

Metroselskabet

København den 17. maj 2011

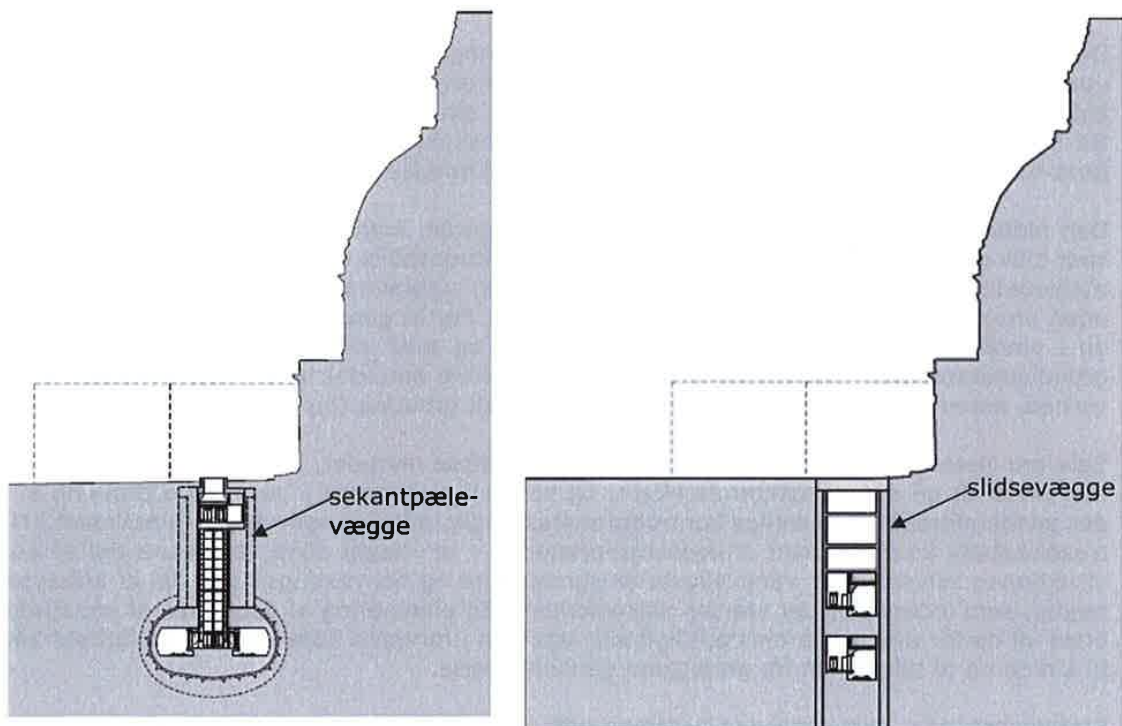
Redegørelse for ændring af udformning og udførelse af stationen ved Marmorkirken

Baggrund

I dispositionsforslaget, som dannede grundlag for transportministerens godkendelse af Cityringsprojektet i marts 2009, var den funktionelle udformning af stationen ved Marmorkirken baseret på samme grundprincip som de øvrige stationer på Cityringen, nemlig med en ø-perron placeret mellem de to parallelle tunnelspor.

Til gengæld adskilte udformningen sig konstruktionsmæssigt væsentligt fra de øvrige stationer, fordi stationen ved Marmorkirken skulle placeres inden for det meget smalle område, der er til rådighed mellem kirken og den omgivende bebyggelse. Til forskel fra de øvrige stationer, hvor hele stationen, incl. perron og spor, er placeret inde i en lukket stationsboks, var perronen og de to spor ved Marmorkirken placeret i en kaverne etableret neden under en relativt smal stationsboks. Stationsboksen rummede således kun trapper og adgangsniveau (concourseniveau). Samtidig var stationens perron og spor, af hensyn til kirken, placeret dybere end på de øvrige stationer.

På baggrund af ny viden, jf. nedenfor, foretog Metroselskabet i dette forår en fornyet vurdering af udformningen og udførelsen af Marmorkirken station. Resultatet heraf var, at der - med en lidt ændret udformning af stationen, således at sporene placeres over hinanden i stedet for ved siden af hinanden - kunne opnås en konstruktionsmetode, der svarer til konstruktionen af de øvrige stationer, og som derfor er endnu sikrere end den hidtil påtænkte. Dette gælder både teknisk i forhold til kirken og tidsmæssigt i forhold til gennemførelsen af Cityringen. Det vurderedes samtidig, at dette kunne ske uden at forringe forholdene mærkbart for de fremtidige passagerer i Cityringen.



Figur 1, Stationskoncept fra 2009 til venstre og den ændrede udformning til højre

Den ændrede udformning gør det muligt at undgå kavernen, og øger samtidig dybden af stationsboksen, idet den lukkede stationsboks i stedet føres helt ned under det nederste spor på stationen. Dette indebærer samtidig, at der anvendes slidsevægge i stedet for sekantpæle som indfatningsvægge omkring stationsboksen, da denne metode under de givne betingelser vurderes bedst egnet, bl.a. fordi indfatningsvæggene skal væsentligt dybere ned, jf. beskrivelsen nedenfor.

I forbindelse med ejernes godkendelse af udformningen af Cityringen i foråret 2009 svarede Transportministeren på en række spørgsmål fra Folketingets Trafikudvalg. I den forbindelse oplyste Metroselskabet i svaret på spørgsmål 564, at man ved stationen ved Marmorkirken ville anvende sekantpæle til stationsvæggene. Dette er nu ændret til slidsevægge. Svaret på spørgsmål 564 blev til under indtryk af den ulykke, der på dette tidspunkt var sket på et metrobyggeri i Köln.

Metroselskabet er ikke i tvivl om, at den nu valgte udformning og udførelse af stationen ved Marmorkirken er den bedste og mest sikre både teknisk og tidsmæssigt, men erkender, at selskabet ikke var tilstrækkeligt opmærksom på den tekniske detaljering i svaret fra 2009. Selskabet orienterede derfor ikke transportministeren og dermed Folketinget om den ændrede udførelse af stationsboksens vægge, da selskabet i marts i år orienterede om den ændrede udformning af stationen. Selskabet beklager dette.

I det følgende redegøres der nærmere, dels for den ændrede udformning af stationen og de fordele, dette indebærer, dels for den ændrede udførelse af stationsboksens vægge og i den forbindelse den ændrede vurdering af slidsevægsmetoden.

Ændring af stationens udformning

Formålet med at foretage en ændring af udformningen af stationen ved Marmorkirken er at opnå en endnu sikrere udførelse af det store anlægsarbejde tæt på Marmorkirken, dels for at skabe endnu større sikkerhed for, at der ikke sker skader på kirken, dels for bedst muligt at sikre overholdelse af tidsplanen for anlægget af Cityringen. Dette var baggrunden for den fornyede vurdering, som i dette forår blev foretaget sammen med anlægsentreprenøren, og som resulterede i den besluttede ændring af stationens udformning.

De ændrede forudsætninger, der muliggjorde ændringen var, dels Metroselskabets ændrede vurdering af sikkerheden ved anvendelse af slidsevægge som indfatningsvægge i stationsboksene, jf. nedenfor, dels anlægsentreprenørens ekspertise og demonstrerede erfaringer fra lignende anlægsarbejder under tilsvarende vanskelige betingelser, som Metroselskabet først har haft mulighed for at inddrage efter kontraktindgåelsen i januar i år.

Den hidtidige udformning af stationen nødvendiggjorde, som nævnt, at perronen og de to spor blev placeret i en såkaldt kaverne. Mens en stationsboks udgraves inden for på forhånd etablerede lukkede indfatningsvægge, jf. nedenfor, udgraves en kaverne direkte i kalken uden brug af boremaskiner eller indfatningsvægge. For at gennemføre en sådan konstruktion i området ved Marmorkirken - tæt på kirken og med strenge krav til fastholdelse af grundvandsstanden - vil det være nødvendigt at sikre området inden udgravningen af kavernen, enten gennem frysning eller gennem såkaldt grouting (injicering af beton i kalken).

Selv om Metroselskabet har gode erfaringer med disse metoder, frysning og grouting, som blev anvendt på den eksisterende Metro, og selv om metoderne - under forudsætning af at der gennemføres tilstrækkelige kontrolforanstaltninger, således som det er foreskrevet i Metroselskabets kontrakt med anlægsentreprenøren - er meget sikre, er denne del af konstruktionen selvsagt den vanskeligste at gennemføre og dermed også den del af anlægsarbejdet, som indeholder det største risikoelement. En eliminering af denne del af konstruktionen vil derfor under alle omstændigheder øge den i forvejen høje sikkerhed i forhold både til kirken og til tidsplanen for anlæggets gennemførelse.

Stationsboksen - som med den hidtidige udformning af stationen var placeret over kavernen, og som med den nye udformning indeholder den samlede station og derfor er dybere -

består af lukkede vægge, såkaldte indfatningsvægge, der omkranser hele boksen, og som etableres, før udgravningen påbegyndes. Dette giver en umiddelbar sikkerhed mod indtrængning af grundvand og mod påvirkning af de omgivende bygninger og deres fundamenter. En stationsboks, der omfatter hele stationen, inklusiv spor og perroner, som i den ændrede udformning, er derfor pr. definition en sikrere løsning end den i forvejen meget sikre løsning bestående af både stationsboks og kaverne.

Funktionelt betyder den ændrede udformning af stationen, hvor sporene kommer til at ligge over hinanden i stedet for ved siden af hinanden, at det almindelige stationsprincip på Cityringen med en ø-perron mellem to parallelle spor forlades på denne station. Fordelene ved løsningen med en ø-perron er primært en større fleksibilitet i forbindelse med vedligeholdelse i nattetimerne.

