

# AMSTERODAMSKÉ METRO – NOČNÍ MŮRA, ALE I UNIKÁTNÍ TECHNOLOGIE ■ METRO IN AMSTERDAM – NIGHTMARE, BUT ALSO A UNIQUE TECHNOLOGY



## Jitka Prokopičová

Nová severojižní linka amsterodamského metra Noord/Zuidlijn se staví již deset let, potýká se s obrovskými výzvami a drasticky překračuje rozpočet. Výstavba byla dokonce v roce 2008 na rok pozastavena, aby se rozhodlo, jestli vůbec pokračovat dál. Je to ale unikátní dílo, při jehož budování jsou použity špičkové inovativní technologie, některé svého druhu poprvé na světě. ■ The new north-south line of Amsterdam underground Noord/Zuidlijn has been under construction for ten years, has been through great challenges and is drastically over its budget. The construction was interrupted in 2008 for a year to gain time to decide, whether to continue or not at all. Nevertheless it is a unique construction, utilising cutting edge innovative technologies, some of which are being used for the first time ever.

Nová linka metra, dlouhá 9,7 km a z toho 7,1 km pod zemí, povede z amsterodamského předměstí Amsterdam Noord přes hlavní nádraží Amsterdam Centraal, historickým centrem města až do stanice Amsterdam Jih (obr. 1). Celkem bude na lince vybudováno osm stanic s průměrnou vzdáleností 1,2 km.

Na severním předměstí je linka budována jako povrchová, ve stanici IJ se ponoří do zálivu IJ, aby se zaslula pod historickou budovu hlavního ná-

draží Amsterdam Centraal. Od nádraží k historickému centru je tunel budován kesonovou metodou zahlubování a v historickém centru je úsek dlouhý 3,8 km ražený. Na tomto úseku jsou tři velmi hluboké stanice, Rokin, Vijzelgracht a De Pijp (Ceintuurbaan). Na jižním předměstí se metro opět dostává na povrch a končí ve stanici Amsterdam Jih.

Od samého začátku je to velmi komplikovaná až kontroverzní stavba. Ať už se jedná o náklady, rizika nebo diskusi, zda Amsterdam toto metro vůbec potřebuje. Geologické podmínky amsterodamského podloží jsou velmi těžké a zpočátku se také nadělaly chyby. Poté, co v září 2008 začaly sedat domy kolem budoucí stanice Vijzelgracht, byla stavba pozastavena. Speciální vládní komise ustanovená v roce 2009 dokonce zkoumala, zda se vůbec má ve stavbě pokračovat. Konečný verdikt byl – ano. Do stavby bylo nalito již tolik peněz, že by se asi těžko ospravedlnilo, že „prolétly komínem“.

Také termín dokončení byl již několikrát posunut a nyní je stanoven na rok 2017. Ještě několik let tedy bude centrum Amsterdamu proměněno v obrovské staveniště a obyvatelé se budou muset obrnit trpělivostí v očekávání, že se potom během čtvrtročníky

pohodlně svezou touto zhruba 10 km dlouhou trasou.

## POLITICKÉ ROZHODNUTÍ

První plány na výstavbu trasy metra sever-jih se objevily už v roce 1968. Tentokrát se ale rozhodlo vybudovat nejprve současnou východní linku. Po velkém odporu veřejnosti k výstavbě metra bylo rozhodnuto, že po východní lince se žádná jiná v Amsterdamu stavět nebude.

Koncem osmdesátých let však z iniciativy některých politických stran proběhlo v Amsterdamu referendum, kde větší část hlasujících byla sice proti metru, ale podle pravidel bylo referendum neplatné pro nedostatečný počet negativních hlasů. Ještě v roce 1998 sice renomovaný znalec v oboru vodních staveb Cor Schiebrokek varoval, že domy kolem metra budou potřebovat zvláštní zpevnění, ale městská projekční kancelář tvrdila, že se bude jednat maximálně o 10 % domů a pokles bude nanejvýš 10 až 20 mm. Celý Amsterdam totiž leží na velmi nestabilním rašelinovo-jílovém a písčitém podloží s vysokou hladinou spodní vody a všechny historické domy jsou postaveny na dřevěných pilotách.

V roce 1999 Parlament rozhodl o schválení stavby a schválil také sub-

Obr. 1 a) Podélný řez budovanou linkou metra, b) schéma stanic (zdroj Gemeente Amsterdam/Dients Metro) ■ Fig. 1 Longitudinal section of the constructed metro line, b) scheme of stations (courtesy of Gemeente Amsterdam/Dients Metro)

Obr. 2 Letecký pohled na oblast amsterodamského nádraží [2] ■ Fig. 2 Aerial view of the Amsterdam railway station area [2]



venci městu ze státní pokladny zhruba ve výši dnešní 1 mld EUR, zbytek – něco kolem cca 300 mil EUR mělo hradit město. V té době se plánovalo, že metro zahájí provoz v roce 2011.

Podle nejnovějších údajů bude ale metro zprovozněno až v roce 2017 a náklady na jeho vybudování se vyšplhají na neuvěřitelných 3,1 mld EUR. A někteří odborníci varují, že to nemusí být konečný účet.

Zpoždění a vysoké náklady jsou zapříčiněné především technickými potížemi ve středu města. Pod centrem se musí razit tunely velmi hluboko (30 m) a výstavba hlubokých stanic Rokin, Vijzelgracht a De Pijp stojí mnohem víc, než se předpokládalo.

### RAŽENÝ TUNEL – PRO AMSTERODAM NOVINKA I VÝZVA

Při výstavbě severojižní linky se v Amsterdamu poprvé tunel razí. Dříve se tunely budovaly metodou hloubení. Výhodou raženého tunelu je samozřejmě to, že na povrchu nemusí probíhat demolice domů, které by bránily ve výstavbě a také stavba tolik nezatěžuje dopravu a chod města. Protože to bylo ale pro Amsterdam něco úplně nového a vzhledem k tomu, že podloží není dostatečně únosné, bylo provedeno několik zkoušek v podobných

lokalitách. Jejich výsledky, ač ne zcela jednoznačné, stačily komisi uspokojit a se stavbou se začalo v roce 2003. Jak se později ukázalo, mnoho faktorů se podcenilo.

