

Bilag 2

NOTAT

Projekt **Nordhavnsvej**
Kunde **Københavns Kommune, Teknik- og Miljøforvaltningen**
Notat nr. **NHV 672-001-b**
Emne **Krydsning af Nordbanen og Kystbanen – Undersøgte udførelsesmetoder**
Til **Center for Anlæg og Udbud**
Fra **Rambøll**

Dato 2010-04-08

1. Indledning

Det er ved møder mellem Københavns Kommune og Banedanmark aftalt at undersøge en række udførelsesmetoder til brug ved Nordhavnsvejs krydsning under Nordbanen og Kystbanen ved Svane-møllen. De 14 metoder er beskrevet i oversigtsskema dok.nr. NHV 602-019-C, dateret 2009-12-15.

Rambøll
Bredevej 2
DK-2830 VirumT +45 4598 6000
F +45 4598 6700
www.ramboll.dk**2. Undersøgte udførelsesmetoder****Metode 1 og 2 – Bottom Up**

Tunnelen bygges på traditionel vis i en åben byggegrube, hvor togene føres over på midlertidige stålbroer.

Ref. 7554010

Metode 3 og 4 – Top Down

Under sporspærring etableres borede pæle langs de planlagte tunnelydervægge og tunnelmidtervæggen. Tunnelens topplade støbes oven på de borede pæle og togdriften kan genoptages. Der graves ud under toppladen og tunnelen færdiggøres.

Made by [ini]
Checked by [ini]
Approved by [ini]**Metode 5 – Top Down med tunnelvægge støbt forudgående i smalle byggegruber**

Metoden er en variant af metode 3 og 4. Metoden medfører uacceptable arbejdsmiljømæssige forhold.

Metode 6, 7, 8 og 9a – Gennempresning af retlinet tunnel

Tunnelsektioner presses ind under banearealet med et graveskjold i front. For at tilpasse vejanlægget til den retlinede tunnelstrækning under banen skal der foretages omfattende ekspropriationer på Svane-møllens Kaserne eller af ejendomme ved Strandvejen. Gennempresningen skal påregnes udført under sporspærring. Metoden

er ikke anvendt før til så lange tunnelstrækninger med tilsvarende tunneltværsnit.

Metode 9b – Gennempresning af krum tunnel

Er ikke velegnet til tunneltracéet under banearealet, som består af både krumme og retlinede strækninger.

Metode 10 – Indrulning af brodæk

Indrulning af brodæk under sporerne med sporene bibeholdt i indrulningsperioden. Efterfølgende etablering af tunnelen under brodækket.

Metode 11 og 12 – Indrulning af tunnelelementer

Indrulning af tunnelelement med en længde på ca. 190 m. Tunnelelementet skal støbes i nærområdet efter omfattende ekspropriationer. Metoden er vurderet ikke at være praktisk mulig.

Metode 13 – Rørskjoldsmetoden

Metoden betegnes også Roof Box Jacking eller Pipe Arch. Ved hjælp af en minitunnelboremaskine etableres en vandret boks af stålør, som tunnelen herefter bygges inden for. Metoden er fravalgt på grund af de mange risici som metoden medfører for både banedriften og tunnelprojektet.

Metode 14 – Forlægning af spor

Skiftevis forlægning af sporene på Kystbanen og Nordbanen eventuelt i kombination med perioder med enkeltsporsdrift på Kystbanen. Tunnelen etableres sektionsvis med Top Down eller Bottom Up metoden i de områder, som sporene forlægges fra.

3. Metoder udvalgt til videre undersøgelse

Der er opnået enighed med Banedanmark om, at metoderne 6, 7, 8, 9a, 9b, 11, 12 og 13 er uegnede til det aktuelle projekt og metoderne er således fravalgt. Metode 5 er endvidere fravalgt på grund af de uacceptable arbejdsmiljømæssige forhold.

