



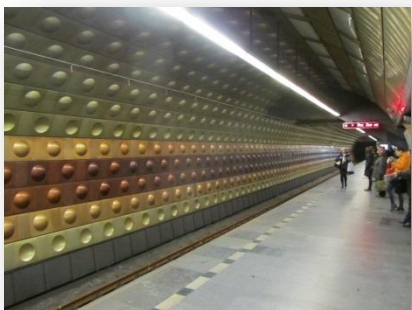
Obrázek 1: : Metro je páteřní prostředek MHD (stanice metra Palmovka v Praze)

#### PODZEMNÍ, POVRCHOVÉ A NADZEMNÍ MĚSTSKÉ DRÁHY

Někteří autoři definují metro jako páteřní systém MHD, který **nemusí být nezbytně pod zemí** (důležitá je pro ně jenom prostorová segregace). Pak do této definice zahrnují pochopitelně i nadzemní městské dráhy, různé formy povrchových drah, monorailů apod.

My se kloníme ke standardnímu pojetí metra, jako **podzemní dráhy** s tím, že ostatní systémy považujeme za svébytné dopravní systémy se svými vlastními vlastnostmi, výhodami a nevýhodami, sférou použití atd.

Důvodem je řada technických a provozních specifik těchto systémů, které by pohled na problematiku metra značně znepráhlednili.



Obrázek 3: Charakteristická architektura interiérů dolních vestibulů pražského metra ze sedmdesátých let (stanice metra Muzeum byla uvedena do provozu v roce 1978)

## 1.4.5 METRO

### 1.4.5.1 DEFINICE, HISTORIE A TYPOLOGIE

#### DEFINICE METRA

**Metro (podzemní dráha) je kapacitní páteřní prostředek městské hromadné dopravy osob, provozovaný na segregované dopravní cestě pod úrovní terénu s využitím železniční technologie a elektrického pohonu.**

Charakteristickými technickými znaky metra jsou:

- Jedná se o **páteřní prostředek městské hromadné dopravy** určený pro velké územní celky<sup>1</sup>, jehož posláním je zajišťovat rychlou **přepravu velkých objemů cestujících**<sup>2</sup> v nejvýznamnějších pro dané území přepravních směrech.
- **Dopravní cesta je po celé délce prostorově segregována od ostatní dopravy** tak, že je vedena pod povrchem v hloubených či ražených tunelech (viz poznámka vedle), všechny přístupy k nástupištím jsou řešeny mimoúrovňově.
- Jedná se o prostředek, který je **technicky a provozně odvozen od železniční technologie** (je provozován kapacitními vozovými soupravami<sup>3</sup>, na kolejovém tělese v technických parametrech železničního tělesa<sup>4</sup>, v pravidelném intervalovém režimu<sup>5</sup>).
- Je provozován **na bázi elektrického pohonu**.

Ve své podstatě se jedná o **podzemní železnici**, která slouží k dopravní obsluze městského intravilánu (název je odvozen z francouzského *Chemin de fer Métropolitain* - železnice hlavního města, anglicky *Metropolitan Railway*).

Základní výhodou tohoto systému je, že se **díky umístění pod zem stává provozně zcela nezávislý na zástavbě a dalších druzích povrchové dopravy**. Prostorová segregace systému je garancí jeho **provozní spolehlivosti**, nezávislé na dopravní situaci na povrchu, klimatických podmínkách ap.



Obrázek 2: Pražské metro patří k nejvyspělejší v Evropě (příklad hloubené stanice na trase C)

<sup>1</sup> města s více jak jedním milionem obyvatel pro standardní těžké metro

<sup>2</sup> do 30 000 - 60 000 cestujících za hodinu

<sup>3</sup> o kapacitě 250 - 300 cestujících jednotlivého vozu resp. 1300 - 2400 cestujících jednoho vlaku

<sup>4</sup> v Evropě rozchod 1435 mm

<sup>5</sup> interval v rozmezí 2 - 30 minut

## HISTORIE METRA

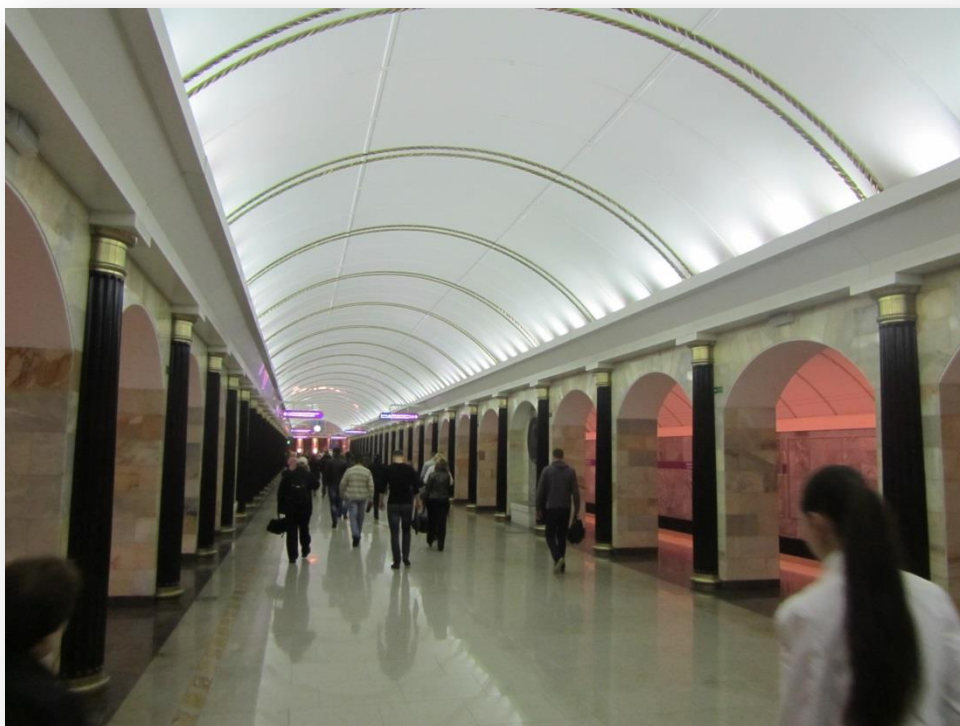
**První trasa metra byla uvedena do provozu v roce 1863 v Londýně<sup>6</sup>.** Jednalo se o krátký úsek mezi dvěma nádražími, kde jezdil parní vlak. Toto řešení pohonu se však ukázalo jako nevhodné. Proto se uvažovalo nejprve o pohonu pomocí lana a posléze se přešlo na elektrický pohon.

Po londýnském metru následovala metra v **Istanbulu** (1875), v **Athénách** (1895), v **Budapešti** (1896), **Paříži** (1900) a **Berlíně** (1902). V **New Yorku** bylo metro uvedeno do provozu v roce 1904, v **Toku** v roce 1927. V **Moskvě**<sup>7</sup> bylo metro otevřeno v roce 1935, v **Petrohradě** v roce 1955 a v **Praze** v roce 1974.

**Nejrozsáhlejším metrem na světě** je metro v Pekingu - 442 km (stav k lednu 2013). Peking tak předstihl rozsah metra v Šanghaji (420 km v roce 2010). Délka metra v Londýně je 402 km. Metro v New Yorku má celkovou délku 398 km, na 22 trasách má celkem 469 stanic. Moskevské metro je nejvytíženějším na světě, denně přepraví až 9 milionů cestujících.

Tabulka 1: Technické a provozní parametry metra v Praze (2013)

|                             |                         |
|-----------------------------|-------------------------|
| Celková délka               | 59,3 km                 |
| Počet stanic                | 57                      |
| Průměrná vzdálenost stanic  | 1,04 km                 |
| Počet tras                  | 3                       |
| Průměrný denní výkon (2012) | 1 614 000 cestujících   |
| Výkon za rok (2012)         | 589 165 000 cestujících |



Obrázek 5: Stanice metra Admiraltejskaya v palácovém stylu v Petrohradě (otevřena v roce 2012)



Obrázek 4: Petrohradské stanice odděluje nástupiště od vlakových souprav dveřmi, garantují vyšší bezpečnost cestujících a snižují náklady na architektonické řešení prostoru, jsou však provozně náročnější (viz rovněž Obrázek 22)

## TYPOLOGIE METRA

Typologii metra je možné klasifikovat podle různých hledisek.