Vzhledem k technickým problémům a špatné kontrole nákladů (téměř 40 % kontraktů bylo uzavřeno na bázi odhadované ceny) se cena šplhala nahoru a v roce 2008 začaly docházet peníze. V té době také došlo k sedání domů kolem Vijzelgracht a stavba byla pozastavena.

Od začátku roku 2009 vládní komise posuzovala, zda stavbu úplně zastavit, jenom částečně dokončit (ze stanice Noord na hlavní nádraží) nebo pokračovat. Nakonec bylo rozhodnuto stavbu dokončit. Metro bude představovat důležitý prvek infrastruktury, spojení mezi severem a jihem Amsterdamu a již investované náklady přes 1 mld EUR by byly vyhozené do vzduchu, nehledě na to, že zakonzervování stavby by také stálo další miliony. Takový byl tedy verdikt komise.

Odpůrci metra ale namítali, že ražba tunelu pod historickým centrem města zničí cenné památky, že náklady se vymkly kontrole a že vlastně Amsterdam žádné metro ani nepotřebuje, protože tramvajové linky středem města splňují svůj účel dostatečně. Když

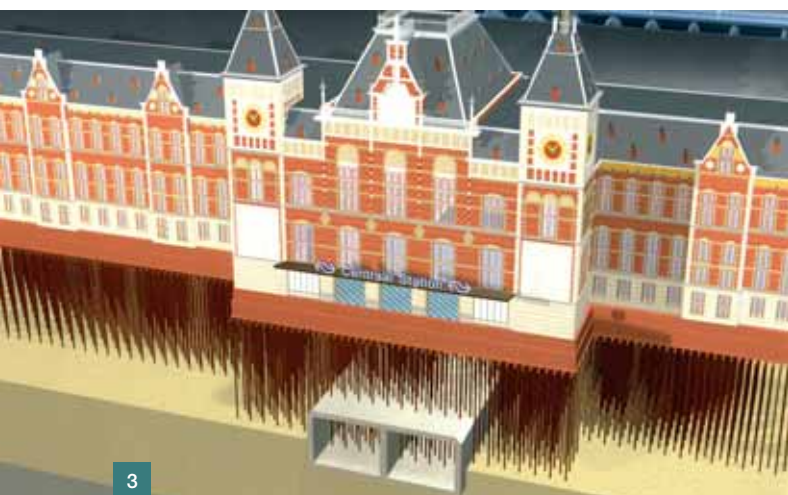
už metro, tak snad jedině ze severního předměstí na hlavní nádraží. Ukázalo se totiž také, že i odhady počtu přepravených cestujících byly trochu nadnesené. Původní odhady 200 tisíc cestujících denně totiž počítaly s tím, že bude tato trasa prodloužena až do centra předměstí Amstelveen. Pokud bude linka končit na nádraží Amsterdam Jih, je realistický odhad cestujících spíš 160 tisíc denně.

Ve stavbě se tedy pokračuje a obtížné podmínky nutí projektanty a stavbaře přicházet s technologiemi, které jsou zcela unikátní a obdivuhodné.

### UNIKÁTNÍ TECHNOLOGIE POD HLAVNÍM NÁDRAŽÍM

Jedním z nejsložitějších míst je tunel a stanice metra pod hlavním nádražím. Po technické stránce nemá obdoby. Amsterodamské nádraží je nejzatiženější dopravní křižovatka v zemi. Je to ale také národní kulturní památka. Geologické podmínky, tak jako v celém Amsterdamu, jsou zde nesmírně složité.

Amsterodamské nádraží postavené v 19. století (1889) podle projektu architekta Cuypere leží prakticky na umělém ostrově a základy této budovy tvoří dřevěné piloty (celkem cca 10 000) – tak jako u všech staveb v historickém středu města (obr. 3). „Podle docho-



Obr. 3 Schéma základů historické budovy nádraží ■  
Fig. 3 Scheme of the foundation of the historical railway station building