Med den ændrede udformning, vil passagererne ved retningskift under sporvedligeholdelse skulle vælge mellem den øverste eller den nederste perron, som er forbundet med trappe og elevatorer. De faste kunder vil vide, hvilken perron de skal bruge ved kørsel om natten, mens nye kunder uden problemer vil kunne vises vej til den rette perron gennem effektiv skiltning. Da det ene spor ligger lidt højere og det andet lidt lavere end i den hidtidige løsning, vil den gennemsnitlige afstand fra gaden til toget blive den samme. Samlet set vurderer Metroselskabet ikke, at justeringen vil indebære nogen mærkbar forringelse af funktionaliteten for de fremtidige passagerer.

Da stationsboksens placering er uændret, berører anlægget af stationen ikke kirkens pælefundament. Dette gjaldt med den tidligere udformning, ligesom det gælder med den ændrede udformning. Udstrækningen af pælefundamentet er nøje undersøgt gennem prøveudgravninger foretaget af Bymuseets arkæologer. Pælefundamentets udstrækning fremgår af et bilag til denne redegørelse.

På den baggrund fandt Metroselskabet det rigtigt at foretage ændringen af stationens udformning, som ville medføre forbedringer af den tekniske og tidsmæssige sikkerhed for gennemførelse af anlægsarbejdet, særligt under hensyn til den stærke fokus, der er på sikkerheden for kirken.

Inden Metroselskabet traf den endelige beslutning om at ændre udformningen af stationen, indhentede selskabet en vurdering fra den uafhængige sikkerhedsekspert, TÜV, af konstruktionssikkerheden ved gennemførelse af stationen med den nye udformning i forhold til den hidtidige udformning. TÜV's vurdering bekræftede selskabets vurdering, at stationen med den ændrede udformning er endnu sikrere at anlægge end stationen med den hidtidige udformning. TÜV forudsatte ved sin vurdering anvendelse af slidsevægsmetoden.

Indfatningsvægge udført som slidsevægge eller som sekantpæle vægge

I perioden umiddelbart før transportministerens godkendelse af Cityringsprojektet i marts 2009 var der fra Folketingets side fokus på stationen ved Marmorkirken på grund af dens placering tæt op ad kirken. Denne fokus forstærkedes af en ulykke, der på dette tidspunkt var sket på et metrobyggeri i København, hvor nogle bygninger skred ned i udgravningerne til anlægget. Indfatningsvæggene på metrobyggeriet i København var udført som slidsevægge.

Med den udformning af stationen ved Marmorkirken, der på dette tidspunkt var forudsat, det vil sige med spor og perron i en kaverne placeret under en stationsboks, var det forudsat, at stationsboksens indfatningsvægge skulle udføres med sekantpæle. Ulykken i København medførte desuden på dette tidspunkt en vis usikkerhed om slidsevægsmetoden. I et svar til Folketinget fra den 25. marts 2009 udtrykte Metroselskabet sig derfor relativt negativt om slidsevægge samtidig med, at selskabet oplyste, at der ville blive brugt sekantpæle ved anlægget af bl.a. stationen ved Marmorkirken.

Efterfølgende har Metroselskabet foretaget en fornyet vurdering af anvendelsen af de to anlægsmetoder på de enkelte stationer, slidsevægge og sekantpæle, som er de to mest udbredte anlægsmetoder ved store anlægsarbejder som Cityringen.

På baggrund heraf og på basis af erfaringerne fra andre store aktuelle anlægsarbejder, hvor der er anvendt slidsevægge, f.eks. Citytunnelen i Malmø, London Underground og Roms Metro, er Metroselskabet blevet overbevist om, at de to udførelsesmetoder sikkerhedsmæssigt begge er fuldt forsvarlige og i øvrigt ligeværdige, forstået således, at begge fremgangsmåder er sikre og velgennemprøvede metoder, men med hver deres fordele. Den sikkerhedsmæssigt bedste løsning får man derfor ved at vælge den metode, der - på grundlag af en konkret vurdering af de lokale konstruktionsbetingelser, herunder jordbundsforhold, grundvandsforhold, konstruktionernes dybde m.v. - er mest velegnet det pågældende sted til den aktuelle konstruktion.

Kort beskrivelse af slidsevægge og sekantpæle

Slidsevægge består af to til fem meter brede betonpaneler, som låses til hinanden, og som derefter udgør en lukket væg omkring den kommende stationsboks inden udgravningen af boksen påbegyndes. Under etableringen af betonpanelerne sikres udgravningen af de korte sektioner ved hjælp af bentonitslam (lerslam). Sekantpæle består af betonsøjler, som griber ind i hinanden, og som derefter udgør en lukket væg omkring den kommende stationsboks inden udgravningen af boksen påbegyndes. Under etableringen af betonsøjlerne sikres udgravningen til søjlerne ved hjælp af stålforinger. Der henvises til bilag, hvor de to konstruktionsmetoder er illustreret.

Fordele og ulemper ved de to udførelsesmetoder kan kort beskrives således:

Sekantpæle vægge

- Konstruktionen er relativt enkel at gennemføre
- Udgravningen til betonpælene medfører nogle vibrationer og noget støj
- Sekantpælevæggen er normalt relativt vandtæt.
- Konstruktionens normale anvendelsesområde går ned til 25 meters dybde
- Normal konstruktionstykkelser er 80 – 120 cm
- Konstruktionen har god styrke over for vandrette belastninger på ydersiden

Slidsevægge

- Konstruktionen er lidt mere kompleks at gennemføre
- Udgravningen til betonpanelerne medfører færre vibrationer og mindre støj
- Konstruktionen har færre samlinger og regnes derfor for mere vandtæt
- Konstruktionens normale anvendelsesområde går ned til 35 – 40 meter
- Normal konstruktionstykkelser er 80 – 120 cm
- Konstruktionen har højere styrke over for vandrette belastninger på ydersiden

Metroselskabet har i overensstemmelse med sædvanlig praksis efter indgåelsen af kontrakten sammen med anlægsentreprenøren (CMT) gennemgået alle stations- og skaktkonstruktioner på Cityringen med henblik på gennem en konkret vurdering at vælge de lokalt set bedste og mest sikre udførelsesmetoder. Ved denne gennemgang er der ved ca. to tredjedele af stationer og skakte, herunder stationen ved Gammel Strand, valgt slidsevægge og ved de øvrige sekantpælevægge.

For Marmorkirken gælder der det særlige, at med den hidtidige udformning af stationen ville sekantpælevægge formentlig have været den mest hensigtsmæssige udførelsesmetode. Med den ændrede udformning af stationen vil slidsevægge indiskutabelt være den bedste og mest sikre udførelsesmetode. Dette skyldes især, at indfatningsvæggene omkring stationsboksen i den nye udformning skal være væsentligt dybere, fordi boksen nu også skal rumme perron og spor. Ved ændringen af udformningen af stationen valgte Metroselskabet derfor sammen med entreprenøren at ændre udførelsesmetode fra sekantpælevægge til slidsevægge.

Med henblik på at betrygge beslutningen om at ændre udførelsesmetoden fra sekantpælevægge til slidsevægge har Metroselskabet bedt den uafhængige sikkerhedseksper, TÜV, om en specifik vurdering af sikkerheden ved anvendelse af slidsevægge contra sekantpælevægge. TÜV konkluderer i sin vurdering, at sekantpælevægge er en enkel konstruktionsmetode.

Fordelene ved slidsevægge er imidlertid, at de muliggør dybere konstruktioner, er mere vandtætte, har mindre indflydelse på konstruktioner og bygninger i nærheden af anlægsarbejdet, kan anlægges helt tæt på eksisterende konstruktioner og bygninger og har en overflade, som er bedre egnet som en del af det færdige anlæg. Selv om udførelsen af en sekantpælekonstruktion er enklere, og der derfor kan være en større risiko for at 'gøre noget forkert' under konstruktionen af en slidsevæg, kan denne risiko minimeres ved et hensigtsmæssigt kvalitetsstyringssystem og et passende 'Construction Supervision Scheme'. (Begge dele krav, som indgår i Metroselskabets kontrakt med anlægssuperviseren).

Orientering af transportministeren og Folketinget

I perioden forud for transportministerens godkendelse af dispositionsforslaget for Cityringen i marts 2009 var der fra Folketingets side fokus på stationen ved Marmorkirken, især på risikoen for at anlægsarbejdet kunne skade kirken. Metroselskabet medvirkede i den forbindelse ved en række tekniske gennemgange for en del af Folketingets udvalg, herunder Trafikudvalget, og bidrog til besvarelsen af et stort antal spørgsmål fra Folketinget.

Kort forinden var der sket en alvorlig ulykke i forbindelse med et metrobyggeri i Köln, hvor Kölns Stadsarkiv styrtede sammen som følge af et sammenbrud af konstruktionerne i metrobyggeriet. Indfatningsvæggene på det pågældende sted i metrobyggeriet i Köln var udført som slidsevægge. Nogle af Folketingsspørgsmålene havde derfor fokus på, hvorvidt noget lignende kunne ske under anlægget af stationen ved Marmorkirken.

I et af svarene på disse spørgsmål oplyste Metroselskabet, at betingelserne i Köln var meget anderledes end i København, dels er jordbundsforholdene i København væsentligt anderledes og simplere at arbejde i end de betingelser, der arbejdes under i Köln, dels var der forudsat anvendt sekantpæle og ikke slidsevægge ved anlæg af stationer og sporskiftekamre på Cityringen. Under indtryk af den usikkerhed, som ulykken i Köln havde skabt om anvendelsen af slidsevægge, tilkendegav Metroselskabet desuden, at indfatningsvægge udført med sekantpæle var en sikrere konstruktion end de slidsevægge, som var anvendt i Köln.