**Podle technicko - dopravní koncepce rozlišujeme**

- **lehké metro** (metro na bázi technologie tramvaje resp. rychlé tramvaje; menší profil tunelů<sup>8</sup>, kratší<sup>9</sup> a lehčí vozové soupravy, menší rozestup stanic - do 1 km, nižší přepravní kapacita - do 15 000 až 20 000 cestujících za hodinu, vhodné pro města mezi 300 000 a 1 000 000 obyvatel nebo pro méně vytižené trasy větších měst)

<sup>6</sup> vznik pravidelné železniční dopravy se pro srovnání datuje rokem 1825, s tím, že parní lokomotiva byla vynalezena v roce 1804 a již v šestnáctém století byly provozovány důlní vozíky na kolejovém svršku

<sup>7</sup> připomeňme si pořadí měst podle velikosti v Evropě: Londýn, Moskva, Paříž, Petrohrad.

<sup>8</sup> pro Prahu (trasu D) navrhován vnitřní profil 4 550 mm

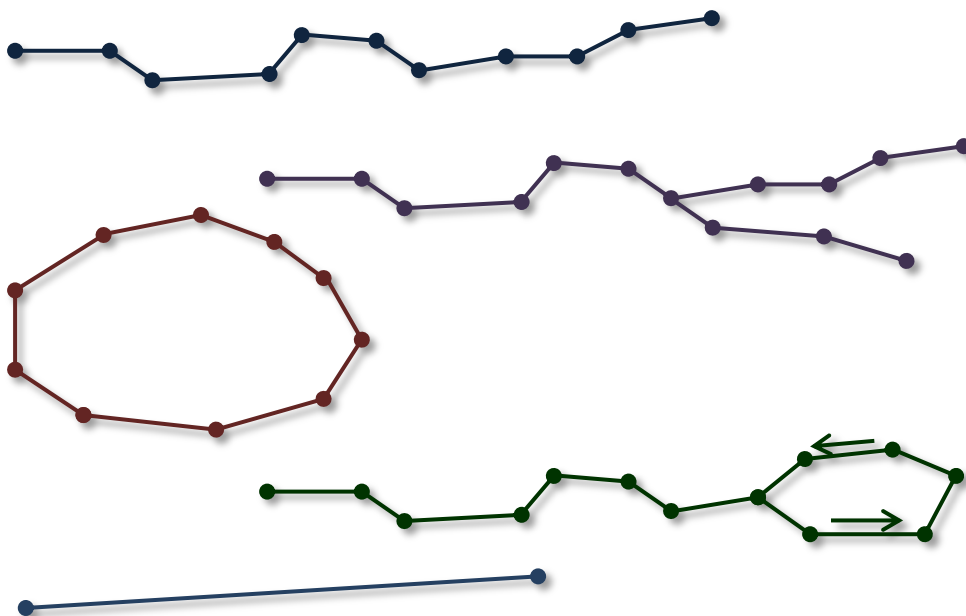
<sup>9</sup> 2 - 4 vozy ve vozové soupravě

- **standardní metro** (metro dle definice na bázi železniční technologie, s rozestupy stanic do 2 km, s přepravní kapacitou kolem 30 000 - 40 000 cestujících za hodinu, výjimečně i 60 000 cestujících za hodinu, vhodné pro města nad 1 000 000 obyvatel)
- **metro se zrychlenými úseky** (metro, kde čtyřkolejný profil tunelů umožňuje některým vozovým soupravám průjezd vybranými stanicemi, je to mezistupeň k rychlému metru; viz Obrázek 34)
- **rychlé metro / expresní metro** (metro s velkými rozestupy stanic kolem 2 - 5 kilometrů, umožňující vyvinutí vyšší rychlosti a zkrácení jízdní doby, zpravidla doplněk standardní sítě metra ve městech nad 5 000 000 obyvatel)

Podle umístění ve vztahu k terénu (obrázky viz strana 6):

- **ražené metro** (tunely jsou raženy pod zemí v hloubce cca od 20 m do 50 m, ve výjimečných případech i více; viz Obrázek 11 resp. Obrázek 12),
- **hloubené metro** (tunely jsou hloubené z povrchu země v hloubce cca do 10 m; viz Obrázek 14),
- **zapuštěné metro** (metro, kde je trasa hloubená z povrchu, ale není z vrchu uzavřena, zapuštění od 0 do 5 m; viz Obrázek 15),
- **povrchové metro** (povrchové úseky metra, alternativně v mírném zahloubení či na náspech, segregované od ostatní dopravy podjezdy a nadjezdy),
- **nadzemní metro** (nadzemní úseky metra, případně metro koncipované na estakádě; viz Obrázek 17).

Z hlediska umístění metra ve vztahu k terénu je zajímavé a mnohdy i limitující **technické řešení překročení vodních toků a ploch**. Ražené metro zpravidla prochází v hlubokém založení pod dnem řeky, zatímco hloubené metro může být alternativně řešené pod dnem řeky, na úrovni dna řeky (ponořené tunelové sekce), eventuálně i na mostní konstrukci nad hladinou řeky, mnohdy ve vazbě na silniční most. Zapuštěné, povrchové a nadzemní metro překračuje hladinu řeky zpravidla na mostní konstrukci.



Obrázek 6: Metro bez větvení tras (tmavě modrá), metro s větvením tras (fialová), okružní metro (hnědá), metro s kruhovým ukončením trasy (zelená), metro s kyvadlovým provozem mezi dvěma stanicemi (bledě modrá)

Podle způsobu provozu tras metra (viz Obrázek 6):

- metro **bez větvení tras**,
- metro **s větvením tras**,
- **okružní metro**,

- metro s **kruhovým ukončením trasy**,
- metro s **kyvadlovým provozem mezi dvěma stanicemi**.

Podle **způsobu řízení vozového parku**:

- metro řízené strojvedoucím,
- automaticky řízené metro.

Podle **technologické koncepce dopravní cesty**:

- metro **na kolejích**,
- metro **na pneumatikách** resp. na **pryžových obručích** atd.

### 1.4.5.2 TECHNICKÁ ANATOMIE METRA

#### TECHNOLOGIE METRA

Technologie metra se sestává z dílčích objektů a provozních souborů, a zejména:

- **Dopravní cesta** metra (včetně obratišť, manipulačních spojek, veškeré technologie napájení a zajištění provozu, technologie odvětrání tunelů, rozvody technických sítí atd.)
- **Stanice** metra (rozdělené na podzemní a nadzemní část/vestibul a spojovací tunely, včetně přestupních tunelů a veškeré související technologie, jako jsou eskalátory, výtahy, vzduchotechnika, zabezpečovací technika, osvětlovací technika, informační systémy, na povrchu odbavovací systémy atd.)
- **Vozový park** (včetně další související mobilní techniky)
- **Vozovny/depa** (včetně veškerého zázemí technické údržby a sociálního zázemí personálu)
- **Měničny** elektrického proudu (včetně rozvodů elektřiny a náhradních zdrojů)
- **Provozní dispečink** (zajišťující řízení provozu metra a řešení mimořádných dopravních situací, včetně prostředků automatizovaného řízení dopravy, komunikace, signalizace) aj.

#### KOLEJOVÉ TĚLESO

Metro je provozováno na **samostatném kolejovém tělese**, které je zpravidla, pokud se týká rozchodu ekvivalentem železnice (rozchod kolejí v Praze 1435 mm<sup>10</sup>, v Moskvě 1524 mm<sup>11</sup>). Provozní režim je zpravidla kyvadlový mezi koncovými úvraťovými obratišti. Systémy metra jednotlivých sídelních útvarů jsou autonomní tj. nejsou, na rozdíl od železniční sítě, vzájemně prostorově a technologicky provázány do jedné globální sítě. Metro **provozně nenavazuje na železniční síť**.