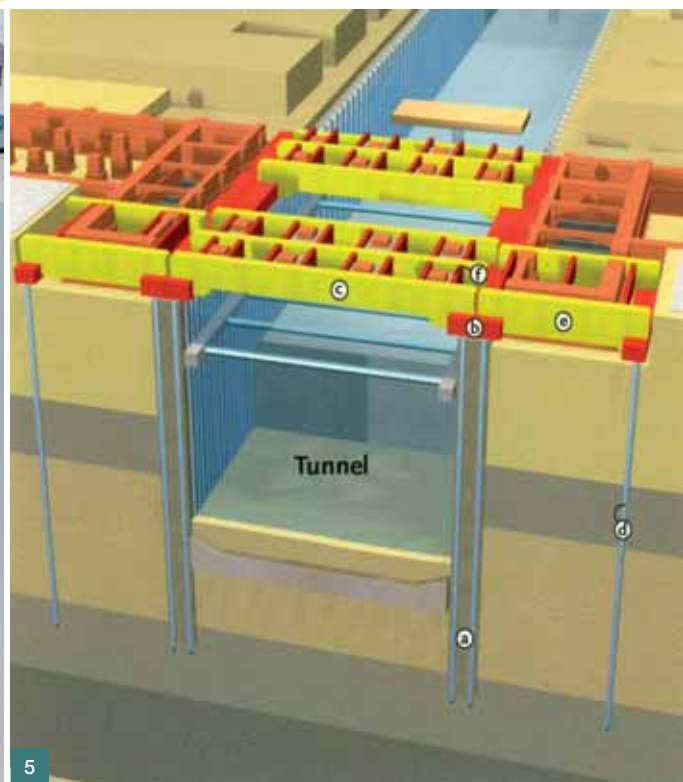
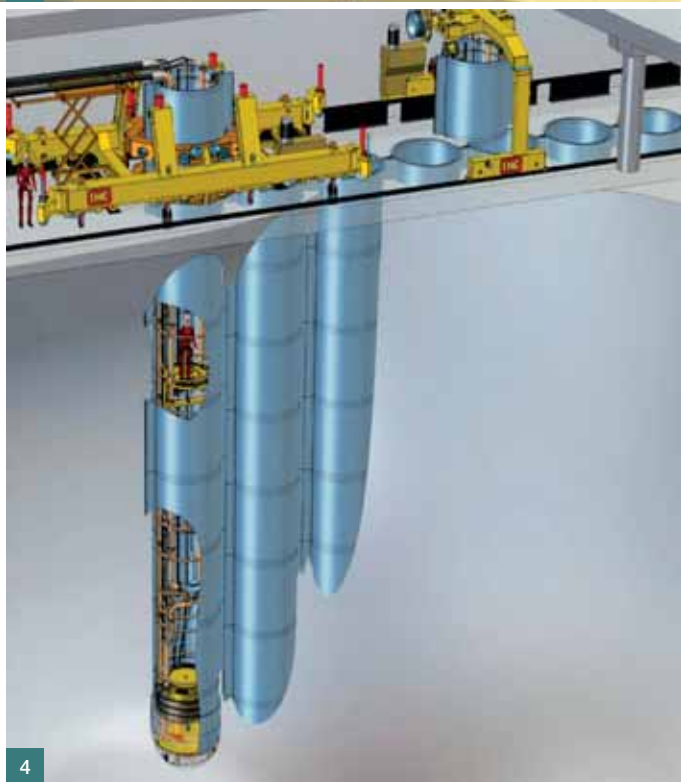
Obr. 4 Schéma betonové roštové konstrukce nových základů nádraží ■  
Fig. 4 Scheme of the concrete grid of beams of the new foundations of the railway station building

Obr. 5 Schéma technologie vertikálního mikrotunelování ■  
Fig. 5 Scheme of the vertical microtunneling

Obr. 6 Schéma sendvičové stěny budované tryskovou injektáží mezi Tubexovými pilíři ■  
Fig. 6 Scheme of the sandwich wall built by jetgrouting into Tubex pillars

Obr. 7 a) Tubex-stroj při práci, b) Tubex pažnice ■  
Fig. 7 a) Tubex machine, b) Tubex tube

NAP – Normal Amsterdams Pijl ~ úroveň moře



vaných nákresů by těch pilot mělo být v dotčeném místě pod nádražím kolem 1 800, nakonec se jich ale našlo přes 3 000“, říká Duco Vaillant z Informačního centra Noord/Zuidlijn (Dienst Metro). Aby mohlo metro vést pod nádražím, bylo nutné původní dřevěné piloty odstranit a vytvořit nové základy pro stavbu stanice metra i tunelu.

### Stolová konstrukce a sendvičové stěny

Aby měla budova nádraží pevné základy, bylo rozhodnuto použít „stolovou“ roštovou konstrukci se sendvičovými stěnami.

Staré dřevěné piloty a nosníky byly odstraněny a nahrazeny betonovou roštovou konstrukcí, která pod perony spočívá na dvou pilotových stěnách, které jsou budovány pomocí

technologie vertikálního mikrotunelování (obr. 5).

Pod halou nádraží spočívá rošt na sendvičových stěnách. Byly použity ze dvou důvodů: přenášejí svislé zatížení z horní roštové konstrukce zatížené budovou nádraží a zabezpečovaly hloubení stavební jámy, do které byl zanořen tunelový tubus pro tunel metra, ve vodorovném směru.

Stěna sendvičové konstrukce pod halou nádraží musí být pevnější než pilotové stěny budované metodou mikrotunelování pod perony, protože historická konstrukce nádražní haly se dokáže vyrovnat s menšími poklesy než snese střední propojovací tunel pro cestující pod perony a jejich vlastní konstrukce. Zatímco pod perony mají nosné pilotové stěny tloušťku cca 1,8 m, sendvičové stěny pod ná-

dražní halou mají v průměru tloušťku 3 m.

Každá ze sendvičových stěn pod halou je tvořena dvěma řadami po sto čtyřiceti Tubexových pilířích (*Tubexpalen*) o průměru 450 mm a maximální délce 60 m vyplněných betonem (obr. 6). Zpevnění mezi nimi zajišťuje zhruba tři sta sloupů vytvořených tryskovou injektáží zeminy. Tubexové výpažnice pilířů nemají úplně hladký povrch, ale jsou opatřeny šroubovými prstenci, aby k nim cementová suspenze injektáže dobře přilnula. Velká celková tloušťka stěn zajišťuje jejich pevnost a tuhost a předchází případným škodám na historické budově.

Technologie s použitím Tubexových pilířů byla vybrána proto, že pilíře mohly být zapouštěny do země do velké hloubky a v malém prostoru bez vib-

rací. Mohly tedy být postupně instalovány mezi stávajícími dřevěnými pilotami, aniž by se snížila nosná kapacita základů. Pro podmínky pod nádražím byl firmou Tubex vyvinut speciální vrtačí stroj, který umožnil instalaci bez přílišného hluku (obr. 7). To bylo velmi důležité, protože všechny operace probíhaly za plného provozu nádraží.

Nosnou roštovou konstrukci tvoří primární předpjaté nosníky a sekundární nosníky. Primární nosníky jsou uloženy na sendvičových stěnách a leží mezi sloupy budovy nádraží. Sekundární nosníky jsou uloženy v místě slou-

pů a přenáší zátěž ze stávající konstrukce na primární nosníky.

