

KØBENHAVN

M



M

MALMÖ



BILAG I - 10

UDDYBENDE STUDIE AF EN BORET TUNNELLØSNING

ÖRESUNDSMETRO »

KØBENHAVN

MALMÖ

2017



KØBENHAVNS KOMMUNE

Interreg

Öresund-Kattegat-Skagerrak
European Regional Development Fund



EUROPEAN UNION

BILAG I

Geologisk og geoteknisk rapport

BILAG 3

Geo Rapport

Dato 23. juli 2013

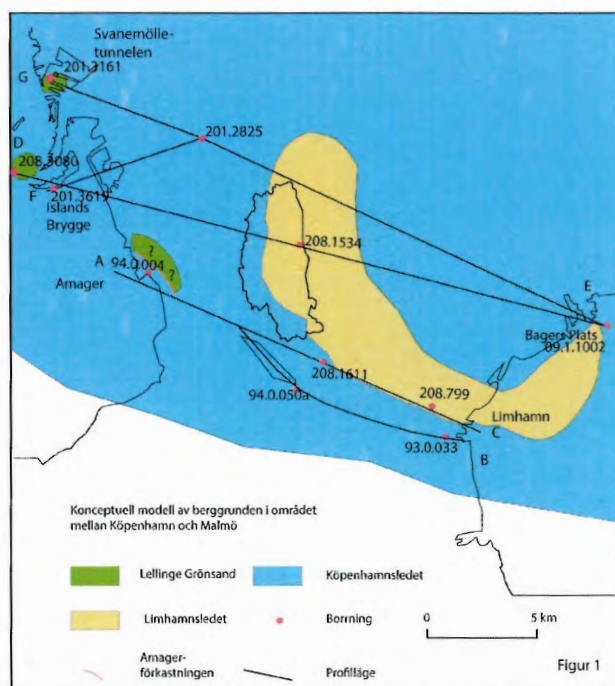
Rambøll
Hannemanns Allé 53
DK-2300 København S

T +45 5161 1000
F +45 5161 1001
www.ramboll.dk

Malmö Gatukontor

Öresundsmetron

Berggrundens uppbyggnad och egenskaper



Datum: 2013-08-08

Handläggare: Jan Hartlén, JH GeoConsulting AB

Ulf Sivhed, Nyåkra Geoconsulting AB

1. Uppdrag och syfte

Malmö stad och Köpenhamns kommun undersöker möjligheterna att bygga en ny tågförbindelse, Öresundsmetron, mellan städernas centrala delar. Det finns olika tänkbara anslutningspunkter i de två städerna. En del i analyserna består i att värdera olika anläggningstekniska lösningar. Det finns olika tekniska metoder för att bygga tunneln, som borrarad tunnel alternativt sänktunnel.

En betydelsefull faktor är de georelaterade frågorna som bottenförhållanden i Öresund, såsom jordlager, bergnivåer, bergegenskaper och bergets täthet. För de två tunnelalternativen blir lutningar och nivåer för tunnlar olika liksom planläget.

Denna rapport ingår i Interreg IV A-projekt. Projektdelen WP 4 innefattar att bestämma de tekniska förutsättningarna för byggandet av anläggningen.

2. Underlag för utredningen

Rapporten baseras på berggrundskartan 2C Malmö SV (SGU Ser Af 192), Köbenhavnsområdets geologi (DGU III). Raekke 45) och diverse sammanställningar gjorda från Citytunnelprojektet i Malmö och Öresundsbroprojektet. En stor hjälp har varit GEUS webbaserade nationella "borrdatabas".

Information angående borrhningar med nr 93.0.xxx, 94.0.xxx är hämtad från ÖSK rapporter, från GEUS borrdatabas och 09.1.1002 från SGU.

3. Georelaterade frågeställningar

Det finns olika scenarier att belysa enligt projektbeskrivningen. För samtliga scenarier ingår att analysera:

- placering av stationer/nergångar
- placering i djup och i plan av tunnel
- typ av konstruktioner, främst borrarad tunnel alternativt sänktunnel.

Som grund för dessa analyser krävs bland annat en konceptuell modell för de geotekniska och geohydrologiska förhållandena. Häri ingår att klargöra nivåer för jord, typ av jordarter, nivån för övre uppsprucket berg och nivån för underliggande "kompetent" berg samt svaghetszoner i kalkberget. De tekniska egenskaperna kopplas till de olika grundförhållandena.

Geohydrologiska strukturer som vattenförande nivåer och större vattenförande sprickzoner och förkastningar behöver klargöras.

Analys av borrarad tunnel alternativt sänktunnel berörs vad avser för- och nackdelar. De två alternativen är kopplade till olika problemställningar. För borrarad tunnel krävs viss bergtäckning med kompetent berg, inte minst för tvärtunnlar. För sänktunnel krävs analys av grundläggningsförhållanden i jord/berg samt erforderlig överfyllnad och därtill risk för miljöpåverkan.

4. Geologisk beskrivning

4.1 Allmänt

De geologiska förhållandena är relativt väl kända i Öresund, främst till följd av undersökningarna för Öresundsbron. En sammanställning är gjord av befintligt material, se referenser. På bilaga 1-7 redovisas plan och längdsektioner för alternativa dragningar av Öresundsmetron norr, under respektive söder om Saltholm. Bilaga 8 redovisar geologiska typområden inom detta område.

4.2 Bottenförhållanden

Förekommande bottensediment beskrivs inte i den här sammanställningen. De olika bottensedimenten finns beskrivna i "Bottentypkarta över Danmark och västra Sverige" (SGU Ba 48) och i "Maringeologiska kartan Malmö" (SGU Rapport och meddelanden 13).

4.3 Jordlager

Jordlagren har begränsad mäktighet i området. Inom vissa delar saknas de helt (mellan Saltholm och Limhamn – Malmö). De mäktigaste jordlagren, upp mot 10 m, påträffas i den västra delen.

Överst förekommer postglaciala avlagringar (främst marin sand och silt men även lera) med en mäktighet på upp till ca 1 m. Därunder förekommer fast lermorän med inlagrade lager av i första hand sand. Torv förekommer också i moränen.

Fyllning har utlagts i Öresund, främst i den nordvästra delen inom aktuellt område.

4.4 Berggrunden

Berggrunden är huvudsakligen uppbyggd av olika typer av kalkstenar av paleogen (tertiär enligt äldre terminologi) ålder.

Utmed Amagers östra kustlinje, löper en förkastning i nordnordväst – sydsydost, Amagerförkastningen. Berggrunden på den östra sidan av förkastningen är nedsänkt uppemot 15 m. I det nedsänkta partiet finns en sand/sandstensenheter som betecknas Lellinge Grönsand.

Utmed skånekusten mellan Limhamn och Malmö hamn löper troligtvis en förkastning i nordost – sydväst riktning.

Till följd av yngre berggrunds rörelser i området har ett område som sträcker sig från Malmö – Limhamn till Saltholm höjts upp vilket medfört att Köpenhamnskalkstenen och även delar av Limhamnskalkstenen eroderats bort.

Lellinge Grönsand

Lellinge Grönsand är uppbyggd av bottenkonglomerat, karbonathaltig sand och lera. Mineralet glaukonit har gett berggrundsensheten dess gröna färg. Lellinge Grönsand förekommer i ett område utanför Amager. Den påträffas även som oregelbundet förekommande erosionsrester på Köpenhamnskalkstenen i Köpenhamnsområdet. Mäktigheten bedöms uppgå som mest till ca 6 m.

Köpenhamnsledet

Köpenhamnsledets bergarter är uppbyggda av kalkstenar med en kornstorlek som oftast underskrider sandfraktionen. Kalkstenarna innehåller karbonatkorn i en annars av kalkslam och lerpartiklar dominerad mellanmassa. Av denna anledning beskrivs kalkstenarna ofta som en kalkarenit. På svenska sidan bedöms karbonatkornen ha en mindre storlek och därför fått beteckningen kalcilutit. Mellan kalkstenbankarna förekommer ibland leriga, finlaminerade, mörkgrå lager. Både kalkstenarna och de leriga lagren förekommer som linsformade, mer eller mindre horisontella, bildningar, vilka har stor lateral utbredning. Mäktigheten varierar från några cm upp till ca 0,5 m. De individuella lagren har en stor lateral uthållighet (ibland upp till flera hundra meter). I de ovan beskrivna lagren har kiselsyra anrikats och gett upphov till flinta eller förkislad kalksten. Förkislagen är oregelbundet förekommande. Upp till 2 m mäktiga flintbankar förekommer, liksom cm-stora flintnoder omgivna av kalksten. I de fall de förkislade bankarna har stor mäktighet är det oftast fråga om flera ursprungliga bankar som förkislats och tillsammans bildat en flintbank.

Köpenhamnskalkstenen delas in i tre delar: En undre kalkarenit – kalcilutit med lerlager och flinta, en mellersta del bestående av kalkarenit och flinta genomsatt av grävgångar (oftast förkislade). Bergarten är bioturberad. Den övre delen består av regelbundet lagrad kalkarenit och flintbankar.

Köpenhamnsledet har en mäktighet på upp till 40 – 45 m.

Limhamnsledet

Limhamnsledet eller Bryozokalksten, som den även benämns, är uppbyggd av kalkstenar som primärt till stor del bestod av kalkslam. Kalkslammet består i sig till övervägande del av bryozofragment (bryozo är en kolonibildande organism, kallas även mossdjur) och bryozokolonier som växte på botten. Limhamnsledet kan i Limhamn delas in i tre olika delar (generationer) vilka var och en är uppbyggd av ett antal 100 – 200 m långa och 5 – 15 m höga linsformade bankar med kalksten. Detta har fått till följd att Limhamnskalkstenen uppvisar en asymmetrisk lagring som skiljer sig från Köpenhamnskalkstenens horisontella lagring.

Bryozokalkstenen förekommer mestadels som 5 – 40 cm mäktiga bankar åtskilda av tunna lerlager. Flinta förekommer som oregelbundna 5 – 15 cm mäktiga lager, ofta med liten lateral utbredning. Förkislad kalksten och flinta förekommer i mindre omfattning i jämförelse med Köpenhamnskalkstenen.

I Limhamnsledet förekommer i begränsad omfattning rev som till stor del är uppbyggda av koraller. Reven kan uppvisa höga porositetvärden. Reven varierar i storlek från flera hundra meters längd och med mäktigheter på upp till 30 – 40 m till mindre rev som är ca 0,5 – 1 m mäktiga och 3 – 4 m långa. I Skåne har mindre rev påträffats vid schaktningsarbeten vid Triangeln (Malmö) och även i Limhamnsbrottet. Stora rev har påträffats i Faxe på danska sidan.

Limhamnsledet har en mäktighet på 50 – 65 m.

Övergångsform mellan Limhamnsledet och Köpenhamnsledet

I Malmöområdet förekommer en övergångsform mellan Limhamnskalkstenen och Köpenhamnskalkstenen. Enheten kännetecknas av växellagring mellan hårda, relativt bryozofattiga kalkstenslager som påminner om Köpenhamnskalkstenen, och lösare bryozorika lager som påminner om Limhamnskalkstenen. I Limhamnsbrottet är enheten relativt horisontellt lagrad och har en mäktighet på ca 10 m.

Gränsen mellan Limhamns- och Köpenhamnsledet

Gränsen mellan de båda enheterna utgörs av en eller fler dm-mäktiga, svarta, leriga lager. Dessa kan identifieras i gammalloggar.

5. Geotekniska egenskaper

5.1 Jordlager

Jordlagren är tunna och utgörs till övervägande del av sediment på lermorän. Dessa jordlager bedöms inte skapa grundläggningsproblem. Dock kan stora block förekomma som påverkar schaktbarheten.

Fyllningen utanför norra Köpenhamn är inte närmare känd varför det bör klargöras om mer information finns tillgänglig.

5.2 Kalkberg

Kalkstenen är uppbyggd av flera typer som kan relateras till avsättningsförhållandena enligt avsnitt 4.

Utmärkande för kalkstenen är stora variationer av materialtyper som bygger upp kalkstenen, horisontella vattenförande zoner, nära vertikala sprickor som i allt leder till anisotropi och inhomogenitet. Detta yttrar sig bland annat i form av starkt varierande hårdhet, tunghet och mineralsammansättning. Lager och andra bildningar med hög mineralhårdhet förekommer, t ex flinta och förkislad kalksten.

Kalkbergets egenskaper bestäms i hög grad av dess diskontinuiteter. Den mest frekventa diskontinuitetstypen utgörs av nära horisontella sedimentationsgränser. Därtill förekommer spricksystem parallellt med och nära vinkelrätt mot dessa sedimentationsgränser.

Kalkstenens uppbyggnad är finkornig och de ohärdade delarna är mycket känsliga för mekanisk påverkan i kontakt med vatten.

Kalkberggrundens övre del är normalt upp till 4 m mäktig men kan nå upp till 8 m och har hög vattengenomsläpplighet.

De mekaniska egenskaperna är förhållandevis goda för att vara sedimentärt berg.

Köpenhamnskalksten

Köpenhamnskalkstenen indelas i tre zoner, en övre, en mellan och en nedre zon (Cityringen, 2011). På svenska sidan är lagret med Köpenhamnskalksten begränsad i mäktighet och bedöms tillhöra den nedre Köpenhamnskalkstenen.

Den övre zonen kännetecknas av att vara starkt skiktad och uppsprucken med genomgående flintbankar. Denna zons mäktighet uppgår till normalt 7 till 15 m, men kan vara lokalt nereroderad så att endast ett fåtal meters mäktighet kvarstår. Vattengenomsläppligheten är oftast hög.

Den mellersta zonen kännetecknas av att ha en mycket varierande hårdhet medan flintförekomsten är mer begränsad än i den övre delen. Då sprickigheten är begränsad är även vattengenomsläppligheten begränsad. Den mellersta zons mäktighet är ofta 15 till 20 m.

Den nedre zonen är tydligt skiktad och med hög vattengenomsläpplighet. Mäktigheten uppgår till några meter.

Köpenhamnskalkstenens hållfasthet kan i genomsnitt ansättas med kohesionen ca 0 à 0,2 MPa och friktionsvinkeln 45 grader. Deformationsmodulen (E-modulen) kan sättas till 100 à 500 MPa. Flintbankarna har mycket hög hållfasthet medan de lösaste zonerna med H1 material har egenskaper som jord. Densiteten varierar men uppgår i genomsnitt till 21 kN/m³.

Köpenhamnskalkstenens översta ca 4 m är oftast mycket uppsprucken med betydligt lägre hållfasthets- och deformationsegenskaper. Man bör här sätta kohesionen till noll men med bibehållen friktionsvinkel på 45 grader. E-modulen sätts till 100 MPa.

Limhamnsledet

Limhamnsledet består överst av en övergångszon och därunder av Bryozokalksten. Limhamnsledets översta del, den s.k. Övergångszonen, karaktäriseras av relativt tunna skikt och något lägre hållfasthet än den underlagande Bryozokalkstenen.

Bryozokalkstenen innehåller inslag av förkislad kalksten och flinta. Egenskaperna beror främst på innehållet av CaCO₃ och kompaktdensiteten samt svaghetszoner i anslutning till den horisontella lagringen. Lager med mycket löst material förekommer.

Bryozokalkstenens hållfasthet kan i genomsnitt ansättas med kohesionen 0,1 à 0,4 MPa och friktionsvinkeln 46 grader. Deformationsmodulen kan sättas till 500 à 3.000 MPa. Densiteten varierar men uppgår i genomsnitt till 21 kN/m³.

Flintbankarna har mycket hög hållfasthet och de lösaste zonerna med H1 material egenskaper som jord.

5.2 Geohydrologiska egenskaper

Kalkberget kan ur grundvattensynpunkt översiktligt delas in i horisontella zoner, se ovan. Genomsläppligheten i vertikalled är avsevärt lägre än i horisontalled, motsvarande ca 10 à 100 gånger lägre.

Den horisontella permeabiliteten varierar starkt och beror även på sprickförekomsten. I de tätare zonerna uppgår permeabiliteten till ca 10⁻⁶ à 10⁻⁷ m/s och i de genomsläppliga till ca 10⁻³ à 10⁻⁴ m/s.

6. Beskrivning av delområdenas egenskaper

6.1 Områdesbeskrivning

En indelning av bergförhållandena redovisas i plan, se figur 8. Nedan beskrivs dessa delområden.

6.2 Område 1

Området domineras av Köpenhamnsledets bergarter. I östra delen av området utgörs den ytnära berggrunden av de undre delarna av Köpenhamnsledets bergarter. Mot väster bildar allt yngre (övre) delar av Köpenhamnsledets bergarter den ytnära berggrunden. I den allra västligaste delen av området påträffas Lellinge Grönsand dels i nedförkastade områden och dels som erosionsrester på Köpenhamnskalkstenen.

Från Saltholm och västerut är berggrunden nedsänkt i vad som tolkas som ett svagt veck med veckaxeln i västnordväst – ostsydostlig riktning. På Saltholm går Limhamnsledets bergarter i dagen medan de påträffas på nivån -50 under havsytan vid Hovedbanegården och ca -60 vid

Svanemölletunnelen. Längst i väster, i Köpenhamn, finns ett antal förkastningar med språnghöjder på 5 – 6 m. I havet utanför Amager finns en förkastning som benämns Amagerförkastningen. Förkastningen har en västnordväst – ostsydostlig riktning. På förkastningens ostsida är berggrunden nerförkastad.