Rovněž veškerá **provozní technologie** metra je **odvozena od provozní technologie železniční dopravy**, obdobná jsou pravidla provozu, technické normy apod. Specifickým městským podmínkám jsou přizpůsobeny průřezní profily dráhy, sklonové poměry, minimální poloměry zatáček, napájecí soustava a způsob napájení, výška nástupních hran, nosnost kolejového tělesa i prvky řízení a zajištění provozu. Parametry provozu tedy nejsou stejné, ale jen podobné.

#### ODLIŠNÁ TECHNOLOGIE DOPRAVNÍ CESTY

Ve světě (ve Francii a v Japonsku) jsou zkoušeny jiné technologie dopravní cesty, například provoz **na kolech s pryžovými obručemi nebo pneumatikami**, zpravidla s vodícími kolejnicemi uprostřed nebo po stranách. Tyto technologie jsou méně hlučné a pohodlnější, mají lepší přilnavost, mají však výrazně vyšší provozní náklady díky vyššímu valivému odporu kol a opotřebení pryžových

Tabulka 2: Ocelová versus pryžová koncepce metra

| Kolejová koncepce                     | Pryžová koncepce                      |
|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Ocelové koleje, ocelová kola          | Betonové pásy, gumová kola            |
| Oprava profilu kola cca po 300 000 km | Oprava profilu kola cca po 200 000 km |

<sup>10</sup> jedná se o rozchod prakticky všech evropských železnic, kromě železnic na území bývalého Sovětského svazu, proto je to také rozchod většiny meter v Evropě

<sup>11</sup> jedná se o rozchod zavedený německými inženýry v Rusku, převzatý následně všemi zeměmi bývalého Sovětského svazu, rozchod nabízí stabilnější a pohodlnější provoz vozových jednotek





Obrázek 7: Interiér vozu M1 pražského metra



Obrázek 8: Vozové soupravy M1 pražského metra



Obrázek 9: Obnovený vozový park metra v New Yorku

obručí. Magnetické dráhy, zavěšené dráhy apod. zpravidla mezi technologické variace metra neřadíme.

#### ELEKTRICKÁ TRAKCE

Metro je **poháněno elektrickým proudem** (*stejnosměrné napětí 750 V v Praze<sup>12</sup>, 950 V v Moskvě*). Místo trolejí je dáována přednost **napájecí kolejnici** (*spodní odběr*) po straně vozové soupravy. Je to efektivnější z hlediska prostorového uspořádání tunelu. Trolejové vedení by vyžadovalo vyšší profil. Nevýhodou tohoto řešení je skutečnost, že kolejnice pod stálým napětím představuje nebezpečí pro lidi, pohybující se na kolejišti. Obdobně jako v případě tramvají, metro disponuje vlastními měnícími proudy, zajišťujícími i případné potřeby provozu v nouzovém režimu.

#### VOZOVÝ PARK

Vozový park metra tvoří **vlaky složené z motorových a vložených jednotek**, z nichž koncové mají stanoviště strojvůdce. Vlaky mají různé uspořádání, sestávají se cca z 5 až 8 vozů<sup>13</sup> o průměrné jednotlivé délce kolem 20 m. Přepavní kapacita jednotlivého vozu se pohybuje v rozmezí od 250 do 300 cestujících<sup>14</sup>. Tyto parametry spolu s intervalem určují přepavní kapacitu metra. Délka vlaku určuje délku nástupiště, která je v Praze 100 m<sup>15</sup> (*5 vozů ve vlaku*). V Ruské federaci jsou některé stanice dlouhé až 165 m (*8 vozů ve vlaku*).

Technické parametry vozových jednotek, užívaných v Praze jsou uvedeny v Tabulka 3.

Tabulka 3: Technické parametry vozových jednotek v Praze (zdroj [www.dpp.cz](http://www.dpp.cz))

| Parametr/typ jednotky               | 81 -71M                                                                | M1                                                                     |
|-------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| Druhy vozidel                       | 2Mt1 řídicí motorové<br>3Mt1 vložené motorové<br>4Mt1 vložené motorové | M1.1 řídicí motorové<br>M1.2 vložené motorové<br>M1.3 vložené motorové |
| Šířka jednotky                      | 2 712 mm                                                               | 2 712 mm                                                               |
| Výška jednotky                      | 3 662 mm                                                               | 3 670 mm                                                               |
| Délka jednotky                      | 19 398 mm (2Mt1)<br>19 210 mm (3Mt1 a 4Mt1)                            | 19 521 mm (M1.1)<br>19 206 mm (M1.2 a M1.3)                            |
| Výška podlahy nad temenem kolejnice | 1 208 mm                                                               | 1 150 mm                                                               |
| Počet míst k sezení                 | 38 (2Mt1)<br>48 (3Mt1 a 4Mt1)                                          | 40 (M1.1)<br>48 (M1.2 a M1.3)                                          |
| Počet míst k stání (8 osob na m2)   | 216 (2Mt1)<br>218 (3Mt1 a 4Mt1)                                        | 216 (M1.1)<br>218 (M1.2 a M1.3)                                        |
| Počet míst pro invalidní vozíky     | 4 (2Mt1)<br>0 (3Mt1 a 4Mt1)                                            | 2 (M1.1)<br>0 (M1.2 a M1.3)                                            |
| Počet míst celkem                   | 258 (2Mt1)<br>266 (3Mt1 a 4Mt1)                                        | 258 (M1.1)<br>266 (M1.2 a M1.3)                                        |
| Napěťová soustava                   | 750 V                                                                  | 750 V                                                                  |
| Rozchod                             | 1 435 mm                                                               | 1 435 mm                                                               |
| Hmotnost prázdného vozu             | 32 000 kg (2Mt1)<br>31 000 kg (3Mt1 a 4Mt1)                            | 27 900 kg (M1.1 a M1.2)<br>27 600 kg (M1.3)                            |
| Maximální provozní rychlost         | 80 km/h                                                                | 80 km/h                                                                |
| Maximální konstrukční rychlost      | 90 km/h                                                                | 90 km/h                                                                |
| Počet vozidel ve vozové soupravě    | 5                                                                      | 5                                                                      |

<sup>12</sup> pro srovnání 600 V pro tramvaj, tj. lehké metro může mít alternativně 600 nebo 750 V

<sup>13</sup> lehké metro od 2 do 5 vozů

<sup>14</sup> lehké metro 100 - 150 cestujících

<sup>15</sup> pro lehké metro trasy D se uvažuje s 65 m (tj. maximálně 4 vozy ve vozové soupravě)

|                                          |                                  |                                  |
|------------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Složení druhů vozidel ve vozové soupravě | 2Mt1 + 3Mt1 + 4Mt1 + 3Mt1 + 2Mt1 | M1.1 + M1.2 + M1.3 + M1.2 + M1.1 |
| Celková délka vlaku                      | 96 426 mm                        | 96 660 mm                        |
| Celková přepravní kapacita vlaku         | 1 314                            | 1 314                            |
| Výrobce                                  | Škoda Transportation             | Siemens                          |

### 1.4.5.3 DOPRAVNÍ CESTA

#### HLOUBENÉ A RAŽENÉ TUNELY

Metro je provozováno pod zemí v **hloubených nebo ražených tunelech**. V Londýně, například, je kromě toho uplatněna na některých přechodových úsecích **zahloubená koncepce metra (v zářezu)** bez horního překrytí.