„Museli jsme pracovat postupně“, vysvětluje Jasper Jansen ze společnosti Strukton, která je jedním z dodavatelů. „Nejprve jsme postavili pomocnou konstrukci, aby budova nádraží, národní kulturní památka, byla podepřena a nedošlo ke škodám způsobeným nerovnoměrným sedáním budovy. To byl jeden z nejdůležitějších požadavků. Museli jsme být velmi opatrní. Potom jsme odstranili staré základy tvořené dřevěnými pilotami včetně podlahy v hale, abychom vytvořili prostor pro výstavbu nové konstrukce. Po jejím dokončení jsme mohli odstranit pomocnou konstrukci“.

Monitorovací systém zajišťuje průběžné zaměrování budovy nádraží během stavby. Při kritických operacích, např. umístění pomocné konstrukce a konečné „usazení“ budovy na nové základy, byla frekvence měření zvýšena.

Stavba roštové konstrukce probíhala ve velmi obtížných podmínkách v omezeném prostoru při maximální výšce 3,1 m. Tubexové roury sendvičových stěn, které jsou ve výsledku 60 m hluboké, musely být zapouštěny do země postupně, v segmentech. „K tomu jsme vyvinuli speciální šroubové spoje“, vysvětluje Jasper Jansen. „Je to opravdu unikátní zkušenost, protože musíte brát v úvahu tolik aspektů a vždycky vás čeká nějaké překvapení“, dodává.

Přes všechno úsilí se nepodařilo speciálně pro tento účel vyvinutému stroji Brutus vytáhnout všechny dřevěné piloty ze země. Některé se přetrhly a na je-

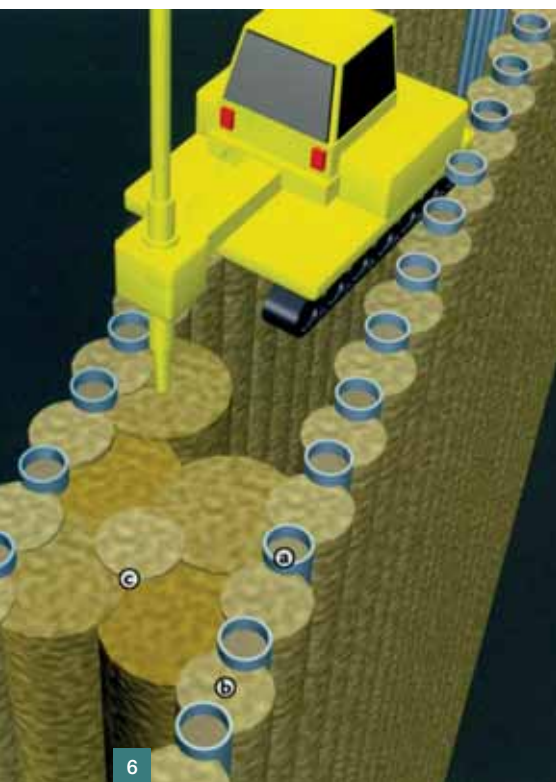
jich zbytky v hloubce stroj nedosáhl. Pozůstatky dřevěných pilot a jiné překážky způsobují, že cementové sloupce tryskové injektáže nejsou všude úplné. Kontrolní systém však zaručuje, že odchylky jsou v normě.

### Svislé mikrotunelování

Roštová konstrukce pod perony a kolejisti je uložena na piloty vytvořené mikrotunelováním. Mikrotunelování se často používá v městském prostředí, kde není příliš prostoru pro výkopy a otevřené hloubení. Pro stavbu metra vyvinul dodavatel úplně novou metodu „svislého mikrotunelování“. Tato technologie má řadu výhod. Může být použita na místech s omezenou pracovní výškou, např. i pod budovami, systém pracuje bez vibrací a velkého hluku a stroje pro tunelování jsou říditelné, čímž se zaručuje přesnost polohování.

„Pro naši metodu práce je výška 3 m dostačující“, říká Ruud van der Meer, projektový manažer z CMM (Combinatie Microtunneling Metrostation CS). „I z malého sklepa dokážeme provrtat piloty 70 m dlouhé“.

Pomocí mikrotunelování byly hluboko do země zavrtány ocelové segmenty – pilíře. Když pilíř dosáhl požadované hloubky, byla vrtací souprava vytažena nahoru a dutý ocelový pilíř byl vyplněn betonem. S pomocí vertikálního mikrotunelování je možné dopravit hluboko do země pilíře o velkých průměrech bez velkých vibrací a velkého hluku, proto je při použití této technologie také minimální riziko sedání budov na povrchu.



6



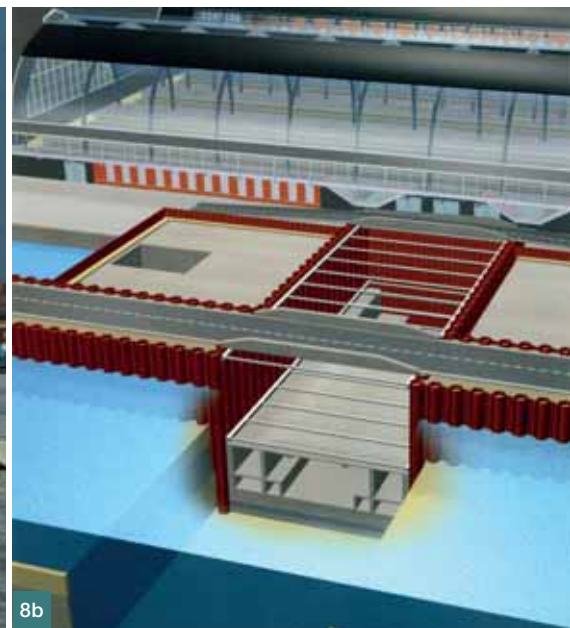
7a



7b



8a



8b

„Když jsme začínali, bylo pro nás všechno nové a naráželi jsme na nečekané problémy“, říká Ruud van der Meer. „Např. jsme nacházeli dřevěné piloty, které nebyly na výkresech. Zpočátku to šlo velmi pomalu. Museli jsme hledat nová řešení, improvizovat, nakonec to ale mělo pozitivní vliv nejen na vývoj nových technologií, ale také na rozvoj našeho týmu. Metodu vertikálního mikrotunelování jsme zlepšili a optimalizovali. Zpočátku nám trvalo čtyři týdny, než jsme fixovali jeden sloup, teď to máme hotové za čtyři dny“.