Efterfølgende er der ikke fremkommet oplysninger om ulykken i Köln, som giver Metroselskabet grundlag for at betragte slidsevægge som en mindre sikker udførelsesmetode end sekantpæle. Samtidig er slidsevægge siden da blevet valgt og med succes anvendt på et stort antal store anlægsopgaver verden over.

Som nævnt ovenfor er begge udførelsesmetoder anerkendte metoder, der anvendes overalt i verden til store anlægsprojekter som Cityringen. Metoderne vurderes sikkerhedsmæssigt ligeværdige forstået på den måde, at metoderne hver især har deres fordele, således at det beror på de konkrete forhold hvilken metode, der er mest hensigtsmæssig i det enkelte tilfælde.

I marts i år orienterede Metroselskabet transportministeren og Folketingets Trafikudvalg om den ændrede udformning af stationen ved Marmorkirken. Metroselskabet nævnte i den forbindelse ikke den ændrede udførelse af stationsboksens indfatningsvægge som slidsevægge i stedet for som sekantpælevægge. Metroselskabet opfattede dette som et teknisk spørgsmål, som selskabet var ansvarlig for at håndtere fagligt mest hensigtsmæssigt. Selskabet var i situationen ikke tilstrækkeligt opmærksom på, at netop dette spørgsmål havde været behandlet i et tidligere svar til Folketinget, og at det derfor ville have været rigtigst også at informere såvel ministeren som Folketinget om denne mere tekniske ændring. Denne fejl må alene tilskrives Metroselskabet, som meget beklager ikke at have udvist tilstrækkelig opmærksomhed og som følge heraf ikke at have informeret ministeren og Folketinget tilstrækkeligt detaljeret om de foretagne ændringer.

Sammenfatning

Metroselskabet erkender og beklager, at selskabet ikke har været tilstrækkeligt opmærksom på den teknisk detaljerede besvarelse til Folketinget i marts 2009, hvilket har medført, at selskabet ikke gav tilstrækkeligt detaljerede oplysninger til transportministeren og dermed

Folketinget, da selskabet informerede om den ændrede udformning af stationen ved Marmorkirken i marts i år.

Metroselskabet erkender desuden, at selskabet ved besvarelsen af det omtalte Folketings spørgsmål i marts 2009 i lyset af ulykken i Köln vurderede udførelsesmetoden med slidsevægge for negativt. Slidsevægsmetoden er således fuldt så sikker som sekantpælemetoden. Begge metoder anvendes på store anlægsarbejder verden over. Valget af metode afhænger af de konkrete forhold på det pågældende sted og af den konkrete konstruktions dimensioner og udformning.

Metroselskabet er overbevist om, at den ændrede udformning af stationen ved Marmorkirken, hvor kavernen udelades, og stationsboksen gøres dybere, er sikrere at anlægge end den tidligere udformning af stationen. Dette er bekræftet af den uafhængige sikkerhedsekspert, TÜV.

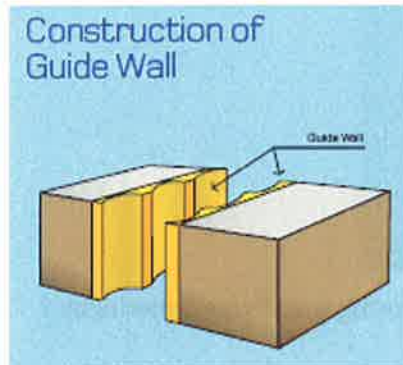
Metroselskabet er desuden overbevist om, at udførelse af stationens indfatningsvægge som slidsevægge er den bedste og mest sikre udførelsesmetode, når stationens ændrede udformning samt den nu kendte viden om udførelsesmetoden med slidsevægge tages i betragtning. Valget af slidsevægge som den mest hensigtsmæssige udførelsesmetode under de konkrete betingelser for anlæg af stationen ved Marmorkirken er bekræftet af den uafhængige sikkerhedsekspert, TÜV.

Bilag:

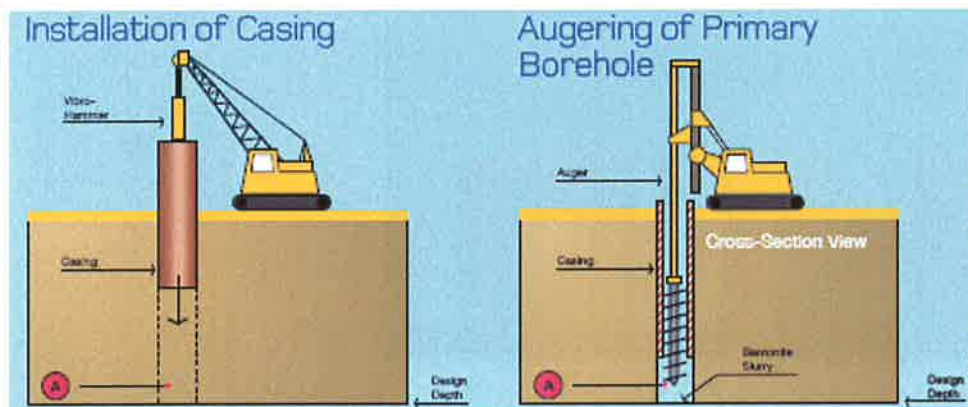
- Illustration af konstruktionsmetoderne: sekantpæle og slidsevægge
- Illustration af Marmorkirkens pælefundament
- Besvarelse af 25. marts 2009 på Folketingets spørgsmål nr. 564 om Cityringen
- Orientering af 4. marts 2011 til Folketingets Trafikudvalg 'Metrostationen ved Marmorkirken'
- Information af 11. maj 2011 til Transportministeriet om anlægsmetoder på Cityringen
- Pressemeddelelse af 13. maj 2011 'Ændret anlægsmetode ved Marmorkirken'
- TÜVs vurdering af 22. februar 2011 'Risks related to the alternative Design Solutions for the Marmorkirken Station of the Copenhagen Cityringen Metro'
- TÜVs vurdering af 16. maj 2011 'Comparison of 'Diaphragm Walling' and Secant Piling' for use in construction of Metro Stations'.

Bilag: Illustration af sekantvægge samt slidsevægge

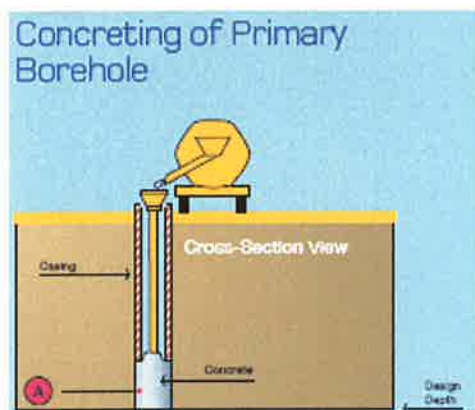
Sekant pæle vægge:



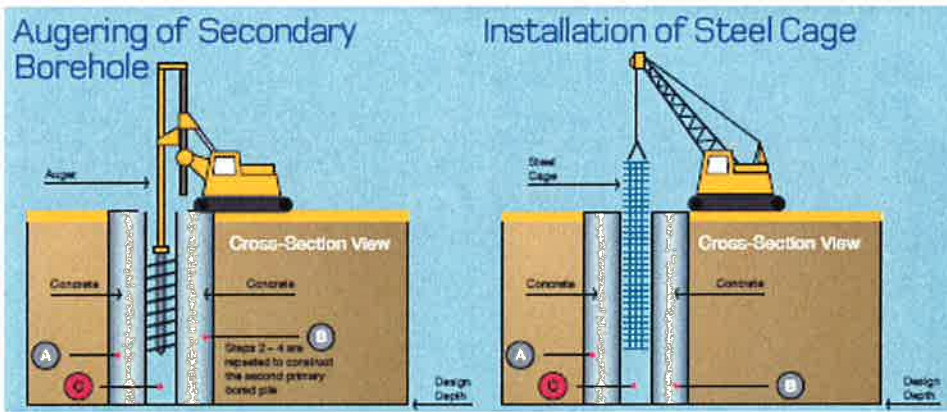
Figur 1. Konstruktion af skabelon for pæleboringen.



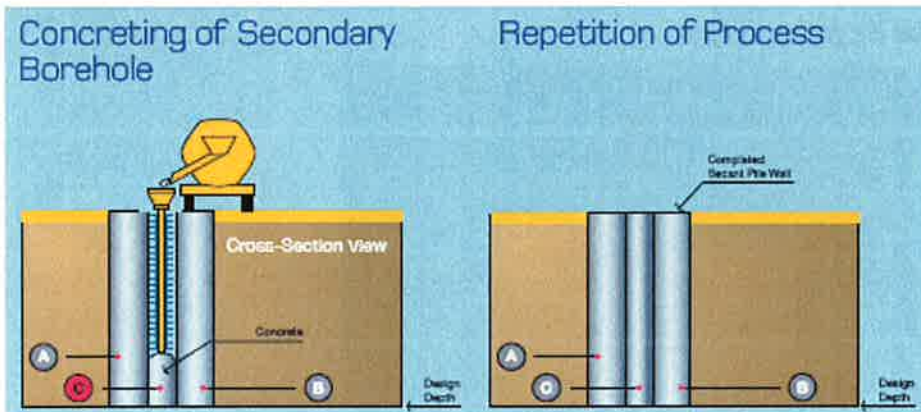
Figur 2. Installation af foringsrør samt boring af uarmerede pæle.