De lösa avlagringarna har en mäktighet från några dm till några meter i den östra delen av området och uppgår till 10 – 15 m i den västra delen. Jordarterna utgörs av morän och lermorän med stora block men även sand och torv. I Köpenhamnsområdet finns även utfyllnadsmaterial.

6.3 Område 2

Den ytnära berggrunden utgörs av undre och mellersta delen av Köpenhamnsledets bergarter. I norra delen av området bildar de ett tunt, kanske metertjockt täcke på Limhamnsledets bergarter. Köpenhamnsledet ökar i mäktighet i sydlig riktning. I södra delen av området har Köpenhamnsledets bergarter en mäktighet på mellan några upp till ca 20 m. Köpenhamnsledet underlagras av Limhamnsledet.

Berggrunden stupar generellt åt söder till följd av det upphöjda berggrundsområdet mellan Limhamn och Saltholm (Limhamn – Saltholmstrukturen) i norr.

Jordtäcket är tunt och uppgår generellt till några meter och med upp till 5 – 10 m djupa ”sprickor” fyllda med lösa jordarter i form av grus, sten, morän och lera. I östligaste delen av området, vid Limhamn, finns upp till dryga 10 m mäktiga lager med utfyllnadsmaterial.

6.4 Område 3

Den ytnära berggrunden utgörs av Limhamnsledets bergarter.

Området är upphöjt i en sadelliknande struktur i nordväst – sydostlig riktning benämnd Limhamn – Saltholmstrukturen.

Jordtäcket är tunt, upp till några meter med sand och lera, eller saknas helt.

6.5 Område 4

Den ytnära berggrunden utgörs av Köpenhamnsledets bergarter. Mäktigheten varierar från några meter i söder, väster och öster till kanske 15 m i centrala delen av området. Det kan även vara så att Köpenhamnsledets bergarter saknas i delar av området.

Berggrunden stupar, troligtvis, generellt åt norr i området till följd av det upphöjda berggrundsområdet mellan Limhamn och Saltholm (Limhamn – Saltholmstrukturen) i söder.

Jordtäcket är tunt, upp till några meter bestående av sand och lera och även torv, men kan också saknas helt.

7. Placering av borrarad tunnel respektive sänktunnel

7.1 Borrarad tunnel

Det framgår ovan att grundläggningsförhållandena inte varierar markant beroende på vilken sträckning tunneln får i plan. Vissa skillnader finns dock att beakta.

Djupet för tunneln bestäms av att det krävs ett lager med kompetent berg som bör vara minst en tunneldiameter. Detta motsvarar ca 1,5 tunneldiametrar under överkant kalkberg. Detta gäller inte minst för att kunna utföra tvärtunnlarna med god stabilitet och med begränsat inflöde av vatten vid borrningen. Vid början och slutet av tunnlar kommer tunneltäckningen att bli mindre, vilket kan komma att erfordra förinjektering eller andra förstärkningsåtgärder eller alternativt övergång till cut and cover tunnel.

7.2 Sänktunnel

Förutsättningarna för sänktunnel är att jorden/berget på grundläggningsnivån är stabilt. Övre uppmjukade delar ska således schaktas bort/ersättas. Inom vattenområden bör eftersträvas att välja grundläggning på kalkberg, då kalkberget är mindre känsligt att tappa sin fasthet under vatten vid schaktning.

8. Exempel på kvarstående frågeställningar

Exempel på frågeställningar att studera ytterligare utgör anslutningar mellan lika konstruktionsdelar, och i första hand anslutningarna vid landsidorna. Här kan det bli aktuellt att byta byggeknik.

Andra frågeställningar att beakta är för sänktunnelalternativet:

- Spill vid schakt i Öresund
- Förorenade bottensediment vid schakt i Öresund
- Befintliga fyllningsmassor som inte är fasta i området närmast Danmark

Exempel på frågeställningar att beakta för borrarad tunnel är bl.a. följande:

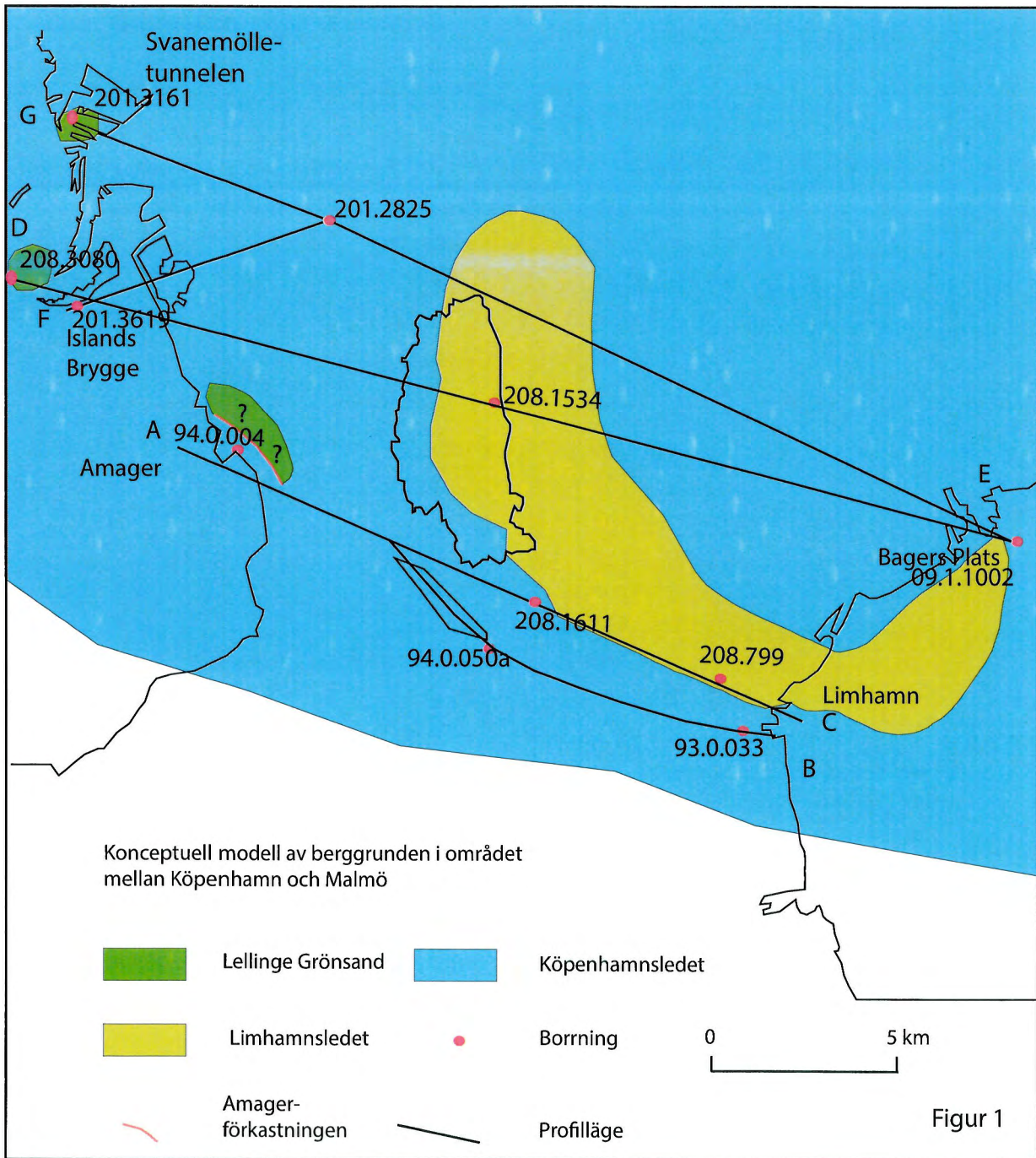
- Risk för vittrat kalkberg med dålig fasthet och stor erosionskänslighet
- Större sprickzoner
- Hög flinthal som ger låg produktion och stort slitage vid schaktning.

9. Referenser









- Citytunneln Malmö, Entreprenad E201 Tunntlar och bergtrum: Referensvärden för geotekniska förhållanden. 2004.
- Citytunneln Malmö: Project EVA, Rock and soil mechanics. Report AB60GD5200013, 2002.
- Danish Geotechnical Society: Ingeniørgeologiske forhold i København. DGF Bulletin 19, 2002.
- GEUS borrearkiv, webbaserat. www.geus.dk.
- Transport- och Energiministeriet, Köpenhamn: Utredning om Cityringen. Maj 2005.
- Metroselskapet, Cityringen: Utredning om en afgrening til Nordhavnen. Oktober 2011.
- Sivhed, U., Project Baggers Plats, Malmö- Kartering av borrkärnor. SGU 2009-04-15.
- Sivhed, U., Wikman, H. & Erlström, M., 1999: Beskrivning till berggrundskartorna 1C Trelleborg NV och NO samt 2C Malmö SV, SO, NV och NO. SGU Af 191-194, 196, 198.
- Stenestad, E., 1976: Köbenhavnsområdets geologi, isaer baseret på citybaneundersøgelserne. DGU III:45.
- ÖSK-KM: Miljökonsekvensbeskrivning för Öresundsförbindelsen – Borrade tunnelförbindelser. Underlagsrapport nr 36. KM, VBB VIAK & COWI, 1992.
- ÖSK: Contract No 3, Bridges. Reference conditions. Nov 1995.
- ÖSK: Design and construction. Dec 1998.
- ÖSK-DGI-236. 1994: The Öresund Link. Drogden, Geological Model Update – 1994.
- ÖSK-DGU-321. 1994: The Öresund Link. Drillcores 94.00.00, 94.0.003 and 94.0.004: Geological description, gamma-scanning (DTU), density scanning (DTU) and chemical analysis (GGU).
- ÖSK-DGU-315. 1994: The Öresund Link Coast to coast – Geological Summary.
- ÖSK-KXG-510, 1994: Flintrännan Boring Campaign 1994.
- Brotzen, F., 1940: Flintrännans och Trinderännans geologi. SGU C435.
- Sivhed, U., 2007: Malmö C Nedre, Etapp 1 – 4, berggrunden Slutrapport. SGU Dnr 08/82/2006.

10. Figurförteckning:

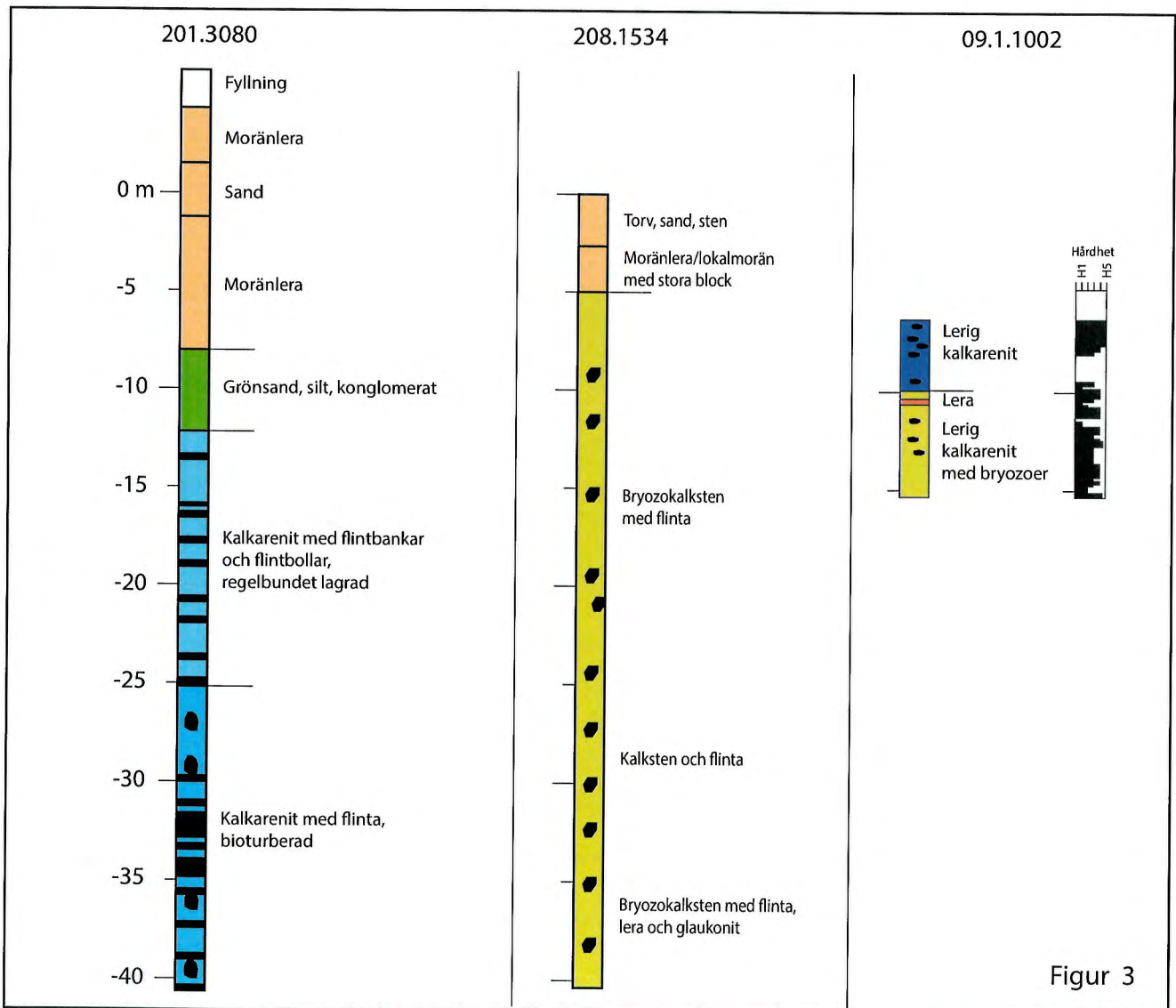
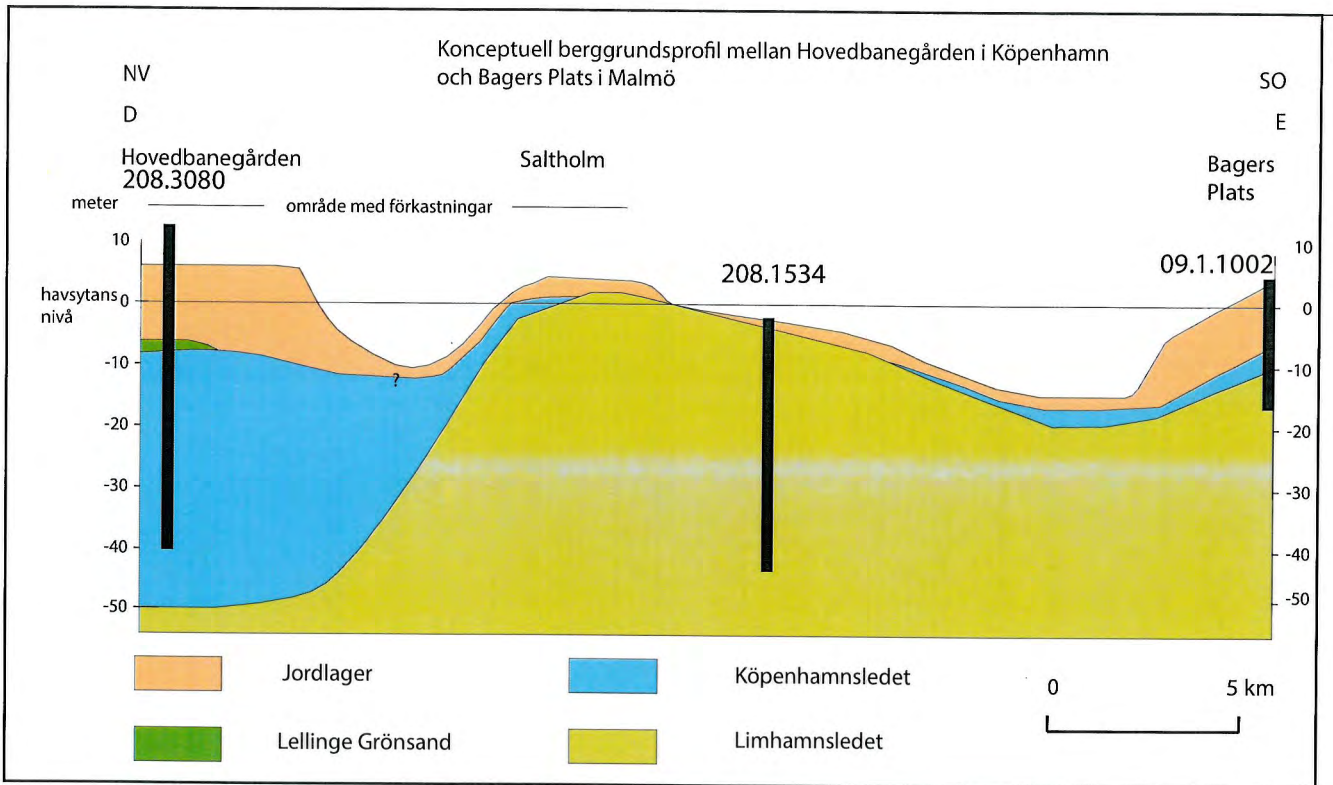
- Figur 1: Konceptuell modell av berggrunden i området mellan Köpenhamn och Malmö. Plan
- Figur 2: Legend till figurerna 3 – 7.
- Figur 3: Konceptuell berggrundsprofil mellan Hovedbanegården i Köpenhamn och Baggers plats i Malmö.
- Figur 4: Konceptuell berggrundsprofil mellan Amager och Limhamn.
- Figur 5: Konceptuell berggrundsprofil mellan Amager och Limhamn (längs med Öresundsbron).
- Figur 6: Konceptuell berggrundsprofil mellan Svanemölletunnelen i Köpenhamn och Baggers Plats i Malmö.
- Figur 7: Konceptuell berggrundsprofil mellan Islands Brygge i Köpenhamn och Baggers Plats i Malmö.
- Figur 8: Geologisk områdesindelning