### Trysková injektáž s centimetrovou přesností

Injektování měla na starosti belgicko-německá firma Smet-Keller. Její manažer Henk Dekker říká: „Musíte pracovat s určitou rychlostí a musíte pro to mít cit“. Trysková injektáž vyžaduje znalosti, ale především zkušenosti. Je to umění vytvořit zpevněný sloupec v zemině, na centimetr přesně v požadované velikosti. V roce 2005 začala první fáze projektu. O dva roky později byla dokončena severozápadní stěna a v roce 2008 byla dokončena severovýchodní stěna.

„Byla to výzva. Pracovali jsme v omezené výšce, omezeném prostoru, s různými průměry sloupů od 0,8 do 2,2 m a 24 h denně“, říká Henk Dekker.

### Ponořování tunelového tubusu a zanořování pod budovu nádraží

Po dokončení roštové nosné konstrukce se mohlo pod ní začít s hloubením prostoru pro zanoření tunelových tubusů, jakousi dočasnou plavební komoru, prostoru pro tunel pod nádražím a stanicí před nádražím.

Po snížení hladiny spodní vody na úroveň  $-6,5$  m NAP se začalo s hloubením zanořovací komory. Během hloubení byly z prostoru odstraněny původní základy budovy a peronů včetně veškerého zdiva a dřevěných pilot. Aby se zabránilo deformacím podpěrných stěn nové roštové základové konstrukce, byly stěny pod budovou i pod perony zajištěny ve dvou úrovních rozpěrami.

Prostor pro tunelový tubus byl hlouben do úrovně  $-19$  m, nejdříve 6 m hloubky suchou metodou a dalších 13 m i pod vodou. Komplikace při hloubení způsobovaly dřevěné piloty původních základů, kterých bylo mnohem víc, než se očekávalo.

Po vyhloubení prostoru byla vytvořena betonová stěna o tloušťce jednoho metru formou betonáže pod vodou a opěrná konstrukce mohla být odstraněna.

Tunelový tubus, dlouhý 136 m, vysoký 8 m, 21 m široký a vážící cca 21 tisíc t, byl mezitím vyroben v doku v Sixhavenweg a s pomocí remorkérů dopraven k protějšímu břehu řeky IJ. Po doplavení do provizorní plavební komory v ní byla hladina vody snížena na  $-3$  m, aby se celý tubus mohl zasunout pomocí speciálních navijáků pod budovu nádraží.

Poté co byl tubus výškově pod nádražím, následovalo s pomocí speciálních ponořovacích pontonů a navijáků jeho postupné zanořování až do hloubky  $-17,5$  m NAP. Po dosažení požadované hloubky byl tubus zavěšen ve čtyřech místech na betonovou roštovou konstrukci a skrze otvory ve stěnách a podlaze tubusu byla do prostoru kolem něj pumpována směs písku a vo-

dy. Po vyplnění volného prostoru pískem a zajištění spolehlivého usazení tubusu bylo zavěšení na roštovou konstrukci odstraněno.

### Tunely ponořené pod IJ

Tak jako tunel pod nádražím i prefabrikované betonové části tunelu uložené pod dnem v zálivu IJ byly nejprve vyrobeny v suchém doku, postupně připraveny, zanořeny na dno a vodotěsně propojeny. Jednotlivé díly mají délku 141 m, jsou široké 12 m a vysoké 7 m.

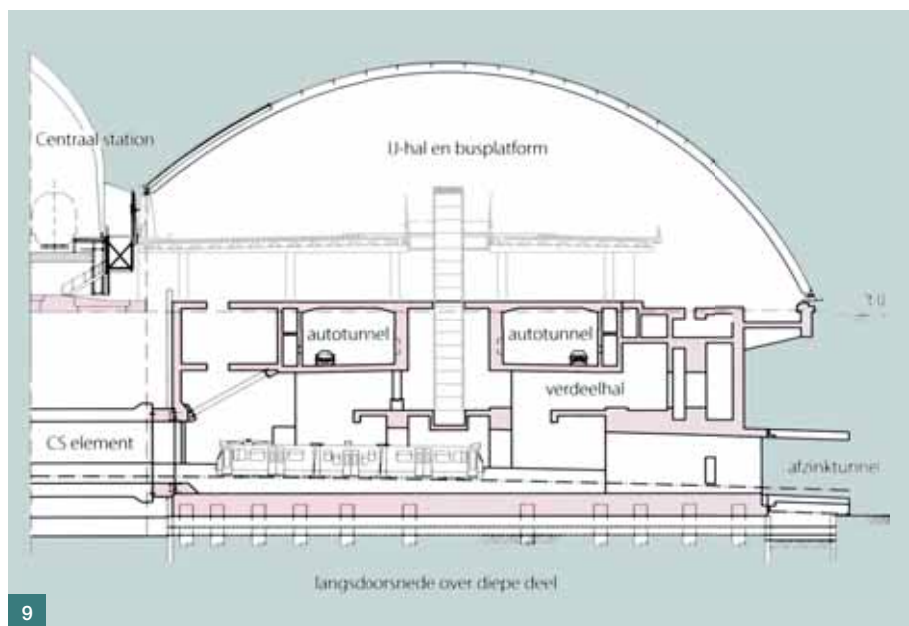
### De Ruyterkade – čtyři dopravní úrovně nad sebou

Hned za nádražím na břehu IJ, v úzkém místě zvaném De Ruyterkade, prochází různé dopravní trasy v několika úrovních nad sebou (obr. 9). V nejnižší úrovni je budované metro, nad ním tunel pro auta, podchod pro chodce je na úrovni peronů nádraží a nad ním ještě autobusové nádraží.