I samarbejde med Banedanmark arbejdes der videre med at undersøge de øvrige metoder. Udførelsesmetoden for de to baner skal ikke nødvendigvis være den samme. Valget af metode skal ses i sammenhæng med muligheden for og konsekvensen af at spærre banerne, samt anlægsarbejdets fremdrift og overordnede tidsplan. Endvidere skal metoden sikre kvaliteten og robustheden af det endelige tunnelanlæg.

Nordhavnsvej – Vejforslag A1. Krydsning under Nordbanen og Kystbane. Oversigt over undersøgte krydsningsmetoder. 2009-12-15.

Metode	Sporspærring og konsekvenser for trafikken	Bemærkninger	Anlægsoverslag, note 1 og 2.
1 Bottom Up med ballasteret spor på midlertidig ståløverdækning af byggegrube	Sporspærring og konsekvenser for trafikken 2012: Nordbanen: 35 dage Kystbanen: 50 dage 2013: Nordbanen: 20 dage Kystbanen: 30 dage Bør ikke føre til restriktioner for trafikken på den midlertidige ståløverdækning. Kun vurderet overslagsmæssigt: 2012: Opdriftssikring af Farumbanetunnel 14 dage Ca. 40 weekendspærringer samt 2 x 7 dage. 2013: 2 x 15 dage. 2012: Nordbanen: 65 dage Kystbanen: 85 dage Bør ikke føre til restriktioner for trafikken efter, at denne er genoptaget efter sporspærringerne.	Vejforslaget gennemføres i en robust traditionel tunnelkonstruktion Resultater i en robust traditionel tunnelkonstruktion, som dog er vanskeligere at udføre end metode 1, da dæk og vægge etableres under toppladen efter udgravning under denne. Metoden medfører større risiko for indbygning af fejl end metode 1.	Anlægsoverslag, note 1 og 2. 90 mio. kr. højere end for metode 3
2 Bottom Up med spor på midlertidige broer, korte sporspærringer	Kun vurderet overslagsmæssigt: 2012: Opdriftssikring af Farumbanetunnel 14 dage Ca. 40 weekendspærringer samt 2 x 7 dage. 2013: 2 x 15 dage. 2012: Nordbanen: 65 dage Kystbanen: 85 dage Bør ikke føre til restriktioner for trafikken efter, at denne er genoptaget efter sporspærringerne.	Gennemførelse af metode. Stor risiko for at tidsplanen skrider pga. de mange sporspærringer.	Ikke beregnet, men af samme størrelsesorden som metode 1
3 Top Down på borede pæle med sprøjtebeton udfyldning. In-situ støbt topplade.	2012: Nordbanen: 65 dage Kystbanen: 85 dage Bør ikke føre til restriktioner for trafikken efter, at denne er genoptaget efter sporspærringerne.	Gennemførelse af metode, som ofte anvendes i udlandet. Sjældent anvendt i Danmark, mest fordi der ikke har været behov. Anvendt ved metrokrydsning under Falkoner Allé Resultater i en robust traditionel tunnelkonstruktion, som dog er vanskeligere at udføre end metode 1, da dæk og vægge etableres under toppladen efter udgravning under denne. Metoden medfører større risiko for indbygning af fejl end metode 1.	Reference for anlægsoverslag
4 Top Down på borede pæle med sprøjtebeton udfyldning. Præfab topplade.	2012: Nordbanen: ca. 60 dage Kystbanen: ca. 80 dage Bør ikke føre til restriktioner for trafikken efter, at denne er genoptaget efter sporspærringerne.	Etableringen af toppladen som præfabrikeret tæt konstruktion forudsætter, at hele pladen, element for element, støbes på anden plads med naboelementer som formsider. Efter montage i banekrydsningen skal elementerne spændes sammen på langs og på tværs af tunnelen. Elementerne skal støbes sammen med de borede pæle. Da elementerne spænder på tværs af tunnelrøret, vil den skrå skæring med banen og udførelsen i to etaper medføre store områder, hvor to elementer lagt op i hver sin etape skal spændes sammen på tværs af tunnelen. Metoden er fravalgt bl.a. fordi der opnås en mindre robust konstruktion, som er meget kompliceret og fordi reduktionen af sporspærringstiderne er lille.	Ikke beregnet, men af samme størrelsesorden som metode 3