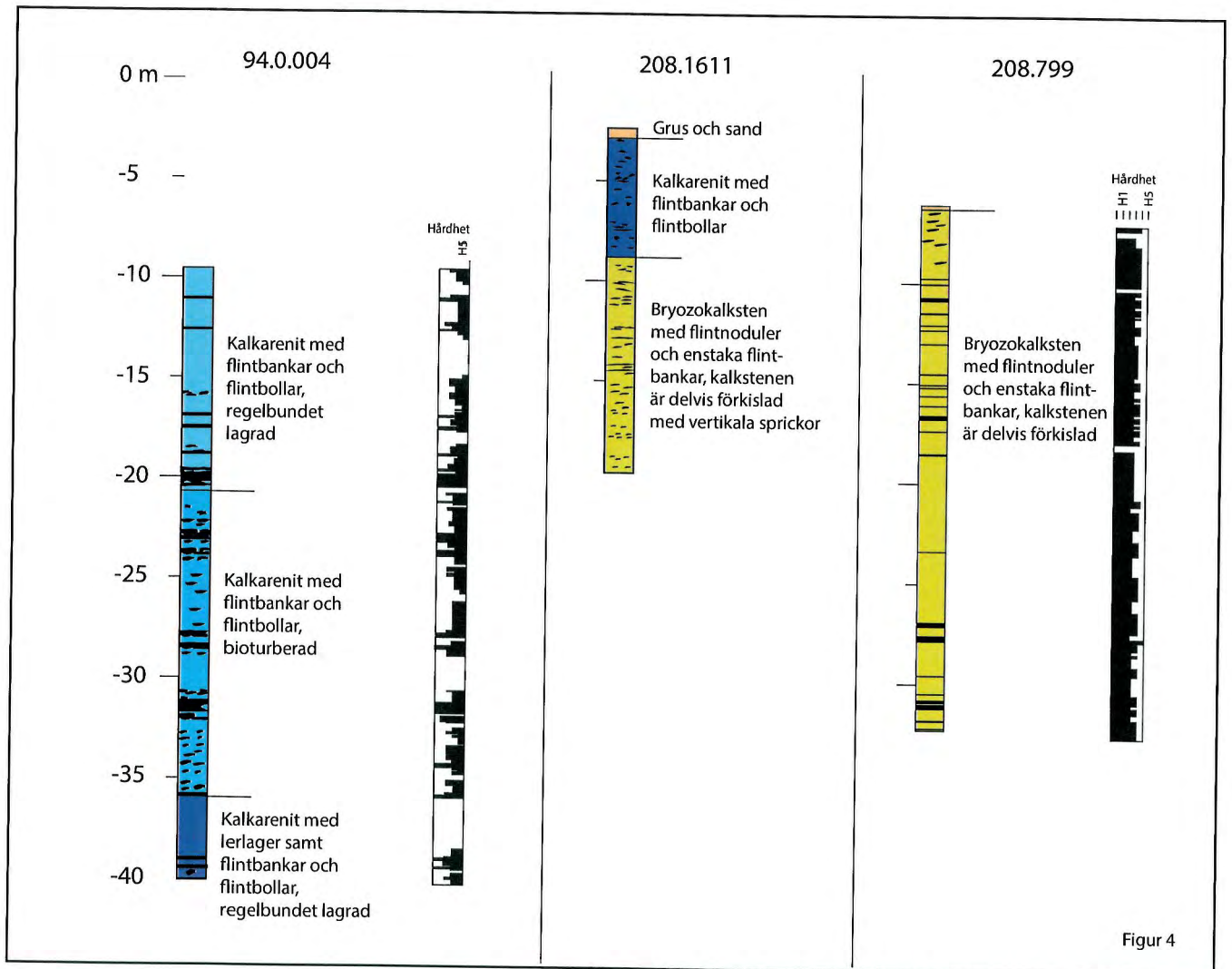
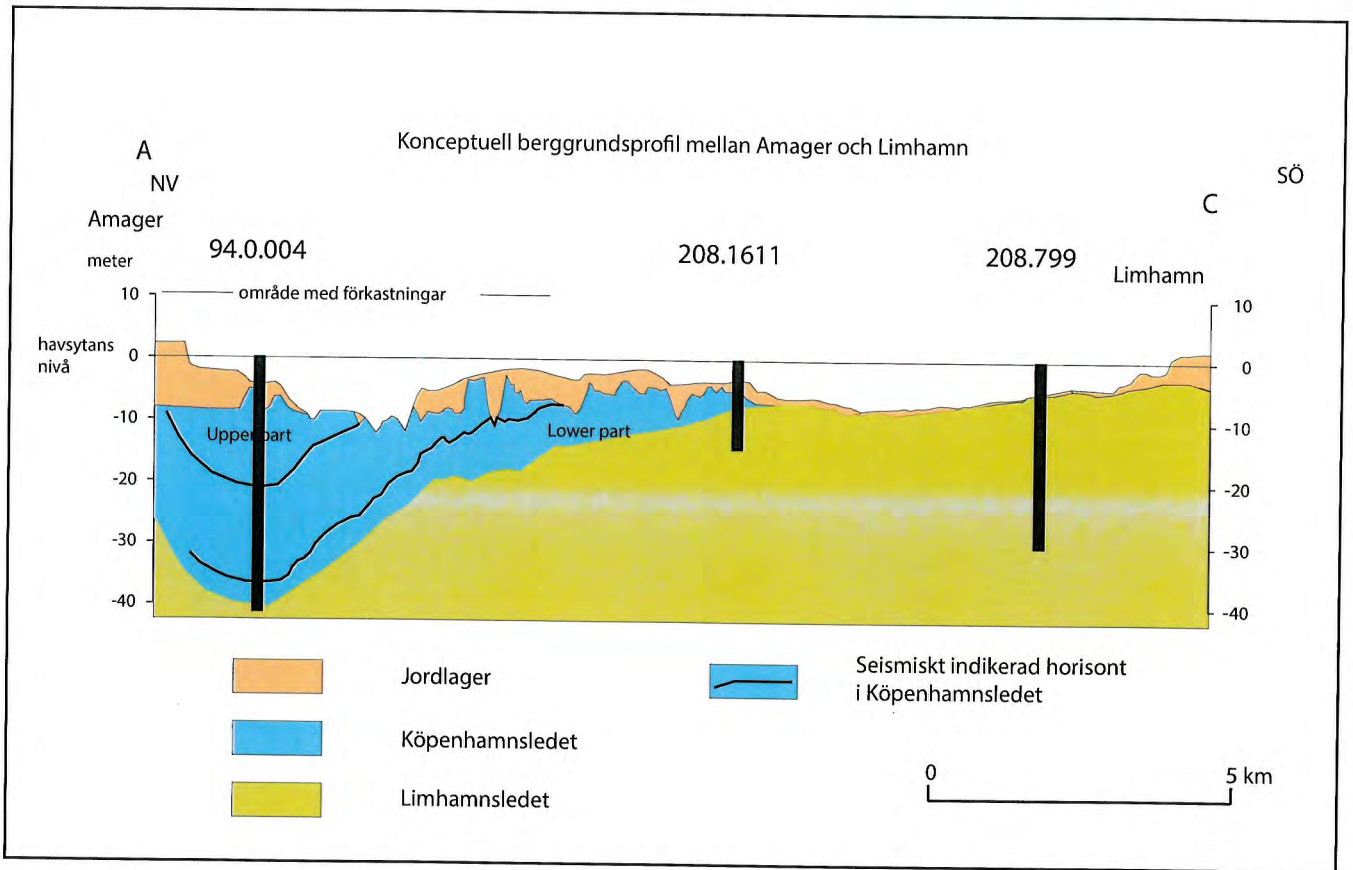


Legend:

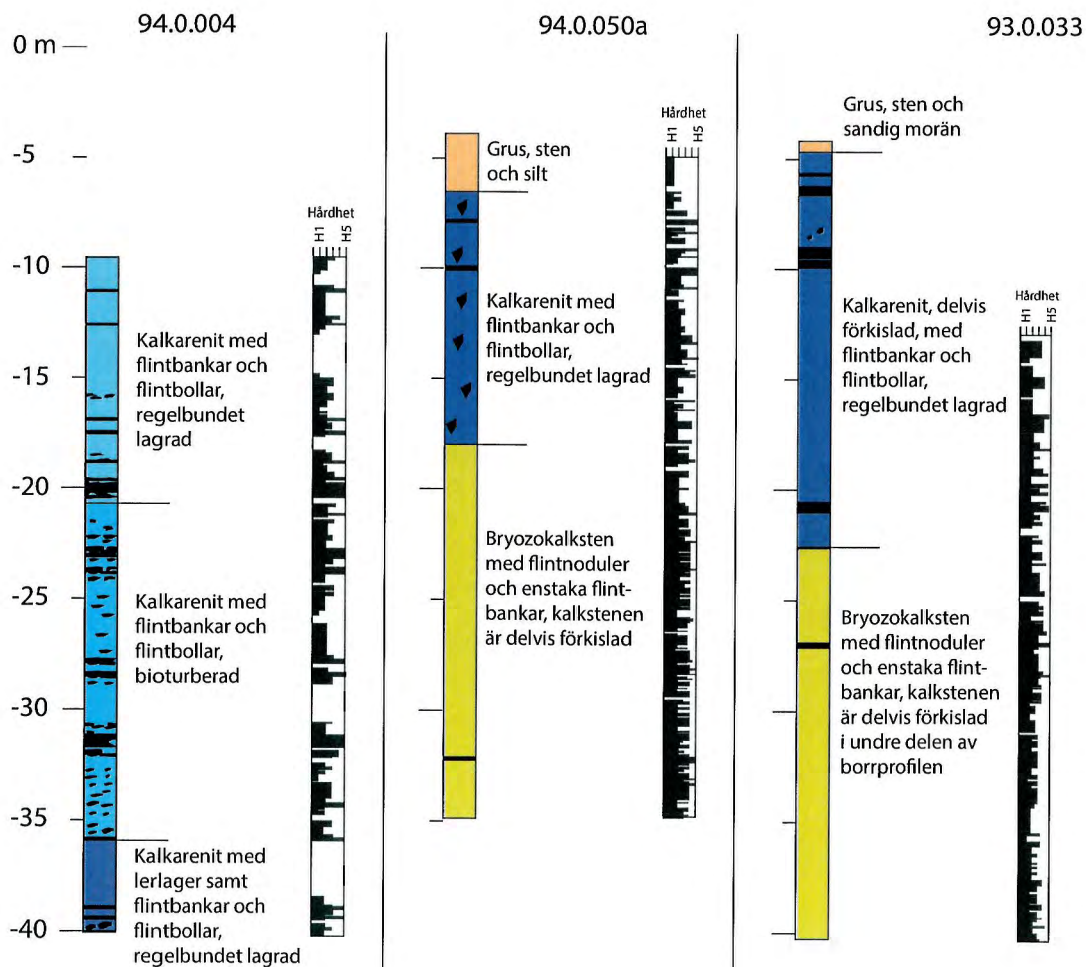
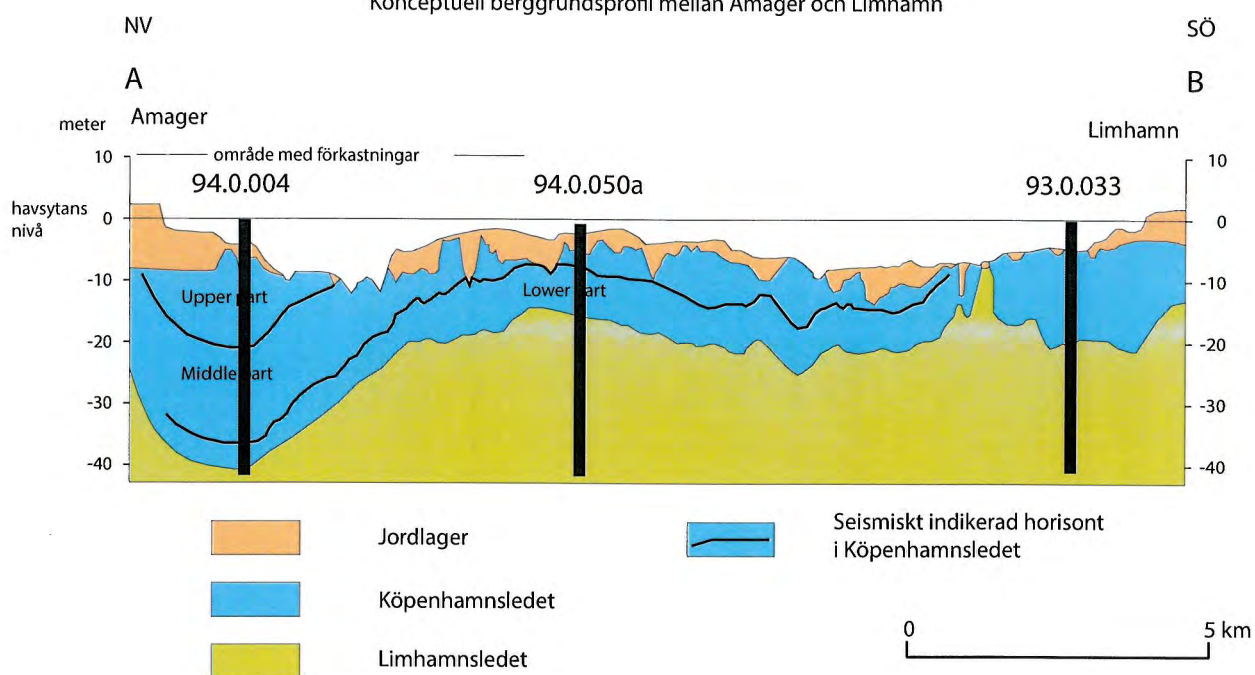
	Jordlager		Köpenhamnsledet (undre /mellersta delen)
	Lellinge Grönsand		Limhamnsledet (bryozokalksten)
	Köpenhamnsledet (övre delen)		Flintbankar
	Köpenhamnsledet (mellersta delen)		Flintbollar

Figur 2



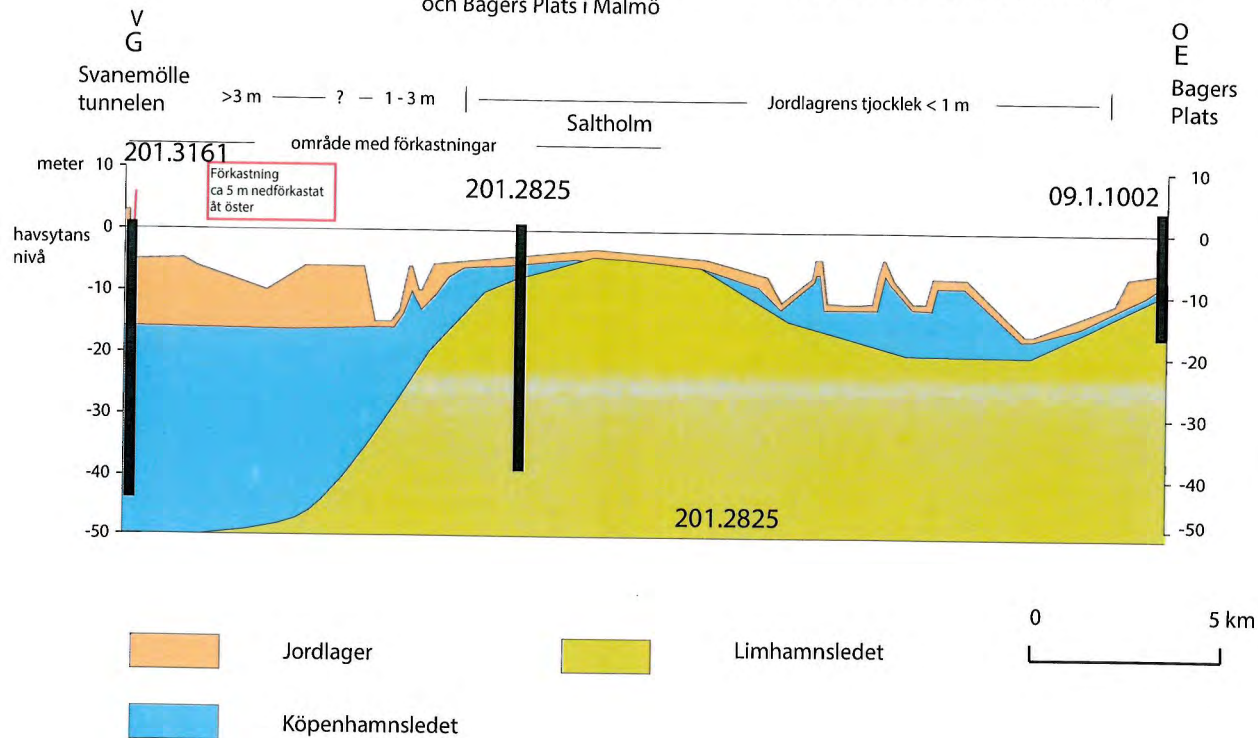


Konceptuell berggrundsprofil mellan Amager och Limhamn

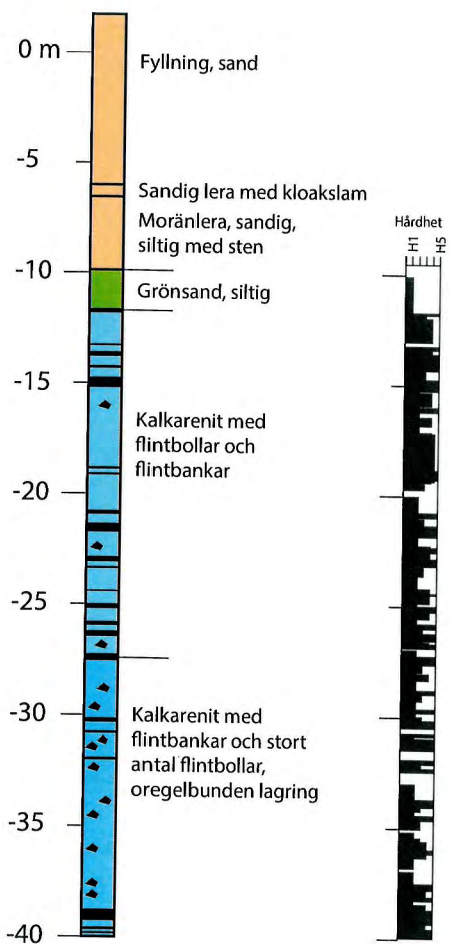


Figur 5

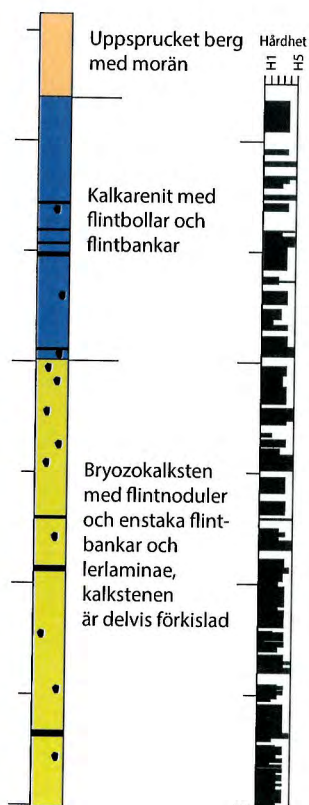
Konceptuell berggrundsprofil mellan Svanemölletunneln i Köpenhamn och Bagers Plats i Malmö