Pod takovou obrovskou stavbou o několika patrech musí být pevné základy. Základy sestávají z šedesáti pěti vrtaných pilot vyplněných betonem opřených až do hloubky 62 m. V 60 m se totiž nachází úroveň druhého písčitého podloží, které je teprve dostatečně únosné. Obvykle mají budovy v Amsterdamu základy v první, a jen výjimečně druhé vrstvě písčitého podloží. Protože nádraží leží převážně na vodě, ne na břehu IJ, byly piloty vrtány částečně z pontonů.

### Konstrukce stanice metra před nádražím

Před nádražím na náměstí zvaném Voorplein se buduje nová stanice met-



Obr. 8 a) Plavení prefabrikovaného dílu tunelu po řece IJ, b) schéma zasouvání prefabrikovaného tunelu pod budovu nádraží ■ Fig. 8 a) Floating of the precast tunnel on the IJ river, b) scheme of inseting the precast tunnel under the railway station building

Obr. 9 Schéma čtyř dopravních úrovní na De Ruyterkade ■ Fig. 9 Scheme of four levels of traffic on De Ruyterkade

Obr. 10 Schéma stanice Voorplein v prostoru před nádražím ■ Fig. 10 Scheme of the Voorplein station in front of the railway station

Obr. 11 Spouštění armokoše do budované milánské stěny na Voorplein ■ Fig. 11 Lowering the steel cage into pile wall built on Voorplein

Obr. 12 Výstavba stanice Voorplein pod ochranou milánských stěn ■ Fig. 12 Excavation of the Voorplein station under the pile wall protection

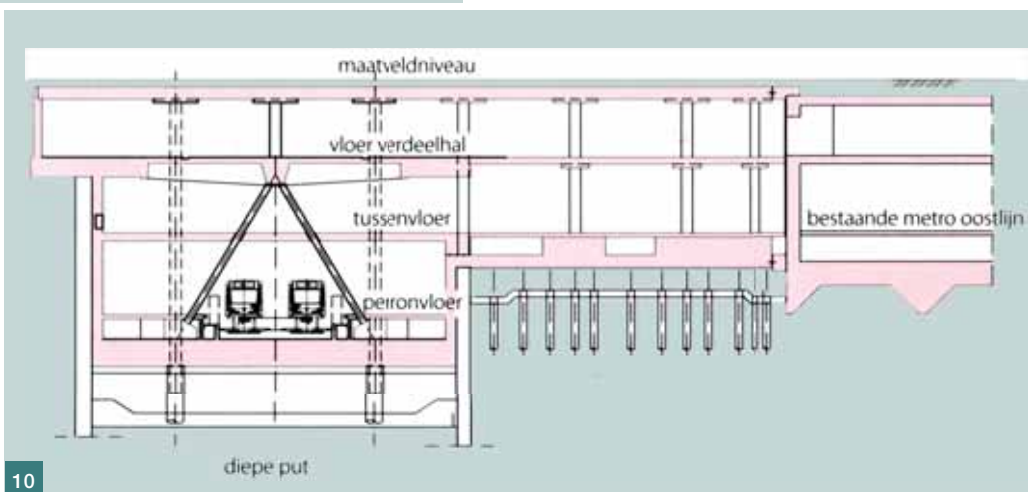
ra, která leží 20 m hluboko, ještě pod úrovní metra Oostlijn (východní linky), se kterou se právě zde setkává.

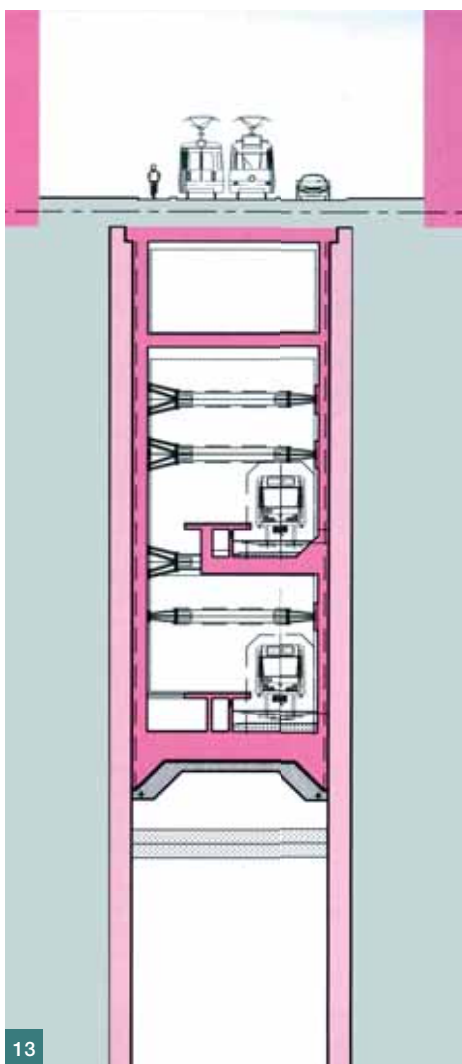
Normálně se v takovém případě postupuje pomocí hloubení a betonování pod vodou. Vzhledem k malému prostoru a vysoké dopravní zátěži na povrchu nebylo možné použít obvyklý postup výstavby z povrchu v otevřené stavební jámě, a byla použita milánská metoda (*metoda vyvinutá při stavbě milánského metra, podobně jako v Praze na tunelu Blanka v úseku mezi Letnou a Prašným mostem, pozn. red.*). Nejprve byly zbudovány hluboké opěrné stěny (obr. 11), mezi ně vybetonována stropní deska konstrukce stanice a teprve potom se začalo s odtěhováním podloží pod ní.

Pro základy stanice metra, stejně jako v případě De Ruyterkade, bylo použito vrtaných pilot. Zajímavostí na nich je, že nejvrchnější části, zhruba 20 m vysoké, jsou ocelové. Tyto díly jsou v dokončené stanici viditelné a tvoří nosné sloupce ve vstupní hale. Rozhodnutí o ocelových sloupech mělo čistě architektonický důvod. Ocelové sloupce vypadají štíhlejší, elegantnější a lépe zapadají do navrženého stylu haly.