5 Top Down med vægge støbt forudgående i tre lange, smalle byggegruber. Spor på midlertidige broer over byggegrube.	2012: Opdriftssikring af Farumbanetunnel 14 dage Nordbanen: 3 weekendspærringer 1 spærring af 10 dage Kystbanen: 3 weekendspærringer 1 spærring af 10 dage 2013: Nordbanen: 1 spærring af 10 dage Kystbanen: 1 spærring af 10 dage Hastighedsnedsættelse på midlertidige broer i ca. 1 år	Risiko for, at tidsplanen skrider pga. de mange sporspærringer. Anlægsteknik er der tale om en meget kompliceret metode, som medfører et meget stort antal arbejdsstrin både under etableringen af byggegruben og den senere etablering af selve tunnelvægsnit. Under de fleste arbejdsprocesser vil arbejderne skulle udføre tunge løft, som ellers tilstræbes udført med kraner og andre hjælpemidler. Arbejdet skal endvidere udføres under snævre forhold og i afdækkede byggegruber med vanskelige flugtvejsforhold. Metoden vurderes således med hensyn til arbejdsmiljø at være uacceptabel.	210 mio. kr. højere end for metode 3
6 Gennempressing med Anti-Drag-System af retlinet tunnelement med en længde på ca. 190 m. Ejendomme ved Strandvejen bevares.	Opdriftssikring af Farumbanetunnel 14 dage. Ved gennempressing af tunnelementet skal sporene påregnes lagt i skinnestivninger ligesom koreledningsanlægget skal ombygges så det spænder hen over gennempressingsområdet. Som minimum skal der regnes med hastighedsnedsættelse i gennempressingsområdet, sandsynligvis kan der kun presses under sporspærring.	Gennempressing med den såkaldte Anti-Drag-System metode er ikke anvendt før i Danmark. 190 m's gennempressing ligger langt over, hvad der hidtil er gennemført med tilsvarende tværsnit og metode. En del af kasernens bygninger med høj bevaringsværdi og broen til Ryvangs Allé skal rives ned. Kasernens funktion vil næppe kunne opretholdes. Metoden er fravalgt.	Ikke beregnet
7 Gennempressing med Anti-Drag System af retlinet tunnelement med en længde på ca. 120 m. Broen til kasernen bevares, få bygninger med høj bevaringsværdi på kasernen rives ned.	Opdriftssikring af Farumbanetunnel 14 dage. Ved gennempressing af tunnelementet skal sporene påregnes lagt i skinnestivninger ligesom koreledningsanlægget skal ombygges så det spænder hen over gennempressingsområdet. Som minimum skal der regnes med hastighedsnedsættelse i gennempressingsområdet, sandsynligvis kan der kun presses under sporspærring.	Gennempressing med Anti-Drag-System metode er ikke anvendt før i Danmark. Næsten tilsvarende gennempressing er udført i Boston, dog med forudgående frynsning af undergrunden med hævnng af sporområdet til følge. Ejendommen Strandvejen 59 skal rives ned. Ejendommen Strandvænget 1 stilles på pæle under udførelse af tunnelstrækningen under ejendommen. Tracéring overholder ikke Vejreglerne. Metoden er fravalgt.	Ikke beregnet
8 Gennempressing med Anti-Drag System af ca. 210 m langt retlinet tunnelement i overbræde, så krumt vejtracé kan rummes i tunnelen.	Opdriftssikring af Farumbanetunnel 14 dage. Ved gennempressing af tunnelementet skal sporene påregnes lagt i skinnestivninger ligesom koreledningsanlægget skal ombygges så det spænder hen over gennempressingsområdet. Som minimum skal der regnes med hastighedsnedsættelse i gennempressingsområdet, sandsynligvis kan der kun presses under sporspærring.	Gennempressing med Anti-Drag-System metode er ikke anvendt før i Danmark. 210 m's gennempressing ligger langt over hvad der hidtil er gennemført med tilsvarende tværsnit og metode. Bro til kasernen skal rives ned og ny bro etableres andet sted. Ejendommen Strandvejen 59 skal muligvis rives ned. Metoden er fravalgt.	Ikke beregnet
9a Gennempressing med Anti-Drag-System af retlinet tunnelement fra begge sider.	Opdriftssikring af Farumbanetunnel 14 dage. Ved gennempressing af tunnelementet skal sporene påregnes lagt i skinnestivninger ligesom	Gennempressing med den såkaldte Anti-Drag-System metode er ikke anvendt før i Danmark. Når de to graveskjold mødes skal der etableres en byggegrube i banområdet, således at graveskjoldene kan fjernes og gennempressingen kan	Ikke beregnet

