och av amerikanskt fabrikat. Samma koppeltyp används på alla SL:s tunnelvagnar.

Från och med den 11:e C1-vagnen är samtliga vagnar utom C3 utrustade med hyttsignalutrustning.

1950

levererades den första tunnelvagnen typ C2. Denna har sk europeisk planlösning med parvis motställda soffor. Utvändigt är C2 helt lika C1. Sammanlagt levererades 345 C2-vagnar, den sista 1961.

De första C2-vagnarna är utrustade med samma utrustningar av amerikanskt fabrikat som C1. Snart upptogs emellertid för tunnelvagnarna en licenstillverkning i Sverige av drivutrustningar (ASEA), automatiska vagnkoppel, hyttsignalutrustningar och vissa enklare detaljer i bromsutrustningen.

1957

levererades den första tunnelvagnen typ C3. Under åren 1957–1959 tillverkades sammanlagt 85 sådana vagnar. Förarhytterna i C3 är mindre än förar-

Typ C1 och C2

Typ C1

Antal passagerare 152
Antal sittande 48
Antal vagnar 17
Vagnvikt 30,1 ton

Typ C2

Antal passagerare 138
Antal sittande 48
Antal vagnar 347
Vagnvikt 30,4 ton

Typ C3

Typ C3

Antal passagerare 146
Antal sittande 52
Antal vagnar 84
Vagnvikt 28,5 ton

Typ C4

Antal vagnar 200
Vagnvikt 23,6 ton

Typ C5

Antal vagnar 8
Vagnvikt 20,0 ton

Typ C4 och C5

Antal passagerare 156
Antal sittande 48

Typ C6

Antal vagnar 140
Vagnvikt 23,3 ton

Typ C6

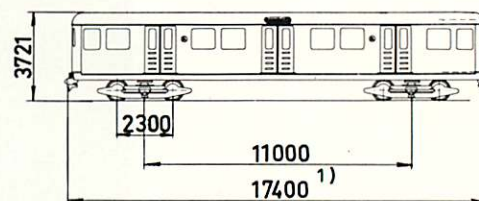
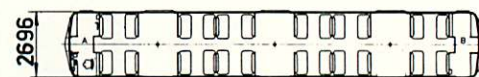
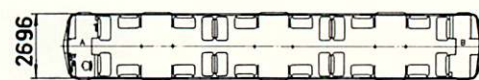
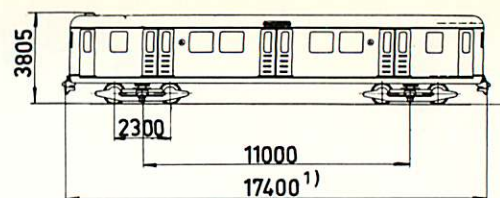
Antal vagnar 20 (10 × 2)
Vagnvikt 22,9 ton

Typ C7

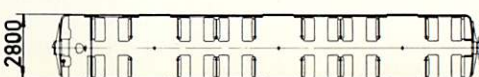
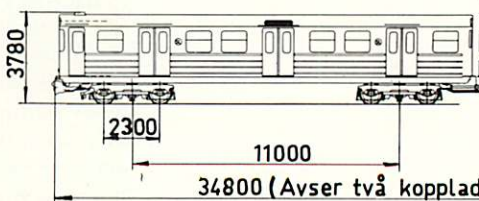
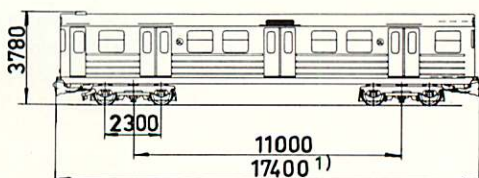
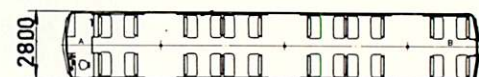
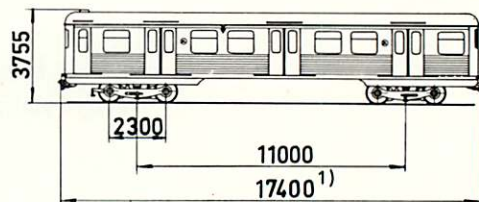
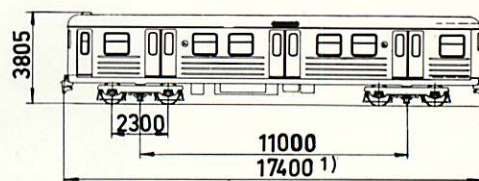
Antal vagnar 8 (4 × 2)
Vagnvikt 25,0 ton

Typ C6 och C7

Antal passagerare 156
Antal sittande 48



¹⁾ Över kopplens stötplan.



hytterna i C 1 och C 2 och har endast utrustning för rangeringskörning. Bland annat saknar de hyttsignal- och tåg-vaktsutrustning. C3-vagnarna kan därför endast användas som sk mellan-vagnar i tåg.

1960

levererades den första tunnelvagnen typ C4. Sammanlagt levererades 200 sådana vagnar, den sista 1967. C4-vagnarna skiljer sig i vissa avseenden från C1–C3-vagnarna. C4 har endast en förarhytt per vagn, är betydligt lättare och har boggier med gummifjädrar. C1–C3 har boggier med spiralfjädrar. Det i C4-vagnarna använda kontaktor-pådraget är av en typ som utgör en av ASEA utförd vidareutveckling av det pådrag som finns i vagnarna C1–C3. Sålunda har antalet startsteg ökat från 18 till 27 och antalet bromssteg från 18 till 25.

C4-vagnarna är liksom SL:s övriga tunnelvagnar utrustade med en värme- och ventilationsutrustning för inblåsning av filterad ytterluft i vagnarna, varvid luften vid behov uppvärms i elektriska värmebatterier. I C1-, C2- och C3-vagnarna blåses luften in i vagnen genom ett perforerat tak och genom öppningar vid golvet.

I C4-vagnarna och samtliga senare vagnar sker inblåsningen enbart genom öppningar vid golvet. De sista 50 C4-vagnarna har en elektronisk termostatutrustning för värmeregleringen. Denna utrustning är mer snabbverkan- de än tidigare vagnars, vilket bland annat är en fördel vid passage in eller ut genom tunnelmynningar.

I den sista C4-vagnen var under åren 1967–1969 på prov inbyggd en tyristorstyrd drivutrustning. Med denna utrustning som var konstruerad och tillverkad av ASEA gjordes omfattande prov som visade, att det är möjligt att använda tyristorvagnar på Stockholms tunnelbana.

1961

Detta år började SL att införa i varje ände av tunnelvagnarna en soffa speciellt avpassad för rörelsehindrade liksom även särskilda hållhandtag vid dessa soffor.

1963

levererades från Aktiebolaget Hägg-lund & Söner i Örnsköldsvik ett provtåg bestående av 8 tunnelvagnar typ C5. Dessa har samma planlösning som C4. C5-vagnarna är mycket lätta. De har bland annat lättare motorer än övriga vagnstyper. C5-vagnarna är SL:s första vagnar som har boggier med luftfjädrar.

C5 har kampådrag av det amerikanska företaget General Electrics fabrikat. Detta pådrag har jämförts med de tidigare vagnarnas kontaktorådrag följande fördelar:

Motorströmmen kontrolleras av en elektronisk utrustning som dels känner strömmens amplitud, dels dess derivata, varigenom man får en mycket noggrann styrning.

I utrustningen ingår en elektronisk fältväckningsanordning, som medför, att man icke behöver bromsförberedelse. Vagnen rullar därför lättare och övergången mellan drivning och rullning blir mjukare. Energiförbrukningen blir lägre.

1965

infördes enmansbemanning på tåg bestående av högst 4 vagnar. Senare har enmansbemanningen utökats att gälla alla tåg utom sådana på Tb 1, vilka består av mer än 6 vagnar. Förarhytterna i vagnarna C1, C2, C4 och C5 med undantag för hytter i C1- och C2-vagnarnas B-ände kompletterades med utrustning för enmansbemanning. De sammanlagt 10 C1- och C2-vagnarna som saknar hytt-signalutrustning och därför endast kan gå som mellanvagnar i tågen fick liksom C3 inte denna komplettering. Kompletteringen bestod i införande av dörrmanövreringsknappar vid förarplatsen och bärbara mikrofoner med lång sladd fästade invid förarhytternas sidodörrar. I mikrofonhandtagen finns knapp för stängning av passagerardörrarna.

1967

levererades som tidigare sagts den sista C4-vagnen och därmed avslutades den av ASJ och ASEA gemensamt se-

dan 1949 oavbrutet bedrivna tillverkningen av tunnelvagnar (typerna C1–C4) för Stockholm. År 1967 hade SL 658 tunnelvagnar av vilka två senare förstörts genom eld, troligen anlagd. Vagnarna C1–C3 används på Tb 1. De är beskrivna i den 1957 utgivna skriften »Teknisk beskrivning av Stockholms tunnelbana». C4–C5-vagnarna används på Tb 2. De är beskrivna i »Stockholms tunnelbanor 1964 En teknisk beskrivning».

1968

togs tunneltågsradio i bruk, varom mera kan läsas i kapitel 15.

1970

levererades de första C6-vagnarna, vilka liksom C1–C4 tillverkades av ASJ och ASEA i samarbete. Vagnarna anskaffades med tanke på ökat vagnbehov på Tb 2. Ytterligare vagnar typ C6–C9 har beställts med tanke på vagnbehov för öppnande av trafik på Tb 3. Dessa vagnar beskrivs närmare i det följande.

1971

började man semipermanent parkoppla ett stort antal C2-vagnar med B-ände mot B-ände. Redan tidigare hade man ur B-hytter tagit ned viss utrustning bland annat förarbrömsventiler för inmontering i vagnar under tillverkning. Genom parkopplingen kunde ytterligare utrustning bland annat koppel frigöras för användning på nya vagnar.

1973

övertog Hägglunds ASJ:s tillverkning av den mekaniska delen av tunnelvagnar.

Grönt tunnelbanetåg på sträckan mellan Sätra och Bredäng



Vagnar typ C6—C9

Antalet vagnar är följande:

160 vagnar typ C6 leverans år 1970—1974

8 vagnar typ C7 leverans år 1972—1973

44 vagnar typ C8 leverans år 1974—1975

20 vagnar typ C9 leverans år 1976

De 20 sista C6-vagnarna och samtliga vagnar av typerna C7, C8 och C9 är parvis semipermanent hopkopplade, varvid endast en av vagnarna i varje vagnpar är utrustad med kompressor och relälåda för hyttsignalutrustningen. Längden av ett sådant vagnpar är 34,8 m mått över kopplens stötpän.

I det följande lämnas uppgifter om vagnarna typ C6—C9, varvid uppgifterna huvudsakligen avser de fall i vilka dessa vagnar skiljer sig från de äldre typerna C1—C5.

C6-vagnar

Vid planerandet av C6-vagnarna utgick man från, att de skulle bli helt samkörbara med vagnar av typ C1—C5 och att de i sina huvuddrag skulle bli av samma utförande som de vagnar, som SL senast beställt, nämligen de 200 av C4-typ från ASJ—ASEA och de åtta provtågsvagnarna C5 från AB Hägglund & Söner. I vissa avseenden skiljer sig dock C6-utförandet från äldre vagnar framför allt i fråga om förarhyttens utformning och vagnens åkkomfort. C6-vagnarnas förarhytter är av en helt ny och främst för enmansdrift av tågen utformad konstruktion, avsedd att göra arbetsförhållandena för tågpersonalen bättre och stationsuppehållen kortare. C6-hytten kännetecknas framför allt av, att förarens plats är mitt i hytten och att förarbordet med dess manöverspakar av ny typ, strömbrytare och signallampor är placerade så lågt, att förarstolen, har normal sitthöjd. Vid en jämförelse med äldre vagnars förarhytter kan vidare nämnas bland annat följande fördelar:

Bättre utformning och placering av manöverspakarna o d

Bättre stol

Bättre sikt

Bättre frontdörrtätning

Bättre placering av manöveranordningar, signallampor o d

Utökad automatik för att underlätta förarens arbete

Arbetet med utformningen av C6-hytten påbörjades 1965. En förarhyttstrapp byggdes 1967 i Hammarbyverkstaden och senare ombyggdes förarhytten i en C4-vagn till C6-utförande. Vagnen genomgick vissa prov och sattes därefter i trafik för att man skulle vinna erfarenhet av den nya hytten i praktisk drift.