Figur 3. Støbning af pæl.

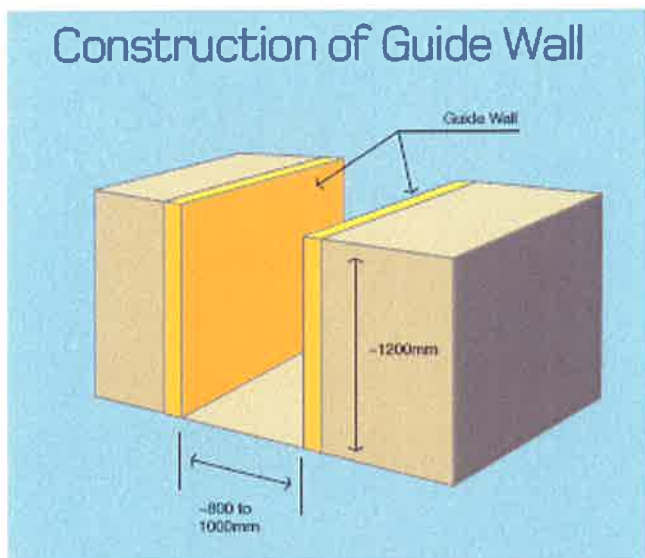


Figur 4. Installation af foringsrør og boring af armerede pæle. Efter endt boring installeres armeringen i pælen.

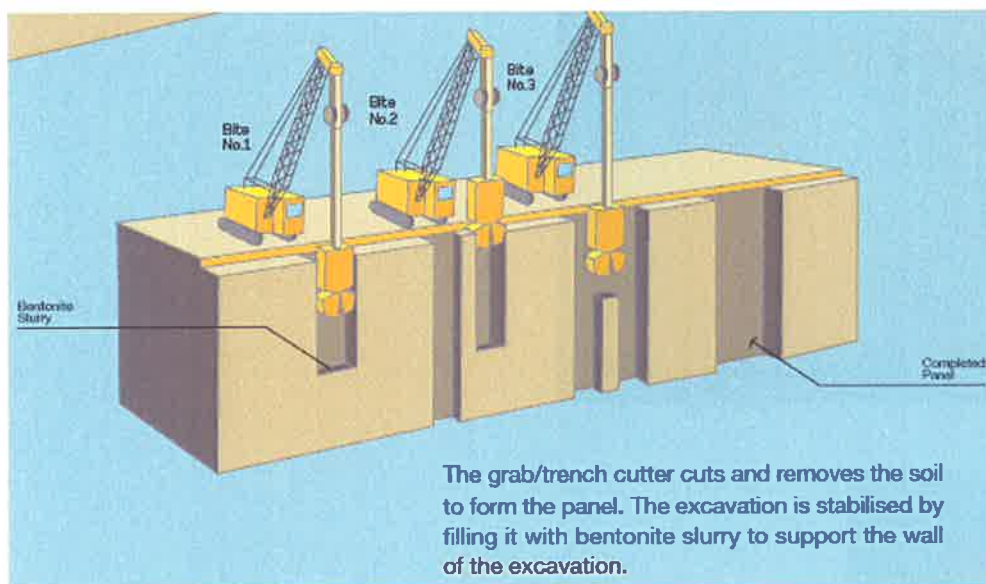


Figur 5. Støbning af pæl.

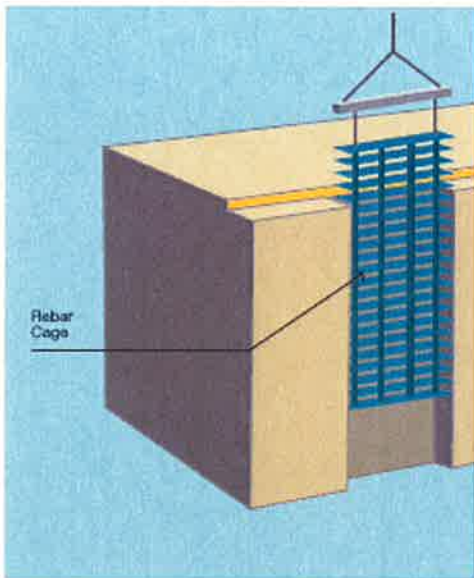
Slidsevægge:



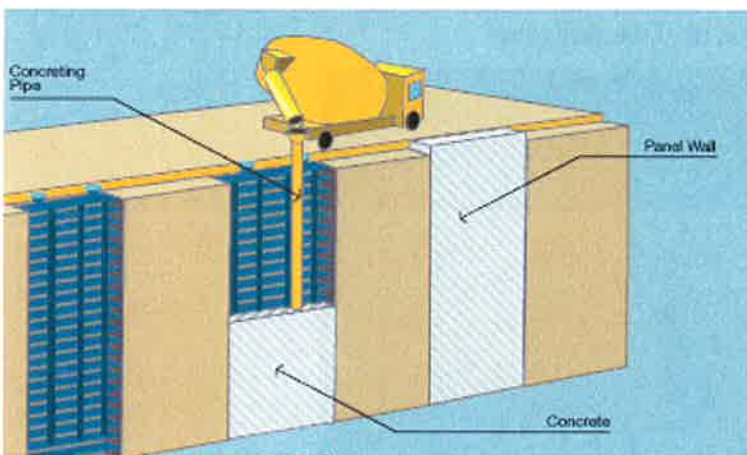
Figur 1. Konstruktion af skabelon for panelerne til slidsevæggene.



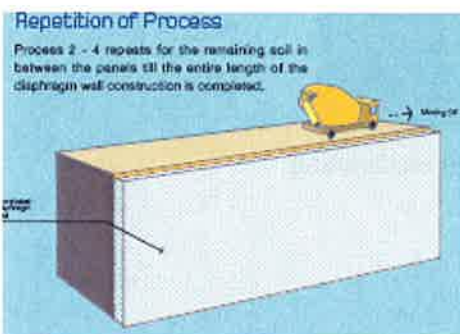
Figur 2. Udgravning af panel. Udgravningen stabiliseres med bentonit opslemning.



Figur 3. Armering og vandtætnings system installeres.



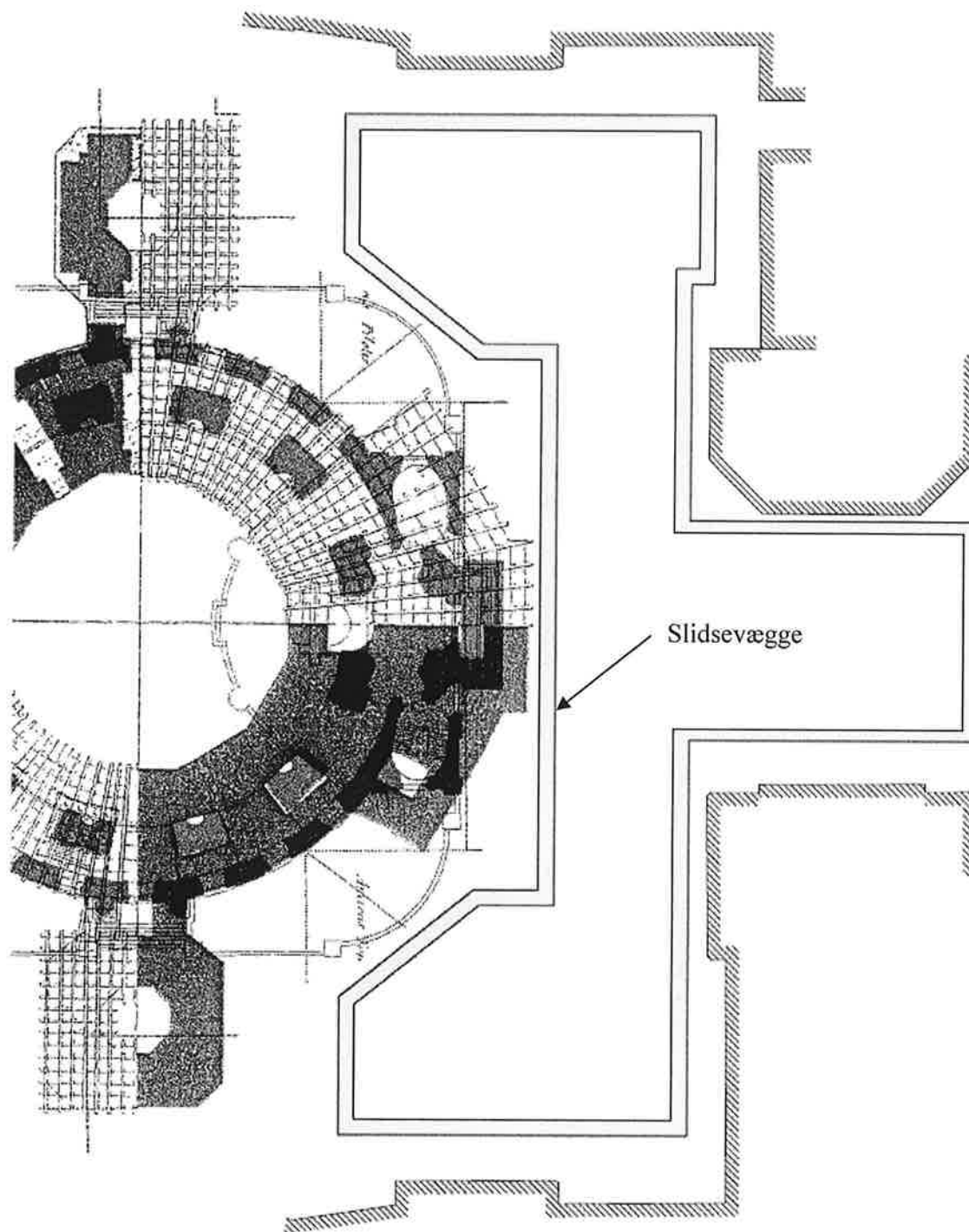
Figur 4. Panelet støbes.