		køreledningsanlægget skal ombygges så det spænder hen over gennempressningsområdet. Fjernelse af graveskjold med forudgående etablering af byggegrube kræver sporspærring af Kystbanen og muligvis også Nordbanen. Som minimum skal der regnes med hastighedsnedsættelse i gennempressningsområdet, sandsynligvis kan der kun presses under sporspærring.	afsluttes. En del af kasernens bygninger med høj bevaringsværdi og broen til Ryvangs Allé skal rives ned. Kasernens funktion vil næppe kunne opretholdes. Dårige pladsforhold ved Strandvejen til byggegrube. Metoden er fravalgt.	Ikke beregnet
9b	Gennempressning af krumt tunneltracé	Opdriftsikring af Farumbanetunnel 14 dage. Ved gennempressning af tunnelement skal sporene påregnes lagt i skinnestivninger ligesom køreledningsanlægget skal ombygges så det spænder hen over gennempressningsområdet. Som minimum skal der regnes med hastighedsnedsættelse i gennempressningsområdet, sandsynligvis kan der kun presses under sporspærring.	Gennempressning af krumt tunneltracé er teoretisk set muligt, men er aldrig foretaget i Danmark med et tilsvarende tunneltværsnit. Det aktuelle tracé er sammensat af retlinede og krumme strækninger. Gennempressning af krum strækning er svær at styre geometrisk og metoden indebærer risiko for, at der opstår brud i jorden på siden af tunnelen med sætninger af banearealet til følge. Metoden er fravalgt.	Ikke beregnet
10	Indrulning af brodæk til placering på allerede etablerede tunnelvægge.	Opdriftsikring af Farumbanetunnel 14 dage. Etablering af tunnelvægge kræver meget lange eller mange kortvarige sporspærringer. Sammenstøbning af brodæk og tunnelvægge kræver lang sporspærring. Efter indrulning, sammenstøbning med tunnelvægge og retablering af baneanlægget, kan togdriften genoptages uden restriktioner.	Brodæk til Nordbanen vil have et areal på ca. 750 m ² og en anslået vægt på ca. 1500 ton. Pladsforholdene i området vest for Nordbanen medfører, at brodækket skal støbes delvist oven på Farumbanetunnelen. Sporkorten på Nordbanen ligger mellem +1,8 og +2,6, mens oversiden af Farumbanetunnelen ligger mellem kote +2,7 og +3,4. Som en konsekvens heraf skal brodækket ikke blot indruller, men også sænkes op til ca. 3,5 m. Brodækket til Kystbanen vil have et areal på ca. 1800 m ² og en anslået vægt på ca. 6000 ton. Der er ikke plads til støbning af brodækket i tunneltracéet, hvorfor der i Ryvangs Allé i et større område skal udgraves til ca. 8 m under terrænen uden for tunneltracéet. Dæk og tunnelvægge skal støbes sammen, hvilket medfører lang sporspærring efter indrulning. Metoden er fravalgt på grund af de komplicerede og risikofyldte indrulninger og fordi metoden ikke giver en drastisk reduktion af omfanget af sporspærringer.	Ikke beregnet
11	Indrulning af tunnelementer Indrulning i længderetning	Ikke vurderet, da metoden ikke vurderes at være praktisk mulig.	Tunnelængde er ca. 190 m. Byggegrube til elementer kræver nedrivning af en stor del af bygningerne på kasernen og af broen til kasernen. Indrulning kræver forudgående udgravning af ca. 50.000 m ³ jord samt efterfølgende ca. 15.000 m ³ tilfyldning, hvis der ikke skal etableres byggegrubeafstivning i baneområdet for indrulningen. Metoden er fravalgt, da den ikke vurderes at være praktisk mulig.	Ikke beregnet