För att åkkomforten i C6-vagnarna skulle bli god utrustades dessa med boggier med luftfjädring och med ett pådrag som ger en mer ryckfri gång hos vagnarna än vad tidigare pådrag ger. Innan boggikonstruktionen för C6-vagnarna slutligt godkändes hade en C4-vagn på prov varit utrustad med luftfjädrade boggier av C6-typ omkring 3 år. Även samtliga åtta C5-vagnar har som nämnts boggier med luftfjädring. Erfarenheterna av luftfjädrarna i dessa C4- och C5-boggier har visat, att dessa fjädrar är mycket driftsäkra och ger en bättre åkkomfort än stål- och gummi-fjädrar. Vidare ändras i stort sett icke luftfjädrarnas höjd vid olika belastning, vilket bidrar till att minska variationerna i vagnolvens höjdläge i förhållande till plattformarna.

Pådragen, som är kampådrag, levererades av General Electric, som ju även levererade C5-vagnarnas pådrag.

C6-pådraget är en vidareutveckling av C5-pådraget. Hyttsignal- och bromsutrustning i C6-vagnarna är kopplade på sådant sätt att, om hyttsignalutrustningens summer indikerar, att tågets hastighet överskrider vad signalbilden visar så kommer, oberoende av manöverspakarnas lägen, motorströmmen att brytas och fullbroms att ansättas. Bromsen lossas sedan när hastigheten anpassats till signalbilden, men nytt tillslag av motorströmmen sker ej med mindre än att föraren fört manöverspakarna från 0-läge till något fartläge. Den förare, som kör ett tåg med en C6-vagn som ledarvagn, får alltså icke som på tidigare vagn typer nödbroms, om han vid summersignal inte slår ifrån motorströmmen och bromsar inom 1 à 2 sekunder.

I detta sammanhang kan nämnas, att när tåget stannats och dörrarna öppnats, sänks trycket i bromscylindrarna till lämpligt hållbromsvärde, trots att manöverspakarna ligger i fullbromsläge. Detta är gjort för att vid enmansdrift förkorta tiden för lossning av bromsen vid start från station. Tåget kan ej startas om icke föraren gjort dörrstängningsmanöver.

C6-vagnarnas passagerarutrymmen överensstämmer i det närmaste helt med C4-vagnarnas. Vissa smärre ändringar har dock införts. Sålunda har soffornas plåtunderrede en ändrad form dels för att förbättra möjligheterna till dragfri inblåsning av ventilationsluft, dels för att ge ökat fotutrymme för passagerarna. De 20 sista C6-vagnarna är liksom C8 och C9 utrustade med två soffor för rörelsehindrade per vagnände i stället för en i tidigare vagnar. Vagnar typ C6—C9 har belysning med

varmkatodrör till skillnad från tidigare vagnar som har kallkatodrör. Övergången till varmkatodrör har medfört en förbättring av belysningsstandarden. För dessa vagnar gäller, att jämnast möjliga belysning eftersträvas. En meter över golvet skall belysningsstyrkan i horisontalplanet vara minst 150 lux.

C7-vagnar

C7-vagnarna har tyristorpådrag. Vagnarna är parvis semipermanent hopkopplade med ett för de bägge vagnarna i tvåvagnsenheten gemensamt pådrag. Frånsett pådragsutrustningen överensstämmer C7-vagnparen helt med de tidigare nämnda 10 C6-vagnparen i slutet av C6-serien. Sålunda har endast den ena vagnen i vagnparen kompressor.

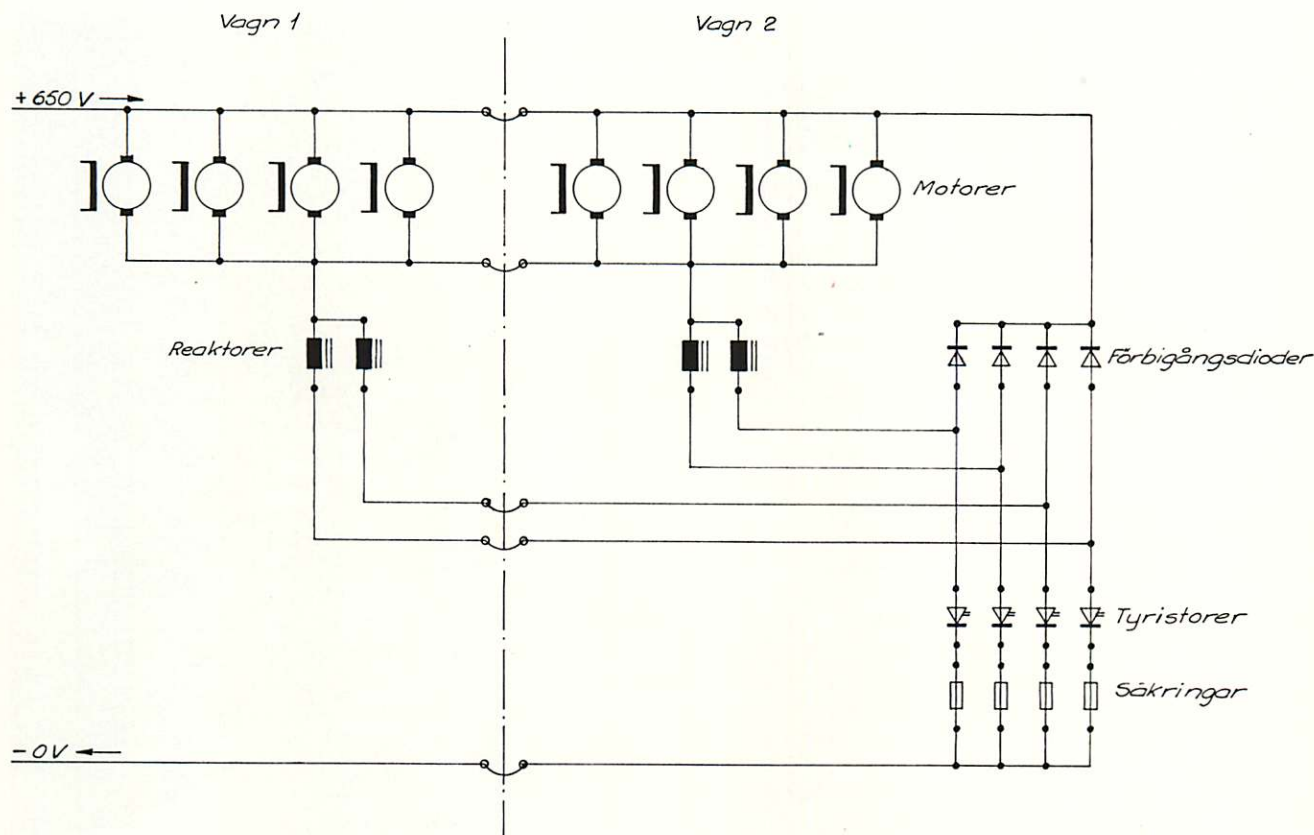
De fördelar som tyristordriften ger, är bland annat lägre underhållskostnader, lägre energiförbrukning, högre åkkomfort (steglös hastighetsreglering) och mindre risk för slirning. Denna minskade risk innebär inte enbart minskning av risken för plattor på hjulen och därmed sammanhängande kostnader och olägenheter utan framför allt en ökning av accelerationen (1,2—1,3 mot 1,0 m/s²) och därigenom kortare restider. Förkortningen av restiden har kalkylerats till 5 à 6 procent.

Nackdelar med tyristorutrustningarna är ett högre pris och något högre (omkring 1,5 ton) vagnvikt.

Varje C7-tvåvagnsenhet är utrustad med åtta parallellkopplade motorer på 100 kW, 375 V och 300 A. Frånsett magnetiseringslindningen är de identiska med den beprövade motortyp som används på alla tunnelvagnar av typerna C1—C4, C6 och C8. C7-motorerna är separatmagnetiserade, vilket vid parallellkoppling praktiskt taget eliminerar risken för slirning.

Det finns fyra »choppers» för matarströmregleringen. De arbetar i otakt (fasförskjutna 90°) för att pulsationerna på nätet skall bli så små som möjligt. Endast den ena vagnen i tvåvagnsenheten har strömvatagare.

Det finns tre »bromschoppers» som har till uppgift att när tåget bromsas fördela bromsenergin mellan nätet och bromsmotståndet så att mesta möjliga energi återmatas. Enligt gjorda prov är strömförbrukningen för ett C7-tåg 25—30 % lägre än för ett lika tungt tåg med konventionellt pådrag. Vagnarna är försedda med omkopplare så att de kan köras med sk bana 1-karakteristik dvs som vagnar C1—C3, bana 2-karakteristik dvs som vagnar



Tunnelvagn typ C7. Principschema för tyristorutrustningen

C4–C6 samt med bana 3-karakteristik dvs maximal acceleration. Driv- och bromsutrustningarna medger en topphastighet av 90 km/h. C7-vagnarna är omställbara för linjespänning av 650 respektive 750 V.

C8-vagnar

C8-vagnarna är parvis semipermanent sammankopplade till tvåvagnsenheter. Varje sådan enhet har strömvtagare endast på en av vagnarna. Likaledes finns kompressor endast på den ena vagnen. Vagnarna är omkopplingsbara för 650 och 750 V linjespänning. I varje vagn är inbyggt ett kampådrag av General Electrics fabrikat och i varje tvåvagnsenhet finns viss utrustning som är placerad i den ena vagnen och som är gemensam för de bägge pådragen. Innan det slutliga utförandet av C8- och C9-vagnarna bestämdes, uppdrog SL åt experter att inkomma med förslag angående vagnarnas såväl utvändiga som invändiga formgivning och färgsättning. Efter omfattande utredningar med studium av skisser och modeller kom man fram till det nu gällande utförandet.

Till skillnad från de tidigare vagnarna C1–C7, vilka alla är gröna utvändigt, är C8-vagnarna liksom C9-vagnarna utvändigt blå. Även invändigt har färgsättningen och formgivningen ändrats. I övrigt är C8-vagnarna lika C6. Båda vagnstyperna är byggda för en högsta hastighet av 80 km/h.

C9-vagnar

C9-vagnarna är liksom C7-vagnarna byggda i tvåvagnsenheter med ett för dessa bägge vagnar gemensamt tyristorådrag omkopplingsbart för 650 respektive 750 V linjespänning. Pådraget är av ASEA:s fabrikat. C9-vagnarnas färgsättning in- och utvändigt samt inredning överensstämmer helt med C8-vagnarnas. C9-vagnarna är byggda för en topphastighet av 90 km/h.

Några huvuddata

I det följande är några huvuddata för SL:s tunnelvagnar angivna. Där ej annat sägs gäller dessa data samtliga vagn typer (C1–C9).