Figur 5. Processen gentages.

Bilag:

Indfatningsvægge til stationsbyggeriet i forhold til
Marmorkirkens pælefundament





Folketingets Trafikudvalg
Christiansborg
1240 København K

MINISTEREN

Dato 25. marts 2009
Dok.id
J. nr. 004-U18-920

Frederiksholms Kanal 27 F
1220 København K

Telefon 33 92 33 55

Trafikudvalget har i brev af 12. marts 2009 stillet mig følgende spørgsmål 564 (TRU alm. del), som jeg hermed skal besvare.

Spørgsmål nr. 564:

"Til brug for udvalgets behandling af ministerens høringsskrivelse om metro cityring, jf. TRU alm. del - bilag 345, bedes ministeren redegøre nærmere for, hvad det var, der skete ved den nylige episode i Köln, hvor en bygning styrtede sammen i forbindelse med et metro anlægsarbejde, og oplyse, om episoden i Köln har relevans for anlæggelsen af metro cityring samt om episoden i Köln giver ministeren anledning til overvejelser om anlægsprojektet om metro cityring."

Svar:

Jeg har forelagt spørgsmålet fra Metroselskabet, som har oplyst følgende:

"Forskelle mellem anlægsarbejderne i Köln og i København

For det første er Köln beliggende nær Rhinen og grundvandet står derfor højt. Undergrunden består primært af sand og grus, som især i kombination med det højtstående grundvand er relativt ustabil og derfor vanskeligt at arbejde i.

I modsætning hertil er Københavns undergrund karakteriseret ved den såkaldte københavnerkalk, som, selv om grundvandet også i København står relativt højt, er stabilt og derfor relativt simpelt at udføre store underjordiske anlægsarbejder i. Anlægget af den eksisterende Metro forløb da også uden problemer i forhold til undergrunden. Betingelserne for anlægget af Cityringen adskiller sig således væsentligt fra de betingelser, der arbejdes under i Köln.

For det andet var der ved anlæggelsen af det sporskiftetekammer i Köln, hvor hændelsen skete, anvendt såkaldte slidsevægge som adskillelse mellem sporskiftetekammeret og den omgivende jord. Slidsevægge etableres ved udgravning af render i jorden i korte sektioner, som under udgravningen fyldes med bentonitslam (lerslam), der holder rendens lodrette vægge på plads. Når den pågældende sektion af renderen er udgravet til den ønskede dybde, erstattes bentonitslammen med beton, som armeres. Slidsevæggene samles og tættes med fugebånd. Disse samlinger kan udgøre et svagt punkt i slidsevæggene.



I modsætning hertil anvendes i København – både til den eksisterende Metro og til Cityringen – såkaldte sekantpæle som vægge omkring stationsrum og sporskiftekamre. Sekantpæle etableres ved udboring af cirkulære huller i jorden, f.eks. med en diameter på 100 cm og med 80 cm' afstand. Under boringen fastholdes hullernes lodrette vægge med stålrør. Når hullerne er udboret til den ønskede dybde, udstøbes de med beton. Herefter udbores tilsvarende huller mellem de første pæle, således at de griber ind i de allerede støbte betonpæle. På denne måde udgør de to hold betonpæle til sammen en tæt væg. De sidst udborede pæle armeres med stål, inden de udstøbes. Sekantpæle giver en betydeligt mere robust adskillelse mellem det udgravede stationsrum eller sporskiftekammer og den omgivende jord. Som yderligere sikkerhed bores disse sekantpæle helt ned i kalken og udgør også af den grund en væsentlig sikrere konstruktion end der opnås med den metode, der er anvendt i Köln.

Grundlæggende adskiller såvel jordbundsforholdene som konstruktionsmetoderne på Cityringen sig således væsentligt fra forholdene i Köln.

Hændelsen i Köln

Under gaden langs stadsarkivet i Köln er et sporskiftekammer til en kommende metro under anlæggelse. Sporet skal ligge i cirka 25 meters dybde. Stadsarkivet er styrtet sammen delvist oven i dette kammer.

Hændelsesforløbet og årsagerne til hændelsen i Köln kendes endnu ikke, og der må forventes at medgå en del tid til gennemførelsen af de nødvendige undersøgelser, som kan klarlægge forløbet og årsagerne hertil.

Mulige årsager til hændelsen i Köln

I en artikel i ugebladet Ingeniøren opstilles to mulige årsags-scenarier, som begge forudsætter, at jorden under stadsarkivet blev eroderet bort. Det ene ved erosion gennem bunden af udgravningen. Det andet ved erosion gennem sporskiftekammerets sider. Lignende scenarier er blevet fremført i tyske medier.

Hvorvidt disse scenarier er korrekte og i givet fald, hvad der har udløst erosionen vil være uvist, indtil hændelsesforløbet er klarlagt. Men tager man udgangspunkt i disse scenarier, kan det konstateres, at det første scenarie, hvor erosionen antages at være sket gennem bunden af sporskiftekammeret, på Cityringsprojektet ville være blevet forhindret, dels fordi undergrunden i København består af københavnerkalk, dels fordi sekantpælene bores helt ned i kalken, således at erosion fra bunden ikke kan finde sted.

Det kan i den forbindelse nævnes, at to af stationerne på Cityringen, stationen ved Rådhuspladsen og stationen ved Vibenshus Runddel, er beliggende i områder, hvor københavnerkalken ligger dybere end stationsboksen, men netop for at undgå, at dette fører til problemer med erosion fra bunden, bores sekantpælene også her helt ned i kalken.



Det andet scenarie, hvor erosionen antages at være sket gennem sporskifte-kammerets vægge, ville på Cityringsprojektet være blevet forhindret, fordi se-kantpælene er en betydeligt mere robust konstruktion end de slidsevægge, som er anvendt i Köln.

Såfremt Ingeniørens antagelser om forløbet af hændelsen i Köln er korrekte, er der således, som det fremgår, allerede ved forberedelsen af anlægget af Cityrin-gen taget højde for sådanne hændelser.

Metroselskabet følger undersøgelserne i Köln

Metroselskabet vil imidlertid nøje følge undersøgelserne af hændelsen i Köln og inddrage erfaringerne herfra i vurderingerne af de konstruktioner og arbejds-metoder, som de kommende entreprenører foreslår. Dette vil bl.a. ske med henblik på at sikre, at eventuelle ekstra foranstaltninger, der måtte vurderes nødvendige som følge af erfaringerne fra Köln, kan medtages i projektet, inden de store anlægsarbejder påbegyndes i 2011.

Det kan tilføjes, at Metroselskabet er orienteret om, at TÜV Rheinland er blevet bedt om at medvirke ved undersøgelserne af omstændighederne og årsagerne til hændelsen i Köln. TÜV Rheinland er samtidig uvildig assessor på City-ringsprojektet og skal i den egenskab foretage de tekniske vurderinger af City-ringsprojektet som grundlag for Trafikstyrelsens sikkerhedsgodkendelse af pro-jektet.

Metroselskabet vil bede TÜV Rheinland, som assessor for Cityringsprojektet have særskilt fokus på at inddrage erfaringerne fra undersøgelserne i Köln ved vurderingen af konstruktioner, arbejdsmetoder m.v. i Cityringsprojektet, såle-des at disse aspekter kan indgå ved Trafikstyrelsens endelige godkendelse af sikkerheden i Cityringsprojektet.”

Med venlig hilsen

Lars Barfoed

Metroselskabet NS
Metrovej 5
DK-2300 København S

T +45 3311 1700
F +45 3311 2301
e m@n.dk

Metrostationen ved Marmorkirken

Baggrund

Forud for transportministerens godkendelse af det optimerede dispositionsforslag for Cityringen den 27. marts 2009 var der fra Folketingets side særlig fokus på anlæg af stationen ved Marmorkirken og de risici, det indebærer for skader på kirken. Der blev i den anledning undersøgt forskellige alternative placeringer, bl.a. under Store Kongensgade og under karréen på den anden side af Store Kongensgade. De undersøgte alternativer viste sig alle væsentligt dyrere uden at reducere risikoen og blev derfor fravalgt.

Som led i forberedelse af ministerens godkendelse gennemgik Metroselskabets teknikere desuden for bl.a. Folketingets Trafikudvalg, hvorledes den valgte konstruktion af stationen kunne gennemføres med mindst mulig risiko for skader på kirken. Som resultat af de efterfølgende politiske drøftelser besluttede ministeren i forbindelse med sin godkendelse af dispositionsforslaget at flytte stationens kaverne lidt længere væk fra kirken og placere den lidt dybere. Dispositionsforslaget dannede sammen med transportministerens godkendelse grundlag for Metroselskabets udarbejdelse af udbudsprojektet for Cityringen.

Forslag til ændret udførelse af stationen

Metroselskabet indgik den 7. januar 2011 kontrakt med bl.a. den entreprenør, der skal gennemføre de store anlægsopgaver på Cityringen, herunder anlæg af stationen ved Marmorkirken. Som også nævnt i Aktstykke 51 af 16. december 2010 er der i Cityringsprojektet konstateret en mere omfattende forurening end forventet. Dette øger alt andet lige risikoen for forsinkelse af projektet, og med henblik på at mindske risikoen for forsinkelse totalt set har entreprenøren efterfølgende for stationen ved Marmorkirken foreslået en lidt ændret udførelsesmetode. Denne udførelsesmetode giver efter Metroselskabets og TÜV's vurdering (se nedenfor) både en endnu større sikkerhed for kirken og for, at anlægget her kan gennemføres uden forsinkelser.