### Kesonová metoda mezi nádražím a centrem

Mezi nádražím a centrem starého města je tunel stavěn kesonovou metodou. Metoda, používaná např. pro zakládání mostních pilířů a k pracím pod vodou, je v posledních letech nahrazována modernějšími postupy, ale pro stavbu metra v Amsterdamu je vzhledem k podloží velmi vhodná. Stejným způsobem bylo stavěno i metro Oostlijn.





13

Na tento úsek metra, který budovaly firmy Heijmans a Visser&Smit Bouw, byly použity tři velké kesony. Vzhledem k velmi obtížným podmínkám při práci (velké rozdíly tlaku uvnitř kesonu a na povrchu), byli dělníci, kteří na stavbě pracovali, pod neustálým lékařským dohledem. Stejně jako potápěči se totiž vystavují riziku rychlé změny tlaku a musí nejprve projít dekompresní komorou, než vyjdou na povrch.

### Ražený tunel v centru města

Celková délka raženého tunelu, který provádí sdružení Saturn (Dura Vermeer a Züblin) je 3,8 km. Jeho trasa byla vybírána tak, aby co nejvíce kopíroval nadzemní dopravní trasu a vyhnul se zástavbě.

Tunely razí čtyři tunelovací stroje, které byly dodány německou firmou Herrenknecht. Stroje jsou speciálně uzpůsobené pro podmínky v Amsterdamu. Zatímco v jiných městech se musejí doslova provrtávat skálou, „v Amsterdamu je to jako když se prodírají pudinkem“, uvedl Michel de Boer ze společnosti Herrenknecht pro deník Volkskrant. Pů-

da je tak měkká a nestabilní, že se musí před strojem zmrazovat.

Ražené, nebo spíše vrтанé, tunely mají průměr 6,52 m a jsou raženy v hloubce od 20 do 30 m. Částečně se tak nacházejí v druhé písčité vrstvě podloží. V úseku Vijzelgracht zachází ale až do takzvané „eemklei“, tj. těžkého jílu. Pod úzkou uličkou Ferdinand Bolstraat jsou tunely dokonce nad sebou (obr. 13) a stanice metra De Pijp má nástupiště také nad sebou.

Vyvrтанé tunely jsou obloženy ostěním z prefabrikovaných betonových (C45/55) tubinek tloušťky 350 mm. Jeden prstavec ostění délky 1,5 m sestává z pěti segmentů a závěrného dílu, tzv. klenáku, poloviční šířky. Betonové segmenty (obr. 14) byly vyrobeny v Německu a do Amsterdamu dopraveny po železnici. Poprvé zde byl v Nizozemsku použit pro tunelové ostění vláknobeton s polypropylénovými vlákny, a proto není nutné nákladné protipožární obložení tunelu.

### Stanice hloubené pod vysokým tlakem

Opět z důvodu malého prostoru byla při hloubení stanic Vijzelgracht, De Pijp a Rokin použita milánská metoda, kdy se nejdříve vyhloubí a vybetonují hluboké stěny, které rozpírá betonová deska, a teprve pod její ochranou se může začít hloubit podzemní prostor.

Nejprve byly realizovány železobetonové piloty pažené bentonitovou suspenzí. Po dokončení pilotových stěn, byla okolní zemina proinjektována cementovou směsí tryskovou injektáží, a tím se stěna 200 m dlouhá ještě více zpevnila. Výsledná tloušťka stěny je 1,2 m.

Veškerá technika pro podzemní práce se dostávala pod zem třemi otvory vytvořenými v horní betonové desce a stejně tak vyhloubený materiál ve směru nahoru. „To bylo velmi náročné na organizaci práce, protože se pracovalo na velmi malém prostoru. Častokrát to bylo obtížné skloubit všechny operace“, říká Duco Vaillant z Informačního centra.

Při stavbě hloubených stanic se vzhledem k hloubce a vlastnostem půdy muselo přistoupit k jejímu zmrazování. V případě stanic Vijzelgracht a De Pijp se muselo hloubit pod vysokým tlakem vzduchu, aby se vyrovnal obrovský tlak vody ve velkých hloubkách. Např. při hloubení stanice Vijzelgracht se muselo vytěžit 93 000 m<sup>3</sup> země. Přirozený tlak na dno byl ve velké hloubce nedostatečný a vztlak spodní



14

Obr. 13 Schéma vedení obou směrů metra nad sebou v úzké ulici De Ferdinand Bolstraat ■ Fig. 13 Scheme of the both directions of the metro lined in the narrow trench under the De Ferdinand Bolstraat

Obr. 14 Betonové prefabrikované tubinky pro raženou část metra ■ Fig. 14 Prefabricated concrete segments of tunnel lining

Obr. 15 a) Stanice Vijzelgracht, b) schéma výztuže 1,5 m silné základové desky stanice ■ Fig. 15 a) Vijzelgracht station, b) scheme of reinforcement of the 1.5m thick foundation slab of the station

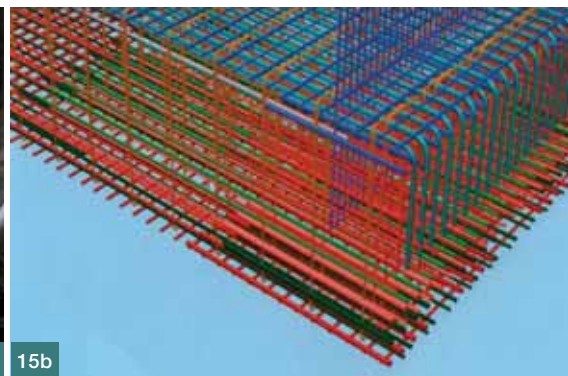
Redakce děkuje časopisu Cement a společností Dients Metro, Combinatie Strukton/Van Oord a Conquest za poskytnuté materiály a fotografie. ■ All figures courtesy of Combinatie Strukton/Van Oord.

vody vysoký. Stropní deska stanice leží v – 21 m NAP a je silná 1,5 m (obr. 15). Podél celé budoucí stanice byl vytvořen přechodný uzavřený prostor, pracovní tlaková komora, v které byl tlak vzduchu dvakrát vyšší, než je normální. Teprve když se v úrovni – 32 m NAP dosáhlo projektovaného dna stanice a vybetonovala se podlaha, byl tlak snížen, protože masivní podlaha z vodostavebního betonu je navržena tak, aby dokázala tlaku vody vzdorovat.