Längd över kopplens stötplan:

ensam vagn	17,40 m
tvåvagnsenhet	34,80 m

Längd över vagnkorgens gavelväggar

C1–C5	17,00 m
C6–C9	16,99 m

Största utvändiga bredd

2,80 m

Bredd över vagnkorgens sidor:

C1–C3	2,70 m
C4–C9	2,80 m

Största utvändiga höjd vid tom vagn med nya hjulringar (mätt över radioantenn) över

Rök omkring 3,81 m

Boggicentrumavstånd 11,00 m

Axelavstånd i boggi 2,30 m

Hjuldiameter vid oslitna hjul 864 mm

Vikt (medelvärde) i ton av tom vagn med oslitna hjul:

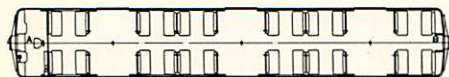
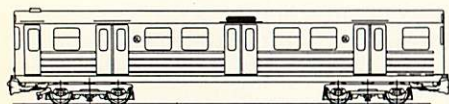
C1	C2	C3	C4	C5
30,1	30,4	28,5	23,6	20,0
C6	C7	C8	C9	
23,3	25,0	23,3	25,0	

Vagnkorgskonstruktion

C1–C4 och C6–C9 svetsad och nitad stålkonstruktion. C5 huvudsakligen svetsad och nitad stålkonstruktion klädd med plåt av aluminiumlegering. Boggikonstruktion: svetsade stålbo-ggier med en motor för varje axel.

Antal

passagerare	sittande	stående	totalt
C1	48	104	152
C2	48	90	138
C3	52	94	146
C4–C9	48	108	156



Tunnelvagn C9



Interiör, vagn typ C8

Interiör från förarhytt, vagn typ C8–C9

Rissnehallen

Den för Tb3 (Järvabanan) erforderliga skötsel- och uppställningsanläggningen för tunnelbanevagnar förlades efter samråd mellan AB Storstockholms Lokaltrafik (SL), dåvarande Kommunalförbundet för Stockholms stads och läns regionala frågor samt Sundbybergs kommun till Rissneområdet i norra Sundbyberg. Området är välbeläget med hänsyn till de trafikgeografiska önskemålen om direkta spårförbindelser med Järvabanornas södra och norra grenar.

Det för skötselanläggningen aktuella området ligger på södra sidan av den

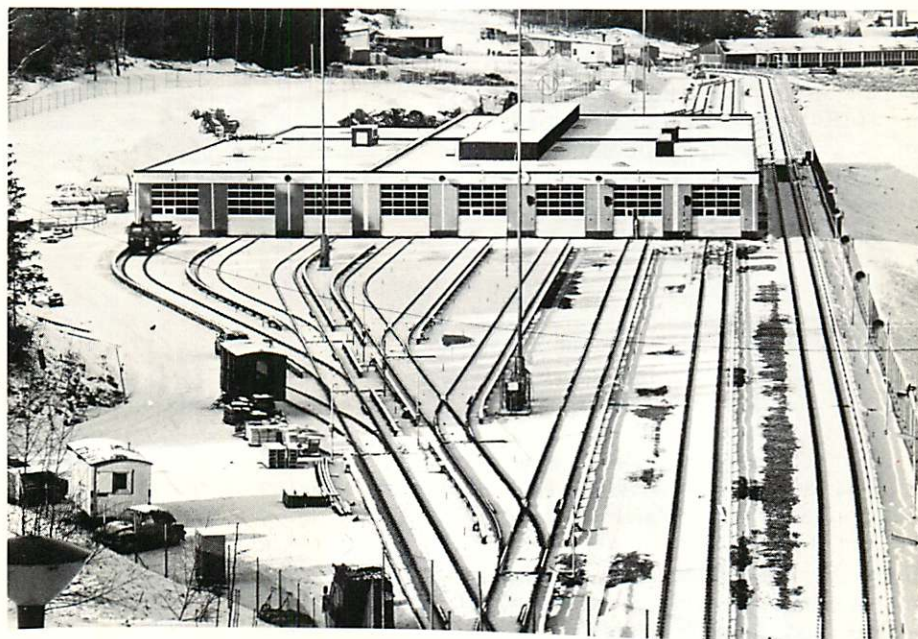
dalgång på vars norra sida Europaväg 18 går fram. Området gränsar i norr till dalgångens sanka mittparti, i öster till Hallonbergens västra bergssluttning, i söder till det bergparti som Råsta skog utgör och i väster till det kuperade område som för närvarande, 1975, disponeras av Tygskolan.

Innan anläggningen fick sin slutliga utformning diskuterades med hänsyn till områdets geotekniska förutsättningar, huruvida den skulle placeras konventionellt helt öppet på ytan eller om delar av anläggningen kunde placeras underjordiskt i berg.

Ett ytläge skulle komma att kräva en i

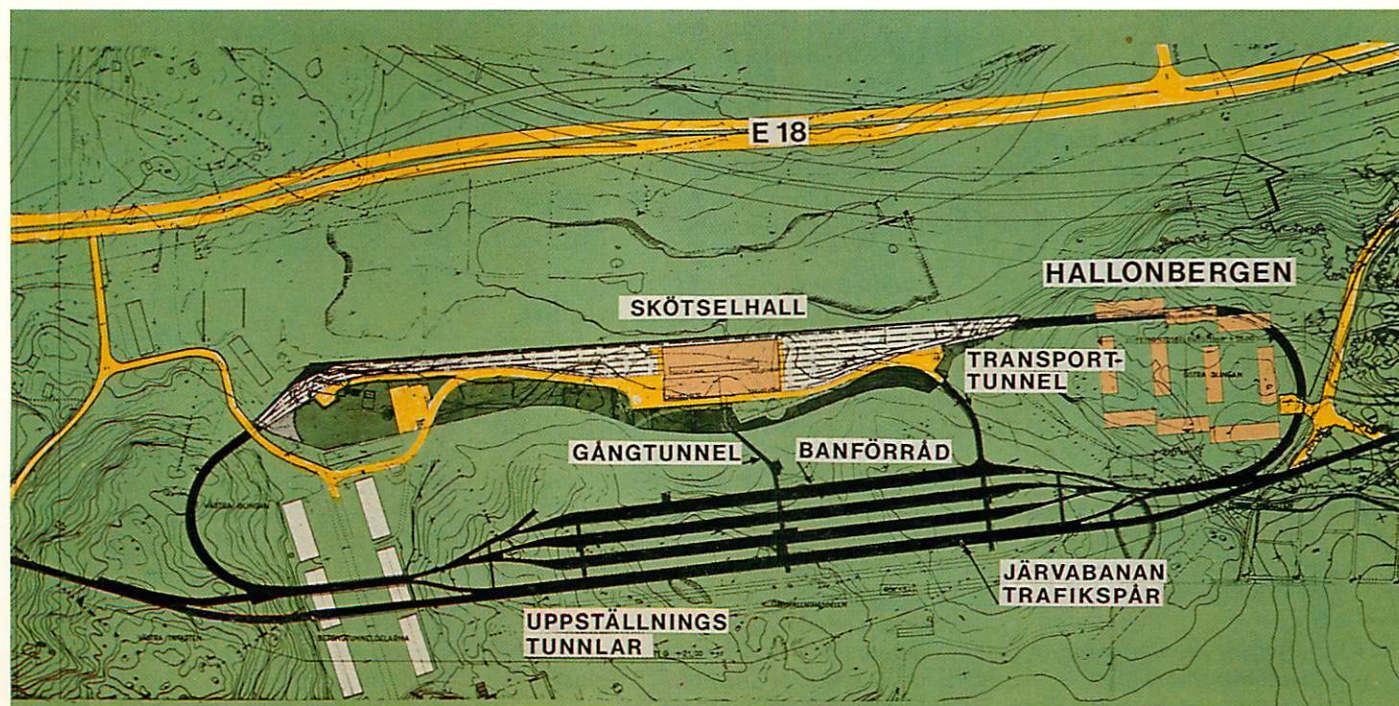
stort sett plan öppen yta av ca 100 000 m² medförande betydande terrasseringsarbeten med omfattande markförstärkningsåtgärder. Enbart markförstärkningsåtgärderna överslagsberäknades 1967 till närmare 9 Mkr. Vidare skulle ytalternativet kräva ett djupgående ingrepp i bergmassivet längs områdets södra gräns, ett ingrepp som skulle bli svårt att inordna i det framtida landskapet.

Man valde till slut en anläggning med skötseldelen placerad på en öppen yta på ca 30 000 m² och med uppställningsdelen förlagd helt underjordiskt i berg. Anläggningen består således av



Rissnehallen, verkstaden mot öster

Rissnehallen, situationsplan



en öppen del med en på denna centralt placerad skötsel- och administrationsbyggnad med anslutande rangerbangårdar, en tunneldel med uppställnings-spår som fullt utbyggda rymmer 240 tunnelbanevagnar, anslutande spårförbindelser med bl a en tvåspårig tunnelsinga i vardera östra och västra delen som förbindelse mellan uppställnings- och skötseldel, en transformatorstation samt två centralt belägna kopplingsrum för strömskenedriften.

Markstabilisering

Planeringen av det öppna partiet har åstadkommit genom en begränsad inschaktning och bergsprängning i den södra slutningen och utfyllnad i områdets norra delar. Därvid har stabiliseringsåtgärder fått vidtagas i form av bankpålning för att förhindra fyllnads-massorna från att glida ut mot dalgångens sank mittparti. Åtgärden avser även att skydda den huvudvattenledning, tillhörig stockholmstraktens vattenverksförbund, som är framdragen längs dalsänkans mitt. Vid bankpålningen har använts ca 2 200 betongpålar 250×250 mm med en medellängd av 8,5 m, placerade i ett rutnät 2×2 m. Den kombinerade skötsel- och administrationsbyggnaden täcker en yta av 5 118 m². Byggnadens södra delar är grundlagda på berg, mellanpartierna på plintar och norra delarna på stödpålar i varierande längder från 3 till 14 meter. Byggnaden består av en platsgjuten källare, en byggnadsstomme av strängbetong, väggar och tak av lättbetong samt fasaden kring administrationsdelen av sk lackaluminiumplåt.

Fyra bergskepp

Huvudparten av tunneldelen består av fyra 370 meter långa bergskepp rymmande tre uppställningsspår vardera med plats för 20 vagnar per spår. Den teoretiska spännvidden för dessa bergskepp är 11,2 meter. Skeppen är genom olika förbindelsetunnlar anslutna till slingor och utfarter. Vidare finns tvärförbindelser mellan de olika bergskeppen. Tunneldelen har krävt en utsprängning av 205 000 m³ berg. Bergkvaliteten är relativt god, vissa partier har dock fått förstärkas med uppsprutade betongvalv i huvudsak beroende på att betryggande bergtäckning saknats. Samtliga väggar och tak har betongsprutats för att i första hand förhindra vattengenomsläpp från sprickor i berget. För dränering av tunnlar har byggts en grundvattenpumpstation. Beträffande de tekniska problemen



Gångtunnel vid transformatorstationen

med förbindelse-spårerna mellan vagnhallen och Hallonbergen på ena sidan och Rinkeby på den andra sidan hänvisas till kapitel 8.

Invid gångtunneln från skötselhallen ligger en transformatorstation med ställverk effekt 600 kVA, som försörjer underjordsdelen med belysningsström och el-kraft. Del av belysningen är prioriterad, vilket innebär, att om denna transformatorstation faller ur, belysningen automatiskt kopplas över på skötselhallens station.

Brandskydd

Uppställningsdelens tvärtunnlar har försetts med brandavskiljande väggar med dörrar som automatiskt stängs vid ett eventuellt larm. Varje uppställnings-skepp kommer därigenom att utgöra en avskild brandcell. Vad gäller brandförsvaret i övrigt är uppställningsskeppen vid varje tvärtunnel utrustade med rökdetektorer som är anslutna till såväl nämnda branddörrar som till en i skötselhallbyggnaden placerad larmcentral. I skötselhallbyggnaden har värmedetektorer installerats. Anläggningens larmcentral är ansluten till Solna/Sundbybergs brandförsvär.