Forskellen mellem de to udførelsesmetoder

Den hidtidige udførelsesmetode, som er vist nedenfor på figur 1 og 2, består af en skakt med vandtæt væg, som foruden udvides med en kaverne. Skaktens væg etableres, inden jorden graves væk, og indebærer derfor ingen risiko for indtrængning af grundvand i skakten. Men for at sikre, at der ikke trænger grundvand ind i kaveren, som er et underjordisk rum

der udgraves direkte i kalken og derfor, mens den udgraves, vil være åben for vandindtrængning, vil området skulle nedfryses eller på anden måde sikres, inden udgravningen kan begyndes.

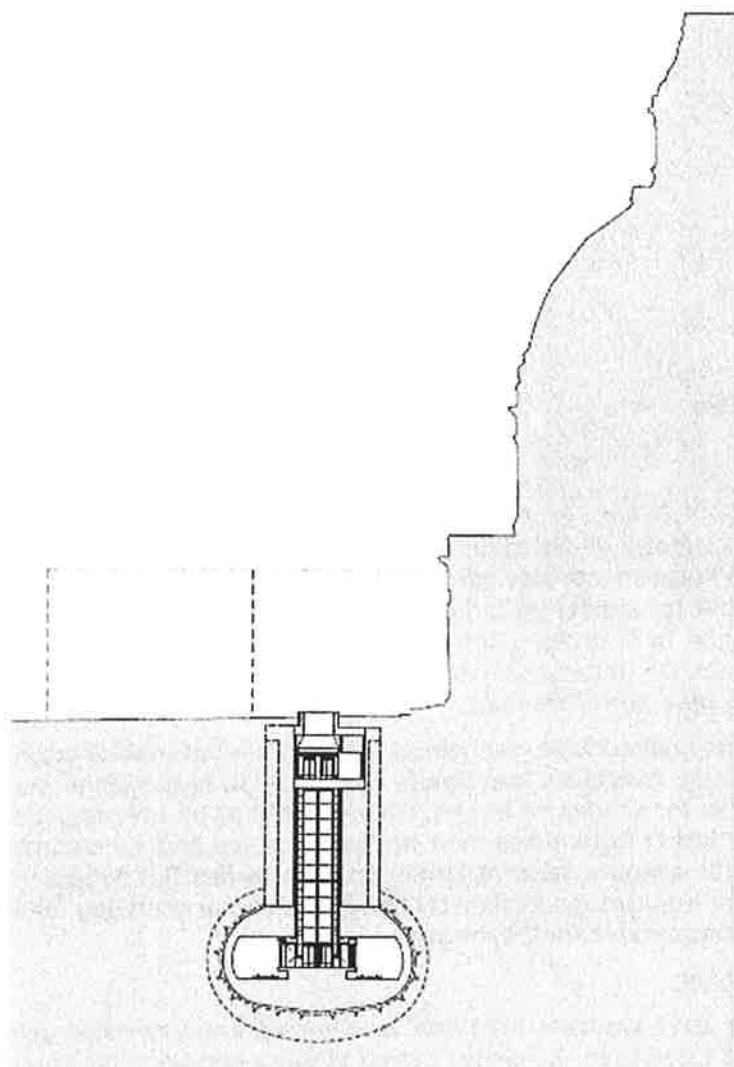
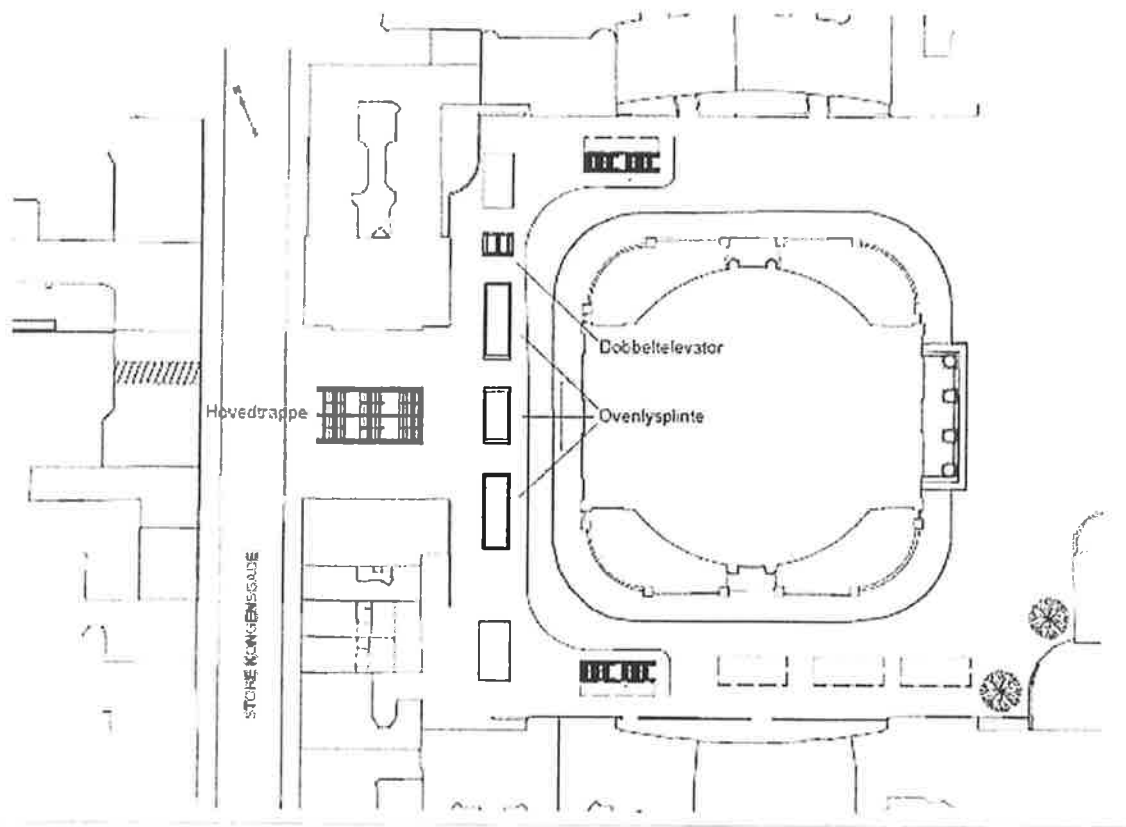
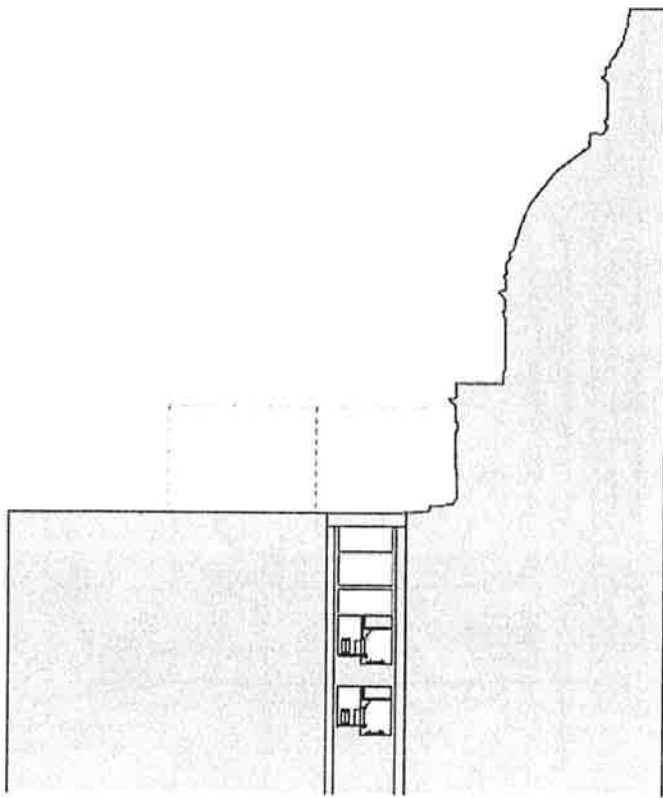


