



### **Bilag 3**

08-04-2010

### **Nordhavnsvej. Krydsning under Kystbanen og Nordbanen**

Sagsnr.  
2010-28126

Besigtigelse af "Pipe Arch" byggemetode på banegårdsprojekt i Schweiz.

Dokumentnr.  
2010-238772

I forbindelse med vurdering af, hvorledes Nordhavnsvej i vejforslag A1 kan etableres under Kystbanen og Nordbanen, uden længerevarende afbrydelse af togdriften, blev der i den indledende fase bl.a. peget på en løsningsmetode baseret på "Pipe Arch-metode". Denne metode bygger på, at der etableres et "rørskjold omkring det færdige tunneltværsnit inden tunnelen udføres.

Sagsbehandler  
Søren Aarslew-Jensen

For at få vurderet metodens egnethed blev der i november 2009 foretaget en besigtigelsestur til et projekt i Schweiz, som var under udførelse på banegårdspladsen i Zürich, jf. vedlagte kort/fotos etc.

På det pågældende projekt skulle der bores en togtunnel under banegårdspladsen. Jordbundsforholdene det pågældende sted var vandførende søaflejringer. Formålet med etableringen af "rørskjoldet" var at skabe et tæt loft over det sted boremaskinen senere skulle passere under. "Rørskjoldet" skal forhindre sætninger i overfladen i tilfælde af utilsigtet jordindfald ved boremaskinens front under borearbejdet. Rørskjoldet var beliggende ca. 10 meter under gadeniveau.

Fra de "udborede" rør blev der efterfølgende etableret jordankre, som blev monteret indefra og injiceret til den omgivende jord. Til sidst blev der monteret armeringsnet i rørene, og disse blev udstøbt med beton.

De etablerede rør havde i denne sammenhæng ingen egentlig bæreevnmæssig betydning for tunnelen, men skulle alene sikre at eventuelle sætninger i forbindelse borearbejdet blev udjævnet. Såfremt rørene skal indgå med en egentlig bæreevnmæssig betydning, skal de installeres som en tætsluttende bue, deraf ordet "arch".

**Center for Anlæg og Udbud**

Under besigtigelsen blev det med den byggepladsansvarlige drøftet, hvilke fordele- og ulemper metoden indebærer, både med hensyn til udførelse, tid, penge og risici m.m. samt metodens anvendelighed i forbindelse med Nordhavnsvejsprojektet.

Islands Brygge 37, 3.sal  
Postboks 441  
1505 Kbh. V

Telefon 33 66 35 25

De "indhøstede" erfaringer fra besigtigelse og snakken med entreprenøren m.fl. er efterfølgende indarbejdet i vedlagte Rambøll notat "NHV-602-009-a-Banekrydsning med rørskjoldsmetoden," som en af de i alt 14 metoder, som er undersøgt.

E-mail  
soaaje@tmf.kk.dk

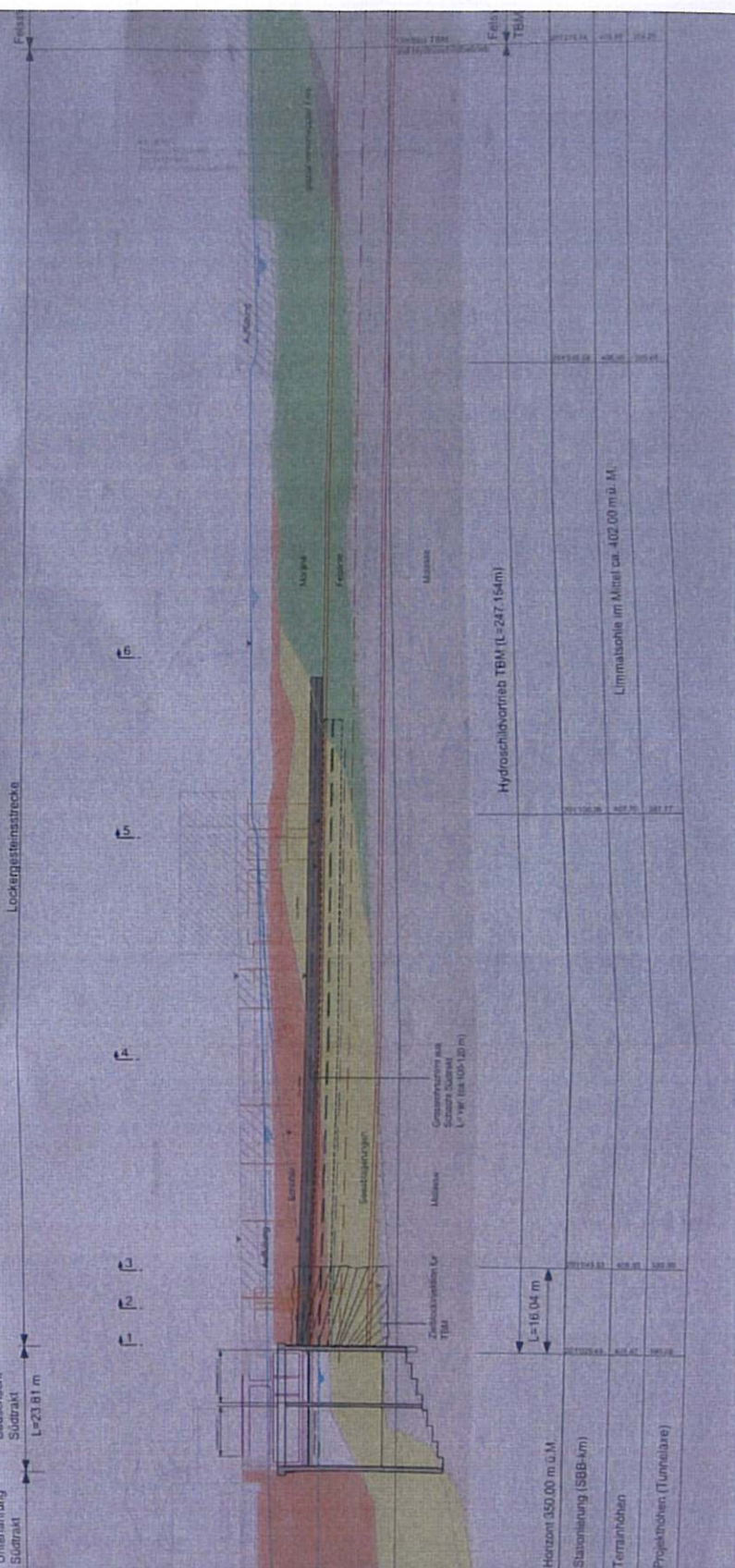
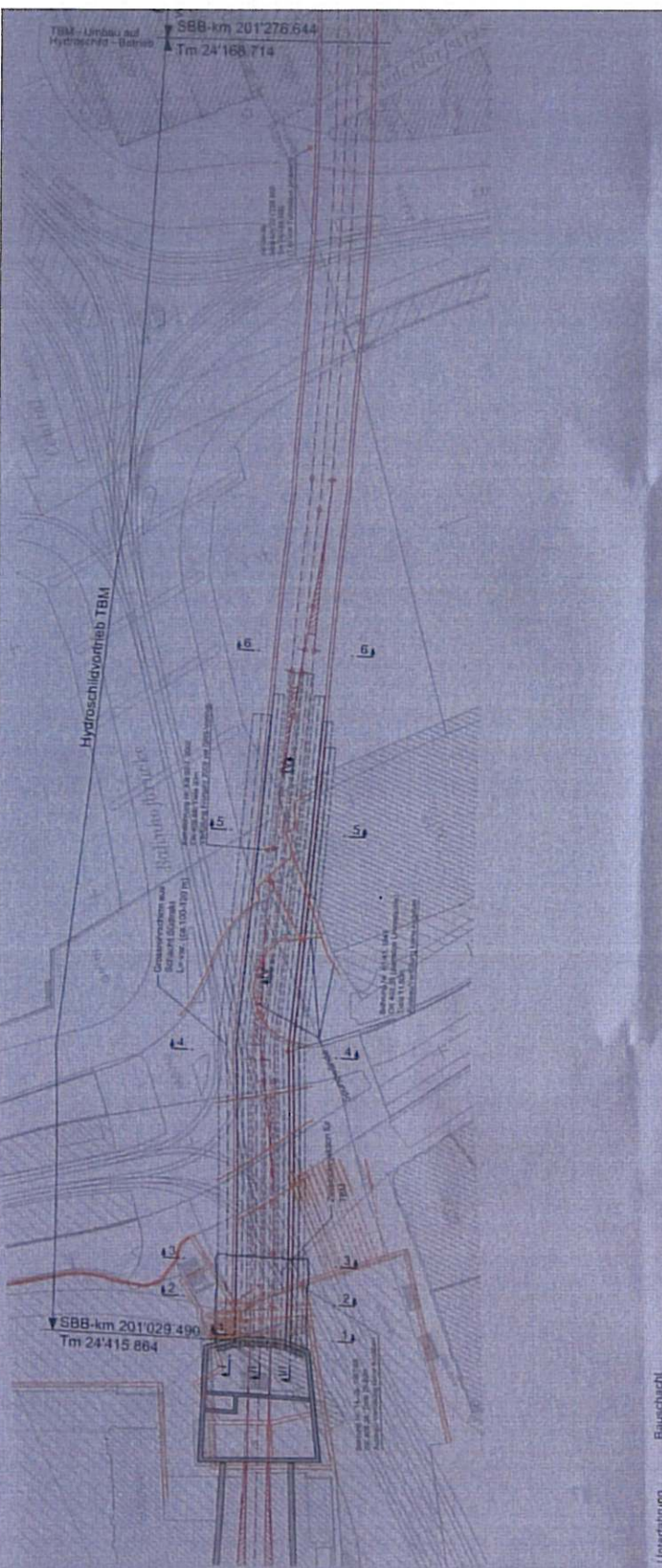
EAN nummer  
5798009488145