Anläggningskostnad

Kostnaderna för Rissneanläggningen uppgår till följande belopp.

	Mkr	Mkr
Projekteringskostnader (totalt)		2
Byggekostnader:		
Öppen del,		
komplett med byggnad men		
exklusive VVS och El samt spår-, ström-		
skene- och signalanordningar	14	
Öppen del, VVS och El	5	19
Tunneldel, komplett exkl. spår-, ström-		
skene- och signalanordningar		16
Hela anläggningen, spåranordningar	9	
Hela anläggningen, anordningar för		
strömskena och signaler samt växeldriv	4	13
Totalt		50

Uppställningshallens utnyttjande

Då vid Järvabanans öppnande för trafik ca 90 vagnar erfordras, utnyttjas endast två tunnlar för uppställningsändamål till en början. Dessa tunnlar är försedda med gångbryggor av betong mellan spårerna för att medge bekvämt tillträde till vagnarna. Det nordligaste tunnelskeppet disponeras tills vidare som banförråd, dvs för lagring av räls, slipers, växlar m m. Infartstunneln från markytan medger, att lastbilar med 20 m räls kan köra ned till

Uppställning av tunnelvagnar vid gångbrygga

förrådet. För hantering av materiel har uppsatts en 2 tons-travers med en längd av 250 m. I tunnelskeppet har vidare anlagts ett spår avsett för uppställning och lastning av verkfordon. I denna tunnel har installerats ventilationsanordningar för att suga ut avgaserna från dieseldrivna fordon. Under Järvabanans utbyggnadsskede utnyttjas två spår i det sydligaste skeppet som trafikspår och det tredje spåret användes endast vid rangering av tunnelvagnar.

Växlar i anslutning till trafikspår regleras från ställverket vid Västra Skogen. Övriga växlar har tryckknappmanövrerade elektriska driv. Manöverlådorna är placerade så högt, att de även kan användas från förarhytterna på tunnelvagnarna. Växeltungorna är dessutom fjäderbelastade så att de kan köras upp.

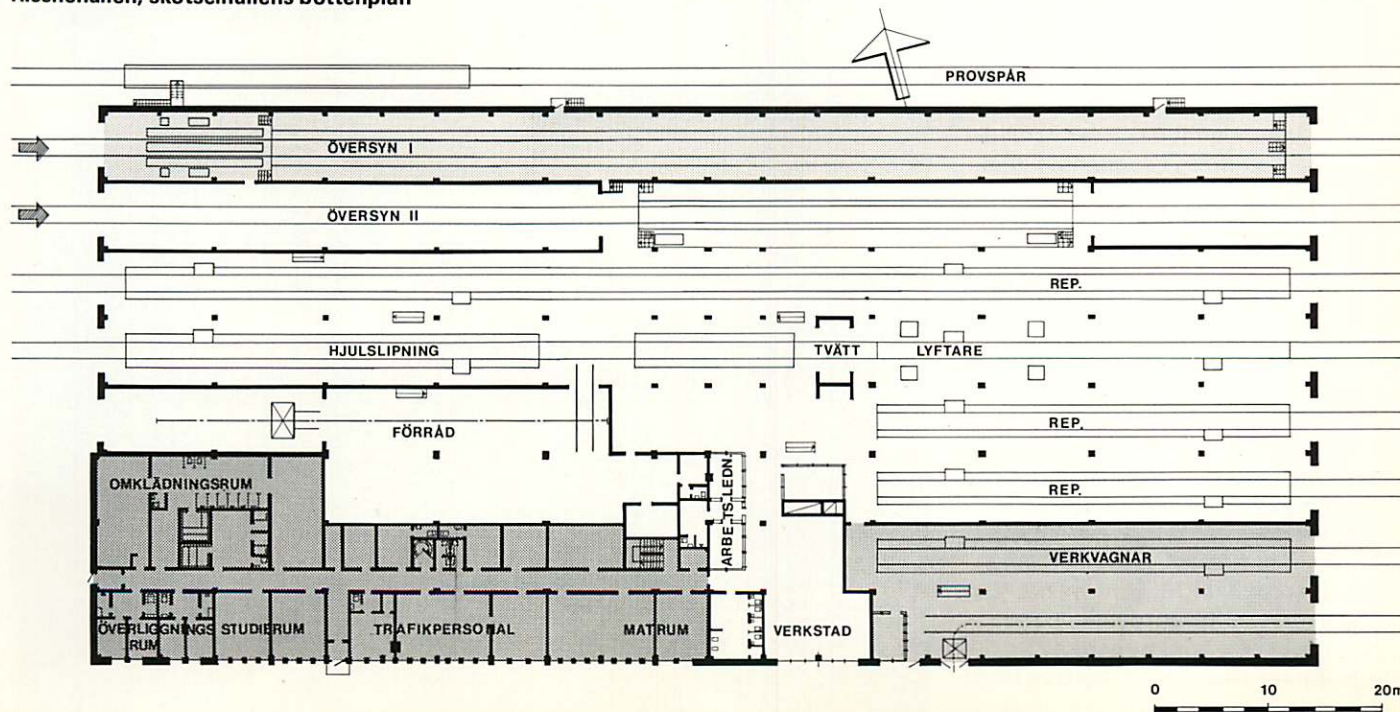
Skötselhall

I skötselhallen finns utrymmen för underhåll av tunnelvagnar och verkvagnar, förråd samt personalutrymmen och kontor för trafikmästare. Anläggningen för underhåll av tunnelvagnar är avsedd för parkopplade tunnelvagnar. Närmast norra fasaden är placerat ett genomgående spår för »Översyn I». Spåret rymmer i första utbyggnadsetappen fyra vagnar men kan förlängas så att tio vagnar rymms. I västra änden finns en tvättmaskin för ut-



Rissnehallen, spårharpa

Rissnehallen, skötselhallens bottenplan



vändig rengöring av tunnelvagnarnas sidor och tak. Efter tvättmaskinen har spåret plattformar på bägge sidor i nivå med vagnsgolvet.

»Översyn I» omfattar utöver utvändigt tvätt även ursopning, kontroll av hytt-signalsystemet samt visuell kontroll av vagnarnas underreden och utföres med ett intervall av 2–3 dagar.

»Översyn II», som f n har ett intervall av 9400 km (motsvarande ca 6 veckor) utföres på det andra genomgående spåret. Arbetet bedrivs på två stationer. På den första stationen rengöres vagnparet grundligt både ut- och invändigt. Den andra stationen är utrustad dels för smörjning, dels för mekanisk och elektrisk inspektion. För att underlätta arbetet är golvhöjden utanför vagnsidorna så anpassad, att den medger bekväm arbetsställning för översyn av bl a strömavtagare, motorer och pådragsutrustning. Här finns dessutom installationer för kontroll och justering av vagnens hyttsignalutrustning. Efter andra stationen finns en utfartssluss. Tunnelvagnarna drages fram mellan stationerna med hjälp av en kättingtransportör, som har installerats omedelbart innanför den ena rälen.

En arbetsgrav har utrustats för »Översyn III», som innebär en omfattande tillsyn av vagnarnas utrustning. Denna översyn utföres vartannat år.

För reparation av skilda vagnfel finns utöver vad ovan nämnts arbetsgravar med plats för tre vagnpar samt en, där korgen kan lyftas med fyra domkrafter. Vidare finns arbetsplats för boggier och en hjulslipplats.

För att kunna utföra underhållsarbete på vagnarnas elektriska utrustning erfordras möjlighet att mata med driftspänning, dvs 650 respektive 750 V likström. Detta görs med hjälp av från taket nedhängande matarkablar som kan anslutas till ett uttag i vagnens huvudfrånskiljarlåda.

För utkörning av tunnelvagnar är arbetsgravarna försedda med korta längder av strömskena, delvis nedsänkta i golv. Dessa ges spänning genom att föraren från hytten kan nå en tryckströmbrytare. Tidrelä bryter strömmen efter ca 15 sekunder. Utrustningen ger således möjlighet för en man att köra ut tunnelvagnar.

Skötselhallen är också utrustad med dels en mindre mekanisk verkstad med diverse verktygsmaskiner, dels en verkstad för underhåll av aggregat till vagnarna. En provbänk för kontroll och justering av tryckluftsaggregaten har installerats. Den är konstruerad av SL. Förråd för reservdelar och verktyg finns i nära anslutning till arbetsplatserna.



Översyn I – tvättmaskin, Rissnehallen

Reparationsgrav med tunnelbanevagn, Rissnehallen



Utefter norra fasaden på skötselhallen ligger ett rakt provspår om 600 m. Under spåret ligger en arbetsgrav för justering av strömgränsrelä m m samt renblåsning av motorer. Spåret användes dels vid viss felsökning, dels för årliga prov av tunnelvagnarnas pådragsutrustning.

Underhåll av verkfordon

För mindre underhåll av verkfordon disponeras sydöstra delen av skötselhallen. Bägge spåren har förstärkts så att de klarar ett max. axeltryck på 150 kN (15 Mp), min. axelavstånd 2 m. (Övriga spår avsedda endast för tunnelvagnar har dimensionerats för max. axeltryck 75 kN (7,5 Mp), min. axelavstånd 2,3 m). Under ena spåret är förrådsutrymme.

Kontor och personallokaler

För övervakning av utryckning samt beordring av reservpersonal är trafikmästare stationerade i anläggningen. Kontorsutrymmet är i anslutning till skötselhallens entré.

Personallokalerna består av omklädnadsrum med bl a bastur för män och kvinnor, två studierum, fyra överliggningsrum, rum för personalombud, toaletter, reservpersonalrum (trafik) samt matrum. I källaren disponeras skyddsrum för fritidsaktiviteter, t ex bordtennis.

Den normala gångvägen för trafikpersonalen, då den kommer till tjänstgöring är via källaren genom gångtunneln till mitten av uppställningsskeppen.

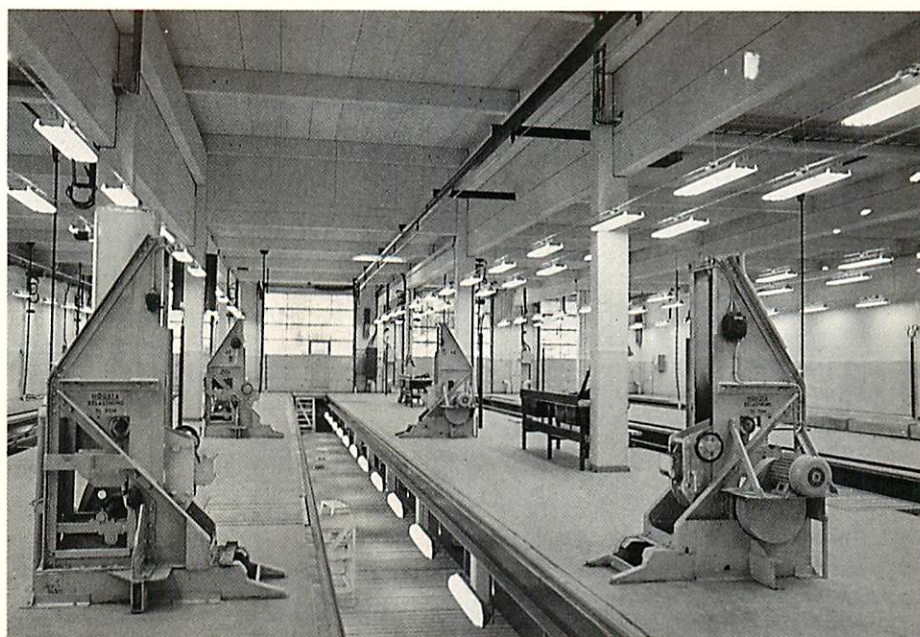
Driftutrymmen

Anläggningen är ansluten till fjärrvärme från Hallonbergen. Värmeväxlare är placerad i källaren och där finns även en transformatorstation med hög- och lågspänningsställverk. Effekt 1 600 kVA. Vattenåtervinningsanläggning har installerats för vattnet från tvättmaskinen på »Översyn I»-spåret.