Fig. 1 Tværsnit af hidtidig udførelsesmetode

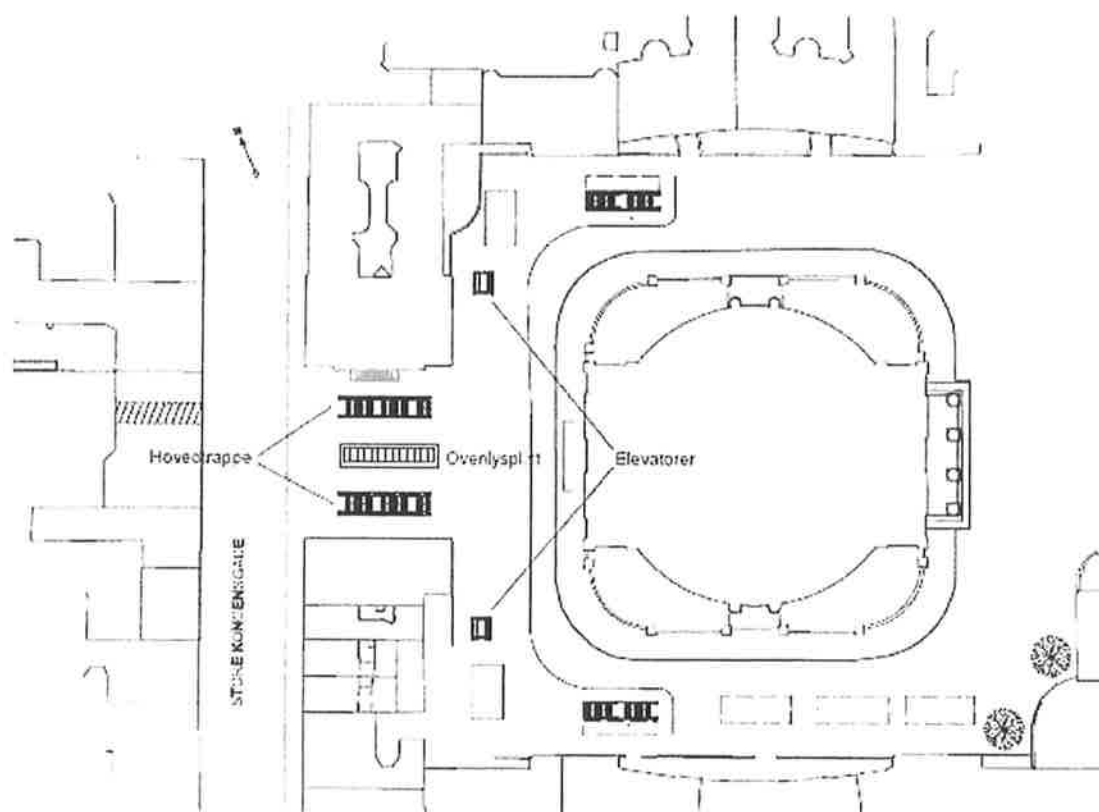


Figur 2 Plan af overfladen med hidtidig udførelsesmetode

Den nu foreslåede udførelsesmetode består alene af en skakt med vandtætte vægge, som blot føres dybere ned, således at kavernen undgås, jf. figur 3 og 4 nedenfor. Metoden er enklere og skaber endnu større sikkerhed for, at der ikke sker nogen skade på kirken, og for, at anlægsarbejderne ikke forsinkes med en deraf følgende længere periode med gener for de omkringboende. Den foreslåede udførelsesmetode indebærer, at stationens spor kommer til at ligge over hinanden i stedet for ved siden af hinanden, det ene spor lidt højere det andet lidt lavere end med den hidtidige løsning, og ved normal drift vil det være samme perron, som skal benyttes i en bestemt retning. På overfladen vil nedgangen til stationen - som i den hidtidige løsning ligger midt i Frederiksgade ud mod Store Kongensgade - af konstruktions-tekniske grunde skulle deles i to trapper, én i hver side af gaden, ligesom de to elevatorer skal placeres hver for sig, og ovenlysene foran kirken må flyttes til Frederiksgade mellem de to trapper. Justeringerne vurderes funktionelt neutrale for omgivelserne og for passagerernes adgang til stationen.



Figur 3 Tværsnit af den foreslåede ændrede udførelsesmetode



Figur 4 Plan af overfladen med den foreslåede ændrede udførelsesmetode

Ekstern vurdering af sikkerheden ved den ændrede udførelsesmetode

Metroselskabet har bedt den uafhængige assessor for sikkerhedsgodkendelsen af Cityringen, TÜV, om en sikkerhedsmæssig vurdering af den foreslåede udførelsesmetode. TÜV har tilkendegivet, at den foreslåede nye udførelsesmetode vurderes sikrere bl.a. på grund af bedre kontrol mod indtrængning af grundvand i stationsboksen under udgravningen, fordi kaverneudgravningen undgås, og sikrere med hensyn til overholdelse af tidsplanen, fordi frysning eller andre former for sikring af området ikke eller kun i meget begrænset omfang vil være nødvendig.

Afslutning

Under hensyn til, at der med den nu af entreprenøren foreslåede og af TÜV vurderede udførelsesmetode kan opnås en endnu større sikkerhed for at undgå skader på Marmorkirken og for gennemførelse af stationen uden forsinkelser, vil Metroselskabet anvende denne udførelsesmetode ved anlæg af metrostationen ved Marmorkirken.

Notat

Emne: Notat UK/DK PW

Fra: Metadata:AuthorInitials

Til:

Kopi til:

Dato: 11. maj 2011

Metroselskabet er blevet kontaktet af Politiken, som arbejder med en historie om anlægsmetode på Cityringen med særligt fokus på Marmorkirken.

Journalisten har særligt spurgt ind til anvendelsen af slidsevægge kontra sekantpæle til anlæg af stationerne på Cityringen. Journalisten har også spurgt til, hvordan det kan være, at man vælger at benytte en anlægsmetode, som også har været anvendt ved metrobyggeriet i Köln, hvor der i 2009 skete en ulykke. Journalisten har desuden spurgt til en oplysning, som Selskabet tidligere har givet i et svar til Folketingets Trafikudvalg.

Metroselskabets tekniske direktør har til journalisten oplyst at:

- Både brug af slidsevægge og sekantpæle er sikre og anerkendte anlægsmetoder, som bruges overalt i verden. Blandt andet har entreprenøren med succes anvendt metoden i Rom tæt på gamle bygninger i forbindelse med metrobyggeri.
- Den uafhængige sikkerhedsrådgiver, TÜV, der vurderede, at den nye udførelse af stationen ved Marmorkirken var lidt sikrere end den tidligere forudsatte, baserede deres vurdering på en konstruktion med anvendelse af slidsevægge.
- På et spørgsmål, hvor journalisten henviste til et svar til Folketingets Trafikudvalg, hvori Metroselskabet er citeret for at det forventedes, at der til Cityringen ville blive anvendt sekantpæle, svarede den tekniske direktør, at de to konstruktionsmetoder er ligeværdige sikkerhedsmæssigt.

Metroselskabet kan supplerende oplyse, at der i et svar til Folketingets Trafikudvalg den 25. marts 2009 på et spørgsmål om en ulykke i Köln i forbindelse med anlæg af en metro, blev oplyst, at jordbundsforholdene i Köln adskiller sig afgørende fra forholdene i København samt, at det forventedes, at der på Cityringen ville blive anvendt en anden konstruktionsmetode end i Köln. I Köln anvendtes slidsevægge, mens der forventedes anvendt sekantpæle på Cityringen i København, og det vurderedes, at sekantpælene var en mere robust anlægsmetode end den metode, der blev anvendt i Köln.

Metroselskabets daværende synspunkter på slidsevægge skyldtes, at ulykken i Köln umiddelbart såede tvivl om slidsevægsmetoden. Metroselskabet har derfor efterfølgende foretaget en fornyet vurdering af risici ved de to forskellige konstruktionsmetoder og er kommet til det resultat, at de to metoder er lige sikre, naturligvis under forudsætning af, at konstruktionerne udføres efter forskrifterne og under hensyntagen til de lokale anlægsbetingelser, herunder jordbundsforhold. Det er endvidere vigtigt for begge konstruktionsmetoder, at anlægsarbejderne kontrolleres løbende både elektronisk og ved direkte kontrol på byggepladserne. I Metroselskabets kontrakt med anlægsentreprenøren er der fastlagt meget omfattende kontrolprocedurer, som skal forebygge situationer som

den, der opstod i Köln. Disse kontrolprocedurer gælder, uanset hvilken konstruktionsmetode, der vælges.

Brug af slidsevægge er en udbredt og anerkendt konstruktionsmetode, som blandt andet har været anvendt på anlægget af Citytunnelen i Malmø, hvor der også har været bygget meget tæt på gamle bygninger samt en række andre store anlægsprojekter i blandt andet London, Rom, Singapore og Oslo.



13. maj 2011

ÆNDRET ANLÆGSMETODE VED MARMORKIRKEN

Metroselskabet har besluttet at ændre anlægsmetode for det kommende stationsbyggeri ved Marmorkirken.

Transportministeren blev orienteret om ændringen på et møde i dag, hvor forligskredsen også var inviteret.

Som led i detailprojekteringen af anlægsprojektet Cityringen har Metroselskabet besluttet at ændre stationsbyggeriet ved Marmorkirken. Det ændrede stationskoncept på Marmorkirken medfører en yderligere sikring i forhold til omgivelserne, ligesom ændringen er med til at gøre tidsplanen mere robust.

Metroselskabet orienterede i marts i år om det ændrede stationskoncept, hvor perronerne kommer til at ligge oven over hinanden i stedet for ved siden af hinanden, som det kendes fra de eksisterende stationer i Metroen. Men Selskabet orienterede ikke om den ændrede anlægsmetode på stationsvæggene fra sekantpælevægge til slidsevægge, og det beklagede Metroselskabets administrerende direktør i dag på et møde med Transportministeren.

"Metroselskabet har som led i et svar til Folketinget i marts 2009 taget afstand fra anlægsmetoden med slidsevægge som følge af en ulykke ved et byggeri i Köln. Vi er siden blevet klogere på, at ulykken i Köln ikke skyldtes valget af anlægsmetode, og at denne metode er velafprøvet og sikker. Vi orienterede Ministeren og Trafikudvalget om det ændrede stationskoncept i marts i år, men set i lyset af den opmærksomhed der var på Marmorkirken, burde vi også være gået mere i detaljer om ændringen af anlægsmetoden, og det har jeg i dag beklaget over for Ministeren," siger Henrik Plougmann Olsen, administrerende direktør i Metroselskabet.

Den uafhængige sikkerhedsrådgiver TÜV har vurderet, at det nye stationskoncept for Marmorkirken er sikrere end det oprindelige koncept. TÜV har baseret sin vurdering på, at væggene udføres som slidsevægge.

Metroselskabet har under detailprojekteringen af Cityringen gennemgået de i alt 21 byggepladser, og de lokale forhold afgør, hvilken anlægsmetode der er mest hensigtsmæssig på den pågældende lokalitet. Under etableringen af Cityringen vil der således blive anvendt både sekantpælevægge og slidsevægge.