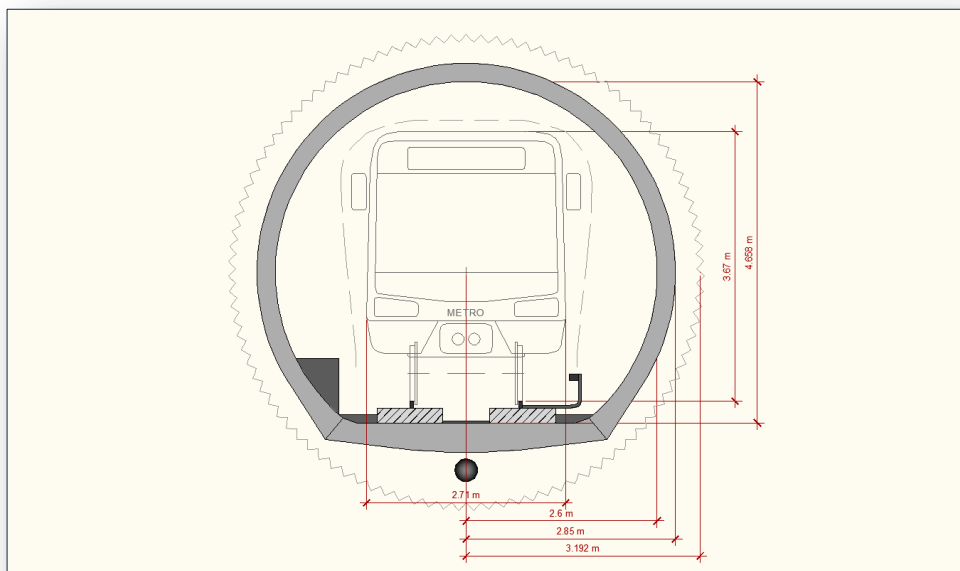
Někdy se kombinuje výstavba **vodorovných ražených tunelů s hloubenými stanicemi**. Takové stanice mohou být díky hloubce založení metra mnohapatrové. Výstavba takových stanic vyžaduje velký rozsah demolice na povrchu a značně zatěžuje město stavebním ruchem v době výstavby. Velmi často bývají **stanice metra podzemními částmi objektů nad nimi**.

Součástí **podzemní technologie metra** jsou rovněž **větrací šachty, výtahové šachty** a případně **tunelové objekty obranného systému města**. V podzemí se umísťuje provozní technologie metra, jako jsou měnirny, vzduchotechnika apod., aby nezabírala místo v husté zástavbě na povrchu.

Celý podzemní komplex metra je **součástí** širšího **systému podzemních staveb**, zahrnujícího kromě jiného železniční a silniční tunely, podzemní parkoviště, podchody a podzemní pasáže, kolektory, podzemní část povrchových zástaveb (*sklepy*). Oboru, který se zabývá prostorovou koordinací podzemních staveb a jejich koncepčním rozvojem ve městě říkáme **podzemní urbanismus**.



Obrázek 10: Výstavba horního vestibulu stanice metra Admiralteiskaya a jámy pro instalaci razicího štítu pro výstavbu šikmého tunelu nového výstupu ze stanice Sadovaya v Petrohradě (2011)



Obrázek 11: Příčný profil jednokolejného tunelu metra raženého metodou TBM (parametry pražského metra)

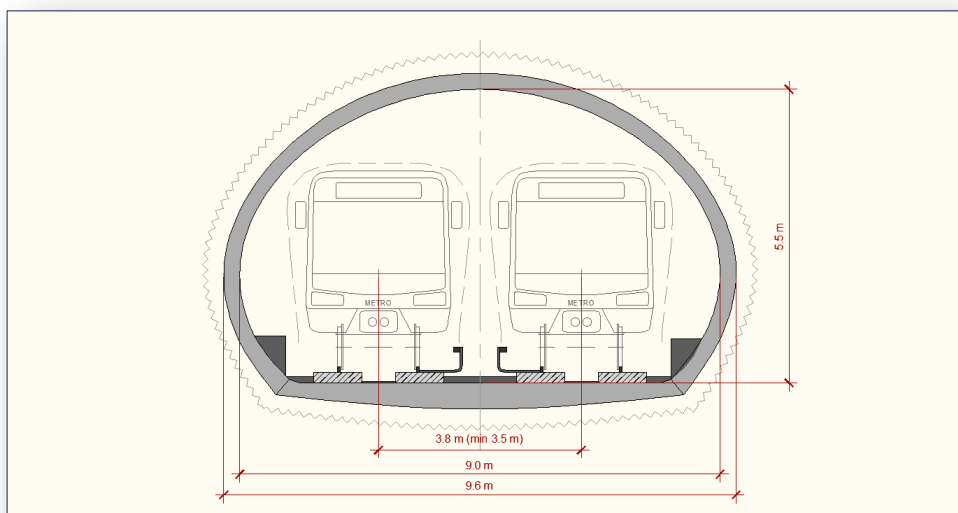
#### Technologie výstavby tunelů

U **hloubených tunelů** se velmi často využívá **technologie milánských stěn**. Je to technologie zapažení hlubokých výkopů a hodí se pro jámy do cca 30 m. Nejprve se realizují stěny ostění

výkopů a po té se vytěžuje zbytek stavební jámy. Do ní se vystaví objekt tunelu a ten se nakonec zahrabe.

Na technologii hloubených tunelů navazuje pod vodou **technologie ponořených sekcí**, řešící efektivní křížení trasy metra s vodními toky a plochami. Tato technologie předpokládá výrobu jednotlivých sekcí tunelu na povrchu a jejich následné ponoření do připravené rýhy ve dně řeky, vzájemné spojení jednotlivých sekcí a jejich odizolování. Ponořené sekce je nutné navíc shora zatížit, aby je přirozený vztlak nevytlačoval na povrch. Tato technologie umožňuje držet tunely metra blíže povrchu a byla použita například na lince C pražského metra za stanicí Nádraží Holešovice.

U ražených tunelů se prosazuje **technologie TBM (Tunnel Boring Machine)**, tj. technologie, využívající **razících štítů**. Pomocí razících štítů se proráží i podzemní stanice a šikmé tunely (*tunely spojující horní a spodní část stanice metra*). Průměry těchto tunelů se liší, což představuje velké komplikace v technologii ražení. Bohužel neexistuje možnost využít razících štítů metra pro ražení dalších, například železničních či silničních tunelů a naopak, protože rozdíly v průměrech těchto tunelů jsou velké. Nasazení razících štítů při výstavbě tunelů je proto nutné vždy pečlivě zvážit.



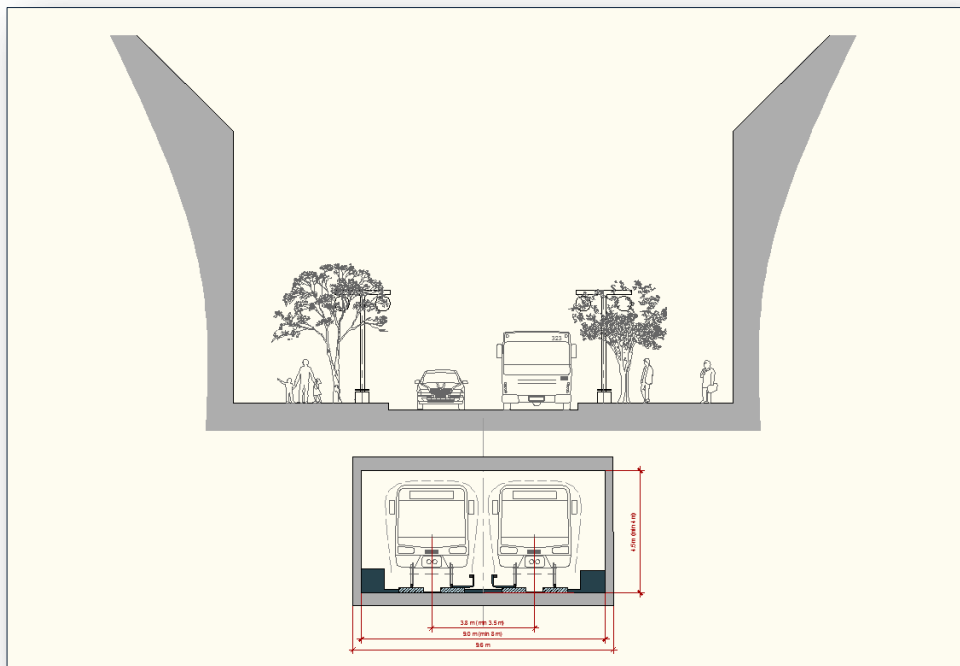
Obrázek 12: Příčný profil dvoukolejného tunelu metra raženého tradičním způsobem

V Petrohradě zavedli **staniční razící štíty (mají větší průměr) s otočnou hlavicí**. Tunel vstupuje do podzemí šikmým tunelem, otáčí se a razí prostřední staniční tunel, otáčí se a vychází protilehlým šikmým tunelem na povrch. Tato metoda značně ušetří náklady na výstavbu ražených stanic metra. Jinou inovativní formou vedoucí k úspoře nákladů byla **výstavba uzavřených stanic (viz dále stanice petrohradského typu)**, kde se boční tunely razily v tradičním průměru jízdních tunelů a jen prostřední tunel razícím štítem na staniční tunel.