12	Indrulning af tunnelementer Indrulning i tværretning	Ikke vurderet, da metoden ikke vurderes at være praktisk mulig.	Der er ikke plads til støbning af tunnelementet. Indrulning kræver større omfang af udgravning og tilfyldning end metode 11. Metoden er fravalgt, da den ikke vurderes at være praktisk mulig.	Ikke beregnet
13	Rørskjoldsmetoden. Bygning af tunnel under et rektangulært skjold af store stålrør i længderetning.	Opdriftsikring af Farumbanetunnel 14 dage. Ved boring/presning af rørene under baneområdet skal sporene påregnes lagt i skinnestivninger ligesom køreledningsanlægget skal ombygges så det spænder hen over gennempressningsområdet. Disse arbejder kan for Nordbanens vedkommende udføres i forbindelse med opdriftsringen af Farumbanetunnelen, mens de for Kystbanen skal udføres i et antal weekendspærringer. Der vil under udgravningen under rørene ske sætninger af disse, som vil forplante sig til sporene. Der skal påregnes hastighedsnedsættelse over tunnelområdet, både under boring/presning af rør, samt under den efterfølgende udgravning under rørene, anslået 15 måneder.	Rørskjoldsmetoden (også kaldet Pipe Arch Metoden for hvælvede tunneltværsnit) er baseret på minitunnelingsmetoden. Med en tunnelboremaskine bores/presses stålrør med en diameter på ca. 1,5 m under banearealet side om side, således at der dannes en rektangulær kasse med indre mål svarende til tunneltværsnitets ydre mål. Med graveskjold i front til understøtning af rørene graves der ca. 10 m ind under rørene, hvorefter der støbes en 10 m tunnelsektion. Efter afhærdning bærer tunnelsektionen rørene, når der atter med graveskjoldet graves yderligere 10 m frem osv. Metoden er ikke tidligere benyttet i Danmark og der er i Europa kun udført én baneekrydsning med metoden. Denne baneekrydsning vedrørte et væsentligt mindre tunneltværsnit og krydsningen foregik stort set vinkelret på banen. De aktuelle længder af de borede/pressede rør er udført ved andre projekter i Europa, men ikke som tætliggende rør i et rørskjold. Metoden er fravalgt pga. de mange risici som metoden medfører for både bane driften og tunnelprojekttet.	230 mio. kr. højere end for metode 3
14	Forlægning af spor	Ikke vurderet, da metoden vurderes at byde på væsentligt flere ulemper end fordelene.	Det er overordnet undersøgt, hvorledes man ved skiftevis forlægning af sporene i Nordbanen og Kystbanen kan etablere tunnelen i baneområdet. Arbejdet kan enten påbegyndes fra vest eller øst og fører i begge tilfælde til 6 sporsforlægninger, hvoraf flere omfatter to spor ad gangen. Kystbanen skal endvidere køre enkeltsporsdrift i to perioder. Stor risiko for, at tidsplanen skrider pga. de mange sporspærringer. Dele af tunnelarbejderne skal udføres med spor i drift både øst og vest for arbejdsområdet, hvilket komplicerer arbejdet ganske betydeligt. Tunnelen udføres i baneområdet i forholdsvis små områder ad gangen, hvilket resulterer i en konstruktion med mange uregelmæssige støbeskel og større risiko for indbyggede fejl. Metoden er fravalgt.	Ikke beregnet

Note 1) Prisniveau 1. juli 2007, inkl. tilæg.
Note 2) Indirekte omkostninger uden for anlægsområdet, såsom gangbroer ved Hellerup og Ryparken Stationer, er ikke medtaget i anlægsoverslagslaget.