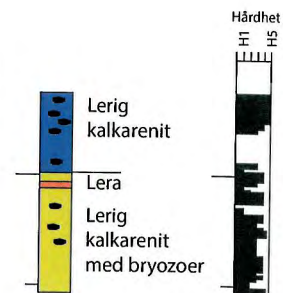
201.3161



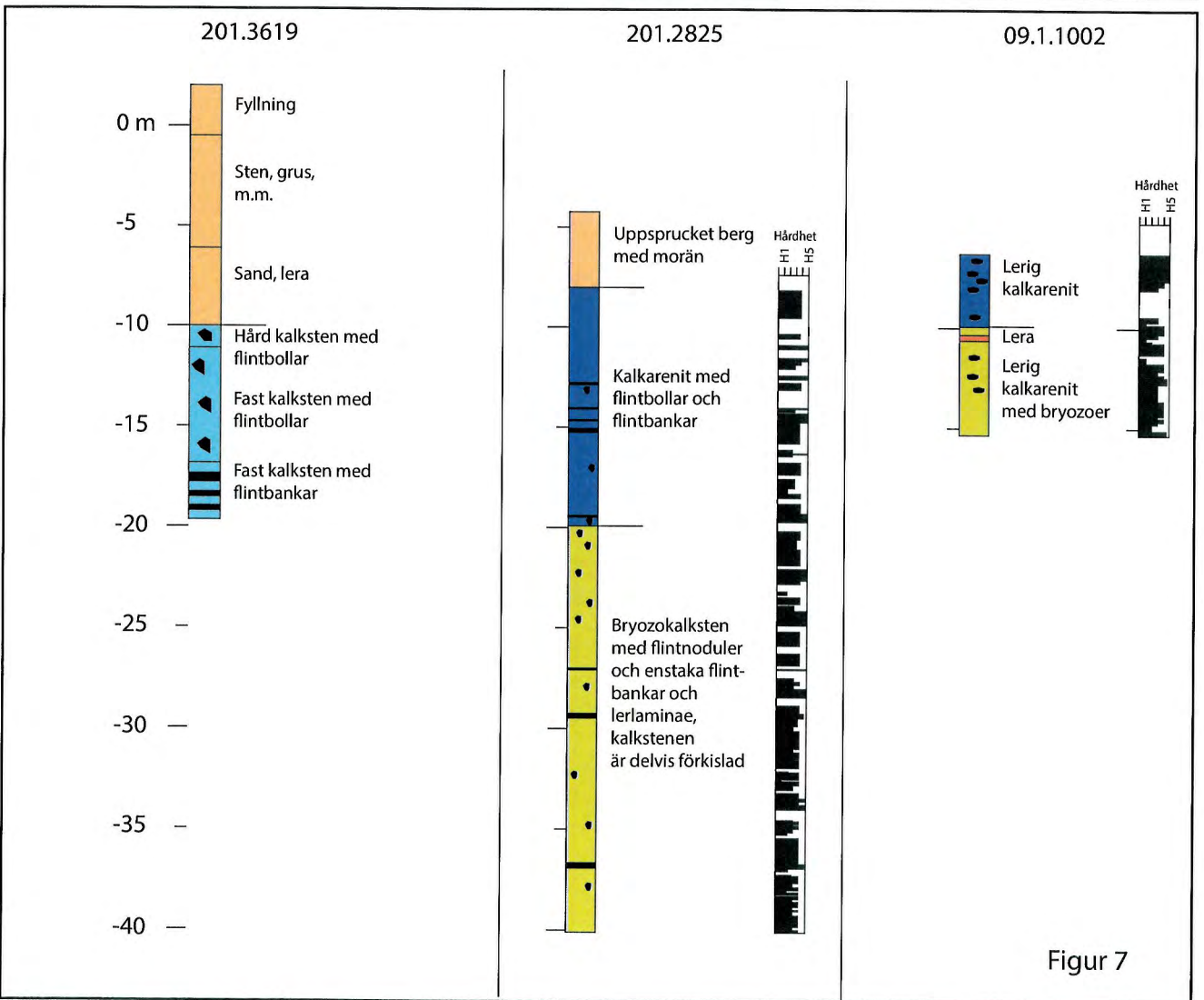
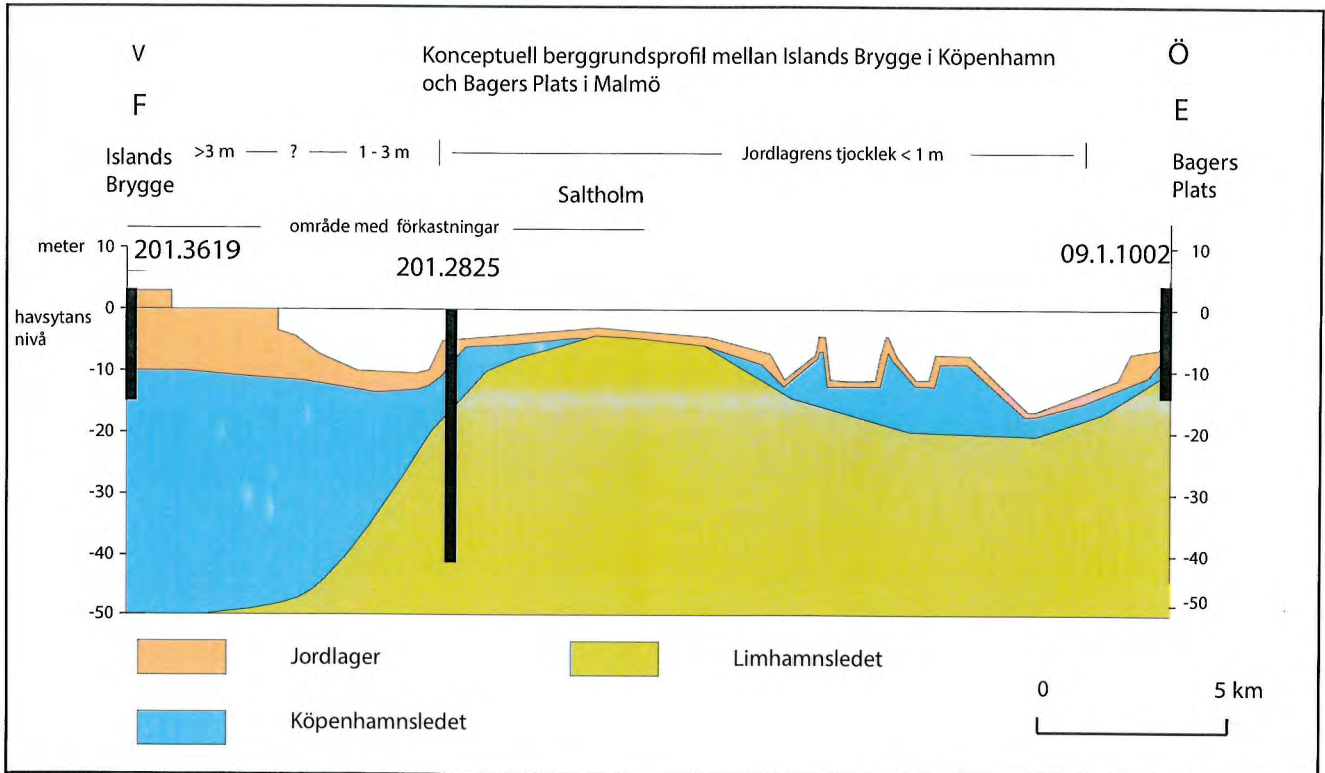
201.2825



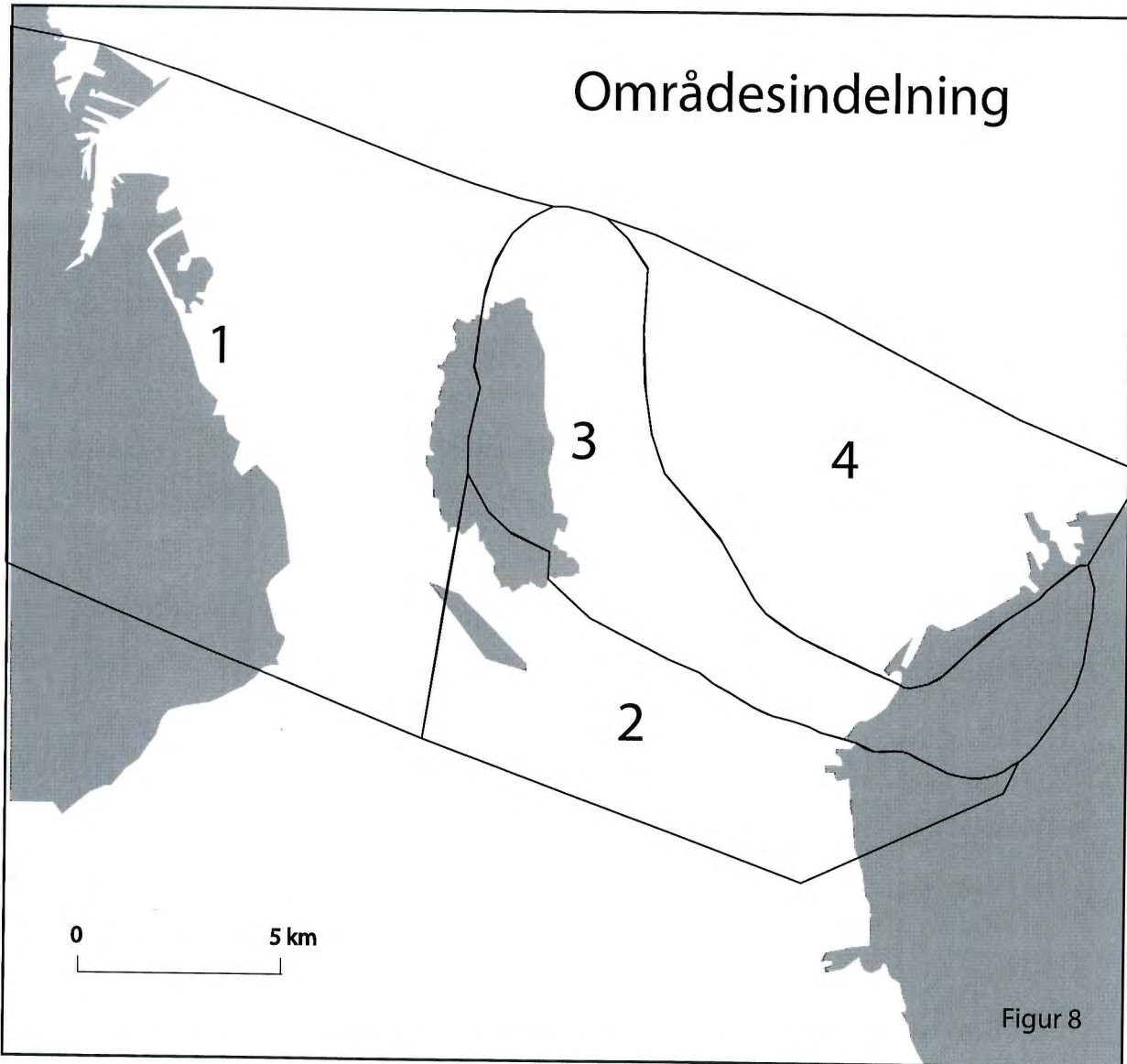
09.1.1002



Figur 6



Områdesindelning



Figur 8

BILAG 2

Nødvendigt ventilationstværsnit

BILAG 5

Nødvendigt ventilationstværsnit

Dato 12. august 2013

Rambøll
Hannemanns Allé 53
DK-2300 København S

T +45 5161 1000
F +45 5161 1001
www.ramboll.dk

NOTAT

Projekt **Øresundmetro – Fase 1**
 Kunde **Københavns kommune og Malmø Stad**
 Dato **17-07-2013**
 Fra **JTB, JTR**
 Emne: **Vurdering af tryktab i forbindelse med friktion i tunnel**

1. Vurdering af tryktab i forbindelse med friktion i tunnel

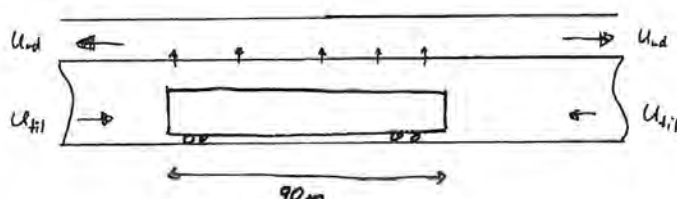
Dato 17-07-2013

Tunnel tværsnit : 19m²
 Tog tværsnit: 9m²
 Luftmængde ved brand: ≈100m³/s
 Areal af tværv ventilations kanal ≈10m²

Rambøll
 Hannemanns Allé 53
 DK-2300 København S

Dvs. lufthastighed (dobbelt udsugning retning):

T +45 5161 1000
 F +45 5161 1001
 www.ramboll.dk



U_{til} ≈2,63m/s
 U_{ud} ≈5m/s (ved 10m²)

Tryktab i tunnel (kanal):

$$\Delta P = \frac{\rho}{2} \left(i + \lambda * \frac{L}{D} + 1 \right) u^2 + \rho * \frac{du}{dt} \quad \left[\frac{N}{m^2} \right]$$

Hvor i =(indløbstab)≈

0 (lang tunnel) og

$$\rho * \frac{du}{dt} \sim 0$$

Hvor D =hydraulisk

Diameter ($D=4A/O$)

og L = Længde

Hvor 0,025 = ruhed

$$\Delta P = \frac{\rho}{2} \left(\lambda * \frac{L}{D} + 1 \right) u^2$$

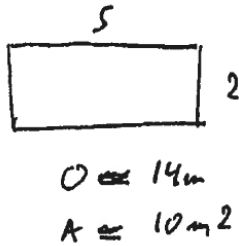
$$\Delta P = \frac{1,24}{2} \left(0,025 * \frac{12000}{4 * \frac{10}{14}} + 1 \right) 5 \frac{m}{s} \sim 378 Pa$$

for beton tunnel og

12000 = 1/2 tunnel

længde.

Tværvæntilation kanal:



Forudsætter at luften suges 2 veje fra. Derfor kun den halve tunnel længde (12km). Hvis vi regner med 24 km tunnel og kun ét udsugningspunkt er $\Delta P \approx 654Pa$.

Følsomhed: Tunnel ruhed: 33% større

Hvad er tryktabet i tværvæntilationskanalen når ruheden er 33% større grundet installationer etc.:

$$\Delta P = \frac{1,24}{2} \left(0,0333 * \frac{12000}{4 * \frac{10}{14}} + 1 \right) 5 \frac{m}{s} \sim 437Pa$$

Afhængigheden overfor ruheden er lineær.

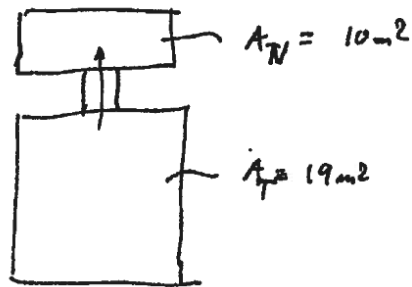
Betydningen af spjæld: i tværvæntilationen

Lufttæthed ved spjæld: $\approx 99,86\%$ (leverandør)

Dette betyder:

Lækage: $14 * 10^{-3} \frac{m^3}{m^2}$ ved 10,2m/s tunnel hastighed og 1000Pa trykforskel.
 $8 * 10^{-3} \frac{m^3}{m^2}$ ved 10,2 m/s tunnel hastighed og 100Pa trykforskel.