**Ražené tunely** jsou nejen o hodně dražší, ale také více **vzdálené povrchové dopravě**. Mají proto smysl při uplatnění delších mezistaničních úseků. Jestli pro hloubené řešení metra je optimální vzdálenost stanic do 1 km, pak u ražených tunelů je vhodná vzdálenost až 2 km. Šikmé tunely ražených stanic naopak pomáhají většímu prostorovému rozptýlu povrchových stanic metra (*pokud jsou podzemní stanice přístupné z obou stran a přestupní stanice například ze čtyř stran*). Tuto výhodu je nicméně nezbytné posuzovat v kontextu času potřebného na jízdu eskalátorem mezi povrchovou a podzemní stanicí.

**Hloubka založení metra** je v průměru nejvyšší v Ruské federaci - průměrně 30 - 40 m v Moskvě (*nejhlubší stanice na světě je v Pchjongjangu - 120 m*). Bylo to motivováno kromě jiného **obranými účely metra**, které se osvědčily za druhé světové války. Dnes jsou obranné funkce metra více méně problematické. Praha se této funkce po zkušenosti s povodněmi vzdala zcela. V Petrohradě je však ražená technologie hlubokého založení motivována spíše geologickými poměry.

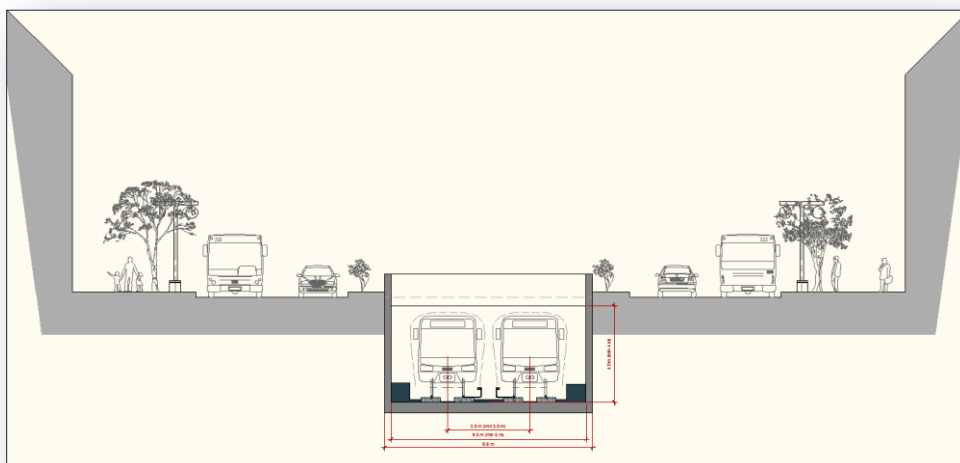
Otvor jednokolejného tunelu raženého metodou TBM v Praze má průměr 6 080 mm, vnitřní průměr tunelu je 5,3 m (viz Obrázek 11).



Obrázek 14: Příčný profil dvoukolejného hloubeného tunelu metra bez vnitřní přepážky

Dvoukolejné tunely (viz

Obrázek 12) se razí tradičním způsobem (například novou rakouskou metodou NZSTM). Užívají se, pokud není zvolena technologie TBM a to proto, že jsou investičně méně náročné než jednokolejné tunely (menší plocha výrubu, méně materiálu ostění).



Obrázek 15: Zahloubené úseky metra bez vrchního překrytí

**Hloubené tunely** (viz Obrázek 14) bývají zpravidla dvoukolejné - buď s dělicí přepážkou, nebo bez ní. Jednokolejné tunely jsou investičně méně rentabilní, protože je nutné stavební jámu hloubit dvakrát.

**Zahloubené úseky metra bez vrchního překrytí** (viz Obrázek 15) jsou výrazně levnější a zachovávají prostorovou segregaci (možnost mimoúrovňového křížení s povrchovou dopravou), nicméně otevírají metro klimatickým vlivům a umožňují pád lidí či předmětů do kolejiště. V České



Obrázek 13: Hloubené úseky metra v německém Hamburku





Obrázek 16: Nadzemní úseky metra v Praze



Obrázek 17: Otevřené nadzemní úseky metra v německém Hamburku (masivní ocelové konstrukce estakády dnes spíše hyzdí atmosféru měst; původně nadzemní metro v New Yorku bylo proto například přeneseno pod zem)

republiky či v Ruské federaci se nepoužívají. Jsou vhodné spíše pro lehké metro nebo podpovrchovou/rychlou tramvaj.

#### POVRCHOVÉ A NADZEMNÍ ÚSEKY METRA

**Povrchový či nadzemní provoz metra** není v některých úsecích provozně vyloučen, není však podstatou tohoto systému. Ucelené povrchové nebo nadzemní dráhy nejsou za metro považovány. V Německu se například nadzemní dráhy na rozdíl od podzemní U-bahn označují pojmem S-bahn.

Vzhledem k používané technologii v Praze, která je citlivá na povětrnostní podmínky, je nutné povrchové úseky metra zakrýt. Přidanou, byť neplánovanou, hodnotou takového řešení je snížení hluku v okolí povrchové či nadzemní trasy metra. Střechy povrchových stanic metra v některých případech slouží jako parkoviště systému Park and Ride.

Nadzemní úseky metra naráží na komplikace s vahou vozových souprav. Mostní konstrukce s provozem metra musí být masivnější.



Obrázek 18: Příčný profil úseku metra na estakádě v zakrýtem provedení

#### TECHNICKÉ PARAMETRY TRAS

**Trasy metra v Praze** se navrhují pro **návrhovou rychlost 80 km/h**. **Maximální přípustný podélný sklon** je 40 ‰, minimálně přípustný podélný sklon je 3 ‰. **Minimálně přípustný poloměr zatáček** je 500 m, výjimečně ve stísněných podmínkách 300 m. **Minimální osová vzdálenost kolejí** je v přímém úseku 3 500 mm.

Metro je zpravidla **provozováno kyvadlově na nevětvěných trasách**, možný je provoz i na trasách větvených, k větvení tras však investoři metra přistupují spíše neradi. Větvení je problematické z hlediska **bezpečnosti dopravy** a také **méně rentabilní na méně zatížených úsecích**, které větvením vznikají. Pokud k větvení dochází, pak se to týká zpravidla koncových povrchových úseků.

#### OBRATIŠTĚ

**Úvratňová obřištění** mají v Praze délku cca 170 m (viz cca 100 m vozové soupravy). Bývají umístěna na konci jednotlivých tras za konečnou stanicí nebo i ve stísněných podmínkách před ní. Historicky s postupným rozvojem vznikají mezilehlá obřištění, která někdy slouží k obracení vlaků, které neprojíždějí po celé délce trasy.

Někdy se vyskytnou podmínky pro **kruhové ukončení trasy** (viz Obrázek 6). Jednosměrná větve v takovém případě zajišťuje dopravní obsluhu v rámci určitého území (například mezi jednotlivými terminály letiště) a pak se vrací s opačné strany dvojkolejné trasy a míří zpět do centra města (Londýn, Peking). Je to řešení efektivní a také provozně výhodné pro pokryvnou dopravní obsluhu takového území, kde není ekonomicky efektivní zavádět dvojkolejnou trasu a vytvářet doplňkový systém návozní dopravy. Kruhové ukončení trasy nepředjímá její další budoucí prodloužení.