www.kk.dk

## Bilag

- Diverse kort/fotos fra besigtigelsestur
- Rambøll notat: NHV-602-009-a-Banekrydsning med rørskjoldsmetoden

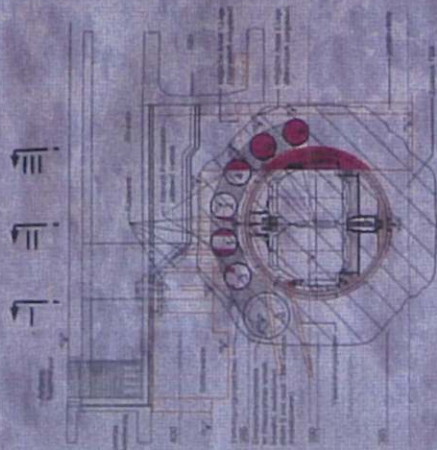
1:4-4 1:200



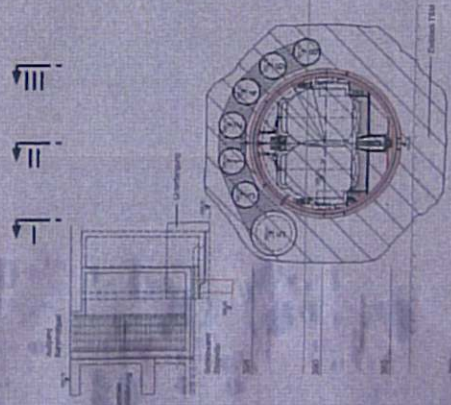
Horizont 350,00 m ü.M.	Stationierung (SBB-km)	Terranhöhen	Projekthöhen (Tunnelhöhe)
201'029.490	402.41	399.79	
201'150.26	407.95	397.77	
201'276.64	413.49	395.44	

Limmatschleife im Mittel ca. 402,00 m ü. M.