Antagelse: Spjæld størrelse $\approx 2m^2$ hver 20 meter (undgå plug-effekter!)
 24 km tunnel \rightarrow 1200 spjæld.

Enkelt tunnel:

Lækage flow: $8 - 14 \frac{l}{m^2} \rightarrow 16 - 28 \frac{l}{s}$ Pr. spjæld. Hvor $A_d = 2m^2$

Total flow: $\dot{v} = 19,2 \frac{m^3}{s} (-33,6 \frac{m^3}{s})$ Hvor $33,6 m^3/s$ er gældende for højeste trykdifference.

Flow for røg-udsugning: $\approx 100m^3/s$

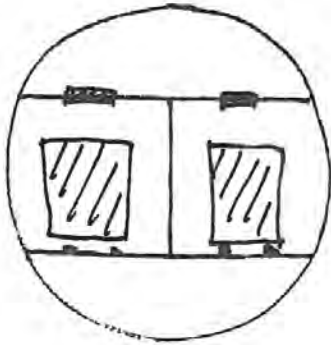
Lækage flow: $19,2 - 33,6 m^3/s$

Altså skal der bruges minimum 20% mere plads i kanalen for tvær ventilation – ved antagelse af, at hastigheden i udsugningskanalen holdes konstant.

Og i værste tilfælde: op til 35-40% ekstra tværsnitsareal.

Baseret på leverandørens data: Trykforskel mindre end 1000Pa, Lufthastighed i kanal mindre end 10m/s.

Det endelige estimat er, at vi skal bruge omkring 20% mere tværsnitsareal i udsugningskanalen.

Ny tunnel Geometri:

En stor kanal: 2 Spor, tvær ventilation, kanal, nødtunnel nederst.

Dette design betyder at vi skal have 2 gange så mange spjæld (2 hver 20 meter) → 2400 Spjæld

Lækage flow: $8-14 \text{ l/s/m}^2 \rightarrow 16-28 \text{ l/s pr. spjæld}$

Total flow (2400 spjæld): $38,4 \text{ m}^3/\text{s} - (67,2\text{m}^3/\text{s})$

Ved antagelse af samme betingelser som før (lavere tryk forskel og hastighed).

Der skal bruges $\approx 38\%$ større tværsnitsareal.

Før: $10\text{m}^2 \rightarrow$ nu: 14m^2

BILAG 3

Skakte ved kysten

BILAG 6

Skakte ved kysten

Dato 12. august 2013

Rambøll
Hannemanns Allé 53
DK-2300 København S

T +45 5161 1000
F +45 5161 1001
www.ramboll.dk

NOTAT

Projekt Øresund Metro, Anlægsoverslag – Kyst til Kyst
Kunde Københavns Kommune / Malmö Stad
Notat nr. Bilag 6
Dato Januar 2013
Til Hovedrapport
Fra NQP
Kopi til

1. Skakte ved kysten

Øresundsmetro undersøgelsen omfatter udelukkende en analyse af strækningen kyst til kyst. Både i København og Malmø skal en skakt placeres tæt ved kysten med det formål at fungere som start eller modtageskakt for kyst til kyst tunnelen.

Skaktene vil ikke være egentlige stationer, men vil fungere som redningsstationer. Med dette formål sættes nogle krav med hensyn til ventilation, trykaflastning, evakuering og redningsveje.

Både den nye Cityring metro og den eksisterende københavnske metro anvendes som referencer. Bl.a. tages inspiration fra skakterne på Enghave Plads og Havnegade. Desuden anvendes nogle grove estimater for ventilationskonceptet i designet af skakterne. Således anvendes de nedenstående krav ved udformningen af skakten:

- *Ventilation (min. 33m²)*
 - Heraf 11m² som minimumsareal for at sikre tilstrækkelig ventilation. Fordi der vil være røgudsugning i skakter i begge kyster.
 - 50% redundans i ventilatorer, dvs. 50% ekstra plads nødvendigt, 11m²
 - Herudover kræves plads til skakt for serviceadgang, installationskanaler mv. til ventilatorerne.
- *Trykaflastning (min. 67m²)*

Der, anvendes som minimum trykaflastningsareal der svarer til areal i Enghave Plads skakten på den kommende metro cityring.
- *Evakuering (~25m²)*

Dato 31-01-2013

Rambøll
Hannemanns Allé 53
DK-2300 København S

T +45 5161 1000
F +45 5161 1001
www.ramboll.dk

Ref. 1100001572

Ifølge København Metro, Havnegade skakten, anvendes en trappeskakt på ca. 25 m².

- Adgangsvej for redningspersonel (~ 7m²)

Ifølge København Metro, Havnegade skakten, anvendes en elevator på ca. 7 m².

- "Safe area" (620 m² – regionaltog og 315 m² - metro)

Der dimensioneres for "crush load", hvor nødvendigt areal antages at være 0.5 m²/person.

Disse krav antages for de forskellige løsninger som analyseres. Fem muligheder for Øresundsmetro tunnelen betragtes afhængigt af hvilken tog-type der vælges, samt af tunnel tværsnittet, se afsnit 8, Tabel 6.

TBM			Sænketunnel	
2-rør + 1 ø	1-rør			
Regionaltog	Metro	Regionaltog	Metro	Regionaltog
1	2	3	4	5

Tabel 1. Tunnel design muligheder

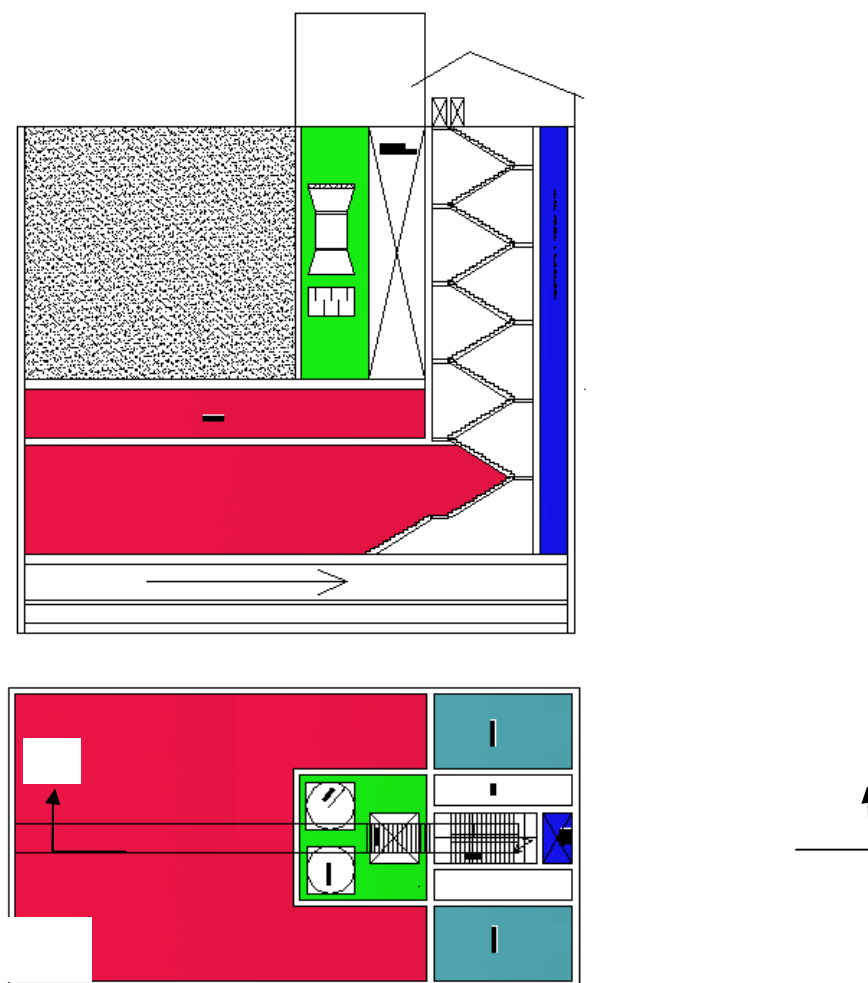
1.1 Designkonceptet

Designet af skakterne baseres således på kravene til ventilation, trykaflastning, evakuering og adgangsveje. Designet er simpelt og kompakt og det genbruges for de forskellige løsninger 1 til 5, jf. samt tværsnit i afsnit 10, Tabel 6.

Det forventes ikke, at kravene i byggeperioden vil stille krav om større skakte.

Figur 1 viser en skitse (*løsning 5*) der indeholder plads til:

- Tre ventilatorer samt en elevator til deres vedligeholdelse (*grøn*).
- To store områder, et ovenpå hver jernbane, der bruges til trykaflastning (*lyseblå*).
- En trappeskakt som anvendes til nødudgang (*hvid*).
- En elevator til både redningsmandskab og vedligeholdelsesarbejder (*mørk blå*).
- Sikker område med plads til togpassagererne samt togpersonale (*rød*).



Figur 1: Skitse af skakt- Løsning 5 (Regionaltog i sænketunnel).

Generelt, gælder skitsen i Figur 1 for alle løsninger (1 til 5). Ventilationskanalerne monteres foran både trappe og elevatoren for at undgå luftforurening/ røg i redningsområde. Desuden tages det også hensyn til sikkerhed under service og evt. reparation. Kanalen er derfor ikke placeret direkte over sporene, således at service af ventilation kan udføres uden risiko. Til gengæld, placeres trykaflastningskanalerne direkte over sporene. Eftersom installationer ikke er nødvendige til trykaflastning. Trykaflastningskanalernes placering udgør ikke en risiko og er en optimal position mht. kanalernes formål.

Som vist på Figur 1, antages "sikkert område" at være området, der ligger mellem de to spor samt på niveauet over sporene. Et sikkert område er et tryksat område, hvorved der sikres mod røg i disse områder. Under evakueringen guides passagerne til de sikre områder med skilte. I disse områder vil der være plads til alle passager, selv i tilfælde af crush load

Elevatoren, der anvendes af redningspersonel, placeres bag på trapperne for at opfylde alle krav fra TSI SRT, herunder krav til at adgangsveje for redningspersonel skal være separeret fra flugtveje.

Krav til en redningsstation er:

1. der er adgang til vand for brandslukning
2. den er altid kombineret med et sikkert område
3. den er udstyret med adgang for beredskabstjenester, adskilt fra det sikre område
4. den sikrer kontrol af røg, så personer der færdes sikkert område ikke udsættes for røg

Punkt 1 og 4 sikres med installationer, mens 2 og 3 sikres med redningsstationens geometriske udformning, som også beskrevet ovenfor. Adskilt adgang for passagerer og redningsmandskab opnås ved at:

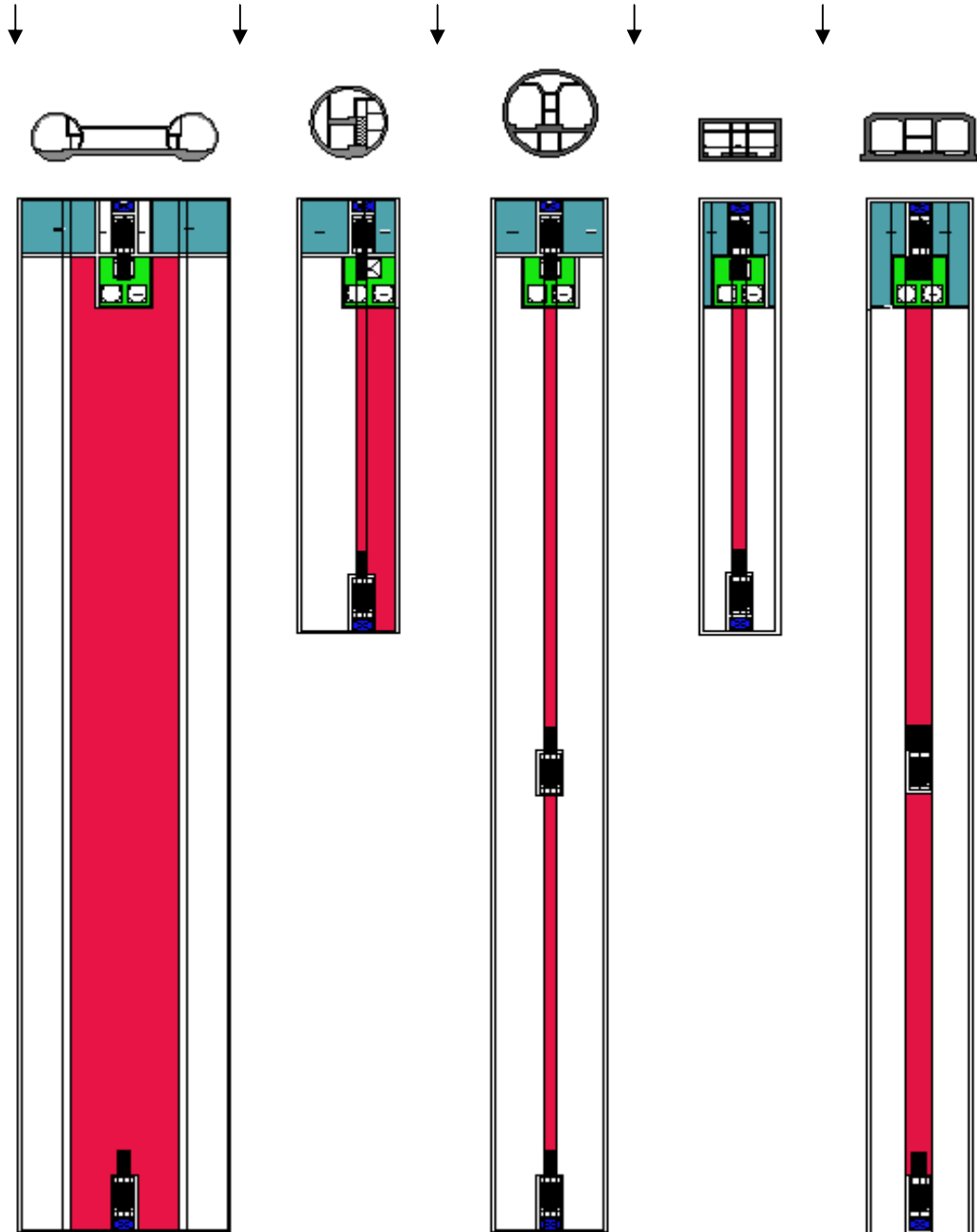
1. udføre skakten lige så lang som toglængden
2. placere elevatoren bag trappeskakten
3. sætte trappebredden mindst lig med gangbredden.

På denne måde sikres, at alle personer går direkte op af trappen, når de kommer ind i det sikre område, mens beredskabstjenesterne kommer ned med elevatoren og direkte til tunnelen.

Sædvanligvis følger alle løsninger (1 til 5) det samme mønster, men der er nogle ændringer / detaljer på nogle af dem som skal fremhæves.

- Alle løsninger indeholder to trapper og elevatorskakte for redningsmandskabet, en i hver ende af skaktene. For regionaltoget (3 og 5) er der desuden en tredje trappeskakt, der fører passagerer op til det sikre område over sporene se Figur 2
- For en metroløsning i et enkelt boret rør (2) bliver det sikre område rykket til den højre side. Således skal ventilationsskakten også placeres til højre. Tilsvarende gælder for trapper og elevatorskakt. Til gengæld bliver trykaflastningen rykket til venstre se Figur 2.
- En boret tunnel med to rør (1) har et stort område mellem sporene, der kan bruges som sikkert område, uden at det bliver nødvendigt at skabe ekstra plads på den første etage over sporene.

1	2	3	4	5
35 m x 190 m	16 m x 80 m	18.5 m x 190 m	12.2 m x 80 m	16.7 m x 80 m



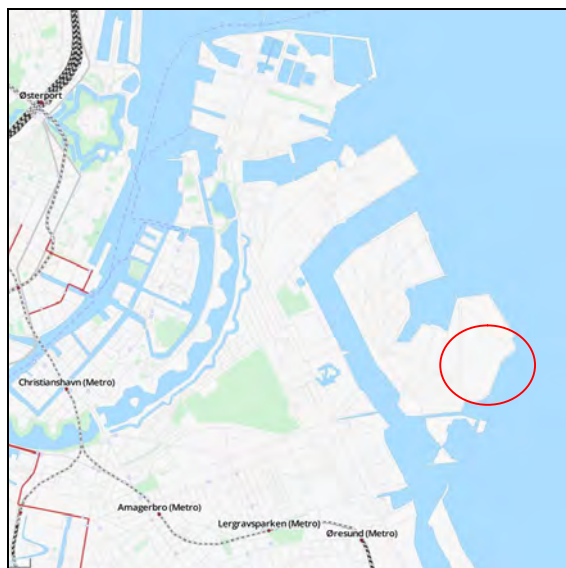
Figur 2: Mulige layout for skakte. Plansnit vist ved skinneoverkant.

1.2 Konstruktionskoncept

Konstruktionsprincipperne for skaktene er baseret på erfaringer fra både Nordhavnsvej og Metro Cityringen.

1.3 København

Ved kysten på den københavnske side skal metroen tilsluttes ved Prøvestenen, ud for Amager, som vist i Figur 3. i en ~36.5 og ~23 m dyb udgravning (hhv. til boret og sænketunnel).



Figur 3: Øresundsmetro Københavnstilslutning.