#### MANIPULAČNÍ SPOJKY A DEPA

**Provozní propojení tras navzájem (manipulační spojky)** slouží k provoznímu propojení jednotlivých tras zejména za situace, kdy některé trasy nejsou vybaveny **samostatnými depy**. V případě, že trasa má vlastní depo není manipulační spojka takovou nezbytností a pokud existuje (byla vybudována v některém stádiu rozvoje sítě metra), nebývá provozována, případně je provozována jen ve výjimečných situacích. V takovém případě jsou jednotlivé trasy co do podstaty samostatnými dopravními soustavami, které jsou spojené pouze pěšími přestupními tunely. Tato provozní svébytnost je podporována i jiným druhem provozovaných vozových souprav na jednotlivých trasách. To umožňuje tyto trasy přerозdělít mezi různé přepravce, což je trend úvah v poslední době, kdy se uvažuje o privatizaci metra.

**Manipulační spojky jsou v Praze** u stanice metra Muzeum (dvě manipulační spojky A - C a C - A, pozůstatek plánovaného odbočení trasy podpovrchové tramvaje) a u stanice Florenc (jednokolejná manipulační spojka B - C).

**Depa** metra jsou v Praze umístěna na koncích jednotlivých tras: na trase A - depo Hostivař, na trase B - depo Zličín, na trase C - depo Krč.

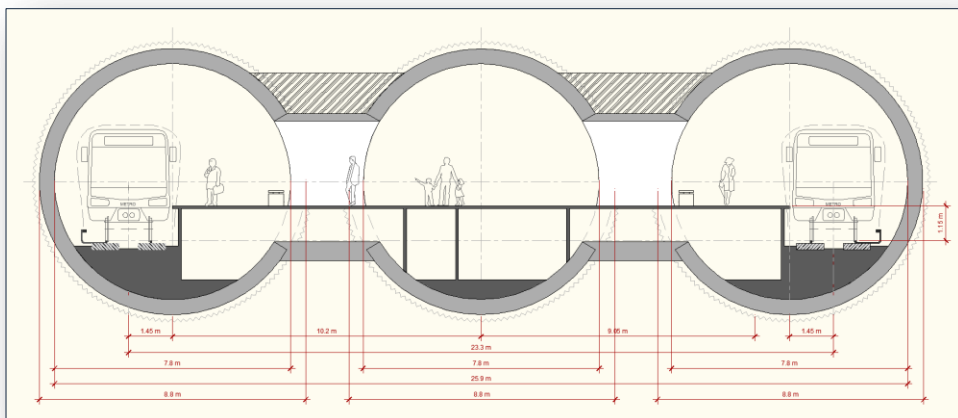
#### 1.4.5.4 STANICE

Stanice metra slouží k nástupu, výstupu a přestupu cestujících metra.

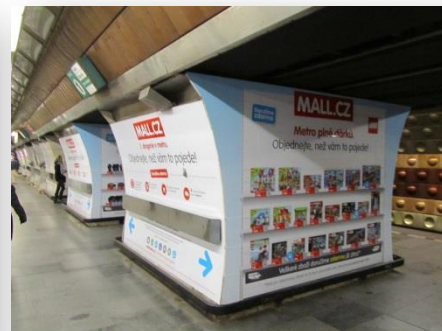
##### TYPOLOGIE STANIC METRA

Podle umístění ve vztahu k terénu rozlišujeme stanice metra:

- **ražené** (jedná se o hluboce založené stanice, u nichž je spodní vestibul umístěn v hloubce více jak 20 m, z dolního vestibulu je výstup zpravidla do horního vestibulu):
  - trojlodní,
  - dvoulodní (výjimečně),
  - jednolodní,
- **hloubené** (jedná se o mělce založené stanice, u nichž je spodní vestibul nebo nástupiště umístěn/umístěno v hloubce cca 10 m, maximálně do cca 20 m, z dolního vestibulu je výstup do horního vestibulu nebo přímo na ulici, velmi často řešené patrově; viz Obrázek 31),
- **povrchové** (jedná se o stanice v úrovni okolního terénu, přístup k nástupištím a jejich vzájemné propojení je řešen/řešeno mimoúrovňově nad zemí nebo pod zemí; stanice s vestibulem nebo bez něho),
- **nadzemní** (jedná se o stanice nad úrovní terénu; stanice s vestibulem nebo bez něho).



Obrázek 20: Trojlodní pilířová ražená stanice ruského typu: tři staniční tunely (tloušťka pilířů až 3 m)



Obrázek 19: Pražská stanice metra Museum je příkladem původní trojlodní ražené stanice ruského typu (s mohutnými pilíři a malým počtem prostupů)

#### Podzemní a povrchová část stanice (*podzemní a povrchový vestibul*)

Pokud je stanice umístěna hluboko pod zemí, dělí se zpravidla na **podzemní a povrchovou část** (*podzemní a povrchový vestibul*), propojenou přístupovými (*šikmými*) tunely. Povrchový vestibul může být řešen:

- **samostatnou stavbou** povrchového vestibulu,
- podzemním **vestibulem, navazujícím na podzemní pasáž** a systém podchodů,
- **vestibulem, zabudovaným do objektu nad stanicí** (*zpravidla dopravní terminál nebo obchodní centrum, ale také například administrativní budova apod.*).

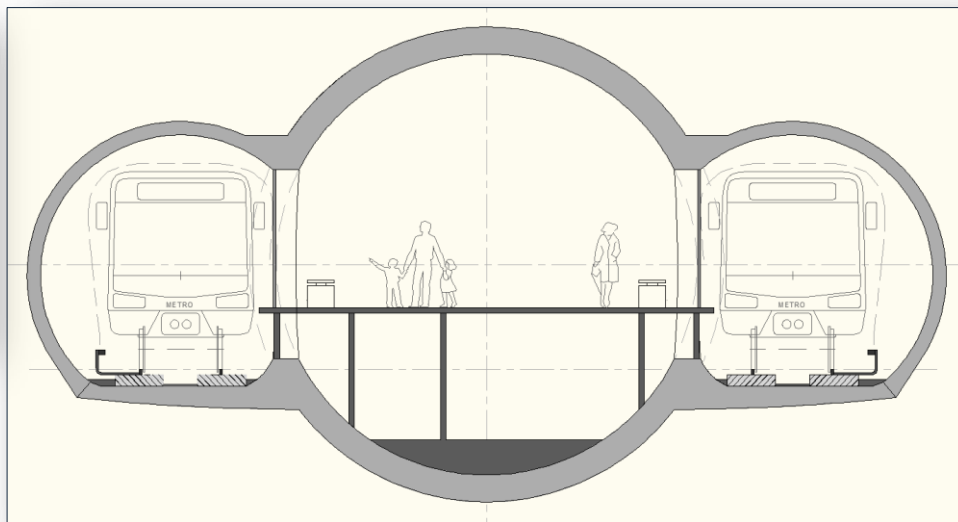
V Praze v husté městské zástavbě bylo nutné volné vyústění pro nasazení razícího štítu. Muselo tedy dojít k demolici nějaké budovy a ta byla pak znovu dostavěna nad stanicí metra. V ruském prostředí se hledala volná místa, kde se následně stavěly solitérní povrchové vestibuly, jejichž architektonický vývoj je sám historií architektonických stylů o sobě.

#### Trojlodní ražená stanice

Mezi raženými stanicemi je nejběžnější **trojlodní stanice** (*viz Obrázek 20*). Boční tunely slouží k průjezdu vozových jednotek a k nástupu a výstupu cestujících. Boční tunely mají proto pochopitelně větší poloměr než běžné traťové tunely. Prostřední tunel slouží pouze cestujícím. Jsou na něj napojeny šikmé tunely, propojující spodní a horní vestibul, propojují prostory mezi tunely navzájem nástupiště a zpravidla slouží i k umístění podzemní technologie stanice. Prostřední staniční tunel bývá kratší než boční staniční tunely.