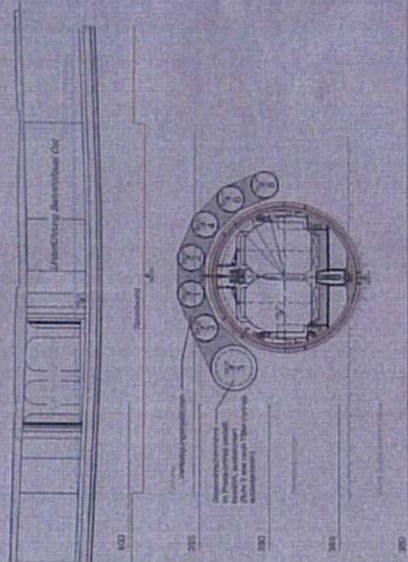
**Schnitt 2-2 1:200**



**Schnitt 3-3 1:200**



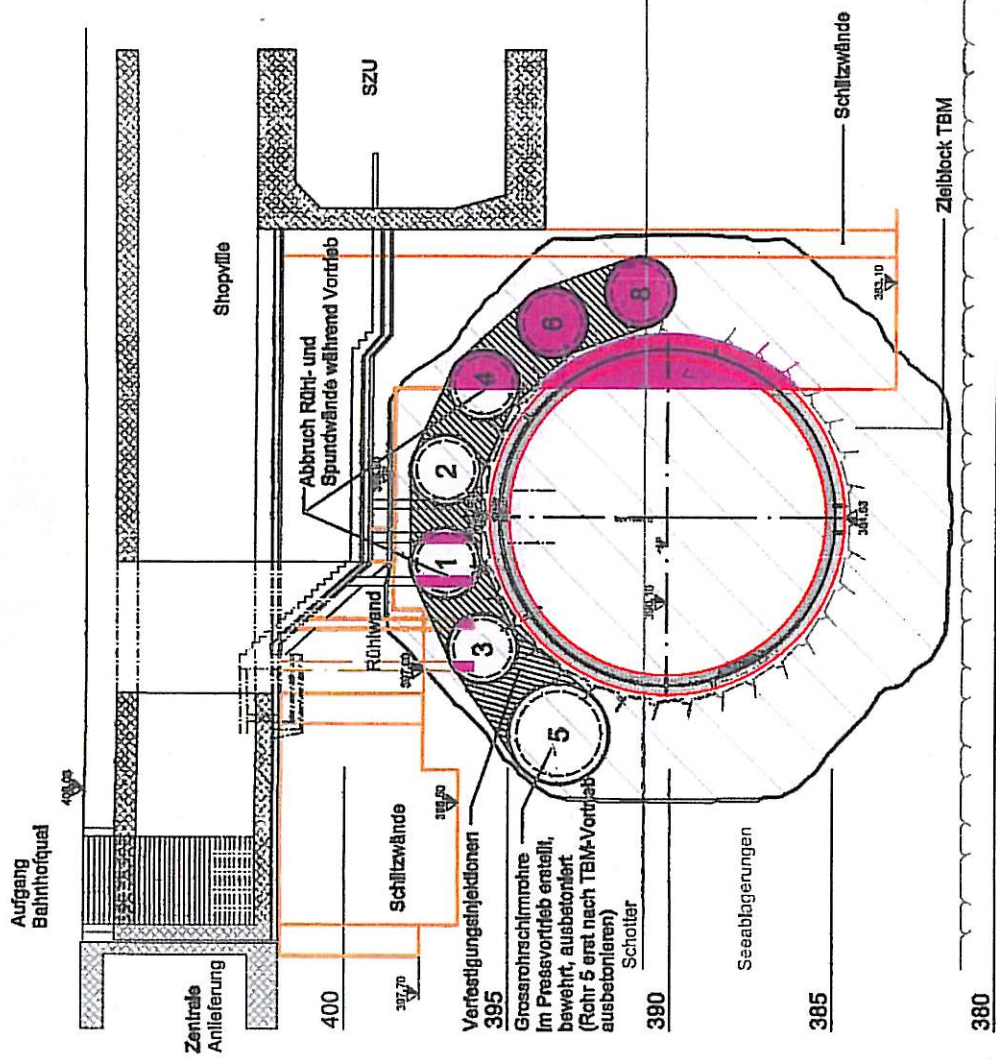
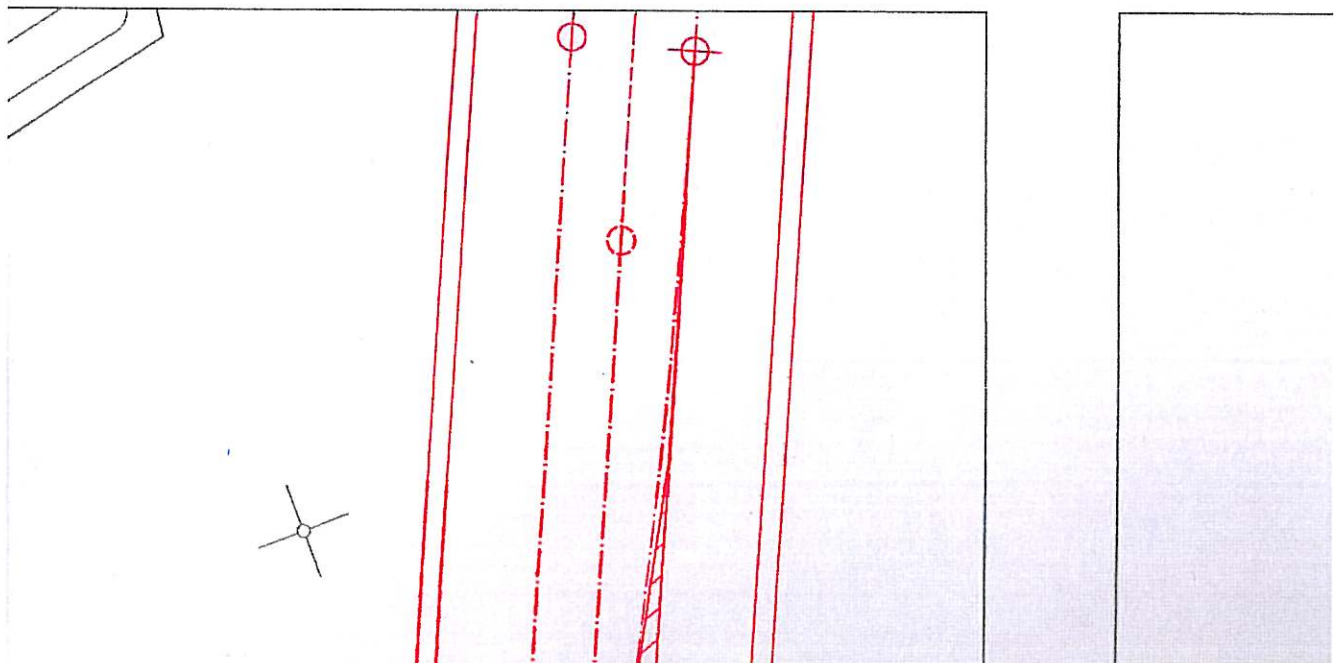
**Schnitt 4-4 1:200**