1.3.1 Forurenede jord

Skakten på den københavnske side er placeret indenfor "Prøvestensdepotet", som er et nu lukket depot for lettere forurenede jord dvs. klasse 2 og 3 jord i henhold til Københavns Kommunes tidligere regulativ. I den nederste del af fylden må der dog forventes opblanding med kraftigere forurenede havbundssediment (olieforurenede), som kan medføre at jorden skal til rensning.

1.4 Malmø

På Malmøs kyst skal metroen tilsluttes ved Scaniaparken, tæt på Havnen, som vist i Figur 4 i en hhv. ~30 m og 11 m udgravning (boret og sænketunnel).



Figur 4: Øresundsmetro Malmøstilslutning.

1.4.1 Forurennet jord

Skakten nær kysten i Malmø placeres på et område, som blev opfyldt med rent sand i 1987. Derfor forudsættes også i overslaget ca. 1 m forurennet jord, der stammes fra den oprindelige havbund.

1.5 Priser

Priserne baseres på overslag af Nordhavnsmetro projektet og Nordhavnsvej projektet. Mængder af jord fra udgravning, beton, byggegrube elementer er beregnet for de forskellige skakt løsninger. Til gengæld er anvendt samme priser på grundvandssenkning, byggepladsdrift og installationer ifm. pumpeump som anvendt på Nordhavn Metro Scenarie Nht Syd - Cut and Cover Tunnel. Endelig er Indvendig beton og Railway works enhedspriserne er antaget at være de samme som for selve tunnelen.

Anlægsoverslaget er udarbejdet i henhold til principperne i Ny Anlægsbudgettering som beskrevet i Transportministeriets notat af 20. oktober 2010. Til basisoverslaget er således på dette stade adderet et korrektionstillæg på 50%.

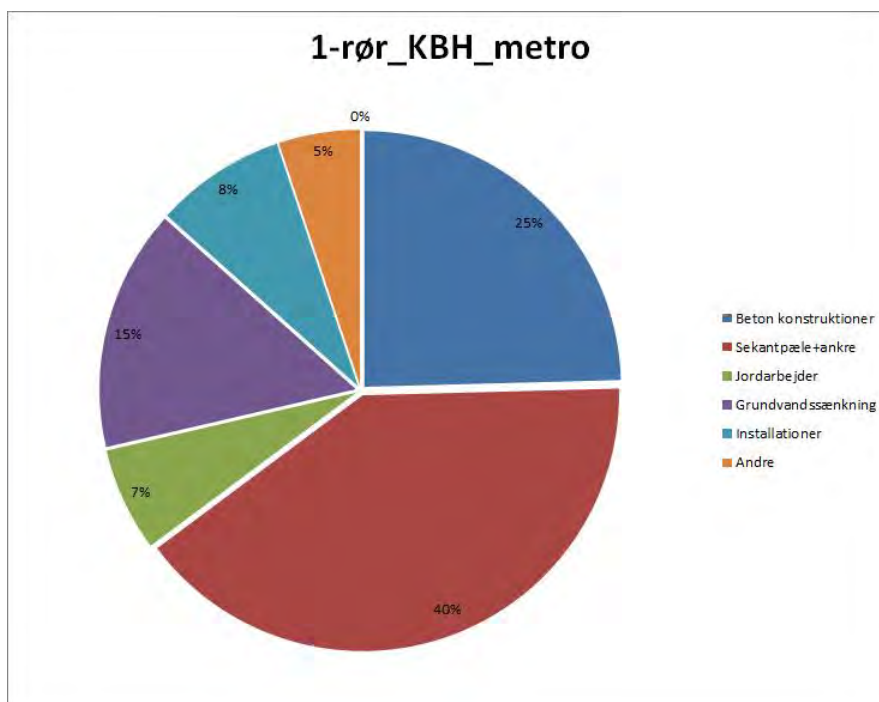
I Tabel 2 og Tabel 3 præsenteres et resumé af priserne for henholdsvis København og Malmø skakten.

	TBM			Sænketunnel (IMT)	
	2-rør	1-rør		Metro	Reg.tog
	Reg.tog	Metro	Reg.tog		
Byggegrubbe	161	77	163	48	106
Jordarbejde	68	13	36	7	23
Beton	219	47	191	54	108
Grundvandssænkning	29	29	29	29	29
Installationer	20	16	20	16	20
Andre	18	10	17	10	17
<i>Brutto pris (SUM 1)</i>	515	193	455	164	300
<i>Arbejdsplads (8%)</i>	40	15	35	15	25
<i>Projektering (15%)</i>	75	30	70	25	45
<i>Byggeledelse (8%)</i>	40	15	35	15	25
<i>Brutto pris (SUM 2)</i>	675	250	600	215	400
<i>Korrektionstillæg (50%)</i>	340	125	300	108	200
Netto pris [M dkk]	1 000	380	895	320	600

Tabel 2. Priser for skakt ved kyst, København . (Priser i Millioner dkk)

En prisfordeling er indikeret i Figur 5, for løsning 2: TBM 1-rør for metro tog, i København. Betonkonstruktioner samt byggegrubbe udgør ca. en 3/4 del af den samlede pris.

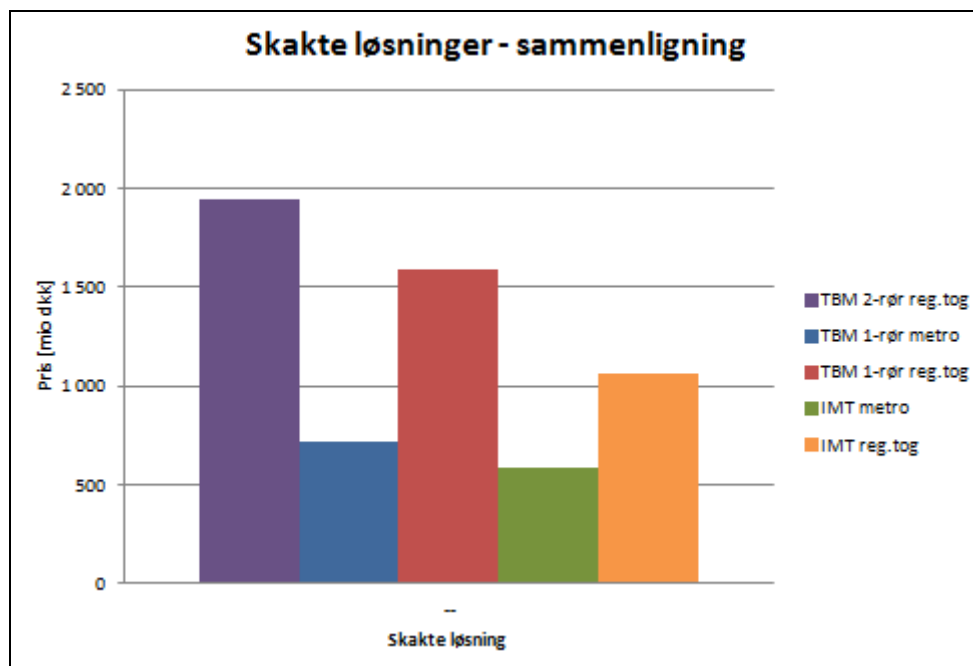
Hermed kan det konkluderes, at størrelsen af skakten betyder meget ift. prisen, fordi der skal opbygges større mængder af både beton og sekantpælevæg samt ankre.



Figur 5: Pris fordeling på skakten af 1-rør_metro løsning i København.

	TBM			Sænketunnel (IMT)	
	2-rør Reg.tog	1-rør		Metro	Reg.tog
		Metro	Reg.tog		
Byggegrubbe	128	62	130	24	53
Jordarbejde	61	11	32	4	14
Beton	217	46	126	52	105
Grundvandssænkning	29	29	29	29	29
Installationer	20	16	20	16	20
Andre	18	10	17	10	17
<i>Brutto pris (SUM 1)</i>	475	175	354	135	238
<i>Arbejdsplads (8%)</i>	35	15	30	10	20
<i>Projektering (15%)</i>	70	25	55	20	35
<i>Byggeledelse (8%)</i>	40	15	30	10	20
<i>Brutto pris (SUM 2)</i>	620	230	465	175	310
<i>Korrektionstillæg (50%)</i>	310	115	230	90	155
Netto pris [M dkk]	930	345	695	265	470

Tabel 3. Priser for skakten ved Malmø-kyst. (Priser i Millioner dkk)



Figur 6: Pris sammenligning for de forskellige skakte løsninger (1 til 5).

De samlede priser på begge skakte (København og Malmø) for de fem forskellige tunneler løsninger (1 til 5) vises i Figur 6.

Prisernes variation skyldes:

- toglængden
- Tunnel løsning og tværsnits bredde.
- Dybde af linjeføring

Overordnet kan siges:

1. Regionaltog er længere en metro tog og skaktene
2. Borede tunneler er placeret dybere end sænketunneler
3. Topografien af havbunden gør, at skaktene er placeret dybere i København end i Malmø

BILAG 4

Projektforudsætninger

ØRESUNDSMETRO FASE 3

Projektets rammer og forudsætninger

Job Øresundsmetro
Client Malmö Stad
Memo no. 1
Date
To Per Wisenborn, Klas Nydahl
From Søren Wegener Gamst
Copy to

1. Linjeføring

-Der antages samme horisontal linjeføring som i fase 2

2. Metro og trafikale forudsætninger

-Bredde af tog bogie: 265 cm

-Maks hastighed: 120 km/h

-Strømforsyning fra oven via pantograf

-Metrokonceptet skal baseres på krav der lever op til danske standarder for førerløs metro; "jernbanelovens afsnit om bybaner" samt på svensk side; "lagstiftning om byggande av tunnelbana".

Desuden omfattes forbindelsen af IEC 62267 (AUGT).

-Togkapacitet for situationen med 120km/t:

Muligt antal tog/time/retning: 36

Nødvendigt antal siddepladser: 102

4-vogns metrotog, L=50 m (120 siddepladser)

3. Tunnel

-Kun ét tunnelkoncept belyses; Ét stort tværsnit med to togspor i samme plan, udført med en eller flere tunnelboremaskiner (TBM)

-Det forudsættes at TBM maskinen er af EBP type

-Tunnelen bores fra landsiden i Malmø til landsiden i København, under Øresund. Den videre forbindelse på land vurderes ikke, og anlægsoverslagene omfatter udelukkende den borede strækning fra kyst til kyst, inklusiv eventuelle anlæg på denne strækning.

-For tunnel tværsnittet og -konceptet foreslås at lade følgende gælde (som også var gældende for fase 2):

Sikkerhedskrav

De overordnede sikkerhedskrav baseres på TSI SRT, og er gengivet herunder:

- Adgang til sikkert område:
 - Horisontale eller vertikale nødudgange til overfladen pr. mindst 1000 m
 - Tværpassager pr. mindst 500 m (tilstødende tunnelrør er *sikkert område*)
 - Alternativer til ovenstående skal give tilsvarende sikkerhedsniveau
- Nødfortov i mindst én side (enkeltsporet rør) eller begge sider (dobbeltporet rør).
- Krav om brandbekæmpelsessteder uden for portalerne: Vandforsyning, tilgængelighed for beredskaberne samt et areal på min 500 m².
- Tunnelbeklædningens brandmæssige integritet skal kunne opretholdes i den tid, det tager at redde passagerer + personale.
- GSM-R og SINE dækning i tunnel
- Telefondækning i sikkert område
- Belysning

4. M&E pladskrav

-Der gøres ikke detaljerede overvejelser omkring udstyring og udrustning af tunnelen. Det antages at de krav der er til teknisk udstyr, herunder teknikrum, teknikbygninger og føringsveje for kabler, tunnelafvanding mv., kan rummes af tværsnittet og vises kun på konceptuelt niveau i tværsnittet.

5. Geologi

-Geologiske og geotekniske vurderinger baseres på det samme baggrundsmateriale som var tilgængeligt i fase 2.

6. Miljø

-Løsninger der omfatter midlertidige eller permanente anlæg eller påvirkninger af Natura 2000 området omkring Saltholm, er ikke aktuelle
 -Miljøkonsekvenser ved midlertidige eller permanente anlæg i øresund, vurderes kun på et overordnet niveau, som ikke vil blive kvantificeret

-I tilfældet med en formgivning og geometri for en eventuel kunstig ø betragtes strømningsforhold og vurderinger af sedimenttransport på et overordnet niveau

7. Anlægsoverslag

Der udarbejdes anlægsoverslag for den ene konkrete tunnelløsning.

Overslagene er søges tilnærmet den forventelige endelige anlægspris, men vil ikke have ikke en præcision der medfører, at det kan forventes at de vil holde indtil der er udarbejdet endeligt anlægsoverslag.

Estimaterne er udarbejdes ved, at der skønnes mængder for de overordnede anlægselementer. Disse er sammenholdt med erfaringsmæssige enhedspriser. Et skønsmæssigt tillæg for omkostninger til arbejdsplads på 8 % inkluderes, og endeligt tillægges et generelt korrektionstillæg på 50 % der tager højde for projektets tidlige stade.

Alle priser vil være i DKK, baseret på 2016 prisniveau.

BILAG 5

Metro toghøjde og fritrumsprofil

Øresundsmetro

Question

The Øresundsmetro should be equipped with an overhead catenary system (750 V +/-).

According to a preliminary study, there are different values for the vehicle in regard to boarding height and vehicle height for maximal speeds of 100 km/h and 140 km/h.

Which values are considered at 120 km/h according to BOStrab?

Approach to the answer

It is assumed that the clearance gauge should be considered. This determines the cross section and thus significantly the construction costs. The objective is the minimum height for the tunnel structure.

Statements are made to:

- Vehicle boarding height
- Vehicle height
- Pantograph height
- Catenary overall height (conductor rail)
- Total height

"Top of Rail" (TOR) is chosen as reference point.

The values are based on experiences with similar systems, query to a vehicle specialist and to manufacturers.

Initial situation

Data from the preliminary study:

- Metro with catenary 750 V +/- (BOStrab)
- For 100 km/h: Boarding height 0,8 m / Vehicle height 3,8 m over TOR
- For 140 km/h: Boarding height 1,1 m / Vehicle height 4,1 m over TOR

The cross section is a combined tunnel. The area of the Metro is not a classic tube. As a consequence, the typical "open space" above the vehicle (as in usual tube tunnel) is not available.

Determination of the minimum heights

Vehicle boarding height

The boarding height is crucial for the overall height of the vehicle, since the height of the car body rarely varies between the different manufacturers. With a maximum speed of **120 km/h**, following BOStrab/VDV151 (notice to Metro vehicle), we recommend a **floor height ≥ 1000 mm**.

The reasons are:

- Ensures good running properties (enough spring deflection, big wheels)
- Wheels with bigger diameter (due to wear and track guidance reasons)
- The floor of Metro vehicles should be levelled
- Drive system and other technical equipment under the floor (shift on the roof does not make sense, thus the height of the vehicle is increased)

The floor height (boarding height) of the vehicle is typically 5 - 10 cm higher than the height of the platform to compensate for wear (rail + wheel) and lowering due to the load. This means that the boarding height of the vehicle is correlatively higher than a 1-metre high platform.

Vehicle height (without pantograph)

The height of the vehicle is based on the boarding height **≥ 1000 mm**. Following BOStrab/VDV151 (notice to Metro vehicle), we recommend a **vehicle height ≥ 3500 mm**.

The reasons are:

- Interior clearance for the passengers **≥ 2200 mm**
- Boarding height (doors)
- Structural height of the roof
- Paneling, ceiling equipment of the vehicle

Pantograph height

Based on a query to the manufacturer, the parameters of the pantograph should be at least:

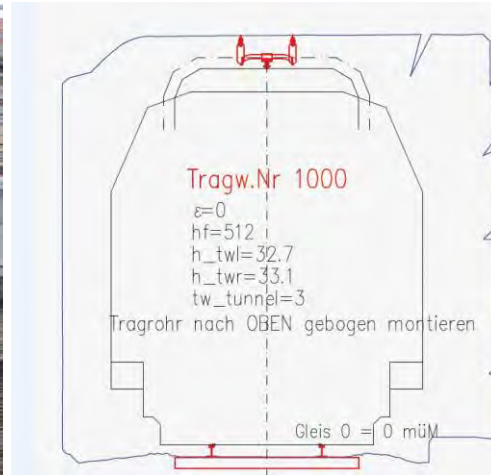
- Construction height **≥ 330 mm**
- Working area **≥ 150 mm** (until max. 2300 mm)

This results in a minimum contact wire height of 4,0 m (3500 mm + 330 mm + 150 mm = 3980 mm).

Catenary height (hanging on the ceiling)

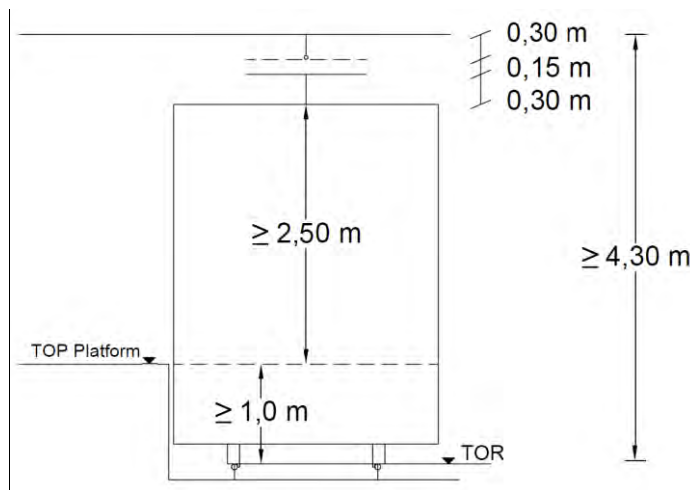
To reduce the overall height of the contact wire and consequently the tunnel cross section, we suggest a conductor rail. This is often used in similar situations already. There are many types and solutions with different parameters (see the following examples from Barcelona / Oslo).