Vagnhallar för Tb 1 och Tb 2

För uppställning och underhåll av tunnelvagnar har hallanläggningar byggts i anslutning till de olika bansystemen. Sålunda finns för Tb 1 Hammarbyhallen (byggd 1947), Spångahallen (1952) och Högdalshallen (1957–1958). I dessa hallar är f n 450 tunnelvagnar stationerade. För Tb 2 finns Nybodahallen (1964) i vilken f n stationeras ca 300 vagnar.

Reservpersonalrum



Korglyft



Rissnehallen, omklädnadsrum och tvättrum



De nämnda anläggningarna har sådan kapacitet, att de klarar det löpande underhållet av tunnelvagnar under 6–10 år mellan två revisioner, med undantag för stora kollisionsskador. För revision och reparation av sistnämnda typ av skador utnyttjas tunnelvagnverkstaden i Hammarby. Den är gemensam för de tre tunnelbanesystemen.

Tunnelvagnsverkstaden i Hammarby

Läge och storlek

Av nedanstående illustration över situationsplanen för verkstaden i Hammarby framgår anläggningens placering och tomtmarkens disponering.

Verkstadstomtens yta är ca 110 000 m², varav för verkstadsbyggnad disponeras 21 000 m², för hallbyggnad 11 500 m², för administrationsbyggnad 1 200 m², för stationshus 400 m² och för panncentral 500 m². Den totala bebyggda markytan är således ca 35 000 m².

Verkstadsbyggnad med panncentral är uppförd i två plan, administrationsbyggnaden i tre plan, stationshus i tre plan. I norra änden av verkstadsbyggnaden finns kontor för husbyggnads-

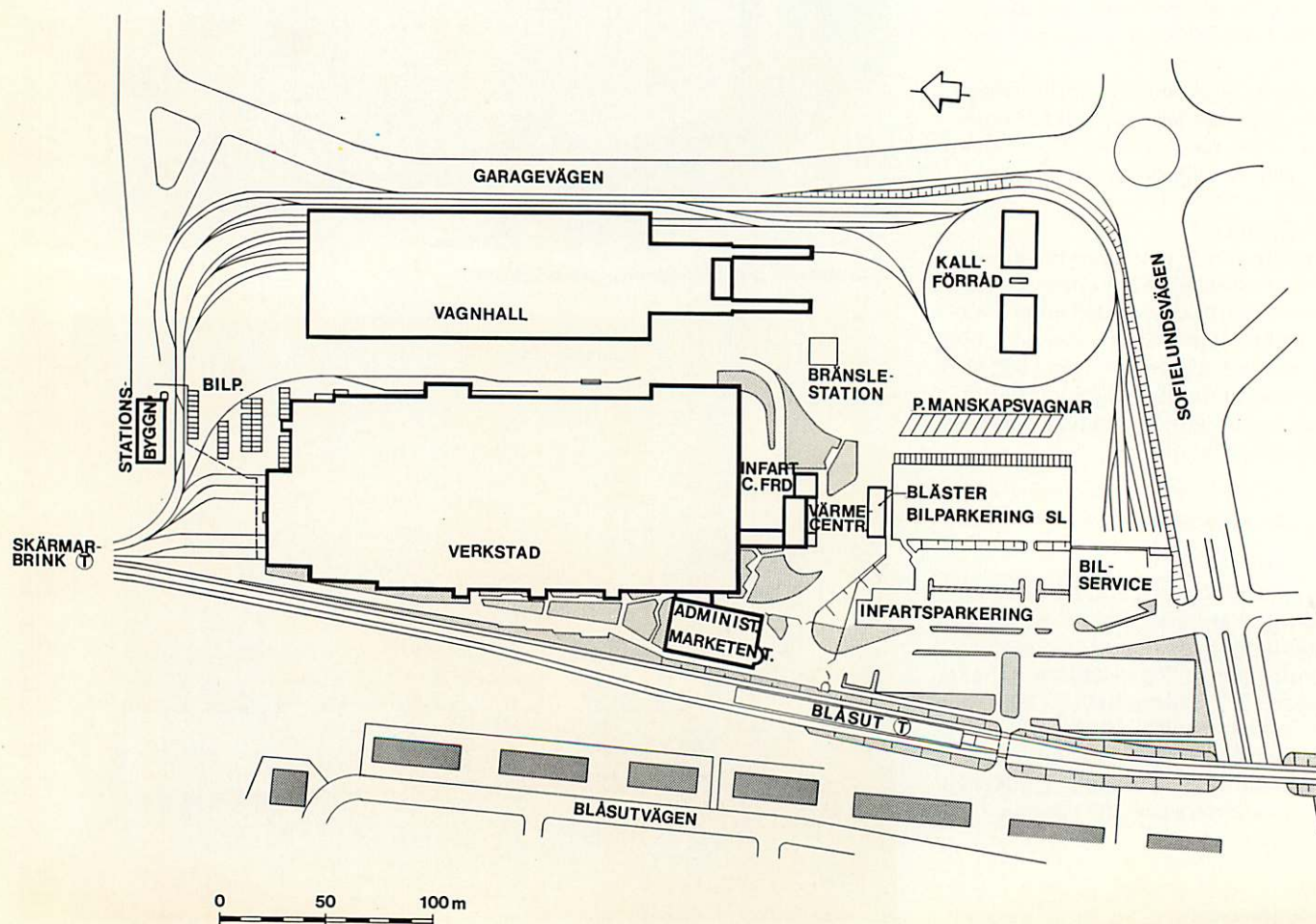
och bansektionernas administration och arbetsledning. I stationshuset finns utöver trafikpersonalens lokaler även kontorsutrymmen för elektrosektionen. På samma tomt ligger Hammarbyhallen, som disponeras för uppställning och underhåll av bussar och tunnelvagnar, tunnelvagnsunderhåll dock endast i begränsad omfattning. Spårförbindelse till trafiknätet upprätthålles med ett stickspår till Skärmarbrinks station på Farstabanan.

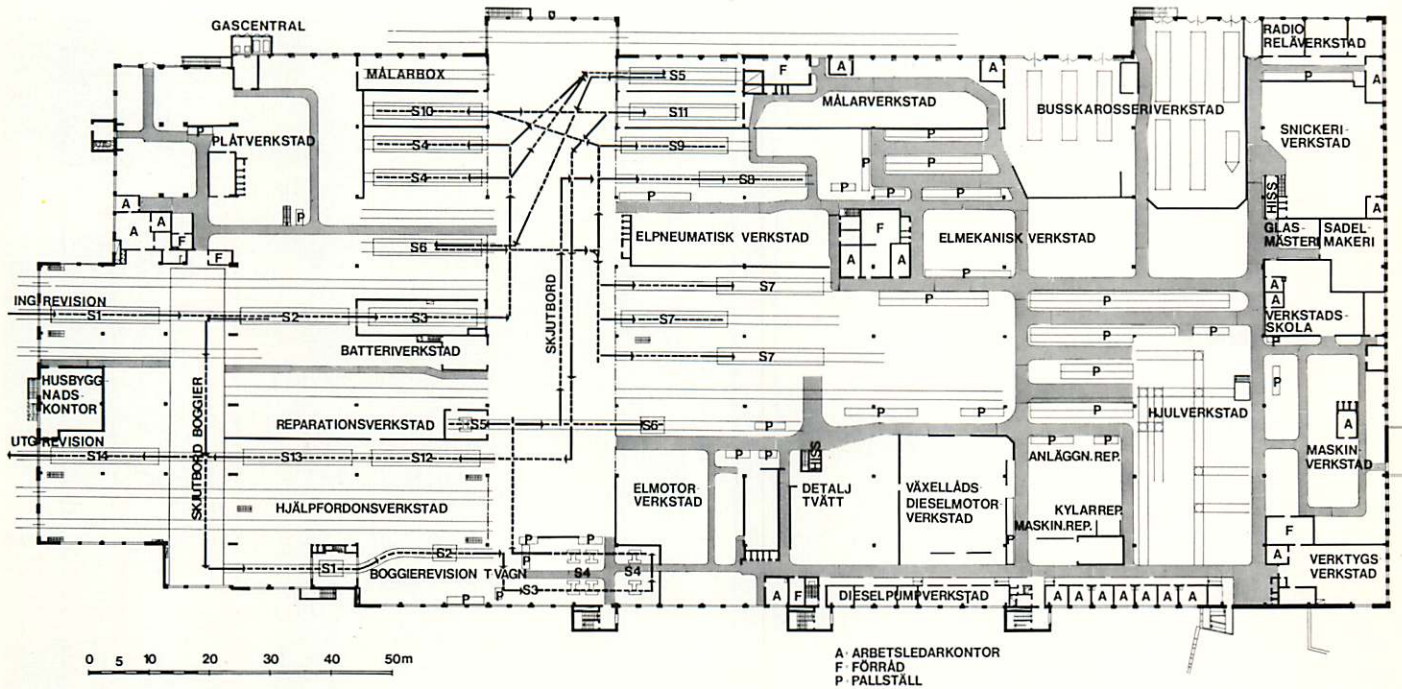
Revision av tunnelvagnkorgar

En beskrivning av verkstaden sker lämpligast i samband med en genomgång av arbetsförloppet. Det största arbetet är revision av tunnelvagnar. Låt oss därför följa arbetsrutinen för en dylik revision. Vagnkorgarnas, respektive boggiernas väg genom verkstadens bottenplan har markerats på vidstående bild.

Station 1: Tunnelvagnen tages in på station 1, där utrustning i och utanpå vagnen demonteras, tex soffor, soffstommar, belysning, väggfyllningar, strålkastare, handtag m m.

Hammarbyverkstaden, situationsplan.





Hammarbyverkstaden, bottenplan

Provplats för pneumatiska aggregat

Station 2: Vagnen lyftes med fyra domkrafter, driftboggierna transporteras med skjutbord till boggierevisionsavdelningen. Utrustning under vagnen, såsom pådragsutrustning, hyttsignalutrustning, kompressor, bromssystem och koppel demonteras. Nedtagna detaljer transporteras ofta i specialvagnar till respektive detaljverkstad, som demonterar aggregaten, rengör, reparerar och provar utrustningen. Slutligen sänks vagnen ned på »verkstadsboggier» som ger lämplig arbetshöjd på underredet.

Station 3: Vagnkorgen tvättas utvändigt (väggar, tak och underrede). Tvättboxen är utrustad med högtrycksvatten, slam- och bensinavskiljare i avloppet samt separat utsug av ventilationsluft. Då tvättboxen har byggts med god ljudisolering utnyttjas den även för starkt bullrande arbeten som nitning av vagnkorg och rostknackning med pneumatiska verktyg.

Station 4: Plåtskador på vagnkorgen repareras, nya plåtar svetsas i väggar och golv. Orsaken till skadorna är oftast rostangrepp. Två vagnar ryms på denna station.

Station 5: Vagnkorgen målas invändigt, taket utvändigt samt underredet.



Målarboxen är utrustad för elektrostatisk målning samt med arbetsställningar för takmålning. Bild av målarboxen nedan.