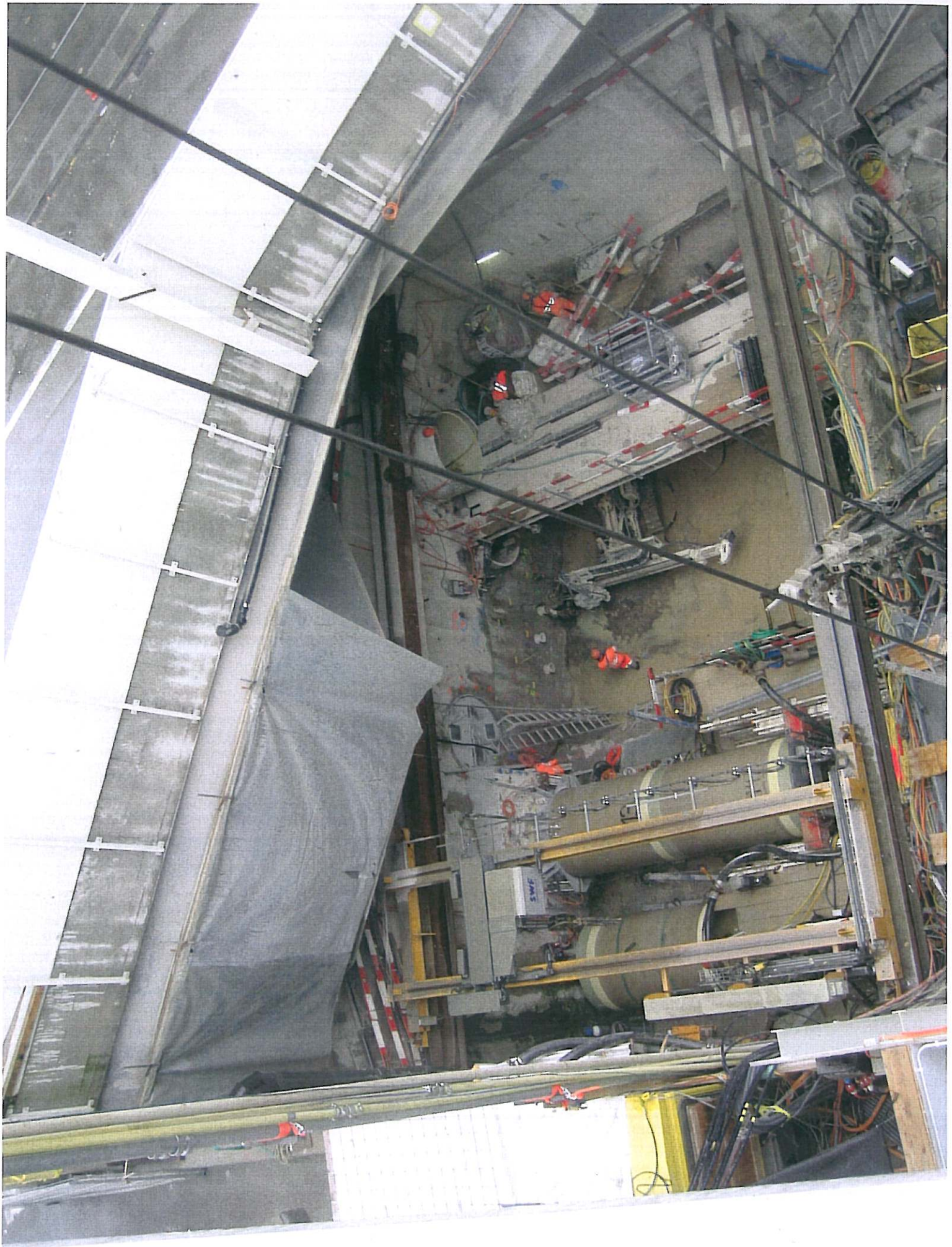
**Schnitt 6-6 1:200**

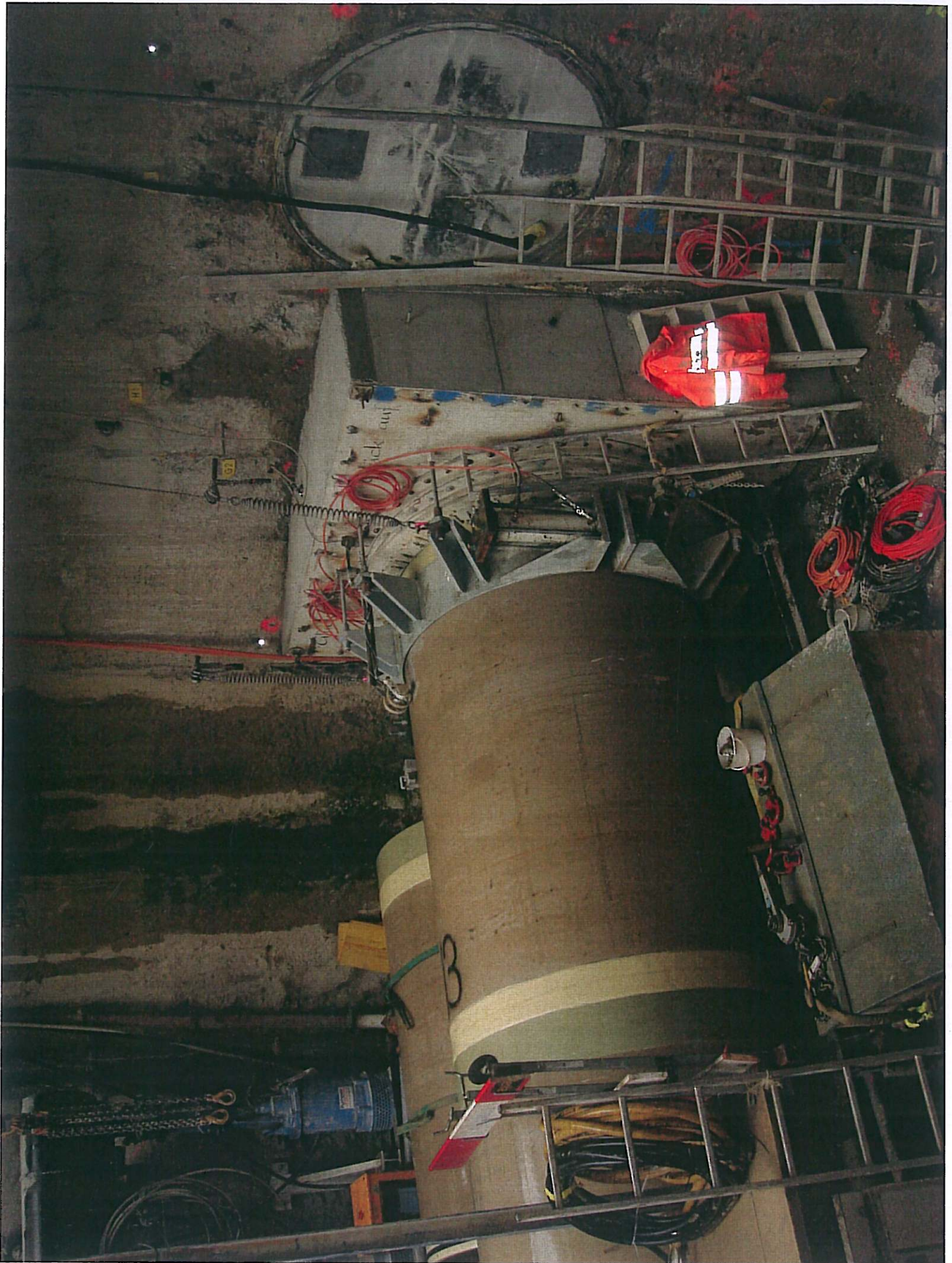


Unterführung  
Substrat  
Baustoff  
Substrat  
L-2



Molasse





# NOTAT

Projekt Nordhavnsvej – Vejforslag A1  
Krydsning under Nordbanen og Kystbanen  
Kunde Københavns Kommune , Teknik – og Miljøforvaltningen  
Notat nr. NHV-602-009-a-Banekrydsning med rørskjoldmetoden  
Dato 2009-12-10  
Til Center for Anlæg og Udbud  
Fra Rambøll

## FORELØBIGT NOTAT

Dato 2009-12-10

### 1. Indledning

Der gives i notatet en beskrivelse af, hvorledes Nordhavnsvej i Vejforslag A1 kan etableres under Nordbanen og Kystbanen med den såkaldte rørskjoldmetode.

Vejforslag A1 krydser Nordbanen og Kystbanen i en spids vinkel og engagerer således en forholdsvis lang strækning af banerne. Anvendelsen af traditionelle Cut & Cover løsninger kræver meget lange sporspærringer. Indrulningsløsninger er på grund af de snævre pladsforhold ikke velegnede og gennempresningsløsninger er problematiske på grund af den lange gennempresningslængde og risikoen for betydelige sætninger ved gravefronten.

Rambøll  
Bredevej 2  
DK-2830 Virum

T +45 4598 6000  
F +45 4598 6700  
www.ramboll.dk

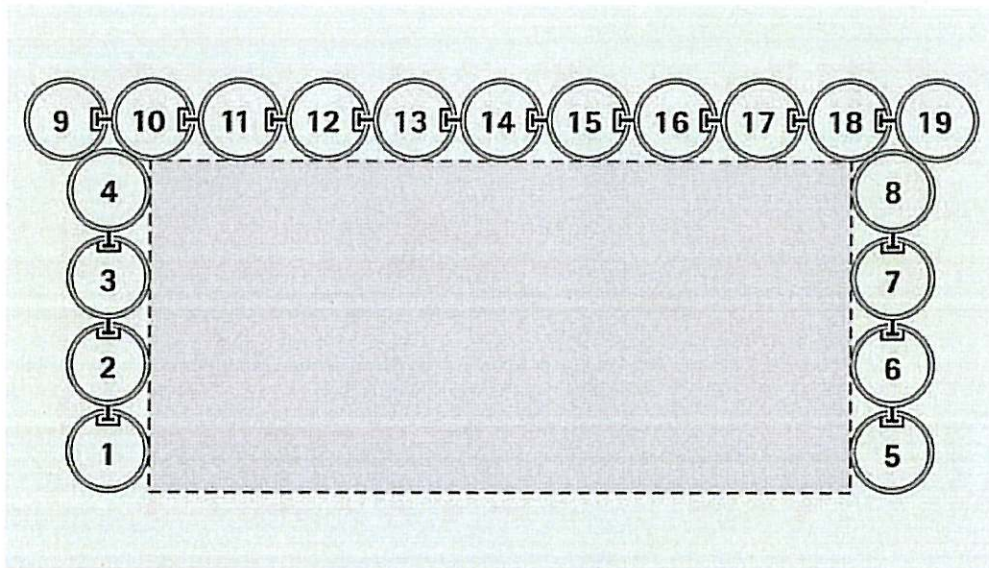
Ref. 7554010

### 2. Rørskjoldmetoden generelt

Ved rørskjoldmetoden etableres der en "vandret byggegrube" af stålrør, som tunnelkonstruktionen herefter etableres inden for ved successiv udgravning og støbning af tunneltværsnittet, jf. også Figur 2.1.

Afhængig af belastningen på jordoverfladen samt jordbundsforholdene forstærkes stålrørene med armering og betonudstøbning inden der graves ud.





Figur 2.1 Princip for Pipe Arch omkring rektangulært tunneltværsnit. Lodret snit

Til etablering af rørene anvendes en tunnelboremaskine med diameter svarende til rørene. Fra en startgrube med passende modhold presses stålør med boremaskinen placeret i front frem i takt med, at boremaskinen fjerner jorden. Rørene leveres typisk i længder på 6 m, som svejses sammen efterhånden som gennempresningen skrider frem.

Afhængig af jord- og grundvandsforholdene kan rørene være låst sammen som antydnet i Figur 2.1, ligge umiddelbart op ad hinanden uden lås eller ligge med en vis afstand.