**TÜV Rheinland InterTraffic GmbH
Assessment & Certification Rail**

**Technical Note
Risks related to the alternative
Design Solutions for the Marmorkirken Station of the
Copenhagen CITYRINGEN Metro**

Technical Note No.: ACR/T 11/175
File Name: T11_175.doc
Place, Date: Cologne, February 22, 2011
Expert(s) in Charge: Niels Bo Sørensen
Liv Hamre
Reviewer: Knut Arnesen

Doc. Inspection Note No.: ACR/T 11/175

Date: February 22, 2011

Number of pages: 4

Item under Inspection (IUI): Risks related to the alternative
Design Solutions for the Marmorkirken Station of the
Copenhagen CITYRINGEN Metro

Supplier: Metroselskabet I/S
Metrovej 5,
2300 Copenhagen S, Denmark

Order / Date: Aftale "Assessment for Safety Certification"
dated March 12, 2008

Order Key Word: Assessment for Safety Certification of CITYRINGEN

Assessor: TÜV Rheinland InterTraffic GmbH
ACR – Assessment & Certification Rail
Am Grauen Stein
51105 Cologne, Germany
Sub-Contractors: Det Norske Veritas Danmark A/S
Tuborg Parkvej 8,
2900 Hellerup, Denmark
Rovsing A/S
Dyregårdsvej 2,
2740 Skovlunde, Denmark

Inspection performed by: Det Norske Veritas Danmark A/S

TÜV Order Number: 101 – 13101032 – Pos. No. 4000

Assessment Plan Item: 1.350: Definition of Safety Requirements

Inspection Criteria: Please refer to Safety Assessment Plan 101/B 08/184.

Expert(s) in Charge: Niels Bo Sørensen
Liv Hamre

Reviewer: Knut Arnesen

Project Manager: Dipl.-Ing. Stephan Jubin

The inspection results are exclusively related to the Item under Inspection. This Document Inspection Note is not allowed to be copied in parts or handed to others without written permission of the Assessor.

On February 03, 2011 a meeting has taken place with Metroselskabet and their Civil Works Consultants as well as the Assessor to present to Assessor some possible changes to the technical solutions in the tender specifications for the Marmorkirken Station, the Sdr. Boulevard shaft/bifurcation and the Nørrebroparken shaft/cavern.

The purpose of the meeting was twofold:

- a) To address the risks during construction for the possible change at the Marmorkirken Station.
- b) To give a presentation to the Assessor in order to discuss risks in general related to the possible changes at all three sites.

Due to its specific relevance this Technical Notes has been prepared to provide the Assessor's advance opinion on the discussed alternative solutions for the Marmorkirken Station.

The station at the Frederiks Church (i.e. Marmorkirken) has a special configuration due to the localisation in the close vicinity of the old church. Due to the limited space, the station room is narrower, and the escalators have a scissor configuration. The original design has a platform level placed within a cavern structure extending under the church. The cavern is made watertight during construction by freezing of the limestone. In addition, grouted limestone 'walls' are assumed in the extension of the retaining walls close to the church.

A new alternative solution for the station, with the two tunnels (and tracks through the station) placed on top of each other has been proposed, and a comparison of the two alternatives is carried out with focus on the issues regarding settlements of Marmorkirken and control of ground water inflow. The comparison is based on the submitted documentation (mainly) prepared by Metroselskabet and their consultants combined with the Assessor's knowledge on similar subjects including experiences from work on previous Metro phases. The Assessor has not prepared any kind of parallel analyses to verify the findings of Metroselskabet.

The two alternative solutions for the Marmorkirken station are found to be similar with respect to challenges regarding ground conditions. The new alternative may have an advantage due to the slimmer excavation, but the slight increase in excavation depth may have a small disadvantage. The Assessor would anticipate that the solution with a diaphragm wall barrier for the new concept would provide better control of water inflow during the construction phase than the solution with NATM cavern partly underneath the church. Displacements due to the station building (permanent and during construction) should be possible to control by design for wall dimensions and struts. For the construction in the top sediments, the two alternatives are equal.

The Marmorkirken is founded on wooden timber piles, and due to the risk of decomposition of the piles and also ground settlements, the ground water level must not be lowered. This applies both for the construction phase and the permanent phase, and for the two alternative

tunnel solutions. These issues are assumed to be handled by design of support structures and water tight constructions and relevant construction methods and monitoring programs.

Based on the settlement calculations carried out for the original design, the horizontal deflections will mainly be caused by excavation of the cavern (2 mm from the construction of the box, and 9 mm totally). This may indicate that the horizontal deflection may decrease when the box is continued further down, and the cavern is omitted.

The staircase on the west side will be deeper for the new station solution. However, with appropriate design and propping, this is not considered to have significantly effect on the settlements of Marmorkirken.

The construction method is not known in detail. However, due to the outline of the excavation, it is considered likely that the need for grouting and/or ground freezing will be less extensive for the alternative solution.

If the retaining wall experience significant vertical loading transferring stresses down to the wall tip, base grouting may be required in order to strengthen the ground.

The settlements along the tunnel lanes are difficult to assess without more knowledge about depth and distance to when the lanes will become parallel in the horizontal plane after the section where they are stacked on top of each other. However, the settlements are calculated to be very limited (less than 8 mm), and are considered to have limited impact on the neighbouring buildings.

Deflection- and ground water measurements must be carried out during construction. Limiting values for the measurements must be given, and remedial actions if the limiting values are exceeded must be planned for.

**Technical Analysis:
 Comparison of "Diaphragm Walling" and "Secant Piling" for use in
 Construction of Metro Stations**

Both methods, Diaphragm Walling and Secant Piling are frequently used for the construction of Metro Stations. Both have their specific advantages and disadvantages, which are briefly discussed in the following.

Secant Piling	Diaphragm Walling
Construction	
<p>Secant piles are constructed as interlocking concrete piles. The piles need to be constructed in two steps:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Primary Piles in a distance less than the diameter of the piles. 2. Secondary Piles between two adjacent Primary Piles, removing also some concrete of the Primary Piles. 	<p>Diaphragm walls are constructed as a series of individual concrete panels. No concrete of the existing panels needs to be removed when adding the next panels.</p>
The resulting wall provides a rough and undulating surface.	The resulting wall provides an even and smooth surface.
Secant piles are constructed with situ concrete.	Diaphragm walls can be constructed either with situ concrete or with pre-manufactured/pre-cast elements.
Boring of the holes for the piles can cause vibrations, which may impact existing buildings in the vicinity of the construction site. Those vibrations depend from the character / stiffness of the soil. As softer the soil is as less vibrations can be expected.	<p>Excavation of the holes for the panels is typically with less vibration and has depending of the soil hence less impact on existing buildings in the vicinity of the construction site.</p> <p>The above mentioned may be different in tough soil when the soil has to be carved out by a powerful machine.</p>
The boring equipment requires a certain space to be available; therefore secant piles cannot be constructed very close to existing constructions.	Diaphragm walls can be constructed closer to existing constructions (e.g. a distance of only 0.2 m is possible).
Construction of individual secant piles is a task which in many cases can be done by local construction companies.	Construction of diaphragm wall panels affects a greater location at one time and the quality of the final panel depends very much on the careful execution of the construction works.
Water Tightness	
Rather water tight, but typically not fully water tight.	Typically water tight.
Construction Depth	
Typically for walls of 15 m to 25 m depth. Deeper walls require more sophisticated construction equipment.	Typically for walls of 25 m to 35 m depth, but also walls of 40 m and more are well known. The equipment used for the construction of diaphragm walls is more independent from the depth of the wall.

Secant Piling	Diaphragm Walling
Load Bearing Capabilities	
Secant pile walls are typically erected by one row of piles with a diameter in the range of 0.8 m to 1.0 m. This gives a good capability to withstand horizontal loads from the outside when excavating the inner part of the box. Further measures to improve stability, e.g. ground anchors or inside steel reinforcement, can be applied as needed.	Diaphragm walls are typically constructed in strength of 0.8 m to 1.0 m. This gives a good capability to withstand horizontal loads from the outside when excavating the inner part of the box. Further measures to improve stability, e.g. ground anchors or inside steel reinforcement, can be applied as needed.

In conclusion of the above collection of facts it can be stated that both, the Secant Pile Walls and the Diaphragm Walls, are a well known and quite proved but challenging construct measures.

The advantages are however with the Diaphragm Walls since they allow for a deeper construction of the wall, they have better water tightness capabilities, construction is as long the soil does not become to hard less affecting existing constructions or buildings in the vicinity of the construction site. They can be erected quite close to existing constructions or buildings and the achieved surface is better suitable to be used as part of the final construction.

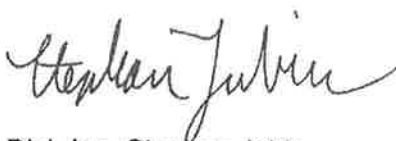
There might be a risk "to do something wrong" in the construction tasks for both the Diaphragm Walls and the Secant Pile Walls since their construction is of high complexity. This risk can however be appropriately mitigated by the application of a suitable Quality Management System and an appropriate Construction Supervision Scheme.

With respect to the specific situation at the Marmorkirken Station we refer to our previous "Technical Note: Risks related to the alternative Design Solutions for the Marmorkirken Station of the Copenhagen CITYRINGEN Metro" ACR/T 11/175 of February 22, 2011.

Cologne – May 17, 2011

TRIT-ju-br

The Authors



Dipl.-Ing. Stephan Jubin



Dipl.-Ing. Thomas Brandt