Station 6: Här provas elkablarna och defekta utbytes. Träggolv och fönster monteras.

Station 7: Denna station rymmer tre vagnar och här monteras aggregaten som genomgått på de olika detaljverkstäderna. I anslutning till denna station är pallställ uppställda för lagring av aggregat till tunnelvagnar.

Station 8: Vagnkorgen lyfts från verkstadsboggierna, utrustningen genomgår grundliga prov t ex täthetsprov på tryckluftssystemet, uppkopplingsprov på pådragsutrustningar, funktionsprov på dörrar. Därefter sänks korgen ned på driftsboggier.

Station 9: Inredningen, soffstommar m m monteras.

Station 10 och 11: Utvändiga skador på färgen slipas, vagnen förbereds för utvändig målning och målningen utförs.

Station 12 och 13: Kompletterande montering av utrustning utföres t ex handtag, fotsteg, soffor samt kompletteringsmålning. Vagnkorg och boggi ihopkopplas och avvägs samt strålkastarna inställs. Vidare utföres ihopkoppling av parkopplade vagnar.

Station 14: slutligen är en provstation, där hyttsignalutrustningen kontrolleras samt vagnen avsynas. Accelerationsprov göres inom anläggningen och därefter provkörs vagnen på trafikspår. Eventuella efterjusteringar görs på station 14.

Revision av boggierna

Även då boggierna revideras genomgår de ett stationssystem (8 stationer). Efter tvättning med högtrycksvatten, 14 MPa, demonteras motorer och andra detaljer, tyngre detaljer såsom balkar och hjulpar avlyfts, medan mindre detaljer läggs i tvättkorgar i en särskild tvättavdelning. Översyn och justering sker också av de mindre enheterna i boggierna och hela satser färdigställs för montering. Sprickor och förslitna ytor på boggiernas balksystem svetsas

Montering av aggregat under vagn

Hammarbyverkstaden, målarbox för tunnelvagnkorg



Trafikering och driftfrågor

Tb 1

Den första tunnelbanan trafikeras, som redan nämnts i kapitel 8, sträckorna Hässelby Strand–Farsta Strand respektive Hagsätra och Bagarmossen. De tre sistnämnda stationerna är under dagtrafiktid ändstationer för var sin linje, 17, 18 och 19.

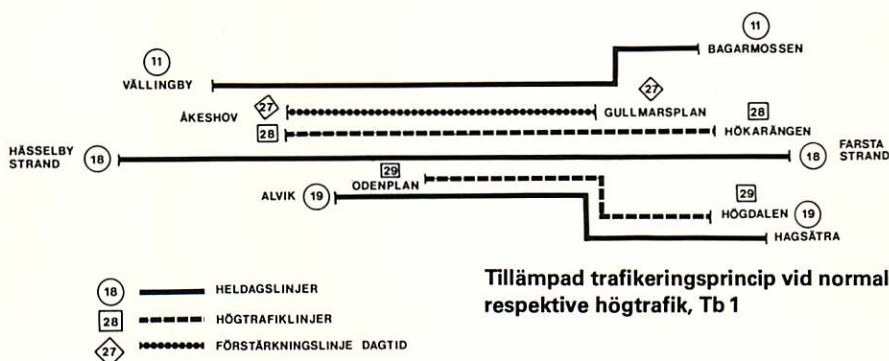
Genom att Västerort på den nordvästra delen av bansystemet har mindre trafikunderlag än Söderort förs endast en av de tre nämnda linjerna, nr 18, ut till den längst västerut belägna ändstationen, Hässelby Strand. Linje 17 vänder vid Vällingby och linje 19 vid Alvik. På liknande sätt förekommer under

under maxtimmens högtrafiktid såväl morgon som eftermiddag.

Under vintertabellens högtrafik trafikeras Tb 1 med fem tågtyper i 10-minuterstrafik. Detta innebär 120 sekunders trafik på den för alla tåg gemensamma sträckan Gullmarsplan–Odenplan.

Eftersom signalsystemet är konstruerat för ett tågintervall av 90 sek vid 30 sek stationsuppehåll innebär detta, att det för varje tåg finns en »störningsmarginal» av $120 - 90 = 30$ sek. En ytterligare förtätning av tågtrafiken är teoretiskt möjlig men innebär, att trafiken blir mera störningskänslig.

På Bagarmossgrenen är belastningen under maxkvarten på morgonen så



och justeras, varefter balkarna behandlas med en elektrostatisk sprutmålningsmetod, varigenom rostskydd och täckfärg påföres.

I hjulverkstaden överses hjulparen och förses med nya hjulringar om så erfordras eller alternativt nya helhjul. Axlarna ultraljudprovas, växellådorna kontrolleras och hjullagren rengörs och infettas. Slutligen monteras boggiedelarna.

Reparations- och ombyggnadsarbeten

Större reparations- och ombyggnadsarbeten på tunnelvagnar och verkvagnar utförs i verkstadens norra ände och i anslutning till det större skjutbordet. Följande aggregat- och hjälpverkstäder för tunnelvagnsunderhållet finns:

El-pneumatisk verkstad, elmekanisk verkstad, radio- och reläverkstad, maskinsnickeri, maskinverkstad, verktygsavdelning, hjul-, el-motor och batteri- verkstäder, måleri, plåtslageri och sadelmakeri. Placeringen av de olika verksamheterna framgår av illustration över bottenplanen.

Förråd

I källarplanet disponerar förrådsrörelsen ca 14 000 m². I förrådet lagerförs ca 30 000 detaljer med ett totalt värde av ca 14 Mkr.

Förbindelse utifrån till förrådet är via en nedfart till en förrådgård, som har en sådan nivå, att lastning och lossning kan ske bekvämt vid lastkajer. För kommunikation mellan förråd och verkstad finns utöver trappor två hydraulhissar på 5 ton.

högtrafiktid avkortad trafik med ytterligare två linjer – 28 och 29 – vilka sätts in på de två längsta och hårdast belastade södra bangrenarna. Avkortningen gäller även insättandet söderut, där tågen vänder vid Hökarängen och Högdalen. Vändning i Västerort görs för linje 28 vid Åkershov och för linje 29 redan vid Odenplan. För att klara trafikanttillströmningen under lunchtid och eftermiddag har en förstärkningslinje 27 inrättats, som trafikerar sträckan Gullmarsplan–Åkershov.

Den nu gällande trafikeringssprincipen som tillämpats sedan den 1 september 1970 framgår av nedanstående illustration.

Det är av stor betydelse, att de olika tågen får så lika belastning som möjligt. Härigenom skapas förutsättning för lika längd på stationsuppehållen och lika körtider mellan stationerna. Tågen får på detta sätt lättare att hålla jämna intervaller under färden.

För att åstadkomma en jämn trafikbelastning är bl a ordningsföljden i vilken de olika tågen skall framföras på den gemensamma sträckan mycket viktig. Olika tågföljder har provats under årens lopp men sedan 1970 tillämpas tågföljden 17, 28, 18, 29 och 19 dvs med insattstågen omedelbart före sina huvudlinjer. Denna tågföljd har visat sig ge den bästa fördelningen av trafikanterna

hög, att man tvingas sätta in ett extratåg i korriktning norrut. Detta finns det egentligen inte utrymme för, då »störningsmarginalen» mellan två tåg endast uppgår till 60 sek. Resultatet blir smärre förseningar på efterföljande linjer, vilka som regel inhämtas efter 5 à 6 minuter.

Trafikbelastningens dygnsvariation är betydande, vilket framgår av bild på sidan 180, som redovisar belastningen vid station Slussen. Variationen i trafik efterfrågan regleras genom att man dels sätter in de två tågtyper, som endast går under högtrafik (linjerna 28 och 29), dels genom att tågen under lågtrafik delas.

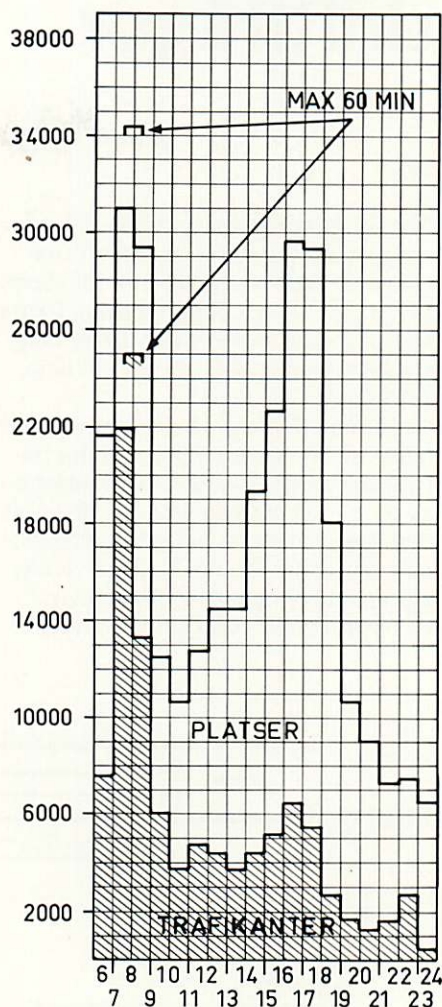
Enmansdriften, som infördes 1965, gav bl a möjlighet till en bättre anpassning till trafikbelastningens dygnsvariation. Till att börja med medgavs enmansdrift endast för 4-vagnarståg. Sedermera har tillståndet utökats till att omfatta även sex- och åttavagnarståg. Stationsplattformarna på Tb 1 ligger emellertid på flera ställen i kurva med otillfredsställande siktförhållanden, varför enmansdrift f n endast tillämpas på 4- och 6-vagnarståg.

Enmansdrift och koppling har inneburet, att man nu på ett ekonomiskt gynnsammare sätt kan anpassa utsättningen av tunnelvagnar till efterfrågan med behåll 10-minutersintervall.

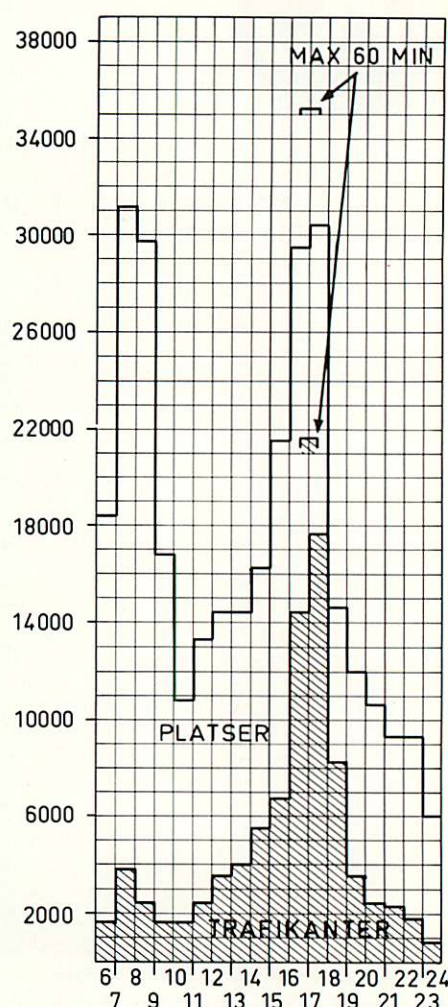
Tidigare tillämpades 12-minuterstrafik mitt på dagen. Fördelarna med en jämnt basintervall under dagtid innebär i detta fall tätare trafik med kortare väntetider för trafikanterna samt en enklare annonsering osv.