I Figur 2.2 kan ses en byggegrube anvendt som startkammer for tunnelboremaskinen og pressegrube for stålør til underføring af en tunnel under en jernbane i Lissabon. I Figur 2.3 er vist etablering af en rørskjold for underføring af en regnvandskanal under en jernbane i Californien.



**Figur 2.2 Pressegrube**



**Figur 2.3 Etablering af rørskjold i en spids vinkel under jernbane**

### 3. Rørskjoldmetoden anvendt ved krydsning under Nordbanen og Kystbanen

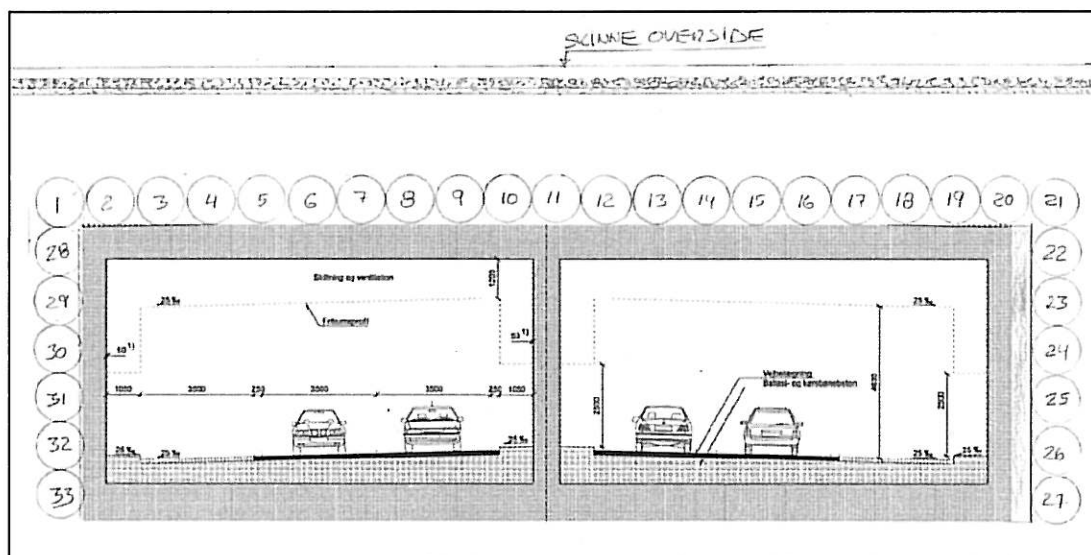
#### 3.1 Generelt

Tunnelen i Vejforslag A1 forløber i et svagt S-formet forløb fra Svanemøllens Kaserne under jernbanearealet frem til Strandvænget, jf. bilag 1.

Da rørskjoldsektionen i princippet udføres med samme rektangulære tværsnit over hele længden skal sektionen udføres med en overstørrelse i forhold til tunneltværsnittet for at kunne rumme tunneltracéets krumning.

Diameteren af tunnelboremaskinen og de anvendte rør afhænger af mange forhold, bl.a. om der skal være adgang gennem boremaskinen til dennes front for bearbejdning af store sten antruffet under borearbejdet. Rørdiameteren afhænger endvidere af, hvor langt rørene skal spænde under udgravningen under rørene samt hvor stort jorddækket og overfladelasten er. En tyske producent af tunnelboremaskiner har på baggrund af oplysninger om de aktuelle forhold vurderet, at der kan anvendes boremaskiner og rør med en diameter på ca. 1,5 m. Af hensyn til risikoen for sætninger af terræn bør jorddækket over tunnelboremaskinen og rør være ca. to gange rørdiameteren eller ca. 3 m.

Med en rørdiameter på 1,5 m og en overbredde i rørskjoldet på 1,5 m i forhold til standard tunneltværsnittet af hensyn til tunnellens krumning, skal der etableres 21 rør som tag i rørskjoldet og to gange 6 rør som vægge i rørskjoldet, jf. også Figur 3.1. Det antages, at jorddækket omfatter ballast og underballast i jernbanernes tværprofil således, at der er 3 m fra overside rørskjold til undersiden af jernbanesvellerne.



Figur 3.1 Rørskjold om tunnel på Nordhavnsvej

Tunnelen ligger på den aktuelle strækning under det primære grundvandsspejl og skal derfor udføres som en vandtæt konstruktion. Dette krav, samt rørskjoldets manglende stivhed på tværs af tunnelen, gør det vanskeligt at udnytte styrken af rørskjoldet i den permanente konstruktion. Rørenes funktion i det endelige tunnelanlæg vil derfor være begrænset til at fordele last på langs af tunnelen.

### 3.2 Udstrækningen af rørskjoldet

Etableringen af rørskjoldet er tidskrævende, idet der bør regnes med en gennemsnitlig etableringshastighed på under 1 m rør pr. time. Da etableringen af tunnelen under rørskjoldet endvidere er mere tidskrævende og dyrere end etablering af tunnelen i en åben udgravning, skal udstrækningen af rørskjoldet søges minimeret.

Der er i bilag 1 vist forslag til omfanget af rørskjoldsektionen for krydsningen under Nordbanen og Kystbanen.

Det er tilstræbt, at rørskjoldet rækker så langt uden for sporarealerne, at der kan arbejdes uden kørestrømsafbrydelse. De snævre forhold på vestsiden af Nordbanen bevirker dog, at en mindre del af modtagegruben for tunnelboremaskinen her kommer til at ligge så tæt på Nordbanen, at gruben skal påregnes etableret under sporspærring.

Udgravningen under rørskjoldet påregnes at skulle udføres med et graveskjold, som presses ind under rørskjoldet og bærer dette under gravearbejdet. For lettere at kunne introducere graveskjoldet under rørskjoldet er rørskjoldets udstrækning aftrappet så skjoldets ender er vinkelret på presseretningen.

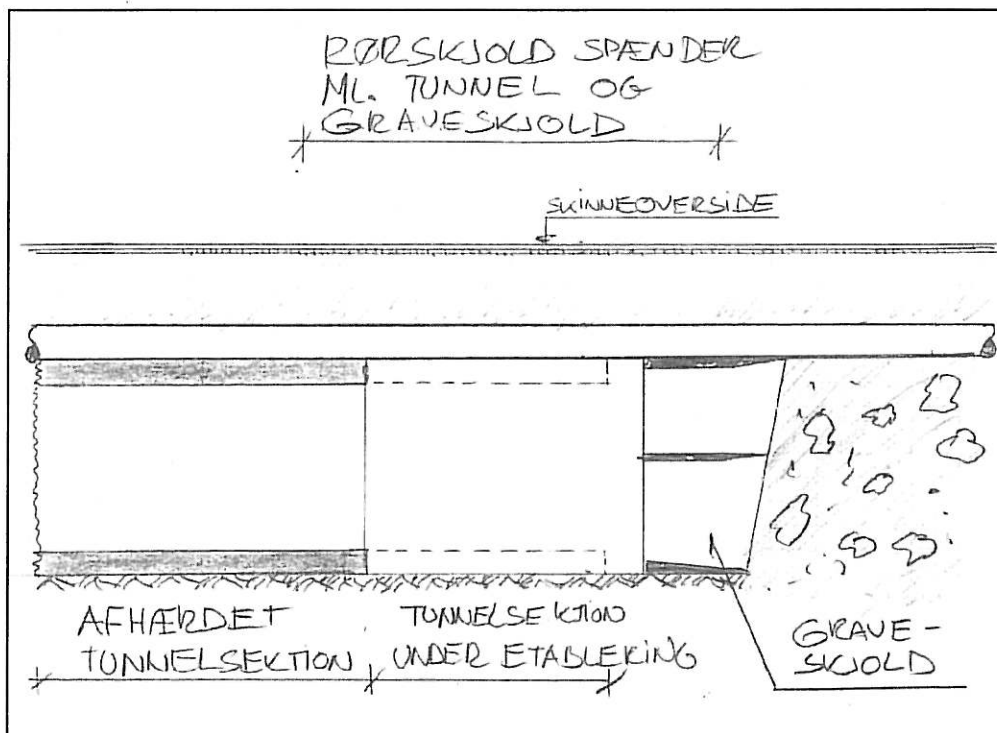
### 3.3 Etablering af rørskjoldet

Etableringen af rørskjoldet er beskrevet i punktform nedenfor:

1. Der etableres byggegrubeindfatning med sekantpælevægge i områderne øst og vest for rørskjoldsektionen. Sekantpælenes længde, styrke og stivhed skal modsvare udgravning til undersiden af det planlagte tunnelanlæg.
2. Der udgraves til niveau for rørskjoldsektionen uden for jernbanernes dæmningsprofil.
3. Der etableres fiberarmeret sekanpælevæg/slidsevæg langs den østlige og vestlige rand af rørskjoldsektionen (både langs rørene og vinkelret på rørene)
4. Der udgraves til startkammer/pressegrube øst for rørskjoldsektionen og modtagegrube vest for sektionen.
5. Rørene i taget af rørskjoldet etableres under anvendelse af mindst to tunnelboremaskiner, Der arbejdes i treholdsskift 7 dage om ugen.
6. Der udgraves successivt til etablering af rørene i væggene i rørskjoldet. Der er jf. bilag 1 etableret store nicher i den overordnede byggegrubeindfatning med plads til tunnelboremaskine og gennempresningsudstyr.

### 3.4 Etablering af tunnelkonstruktion under rørskjoldet

Tunnelsektionen under rørskjoldet etableres ved udgravning af en ca. 10 m lang strækning under anvendelse af et graveskjold og efterfølgende støbning af en tilsvarende lang tunnelsektion. Rørskjoldets tag og vægge spænder mellem den allerede etablerede tunnelstrækning og graveskjoldet jf. også Figur 3.2.

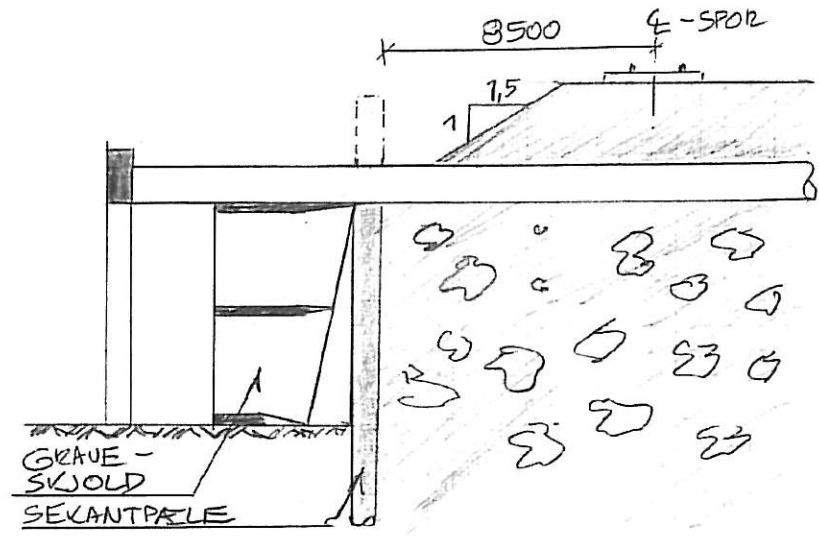


Figur 3.2 Længdesnit i tunnel under rørskjold

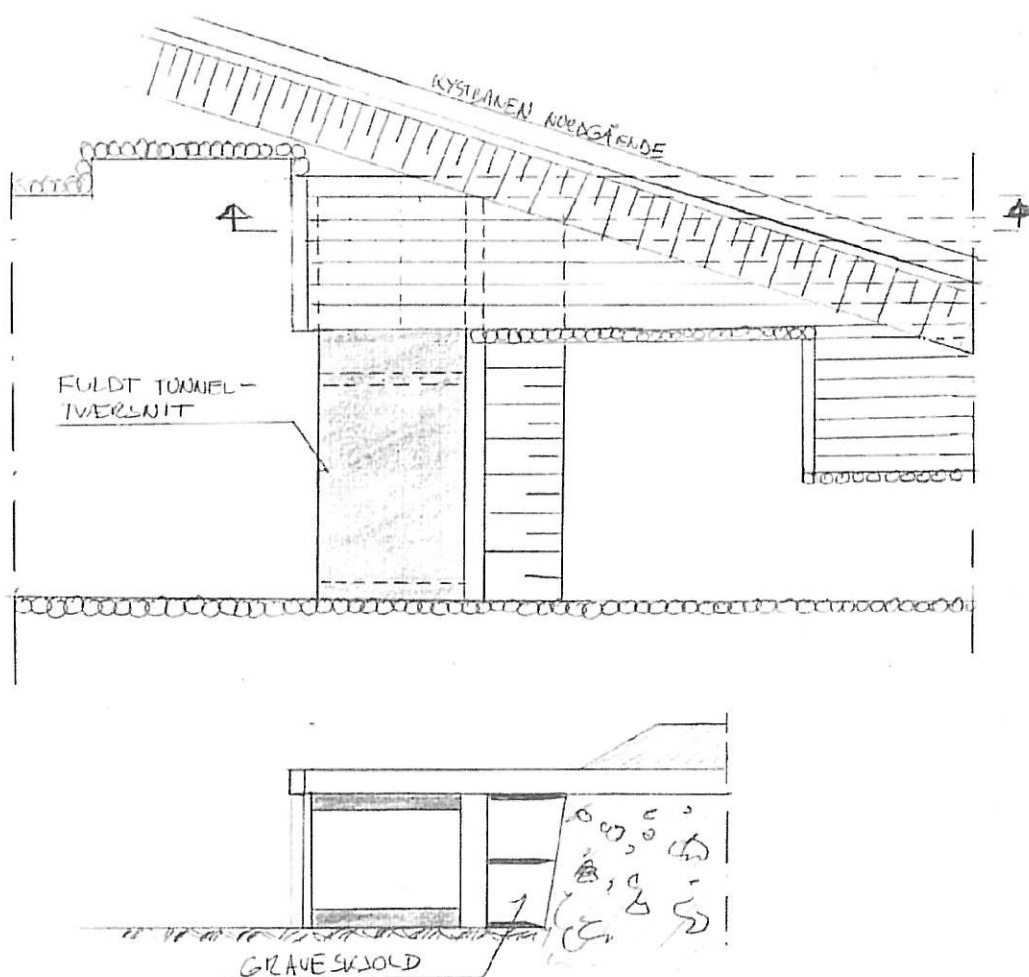
Påbegyndelsen af udgravningsarbejdet under rørskjoldet forudsætter, at graveskjoldet forinden er bragt ind under rørskjoldet. Dette kan f.eks., som vist i Figur 3.2, gøres ved at lade rørskjoldet være længere end hvad de geometriske forhold i relation til baneanlæggene kræver. Rørskjoldets ender understøttes af en rammekonstruktion. Den fiberarmerede sekantpælevæg fjernes inden graveskjoldet presses frem.

Der støbes og afhærdes en tunnelsektion i fuld bredde inden gravearbejdet genoptages og graveskjoldet presses frem. Tunnelsektionen etableres i fuld bredde for, at vægdelen af rørskjoldet kan få det fornødne vandrette modhold gennem tunnelsektionen til den modstående side af byggegruben, jf. også Figur 3.4.