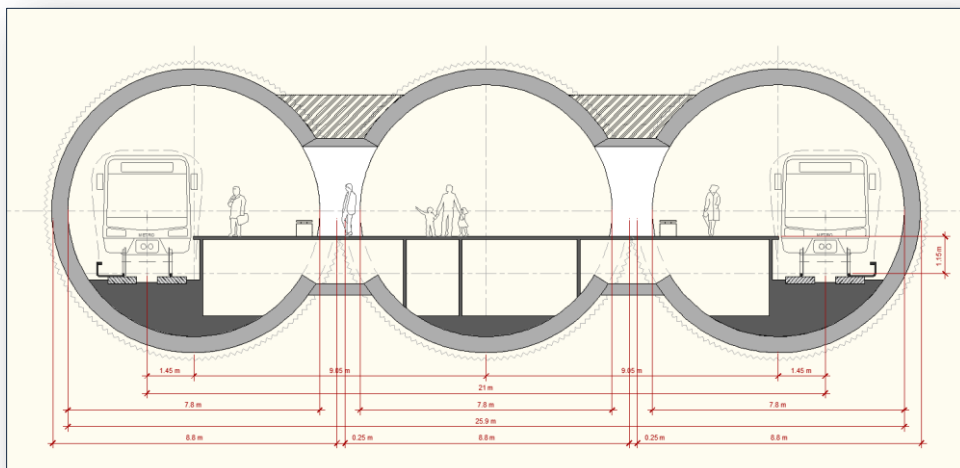
Obrázek 21: Stanice metra Sadowaya v Petrohradě je příkladem trojlodní stanice petrohradského typu



Obrázek 22: Princip trojlodní stanice petrohradského typu: dva traťové tunely a jeden staniční tunel

**Trojlodní stanice petrohradského typu** (*uzavřená stanice, viz Obrázek 22*) je úspornější v tom, že boční tunely slouží pouze pro jízdu vozových jednotek. Do vozových jednotek se nastupuje prostupy mezi bočními a prostředním tunelem. Prostupy jsou vybaveny dveřmi. Tyto dveře slouží k zamezení pádu cestujících do kolejiště. Protože boční tunely mají pouze traťový profil (*nevyžadují větší a dražší staniční profil*) a nepotřebují architektonické pojednání reprezentativních povrchů, jsou výrazně levnější než tradiční nástupní tunely. Přesto se od těchto stanic v Petrohradě ustupuje a to zejména z provozních důvodů. Za komplikovaný je považován zejména systém dveří. Ve světě se však oddělení nástupiště od kolejiště stěnou (*zpravidla skleněnou*) prosazuje, takže se zdá, že stanice petrohradského typu pouze předešla svou dobu.

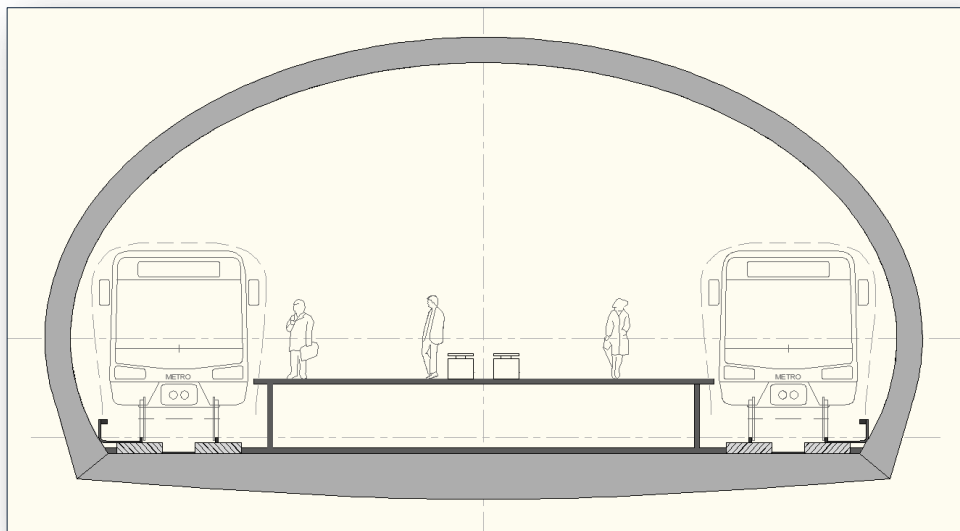
**Trojlodní stanice pražského typu** (*viz Obrázek 23*) je inovací standardní trojlodní stanice ruského typu. Zmenšeny jsou pilíře mezi prostupy z prostředního do bočních tunelů (*může jich být po délce nástupiště pak více*) a přiblíženy jsou i samotné tunely až na vzájemnou vzdálenost kolem 25 cm. Tím se snížila osová vzdálenost tunelů.



Obrázek 23: Trojlodní pilířová ražená stanice pražského typu

#### Dvou a jednolodní ražená stanice

**Dvoulodní ražená stanice** má pouze dva vodorovné staniční tunely s přímým výstupem na povrch nebo s přímým napojením na šikmý tunel. Toto řešení je velmi výjimečné. Je rozšířené spíše u hloubených stanic.

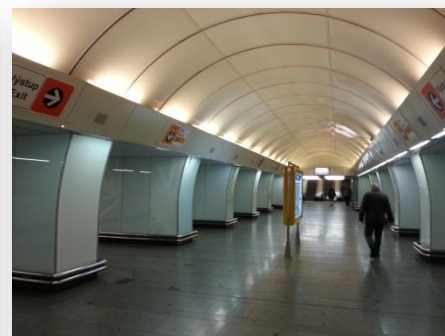


Obrázek 26: Jednolodní ražená stanice s ostrovním nástupištěm (principiální schéma)

**Jednolodní ražená stanice** je v průřezu **oválná**, zpravidla s kolejemi po stranách a ostrovním nástupištěm uprostřed. Tato stanice není ražena technologií TBM. Je budována tradičními technologiemi. Nejprve se vydoluje prostor pro **horní oblouk**, jehož ostění se následně instaluje. Pak se **prorazí vnitřní části traťových tunelů** (vnější prozatím slouží jako opora horního oblouku). Po té se **vydoluje zemina pod horním obloukem až po úroveň spodního oblouku**, který horní oblouk zezdola uzavírá. Současně se **osadí zbytek vnějšího ostění a stanice se začistí a dobuduje**. I tato technologie se uplatnila zejména v Petrohradě, proto se jí říká petrohradská.

#### USPOŘÁDÁNÍ NÁSTUPIŠŤ STANICE METRA

**Podle uspořádání nástupišť** ve vztahu ke kolejovému tělesu dělíme stanice metra na stanice (viz Obrázek 28):



Obrázek 24: Stanice metra Invalidovna v Praze jako příklad trojlodní ražené stanice pražského typu



Obrázek 25: Příklad jednolodní ražené stanice Sadovaya v Petrohradě



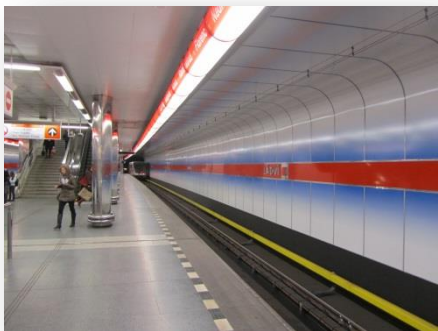
- **s bočním výstupem a nástupem** (jednokolejné nebo dvoukolejné, Obrázek 27),
- **ostrovní, tj. s prostředním výstupem a nástupem** (dvoukolejné, Obrázek 29),
- **s prostředním výstupem a bočním nástupem** (tzv. madridské, dvoukolejné),
- **dvou a víceúrovňové** (stanice předchozích typů ve více úrovních, dvou a vícekolejné).