Som redan nämnts följs variationen i trafikefterfrågan genom från- och tillkoppling av vagnar. Kopplingen kan emellertid, speciellt vintertid, vara störningskänslig. Man har därför sökt bringa ned antalet kopplingsmoment till ett minimum. Detta uppnås genom att vid frånkoppling varannan 8-vagnarsenhet delas i två 4-vagnarsenheter och varannan 8-vagnarsenhet körs in till vagnhall. Vid tillkoppling slås två 4-vagnarsenheter ihop och en ny 8-vagnarsenhet sättes ut från vagnhall. Trafikarbetet på Tb 1 uppgick år 1973 till 4311 miljoner platskm.

T-BANA 1
NORRUT
ANK. TILL SLUSSEN



T-BANA 1
SÖDERUT
AVG. FRÅN SLUSSEN



Trafikbelastningens dygnsvariation för Tb 1
vid station Slussen

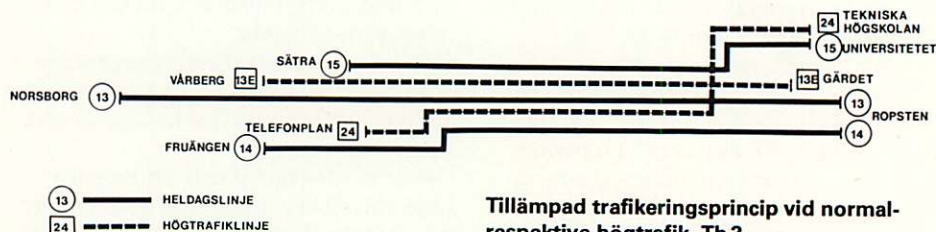
Tb 2

Den sydvästra tunnelbanan, Tb 2, trafikerar sträckan Norsborg respektive Fruängen–Ropsten respektive Universitetet. Beträffande banlängderna hänvisas till tabellen i kapitel 8.

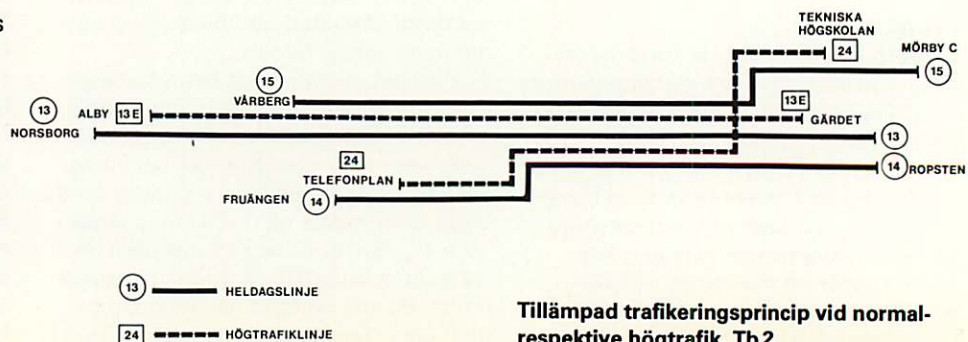
Norsborg och Fruängen i sydväst är ändstationer för linjerna 13 och 14 och båda linjerna vänder vid Ropsten i nordost. Linje 15, som också är en heldagslinje, vänder vid Sättra i sydväst och har ändstation vid Universitetet i nordost. Den grenen kommer senare att förlängas till Mörby Centrum. Under högt trafik utsätts ytterligare två linjer 24 och 13 E. Linje 24 har ändstationer vid Telefonplan och Universitetet, medan linje 13 E, där tills vidare endast två tåg utsätts på förmiddagarna, trafikerar sträckan Värberg–Gärdet.

På Tb 2 tillämpas total enmansdrift, dvs även på 8-vagnståg. Vid det fåtal stationer där sikten är ofullständig har plattform-TV installerats som hjälp åt tågförarna.

Inom de närmaste åren beräknas station Värbergs ombyggnad till vändstation vara klar. I samband härmed förlängs linje 15 från Sättra till Värberg. Den tänkta trafikeringen framgår av vidstående bild.



Tillämpad trafikeringsprincip vid normal-
respektive högt trafik, Tb 2



Tillämpad trafikeringsprincip vid normal-
respektive högt trafik, Tb 2

Trafikbelastningens dygnsvariation visas på illustration och gäller belastningen vid stationen Slussen. Variationen i trafikefterfrågan följs som redan nämnts, genom att man under högtrafik sätter ut linjerna 13 E och 24 och genom att tågen under lågtrafik kopplas ned från 6 respektive 8 till 4-vagnarsenheter.

Trafikarbetet på T-bana 2 uppgick år 1973 till 2 775 miljoner platskm.

Tb3

Järvabanan, Tb3, trafikerar i inledningsskedet sträckan T-Centralen–Hjulsta. En heldagslinje och en högtrafiklinje inrättas, varav den förra (10) trafikerar hela bansträckan och den senare (20) sträckan T-Centralen–Hallonbergen.

Senare förlängs Tb3 till Kungsträdgården och från Hallonbergen till Akalla.

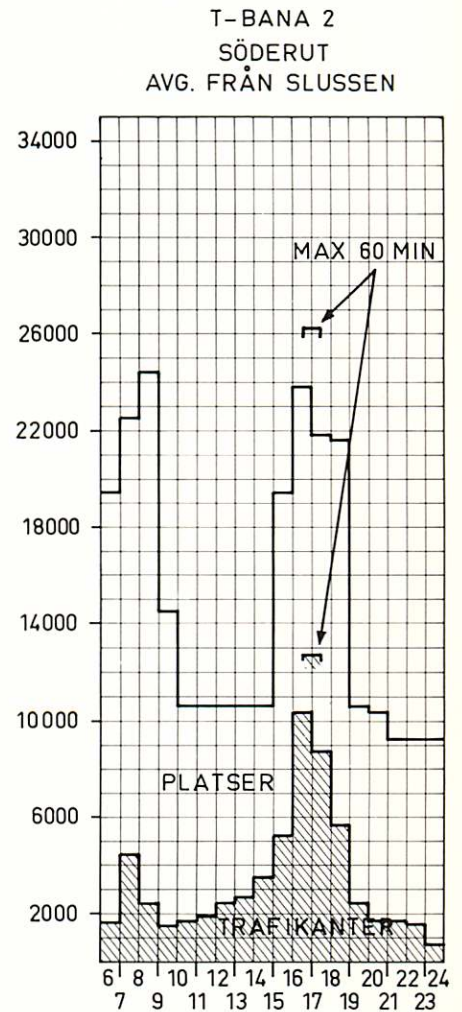
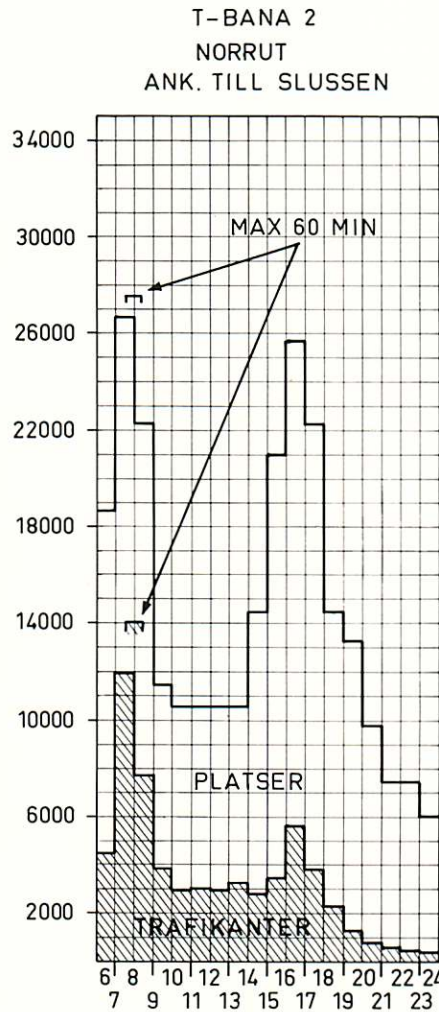
Driftledningen på T-banan

Driftledningens uppgift är att hålla tågtrafiken och persontrafiken genom stationerna under observation. Konstateras avvikelser från den gällande trafikplanen — exempelvis en tågstörning — skall åtgärder vidtas för att dels återställa planerad trafik, dels häva eventuella verkningar av störningen.

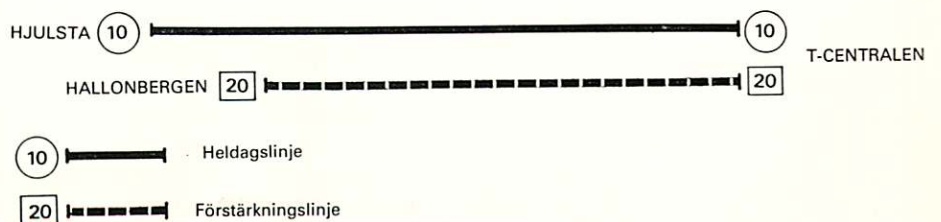
I åliggandena ingår att informera trafikanter och trafikpersonal om inträffade störningar samt att kalla erforderliga specialister till störningsplatsen — trafikbefäl, montörer, polis m fl.

Driftledningen svarar för erforderliga omdirigeringar av tunneltrafiken, insättning av eventuella byteståg samt också för rekvisition av den ersättande busstrafik som kan erfordras.

Den yttre driftledningen utgöres av trafikbefäl med tjänsteuppgifter förlagda inom viss bansträcka eller viss knutpunkt. Detta befäl svarar för övervakning, kund- och personalkontakt och skall vid behov ingripa vid störningar. Inre organ för driftledningen utgör ställverken. För Tb1 finns ett vid Johanneshov för banan söder om T-Centralen och ett vid Alvik för banan norr därom. Tb2:s ställverk är placerat vid Liljeholmen och slutligen finns ett ställverk vid Västra Skogen för Tb3. Ställverken skall effektuera de växel- och signalomläggningar som krävs för den planerade trafikens genomförande, in- och utgångar av trafiktåg, vändning av tåg vid ändstationer och läggning av tågvägar vid grenpunkter. I ställverkens uppgift ingår att med hjälp av spårplanerna följa trafiktågen i detalj och att



Trafikbelastningens dygnsvariation för Tb2 vid station Slussen



Trafikeringsprincip vid normal- respektive högtrafik

vid konstaterade avvikelser från trafikplanen rapportera detta till tunnelcentralen.

Ställverkens tekniska utformning har redovisats i kapitel 14.

T-banornas centrala organ

Tunnelcentralen (TUC) är det centrala organ till vilket all rapportering skall göras och varifrån information ges. Härifrån sker omdirigeringar av trafik och här ansvaras för att erforderliga hjälpresurser blir kallade och insatta.

Tb 1 betjänas från manöverbord TUC 1, Tb 2 från TUC 2 och Tb 3 från TUC 3. För sin verksamhet har respektive TUC tekniska hjälpmedel. Bl a finns sk tågtdiskrivare för respektive bansystem, där trafikförloppet registreras grafiskt. För sambands- och underrättelsetjänsten finns utöver trafikbolagets normala telefonnät, bl a larmtelefoner i banornas tunneldelar, högtalarsystem, tunneltågradio och bärbara radiostationer m m, vilket närmare redovisats i kapitlen 14 och 15.

I tunnelcentralen kan man vidare kontrollera den elektriska matningen till strömskenans olika sektioner, tunnelbelysningen, pumpar, fläktar, reservkraftaggregat m m.

Åtgärder vid driftstörningar

Hur en driftstörning skall behandlas beror på dess karaktär samt på var och när den inträffar. Ett tåg som i högtrafiken får ett sådant fel, att det inte kan framföras med planenlig hastighet och som skulle utgöra början på en långsam och växande konvoj av tåg, måste snarast utrymmas och tas in på ett uppställningsspår. Som ersättning insätts ett reservtåg, om möjligt på rätt plats i tidtabellen. Försenade tåg försöker man få in i rätt tid genom vändhjälp eller i vissa fall genom vändningar ute på linjen. Vid totala driftstopp söker man vända tågen utanför störningsområdet och sätta in bussar på den del av banan som ej kan trafikeras.