Det foreslås, at der benyttes tre graveskjold, hver med en bredde svarende til en tredjedel af tunneltværsnittet. Graveskjoldene nr. 2 og 3 introduceres når udgravningen og tunnelstøbningen har nået hhv. den anden og tredje af aftrapningerne af rørskjoldet vist på bilag 1. Det kan overvejes, at anvende ét graveskjold med bredde svarende til den fulde bredde af tunneltværsnittet, men det vurderes umiddelbart, at de varierende randbetingelser ved oversiden af graveskjoldet vil gøre det vanskeligt at styre gennempresning frem til det område, hvor graveskjoldet i hele dets bredde er under rørskjoldet.



Figur 3.3 Introduktion af graveskjold under rørskjold



Figur 3.4 Tunnelsektion under rørskjold

Støbning af tunnelen under graveskjoldet foreslås udført i følgende takt:

1. Der udstøbes renselag for en ca. 10 m lang sektion af tunnelen. Der udlægges armering, arrangeres fugebånd og kantform for bundpladen, hvorefter denne støbes.
2. Ydersidearmeringen i vægge og dæk køres ind under rørskjoldet monteret på en afstivende stålkonstruktion. Vægarmeringen inkl. stålkonstruktion stilles op og sikres, hvorefter dækarmeringen inkl. stålkonstruktion jackes op. Stålkonstruktionerne forbindes og bære herefter armeringen.
3. Punkt 2. gentages med indersidearmeringen.
4. Der arrangeres fugebånd og kantform.
5. Form til vægge og dæk køres ind under rørskjoldet og jackes op og samles med kantformen.
6. Dæk og vægge udstøbes i én støbning med selvkomprimerende beton. Der udstøbes helt op mellem rørene i rørskjoldet.

### 3.5 Sætninger i forbindelse med anlægsarbejdet

Boringen/gennempresningen af rørene til rørskjoldet sker under nøje overvågning af presstryk og tunnelboremaskinens fremdrift. Dette sker bl.a. for at sikre opretholdelsen af et passende jordtryk foran maskinen, således at risikoen for instabilitet af gravefronten minimeres. Det kan dog ikke fuldstændig udelukkes, at der ikke vil kunne forekomme instabilitet i et jordlegeme foran den 1,5 m store boremaskine med et mindre sammenfald af jorden til følge. Rørskjoldet er placeret 3 m under undersiden af jernbanesvellerne for at mindske virkningerne af en sådan instabilitet.

Stålrørene i rørskjoldet kan erfaringsmæssigt udføres med en tolerance på placeringen på ca.  $\pm 3$  cm. Under udgravningen under rørskjoldet vil der derfor typisk kunne ske sætning af de enkelte rør i rørskjoldet på op til ca. 6 cm. Sætningerne vil kunne mindskes ved anvendelsen af låsejern mellem rørene som skitseret i Figur 2.1.

Til sætningerne hidrørende fra udførelsestolerancen kommer udbøjningen af rørskjoldet, når dette påvirkes af toglast samt egenvægt af jord og rør, spænder mellem graveskjoldet og den allerede støbte tunnelstrækning, jf. også Figur 3.2. Denne sætning vil med en fremrykningstakt svarende til støbning af en 10 m lang tunnelsektion være af størrelsesordenen 3 cm.

### 3.6 Forhold til baneanlæggene

Farumbanens nordgående spor er i området for banekrydsningen lagt i en tunnel, som er opdriftssikret med jordankre. Banetunnelen og jordankrene er vist i bilag 1. Uanset hvilken anlægsmetode der benyttes for tunnelen i Vejforslag A1, vil tunnelen skære sig ind i jordankrenes forankringszone. Der skal derfor inden anlægget af Nordhavnsvej træffes foranstaltninger til sikring af banetunnelens opdriftsstabilitet. Disse foranstaltninger, som vil kræve sporspærringer på Nordbanen, vil blive beskrevet i separat notat.

Med den i nærværende notat beskrevne udførelsesmetode for tunnelen i Nordhavnsvej, skal kørestrømsanlæggene på Nordbanen og Kystbanen ombygges inden etableringen af rørskjoldet, således at der ikke er konflikt mellem rørskjoldet og kørestrømsmasterne fundamenter. Kystbanen og Nordbanen ligger over rørskjoldet på strækninger med en længde på op til hhv. 110 m og 80 m. Der udstår undersøgelse af, om der til køreledningsmasterne kan etableres pladefundamenter, som giver tilstrækkelig stabilitet til køreledningssystemet, mens rørskjoldet bores/presse under fundamentet. Alternativt skal der etableres et midlertidigt ophængningssystem som spænder hen over rørskjoldet og som senere erstattes af et permanent pladefunderet ophængningssystem.

De tunnelarbejder, som udføres fra området nord for Kystbanen i Ryvangs Allé, påregnes at kunne udføres uden sporspærring. Undtaget herfra er muligvis nedrivningen af støttevæggen lang Ryvangs Allé, som dog vurderes at kunne udføres i enkelte natspærringer.

Tunnelarbejderne, som udføres fra området ved Svanemøllens Kaserne, vil ved etableringen af en mindre del af byggegruben kræve sporspærring. Denne sporspærring vil kunne samordnes med sporspærring i forbindelse med arbejderne med sikring af Farumbanens opdriftsstabilitet.



Inden arbejdet med rørskjoldet påbegyndes skal både Nordbanen og Kystbanen påregnes lagt i skinneafstivning på hele den berørte strækning. Dette arbejde kan udføres i enkelte weekendspærringer.

### 3.7 Tidsplan

Der er udarbejdet en grov overordnet tidsplan for etableringen af tunnelstrækningen mellem Svanemøllens Kaserne og Strandvejen. Etableres strækningen under Kystbanen og Nordbanen med rørskjoldmetoden vil den samlede anlægsperiode for den nævnte strækning være på ca. 850 dage. Etableringen af selve rørskjoldet påregnes at tage ca. 160 dage. Det er her forudsat, at der arbejdes med to tunnelboremaskiner i treholdsskift, syv dag om ugen ved etableringen af rørskjoldet, mens der ved de øvrige arbejder på strækningen arbejdes 7,5 timer, fem dage om ugen.

Sikring af Farumbanens opdriftsstabilitet påregnes at kræve en sporspærring af Nordbanen på ca. 14 dage. Ombygning af køreledningsanlægget på Nordbanen, etablering af skinneafstivninger, samt af de kritiske dele af byggegruben umiddelbart vest for Nordbanen påregnes at kunne udføres under samme spærring.

Ombygningen af køreledningsanlægget og etablering af skinneafstivninger på Kystbanen påregnes at kunne udføres i et antal weekendspærringer eventuel med ét-spors drift. Under disse weekendspærringer kan støttevæggen langs Ryvangs Allé endvidere fjernes.

Skinneafstivningerne skal fjernes i et antal weekendspærringer, hvor de ombyggede køreledningsanlæg, såfremt disse er midlertidige, samtidig skal erstattes af permanente køreledningsanlæg.

Alle arbejder under sporspærringer udføres i treholdsskift, syv dage om ugen.

### 3.8 Anlægsoverslag

Der er udarbejdet et groft prisoverslag for etableringen af tunnelstrækningen mellem kaserne og Strandvejen.

Prisoverslaget lyder på ca. 550 mio. kr. i prisniveau 1. juli 2007. Overslaget er inkl. tillæg for arbejdsplads, entreprenørens uforudsete udgifter, projektering og tilsyn, samt bygherreorganisation.

Til sammenligning lyder det tilsvarende prisoverslag for strækningen udført med Bottom Up metoden på ca. 300 mio. kr.

### 3.9 Fordele og ulemper

Ved rørskjoldmetoden skal der ikke som i Bottom Up og Top Down metoderne etableres lodrette byggegrubeindfatninger på tværs af banearealet. Rørskjoldmetoden kræver derfor ikke de langvarige sporspærringer som de to andre metoder kræver. Dette er rørskjoldmetodens eneste væsentlige fordel.