For the overall height of the contact wire (conductor rail), at least **300 mm** are assumed.



Height of the lower edge of the tunnel ceiling over TOR

On the basis of the previously explained parameters, a clearance height $\geq 4,30$ m over TOR for the lower edge of the tunnel ceiling comes out (see the following figure).



Conclusion

The values are based on the assumptions and information mentioned above. These are minimum values and have to be confirmed by further planning requirements.

For the current planning status, we would assume a minimum height of the tunnel (lower edge) of **4,40 m – 4,50 m**. The values should correspond to the parameters of the other sections.

BILAG 6

Metro transversal i tunnel

Øresundsmetro – Envelope

Problem definition

The Øresundsmetro must be equipped with contact wire (750 V +/-). The maximum speed must be 120 km/h.
For the dimensioning, a standard envelope must be developed.

Initial situation

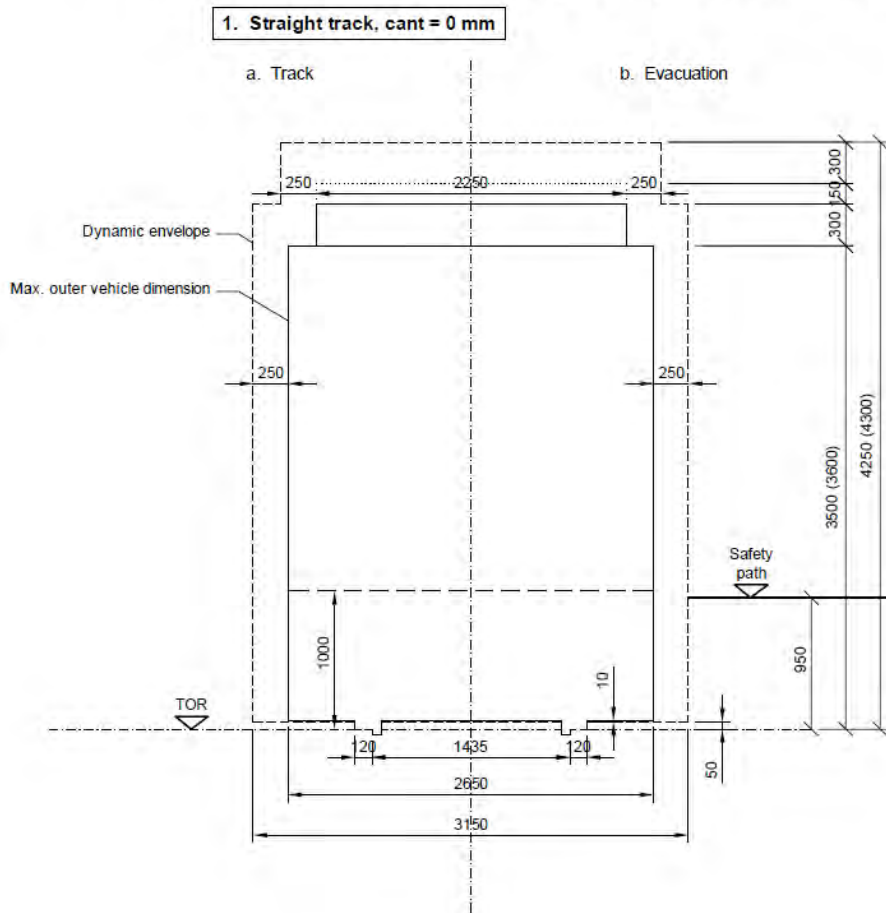
Metro – following parameters:

- Train width: 2,65 m
(corresponding to the current metro)
- Add-on for dynamic envelope: 0,25 m
(corresponding to the current metro)
- Max. speed: 120 km/h
- Height of vehicle floor: 1,00 m over TOR
(recommendation see MEMO before)
- Minimum curve radius: 50 m
(corresponding to the current metro)

Standard envelope for the Øresundsmetro

In the straight track (Cant = 0 mm) - following standard envelope:

Standard envelope for Øresundsmetro (§ 18 and § 34 BOStrab), Draft (12.08.2016)



This cross-section illustrates only one track. The Safety path can also be located on the other side.

There are reported at values only the minimum dimensions for the clearance of the overhead line.

The fact that the cross section of the tunnel is round, give us more options to build the overhead line (shown in dashed lines with no name value)

Based on the cross-section may be further developed.

Envelope in curves

In curves, an add-on value is required. For this you can use the add-on values from current Metro in Copenhagen for the first step. A small supplement should be used as a reserve.

In the further planning process, this should be clearly defined, as they are relevant for the rolling stock tender (RS Tender).

Normally the alignment of the tunnel is in a straight line or in big curves, then these add-on values are close or equal to zero.

In the Øresundsmetro, it is possible that the tunnel has to be located partially in a curve, in order to drive around a nature reserve (island).

In relation to the BOStrab design guidelines, values such as the following are valid:

- Max. cant in curve (cant) = 150 mm
- Max. lateral acceleration (aq) = 0,65 m/s²

For a top speed of 120 km/h, this results in a curve radius of at least 690 m with a maximum cant of 150 mm.

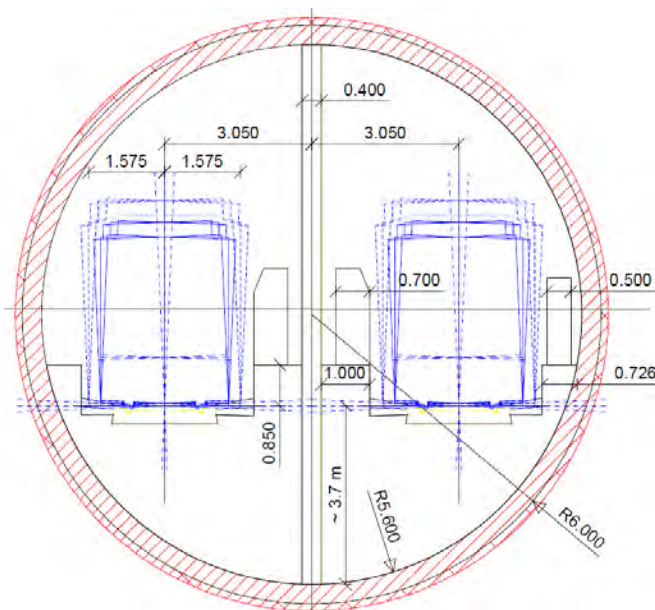
If possible, maximum values should be avoided in order not to impair the driving comfort and to minimize the necessary maintenance.

From our experience, the curves for these speeds should be greater than 1000 m. For the lateral acceleration according to BOStrab-TR, a standard value of $a_q \leq 0.2 \text{ m/s}^2$ is recommended.

The cant causes a lateral tilt of the envelope. This may require a shift in the safety space.

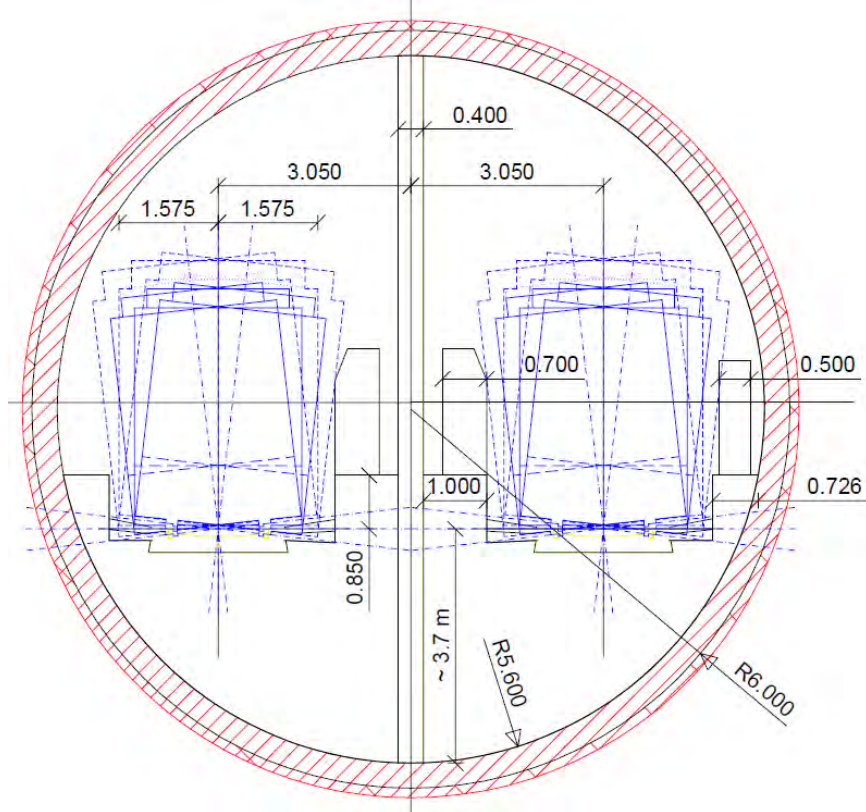
The effects of cant on the loading gauge by "tilting" are shown in the following figures for:

Cant = 60 mm:



Cant = 150 mm:

This cross-section with maximum cant (150 mm) shows that only minimal adjustments in the previous section would be needed.



In addition, a large cant requires a long transition curve (clothoid) to install the transition ramp.

For these reasons, the maximum cant must be limited in the tunnel.

Envelope in turnouts

In the Øresundsmetro tunnel, a crossover is provided.

At the turnout, a deflection depending on the branch radius of the turnout is present. This corresponds to the arc deflection in the track.

The branch speed when using the crossover is dependent on the branch radius. Therefore large turnouts should be used for these crossovers.

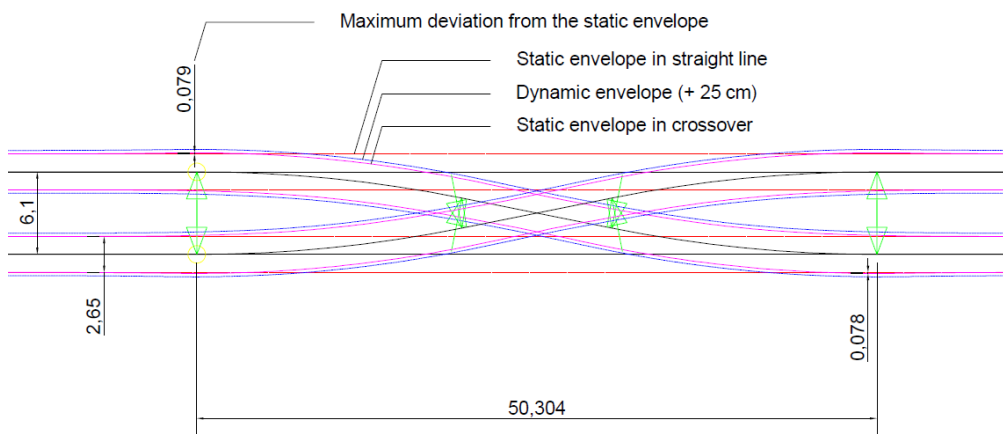
Turnouts with a branch radius $R \geq 100$ m should be used. They enable a speed of $V \geq 30$ km/h in the branch (crossover). In addition, the deflection of the vehicle is then low.

The following standard switch (BOStrab conform) was used for testing the deflection in the crossover: type 100-1:5

- $R = 100$ m
- Angle between main track and branch track = 1:5 = 11°
- $V_{max} = 30$ km/h

Since the vehicle-specific values of the existing Copenhagen Metro are currently not available, the values of a 2-system light rail (GT8-100C/2S Karlsruhe) were determined as these vehicles have the same architecture as the Copenhagen Metro: the same width (2,65 m), the same architecture (3 articulated cars) and approximately the same length (37 m for the GT8-100C/2S and 39 m for the Copenhagen Metro) as the Metro vehicles.

Here this diamond crossover has been traced out with the software ProVI and the vehicle deflections have been shown. The switch type is 100-1:5.



Following excess values are observed, which are to be considered for the vehicle deflection: 8 - 15 cm along the crossover tracks.

Upon that, 25 cm must be added on both sides. 25 cm is the value used for today's Copenhagen Metro as add-on for the dynamic envelope (due mainly to lateral movements of the car body).

In the further planning process this should be clearly defined, as they are relevant for the rolling stock tender (RS Tender).

Next steps for optimizing the cross section

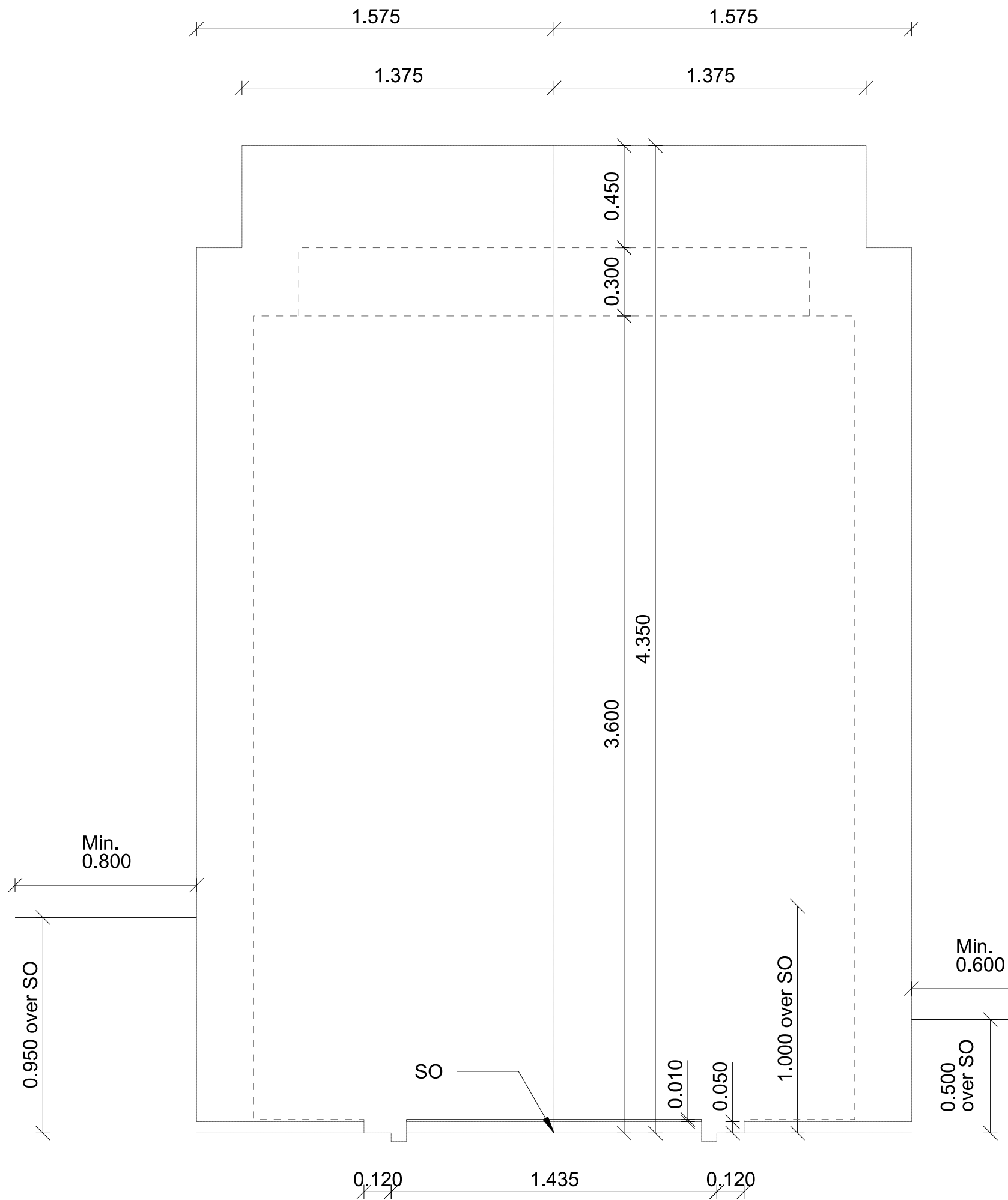
This should be a basis for further processing and precise determination of tunnel cross section and the arrangement of the track.


When the data of the existing vehicles will be provided by the customer, this can be used for calculating the envelope with ProVI. When changing the alignment, a support can be carried out.

Note: The tunnel cross section in Karlsruhe is 8,20 m. Here the security rooms can be outside and minimal. There are no intermediate pillars. Although this cross section is not recommended directly for the Øresundsmetro tunnel, it indicates a certain potential for optimization.