Vid driftstörningar speciellt under högtrafik är det på större stationer viktigt att bevaka och reglera trafikanttillströmningen, så att den inte blir större än vad tågen kan transportera vidare. I annat fall föreligger risk för överbeläggning av plattformarna. Detta förhållande kan regleras genom att man tillfälligt stänger av inpassagen i biljetthallen.

För att hålla banan i trafikdugligt skick krävs ett omfattande underhållsarbete. Banarbete på ett trafikerat spår blir alltid störande.

För att minska störningarna förläggs arbetet i den mån det är möjligt till

tider, då turtätheten är som glesast. Under kvällstrafiktid och nattrafiktid kan man upprätthålla enkelspårtrafik, varvid tågen i ena riktningen framföres i motspårtrafik.

Ordningshållning

Ordningen på T-banan har kommit att bli ett allt större problem för driften. Ansvaret för ordningen på T-banan åvilar polisen. 1967 bildades en för T-banan särskilt avdelad polisgrupp. Denna polisgrupp omfattar fn ca 150 befattningshavare under ledning av en polis-kommissarie. Som hjälpmedel vad gäller ordningshållningen har polisen installerat TV på ett antal stationer. Från TUC kan polisen med hjälp av monitorer övervaka nämnda stationer. Tunnelgruppens radiobilar har utrustats med tunneltågradio och fotpatrullerna medför bärbara radioutrustningar. Nyligen har vakter från det statliga vaktbolaget ABAB insatts vid vissa stationer, som en ytterligare förstärkning av ordningsövervakningen.

Den fortsatta utvecklingen

Föreliggande tunnelbanebeskrivning är i enlighet med de givna direktiven av renodlat teknisk karaktär. Avsikten har främst varit att skildra den teknik inom områdena arkitektur, byggnadsteknik, elektroteknik och mekanik, som kommit till användning vid genomförandet av ett stort tunnelbanesystem. En betydande teknisk kunskap har därvid samlats. Beskrivningen bör kunna tjäna till vägledning för dem som i fortsättningen har att svara för en eventuell ytterligare utbyggnad av våra tunnelbanor och även för tunnelbanebyggande i

andra länder, även om man måste ha klart för sig att den valda tekniken naturligtvis till stora delar är lokalt betingad.

Den antagna tunnelbaneplanen är till största delen genomförd eller under utförande vid tiden för beskrivningens utarbetande. De senaste årens utveckling med avseende på folkmängd och bebyggelse samt vissa förändringar av de kollektiva trafikmedlens uppgifter i regionen gör det utomordentligt svårt att förutse vilka ytterligare utbyggnader som kan bli aktuella. För att få en upp-

Östra Fittjaviadukten



fattnings om en kommande utveckling av Stockholmsområdets kollektiva trafik pågår en allsidig utredning i landstingets regi, vilken bl a avses ge utgångspunkter för eventuella beslut om nya banor eller banförlängningar. Denna utredning, landstingets kollektivtrafikutredning (LAKU), diskuterar alternativa trafiklösningar, varvid såväl sk konventionella trafikmedel — bussar, järnvägar och tunnelbanor — som mer eller mindre avancerad ny teknologi övervägs. Regionens allmänna utveckling samt ekonomiska och standardmässiga överväganden får därvid ge svaret på frågan om vilka lösningar som kan komma till användning.

Av de banor som ingår i den år 1966 antagna tunnelbaneplanen (se översiktsplan) återstår delarna Västra Skogen—Rissne, en förlängning i i Sollentuna av den bangren som nu slutar i Akalla, en förlängning av banan från Mörby C till Täby samt en utbyggnad av en bana från Kungsträdgården mot Nacka. Till sistnämnda bana skulle även en av de tre befintliga bangrenarna i söder anslutas. Av nämnda projekt pågår planering av delen Västra Skogen—Rissne med inriktning på en byggstart 1977 och trafik i början av 1980-talet. Övriga här nämnda sträckor är under utredning.

Utredningsprogrammet omfattar emellertid även projekt som ligger utöver tunnelbaneplanen. En förlängning av Fruängsbanan har sålunda ofta diskuterats. Dess syfte skulle vara att betjäna sjukhusområdet vid Flemingsberg och avlasta pendeltågtrafiken. Därjämte finns önskemål om studier av förlängningar av banorna från Hjulsta och Bagarmossen. Någon helt ny bana synes ej aktuell; dock har i samband med regionplanediskussionerna framkastats tanken om en ny nordsydlig bana väster om stadskärnan. Syftet med denna skulle vara att förbinda arbets- och bostadsområden norr och söder om Mälaren och även att avlasta knutpunkten T-Centralen, som otvivelaktigt kommer att få en mycket stark trafikbelastning. Frågan om en komplettering och utbyggnad av pendeltågnätet är också under diskussion.

Det förefaller f n ej sannolikt att några helt nya tekniska lösningar kommer att införas inom en överblickbar framtid. På olika håll i världen diskuteras dock frågan om hur ett trafikmedel skall vara beskaffat som kan föra de kollektiva trafikmedlen närmare bilsystemets egenskaper i fråga om tillgänglighet, turfrekvens och direkt transport mellan start och mål. Samtidigt vill man också uppnå tunnelbanesystemens egenskaper

vad beträffar kapacitet och regularitet, dvs skilja dem från allmän gatutrafik. Om inte personalkostnaderna skall bli orimligt höga kräver nämnda krav en hög grad av automatisering som emellertid inte får komma i konflikt med allmänhetens önskan om säkerhet, i vid bemärkelse, och personlig service. I viss omfattning sker praktiska försök med sk spår-taxi, små enheter på särskilda banor. Införandet av dylika system innebär i stora stycken samma byggnadsteknik m m som för tunnelbanor över eller under jorden. Möjligen kan inom något område inom Stockholmsregionen en provanläggning så småningom bli aktuell. Avslutningsvis må nämnas att på några håll försök även pågår att ersätta hjulen med sväveknik, antingen med luftkuddar eller med magnetisk svävning, vilket skulle möjliggöra höga hastigheter och lägre bullernivå.

Utgivare **Stockholms läns landsting**

Redigering

Bertil Asker

i samråd med Gunnar Falk

Grafisk form

Gudmund Nyström

Fotografer och tecknare

Gunnar Falk:

48, 61, 67

Gösta Glase:

Omslaget, 2-3, 33, 87, 92, 126, 135, 136, 137, 139, 141, 142, 143, 144, 145 n.b., 147 ö.b., 148, 149, 150, 151, 165, 170

Sten Eugen Jonsson:

120 n.b.

Hans Mattson:

171, 172, 173, 174, 175, 177, 178

Gösta Nordin:

98, 114

Kjell Ohrlander:

39, 50 ö.b., 71, 107 n.b., 119 n

Holger Roos:

65, 66 perspektiv

Per-Åke Uddman:

104-105

Atelje Weloks AB:

42 ö.b., 46, 84, 85, 88 n.b.

Sten Vilson:

156, 157, 158, 159, 160 n. bilderna, 161, 162, 163, 164

George Wittlock:

79 ö.b., 82-83, 86

Typografi

Univers, fotosats från

Almqvist & Wiksell Tryckeri AB

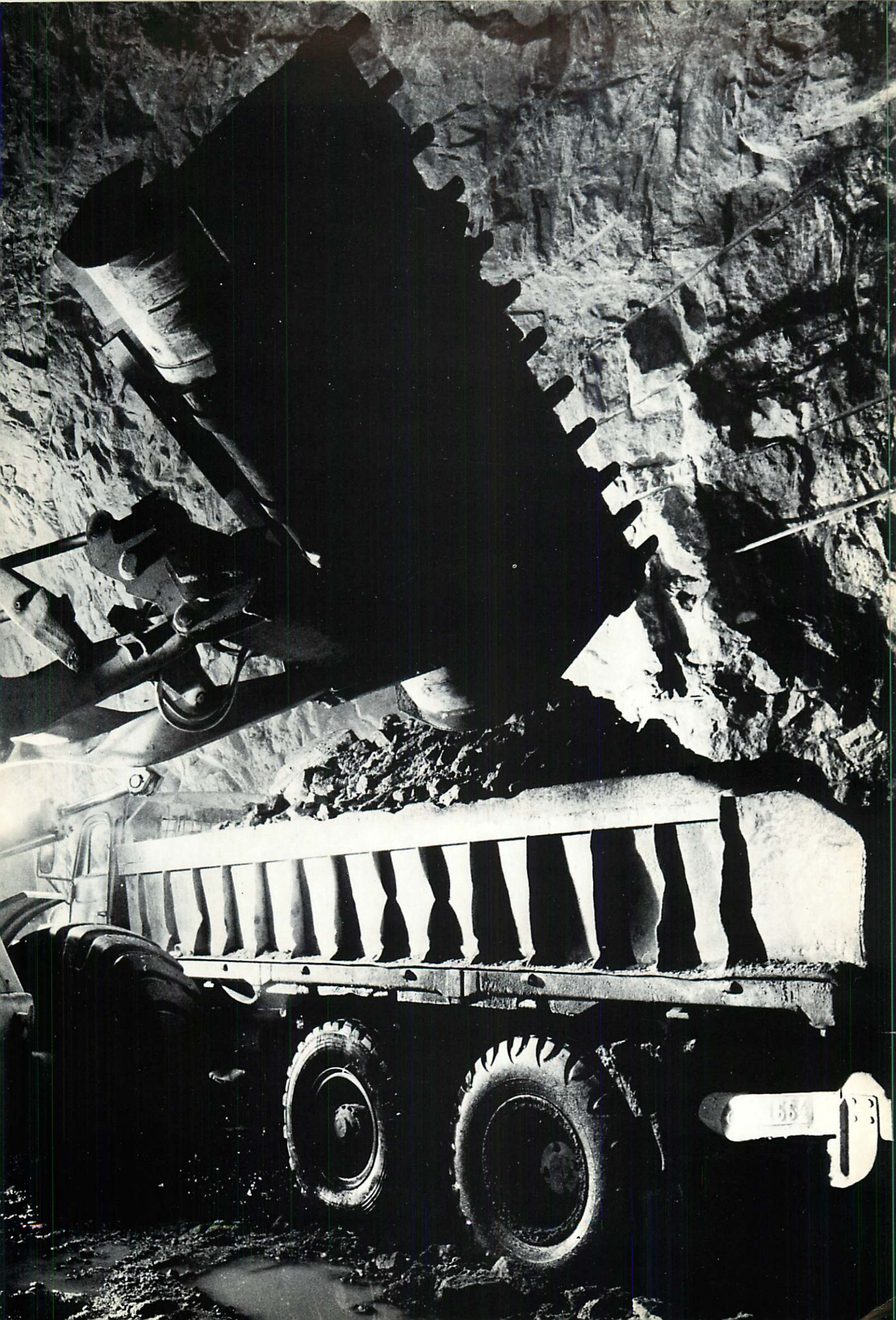
Papper

Silverblade, 135 g och Silvercard, 270 g från Svenskt Papper AB

Produktion

Ljunglöfs Litografiska AB

Stockholm 1975





◀ HÄSSELBY
VID LAGTRAFIK KORTA TAG
MELLAN MARKERINGARNA

FRUÅNGEN
NORSBORG
VID LAGTRAFIK KORTA
MELLAN MARKERINGARNA

OPSTEN
UNIVERSITETET

BAGARMOSSEN
FÄRSTA
HAGSATRA
↓