Rørskjoldmetoden er ikke før benyttet i Danmark og der er i Europa, så vidt det er oplyst, kun udført én banekrydsning med metoden. Denne banekrydsning vedrørte et væsentligt mindre tunneltværsnit og krydsningen foregik stort set vinkelret på banen.

Det større tunneltværsnit på Nordhavnsvejprojektet, men især den meget spidse skæring med banen komplicerer rørskjoldmetoden så meget, at der, ud over selve boring/presning af rørene, kun er få fælles træk med de allerede udførte banekrydsninger.

De borede/pressede rør er op til 150 m lange. Tilsvarende længder er tidligere udført i Europa, men ikke som tætliggende rør i et rørskjold.

De her foreslåede arbejdsgange ved udgravning under og afstivning af rørskjoldet er aldrig afprøvet. Etableringen af tunneltværssnittet under rørskjoldet vil endvidere stille meget store krav til både mandskab og materiel. Rørskjoldmetoden er således anlægsteknik forbundet med stor usikkerhed.

For banedriften har metoden, som ovenfor nævnt, den fordel, at der ikke skal foretage langvarige spærringer af Kystbanen. Nordbanen skal dog fortsat lukkes i en periode af hensyn til arbejdet med opdriftsikringen af Farumbanetunnelen. Ud over denne spærring skal der udføres en række weekendspærringer for at ombygge køreledningsanlæg og indbygge skinneafstivninger.

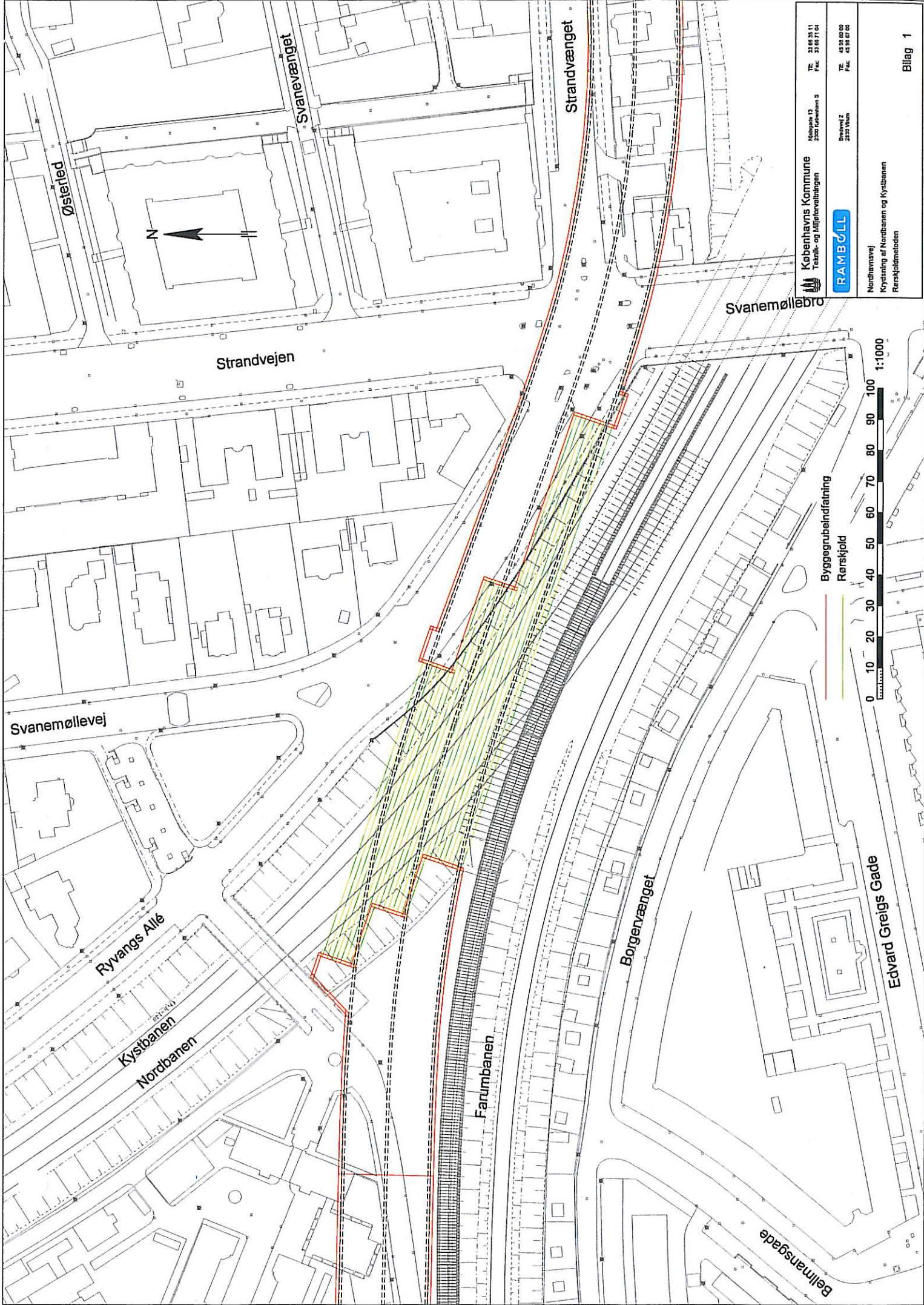
Sammenlignet med rørskjoldmetoden er både Bottom Up og Top Down metoden mere robust set i forhold til togdriften. I Bottom Up metoden føres banerne over byggegruben på midlertidige broer, hvilket er en ofte benyttet fremgangsmåde, som rummer den fordel, at de midlertidige bærende konstruktioner er fuldt tilgængelige for inspektion og vedligeholdelse. I Top Down metoden lægges banerne efter en sporspærring permanent tilbage oven på dækket på tunnelen og selv om der herefter graves ud under dækket, er løsningen mere robust end rørskjoldmetoden, da dækket kan fordele belastninger på både langs og tværs af tunnelen.


Under etableringen af rørskjoldet kan der forekomme sætninger af jorden under sporene og under den senere udgravning vil der ske sætning af rørene og dermed også jorden under sporene. Skinneafstivningerne vil mindske effekten af disse sætninger, men det vurderes, at der kan blive stillet krav om automatisk overvågning sporene. Fejl i den automatisk overvågning eller påvirkninger, som ikke hidrører fra anlægsarbejdet kan føre til, at togdriften afbrydes automatisk og ikke kan genoptages, før det på stedet er sikret, at forholdene er i orden. Som alternativ til automatisk overvågning kan der anvendes "banevagter" og regelmæssige præcisionsnivelementer af sporene i hele anlægsperioden.


Det skal påregnes, at togenes hastigheden ved banebanekrydsningen vil blive reguleret til maks. 40 km/t. Dette er en kraftig reduktion af Kystbanens hastighed på stedet, hvor der er langt til de nærmeste stationer. Også for Nordbanen vil der med de hurtigt accelererende S-tog blive lagt en binding på togdriften.

I forhold til krydsning af baneområdet med Cut & Cover metoden vil rørskjoldmetoden medføre en ekstraudgift på ca. 250 mio. kr. Det er her ikke modregnet, at Cut & Cover løsning-

gerne medfører så lange sperspærringer, at det forventes at der vil blive stillet krav om ombygning af "omstigningsstationerne" Hellerup og Ryparken, vendespor mv. Den faktiske ekstraudgift kan således ligge 25 til 50 mio. kr. lavere.



 <b>Københavns Kommune</b> Teknik- og Miljøforvaltningen	Høstetårn 13 2300 København S	Tlf: 33 66 33 11 Fax: 33 66 71 04
	Bredgade 2 2320 Vesterås	Tlf: 45 58 00 00 Fax: 45 58 07 00


 Rambøll  
 Nordhavnsvej  
 Kystbanen og Kystbanen  
 Rensskildmetoden



Byggegrubeindfætning  
 Rensskild