Při stavbě těchto stanic byla na povrchu uzavřena vždy jenom polovina ulice, aby v ní mohl být alespoň omezeně zachován běžný provoz. Pod historickým centrem města kopíruje ražený tunel záměrně ulice, aby se nemuselo hloubit pod domy. V některých místech jsou ale tunely vedeny velmi blízko základům domů, a tam se muselo postupovat velmi opatrně. Půda byla preventivně zpevňována cementovou injektáží. Tato metoda se již dříve používala například při stavbě Jubilee Line Extension v Londýně nebo při stavbě stanice rychlovlaku pod nádražím v Antverpách.



15a



15b

## Literatura:

- [1] <http://www.amsterdam.nl/noordzuidlijn/organisatie/aannemers/>
- [2] Metrostation CS: Stationgebouw en emplacement, Voorplein, Kruising met De Ruyterkade, vyd. [conquest.nl](http://conquest.nl), 2009
- [3] *Bijkerk J.*: Een uniek project, *Cement* 8-2010, pp. 4–7
- [4] *van Empel N., Kaalberg F., Haring F.*: Boorproces goed op weg, *Cement* 8-2010, pp. 8–15
- [5] *van der Ploeg R., Peerdeman B., Dorreman J.*: Omgeving vraagt om maatwerk, *Cement* 8-2010, pp. 16–22
- [6] *van't Verlaat S.*: Hulpconstructies zijn obstakels, *Cement* 8-2010, pp. 2429
- [7] *van den Berkmortel R., Bhageloe S., Bloemhof K.*: Ontgraving onder hoge druk, *Cement* 8-2010, pp. 30–36

Nad stanicí Rokín, která leží v hloubce – 20m, je pět pater garáží, jejichž stropní desky současně tvoří vodorovné rozpěry hlubokých stěn konstrukce.

### BEZPEČNOST PŘEDEVŠÍM

Celá stavba probíhá za velmi těžkých podmínek, ale také s mimořádně vysokými bezpečnostními nároky. Potvrzuje to Wolfgang Wieser ze společnosti Grontmij, která má na starosti kontrolu rizik. Wolfgang se svým pětičlenným týmem kontroluje každý detail a probírá rizika s účastníky stavby na všech úrovních, protože, jak říká: „Lidský faktor představuje jedno z nejdůležitějších rizik“. Grontmij se společností Sol Data instaloval podél celé stavby monitorovací systém, který sleduje všechny pohyby podloží a základů budov.

### KOMUNIKACE S VEŘEJNOSTÍ JE DŮLEŽITÁ

Město věnuje velkou pozornost komunikaci s veřejností. Zřídilo informační centrum a provozuje webové stránky ([www.amsterdam.nl/metro](http://www.amsterdam.nl/metro), [www.hierzijnwij.nu](http://www.hierzijnwij.nu)), kde je obrovské

množství informací, filmů a fotografií. Celý postup výstavby, traťové úseky i jednotlivé stanice, je detailně zachycen na stovkách pečlivě, časově i místně, roztríděných fotografií přístupných na adrese [www.flickr.com/photos/noordzuidlijn/](http://www.flickr.com/photos/noordzuidlijn/). Zájemci tak mohou sledovat stavbu prakticky on-line. Informační centrum pořádá prohlídky stavby a snaží se pozitivně působit na obyvatele, kteří jsou již unavení z toho nekončícího staveniště uprostřed města.

Tunelovací stroje dostaly svá jména, a zatímco ty pražské se jmenují Tonda a Adéla, ty čtyři amsterdamské jsou Gravin, Noortje, Victoria a Molly. A tak jste se mohli před pár týdny třeba dočíst, že „Molly již opustila stanici de Pijp a raží si to směrem k Vijzelgracht. Za 24 dnů urazila Molly 300 m v hloubce 30 m“. Molly již mezitím dorazila do stanice Vijzelgracht a její mise byla ukončena. To ale teprve čekalo na Victorii, která naopak vyrazila z Vijzelgracht ke stanici Rokín a prodírala se těžkým „eemklei“ průměrnou rychlostí 11 m za den.

V době publikování článku již nejspíš

i Victoria ukončila svůj úkol, ale ještě mnoho práce zbude všem stavbařům podílejícím se na této stavbě stiletí. Všichni si zaslouží obdiv, protože dokazují, že lidský um, vynalézavost a houževnatost si dokáže poradit i s téměř nepřekonatelnými překážkami. My všichni se můžeme těšit, že za pět let se svezem v Amsterdamu supermoderním metrem.

Jitka Prokopičová  
(autorka žije v Nizozemsku)

Investor	Gemeente Amsterdam, Rijksoverheid, Stadsregio Amsterdam
Projektant	Witteveen+Bos, Ingenieursbureau Amsterdam (IBA), Royal Haskoning
Architekt stanic	Bentham Crowwel
Koordinace	Dienst Metro
Hlavní dodavatelé	VIA NoordZuidlijn, Herrenknecht, Strukton, Heijmans, Max Bögl, Nelis Infra, ProRail, Sol Data en Grontmij, Van Hattum en Blankevoort, Vobi, MNO Vervat, Ballast Nedam Infra Noord West, Koninklijke BAM Groep NV, B.V. Aannemingsmaatschappij J. Seignette Saturn (Dura Vermeer + Züblin)