BILAG 7

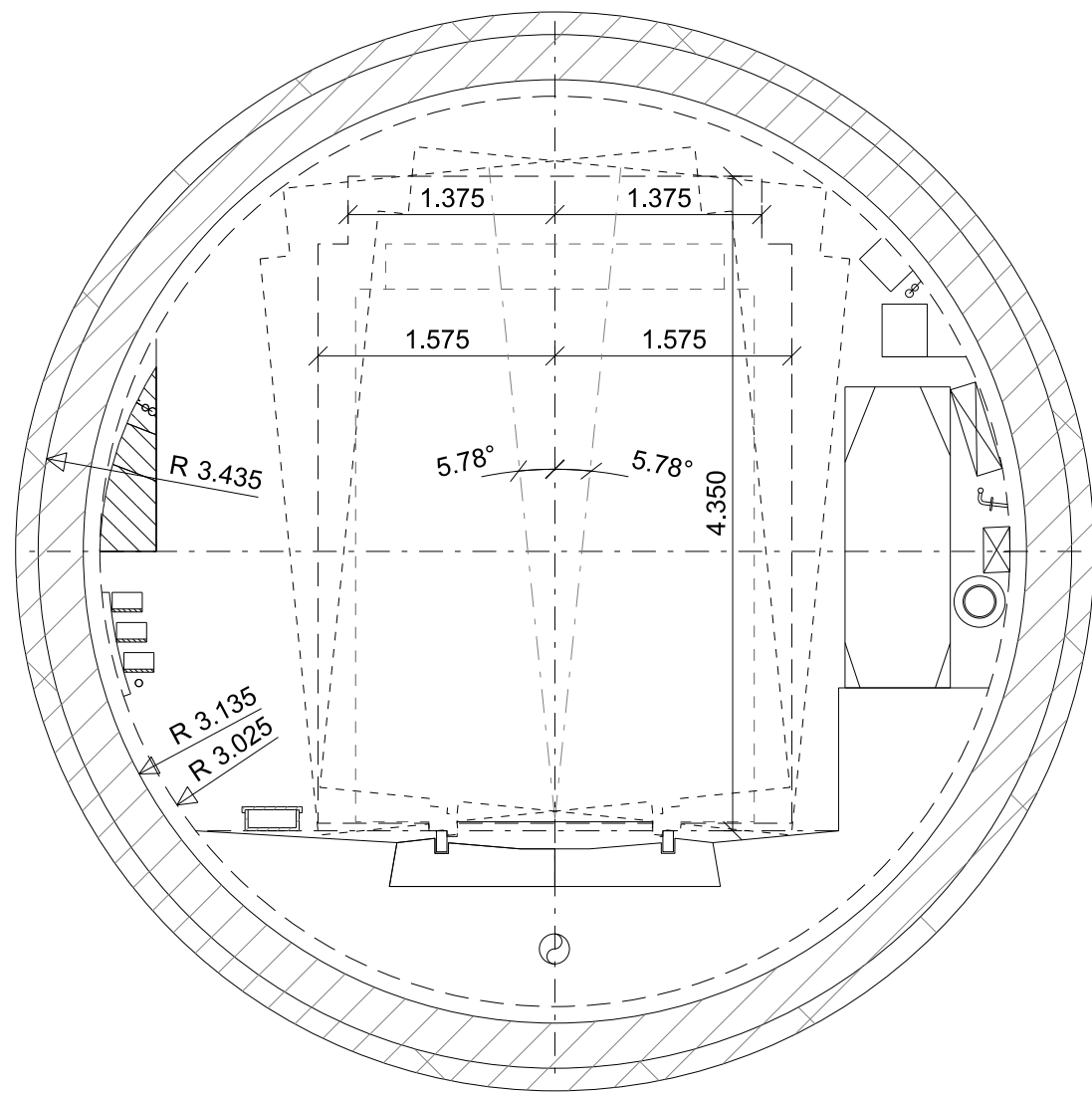
Metro fritrumsprofil



Rev.	Dato	Konst./Tegn.	Kontrol.	Godk.	 Hannemanns Allé 53 DK-2300 København S Tlf. +45 5161 1000 Fax +45 5161 1001 www.ramboll.dk
	2016-09-13	BXR/BXR	SWG		
Projektnr. 1100023192		Mål 1:20			
Illustration Email 2016-08-12 SWG					
Memo Standard Envelope for the Øresundsmetro Fritrumsprofil for Metro tog					Tegning nr. ØM3-S-TR-0001 D Rev.

BILAG 8

Tværsnit enkeltsporstunnel

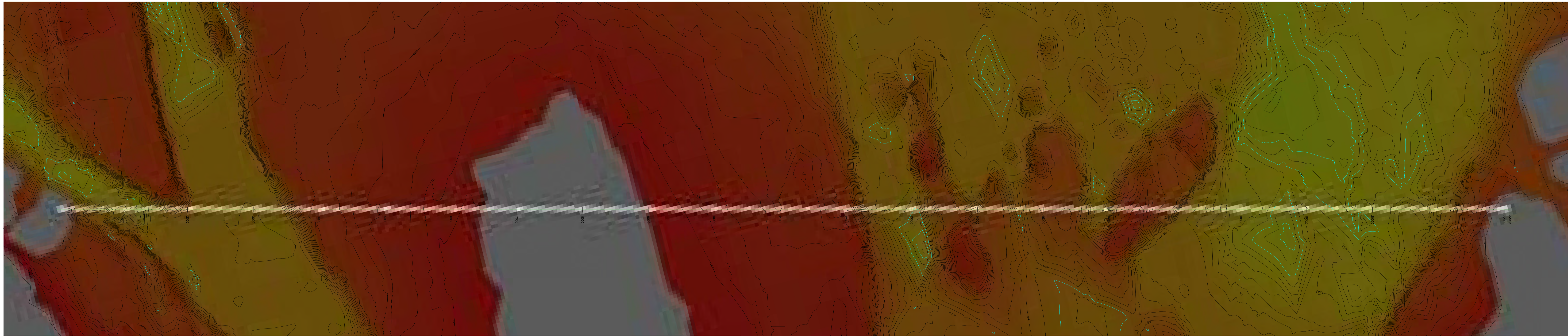


Rev.	Dato	Konst./Tegn.	Kontrol.	Godk.	 Hannemanns Allé 53 DK-2300 København S Tlf. +45 5161 1000 Fax +45 5161 1001 www.ramboll.dk
	2016-09-13	BXR/BXR	SWG		
Projektnr. 1100023192 Mål 1:50					
Illustration Boret tunnel, I.D. 11.2m, 1 spor					
CRNH Tunnel tværsnit, fritrumsprofil fra Memo Normal tværsnit					Tegning nr. ØM3-S-TT-0010 B Rev.

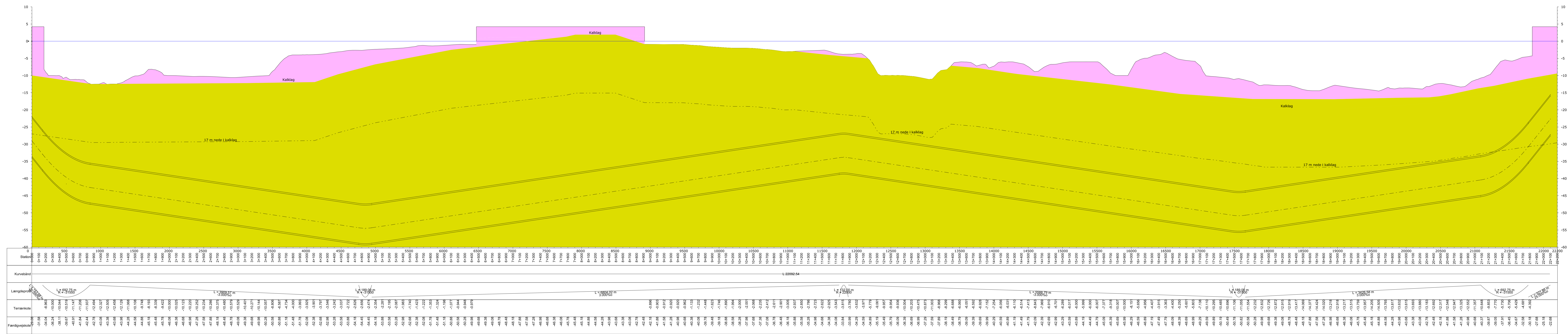
\$\$\$USER\$\$\$\$\$\$

BILAG 9

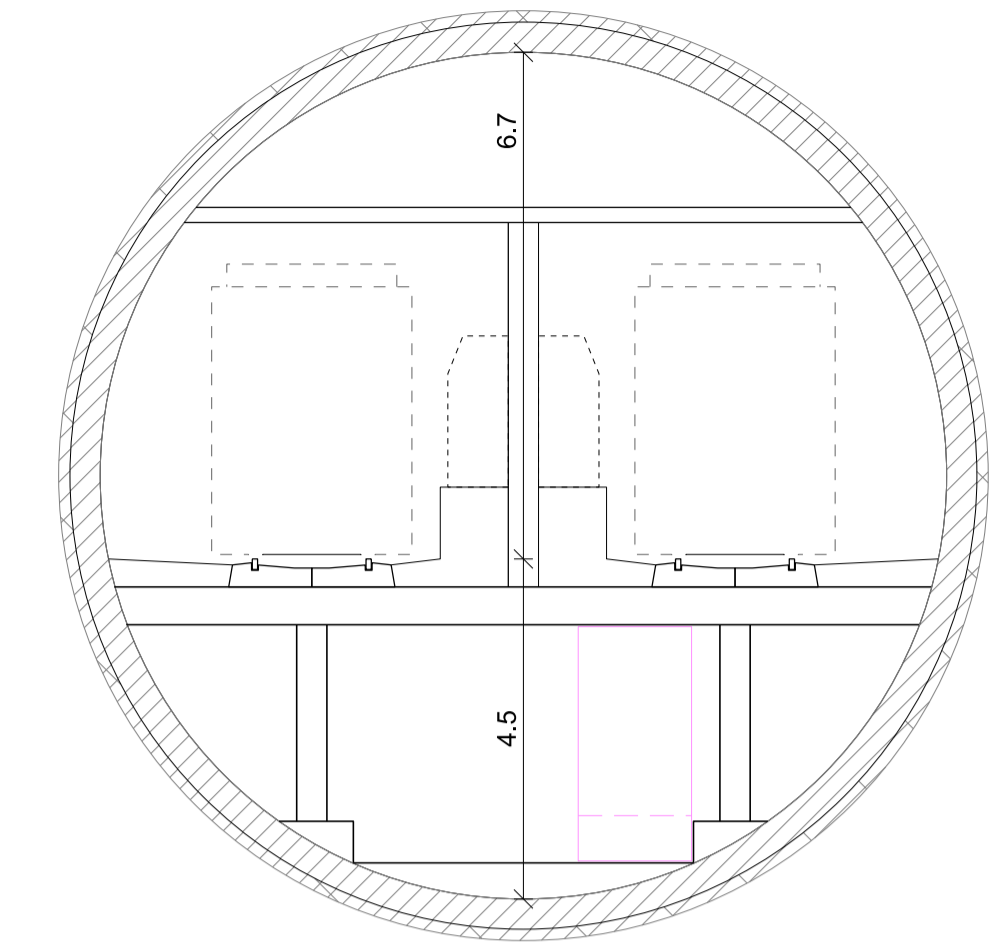
Linjeføring



PLAN, 1:20000



LÆMGDEPROFIL 1:20000/1:400



NORMALTVÆRSNIT BORET TUNNEL, 1:100

NOTE:

Koordinater er i ETRS89_UTM32N, koter er DVR90
 Alle unavngivne målt er i m, med mindre andet er angivet.

Boret tunnel med 2 spor.
 Baseret på fitrumsprofil fra Memo "Standard envelope for the Øresund Metro"

SIGNATUREER:

På plan indekterer farve havbundsdybde.
 På længdeprofil er følgende gældende:

- Tertiære lag
- Kalklag

Rev.	Dato	Kontroll/Fagn.	Kontrol.	Godk.
	2016-09-13	BXR/BXR	SWG	
Projekt: 1100023192 MA 1:20000/1:400/1:100				
Illustration Øresund Metro Fase 3 Boret tunnel I.D 11.2 m, 2 dybdepunkter Plan og Længdeprofil				
				RAMBOLL Hønnemanns Allé 53 DK-2300 København S Tlf. +45 5151 1000 Fax +45 5151 1001 www.ramboll.dk
				Tegning nr. Rev. ØM3-S-TT-0003 C

BILAG 10

Tværsnit hovedtunnel

Tunnel lining

Reserveret ventilation

2.800

2.800

0.205

1.375

1.375

1.375

1.375

1.575

1.575

1.575

1.575

2.000

0.800

4.300

R 6.100

R 5.700

R 5.600

Trafikrum

Nødfortov

Nødfortov

0.900

Trafikrum

0.370

0.050

kabler
forsyning

Adgang
Servicekøretøj

Transformer
"Blok"

kabler
forsyning

0.500

2.500

0.400

0.550

2.250

0.750

1.500

0.550

0.550

Kabling

0.600

2.800

~ 0.5 m

Rev.	Dato	Konst./Tegn.	Kontrol.	Godk.
	2016-09-15	BXR/BXR	SWG	

Projektnr.	1100023192	Mål	1:50
------------	------------	-----	------

Illustration
Boret tunnel I.D. 11.2m, 2 spor

Fritrumsprofil Memo modtaget 2016-08-12
Normal tværsnit

RAMBOLL

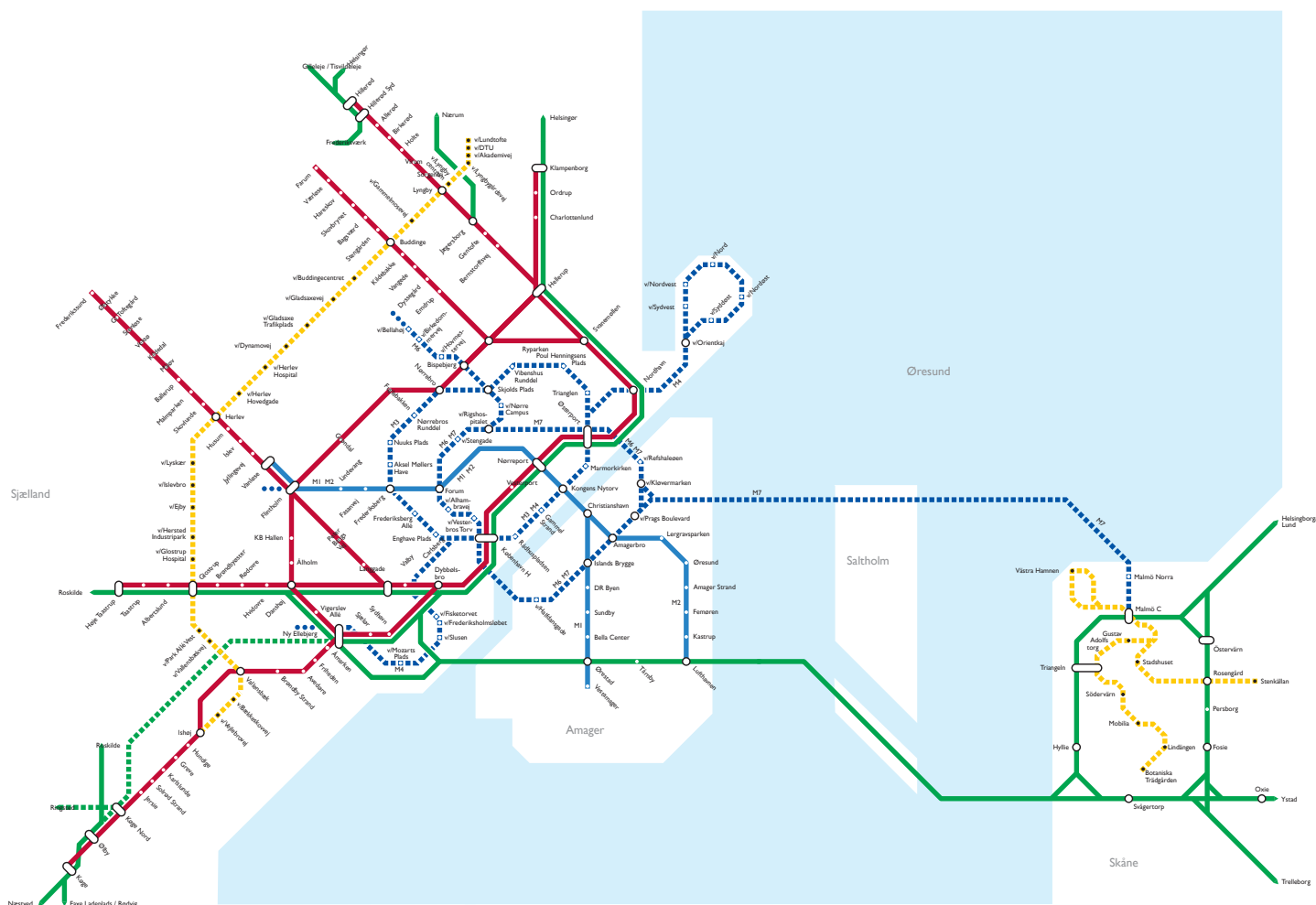
Hannemanns Allé 53
DK-2300 København S
Tlf. +45 5161 1000
Fax +45 5161 1001
www.ramboll.dk

Tegning nr. Rev.

ØM3-S-TT-0002 J

FREMTIDENS BANENET OMKRING ØRESUND?

Om 20-30 år kunne et fælles banenet se således ud – med fjerntog, regionaltog, S-tog, Pågatog, metro og sporvogne i ét system.



LÆS MERE OM ØRESUNDSMETROEN

Se alle præsentationer og delrapporter på nettet:

www.malmo.se/oresundsmetro

www.kk.dk/oresundsmetro

KONTAKT OS

oresundsmetro@okf.kk.dk

oresundsmetro@malmo.se



KØBENHAVNS KOMMUNE



Øresund-Kattegat-Skagerrak
European Regional Development Fund



EUROPEAN UNION