Nejčastějším schématem stanic metra jsou stanice s ostrovním nástupištěm, které jsou provozně nejjednodušší a proto funkčně nejzpůsobilější. Není nutné realizovat dva výstupy, stačí jen jeden, prostřední.

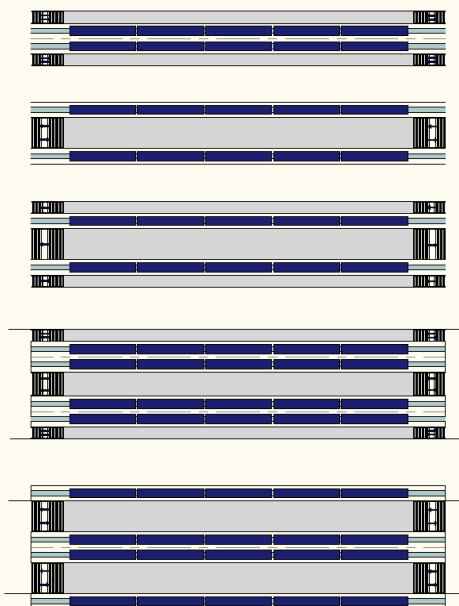
V Praze se na trase metra C prostřídávají stanice s bočním a prostředním výstupem/nástupem, což není z provozního hlediska správné<sup>16</sup>. Když už nic jiného, pak toto střídání snižuje orientaci cestujících ve vozových soupravách, v době vyšších zátěží to komplikuje výstup cestujících a obecně pak jejich pocit pohodlí. Pokud tedy volíme mezi stanicemi s bočním či prostředním výstupem, měli bychom dodržet tuto volbu pro celý systém metra nebo alespoň pro jeho celou trasu.



Obrázek 27: Pražská stanice metra Vyšehrad je příkladem stanice s bočními nástupišti, stanice je umístěna na povrchu



Obrázek 29: Pražská stanice metra Ládví je příkladem stanice s ostrovním nástupištěm



Obrázek 28: Stanice (odshora dolů) s bočním nástupištěm, ostrovním nástupištěm a bočním nástupištěm pro nástup a prostředním nástupištěm pro výstup, 2 x přestupní stanice (přestup v horním vestibulu)

**Z provozního hlediska dělíme stanice metra na:**

- **nácestné** (vlaky metra stanicí se zastavením projíždí; dvoukolejné výjimečně jednokolejné),
- **koncové** (vlaky metra ve stanici končí; úvrať před nebo za stanicí),
- **pásmové** (ve stanici některé vlaky metra končí a jiné jimi se zastavením projíždí; úvrať před nebo za stanicí),
- **přestupní** (zpravidla nácestné stanice s propojovacími tunely pro přestup).

Stanice metra jsou:

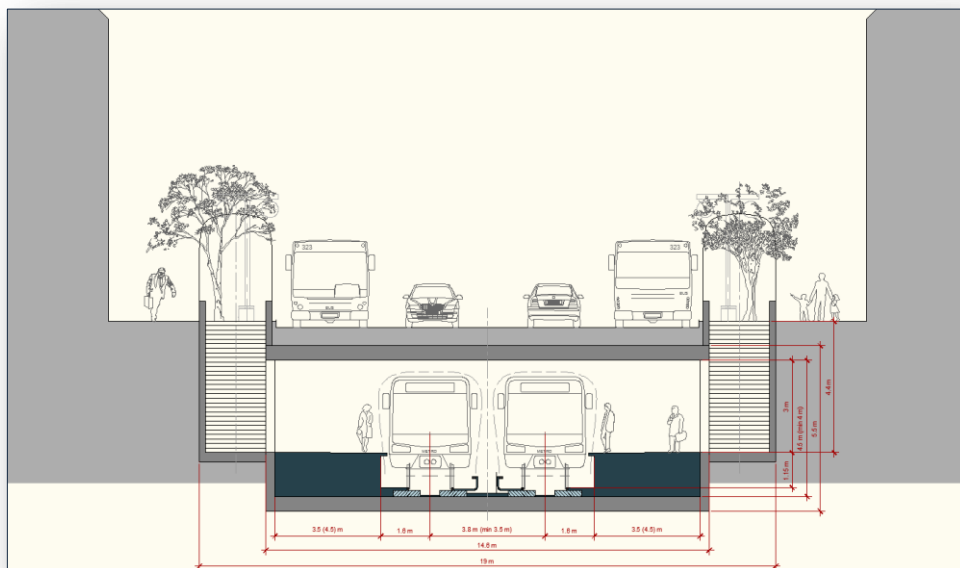
- **jednovestibulové** (výstup ze stanice jedním směrem),
- **dvouvestibulové** (výstup stanice dvěma směry),
- **vícevestibulové** (výstup ze stanice více směry; zpravidla platí pro přestupní stanice).

<sup>16</sup> V Praze k tomu došlo díky přechodu z konceptu podzemní tramvaje na koncept metra. V době tohoto přechodu byly již některé stanice podzemní tramvaje založené.

Někdy se v rámci úspory staví jednovestibulové stanice s tím, že se vestibuly na opačných stranách nástupiště dostavují dodatečně. Dvou a vícevestibulové stanice zajišťují lepší pokrytí území. To je ostatně jediná dopravní výhoda hlubokého založení ražených stanic ve srovnání s mělkými stanicemi, kde jsou povrchové vestibuly jedné stanice blíže k sobě.



Obrázek 30: Interiér stanic metra v New Yorku svědčí o jeho stáří (stanice v Queensu jsou hloubené, těsně pod povrchem, dvě linky jsou provozovány na společných ostrovních nástupištích)



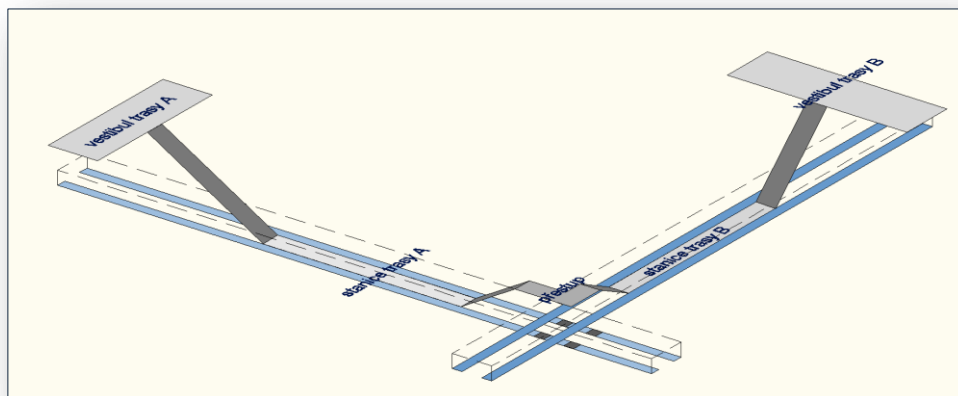
Obrázek 31: Hloubená stanice hloubeného úseku metra (výstup a nástup vpravo ve směru jízdy)

## PŘESTUPNÍ STANICE

Přestupní stanice slouží k přestupu cestujících mezi jednotlivými trasami metra a také ostatními systémy páteřního systému MHD (*resp. obecně veřejné dopravy*), takovými jako jsou lehké metro, rychlá tramvaj, příměstská železnice, klasická železnice apod.

Obecně jsou užívána tato **technická řešení přestupních stanic metra**:

- **stanice jsou propojeny přestupními trasami na povrchu** (*prostřednictvím společné povrchové části stanice nebo prostým přechodem mezi dvěma povrchovými stanicemi na chodníku, takové řešení je voleno například v New Yorku a u některých stanic metra v Moskvě*),
- **stanice jsou propojeny podzemními přestupními tunely** (*viz všechny přestupní stanice v Praze, viz Obrázek 32*),
- **křížový přestup: kolejová tělesa přestupních stanic se pod zemí proplétají tak, aby společná platforma umožňovala přestup nejzatíženějších přestupních směrů** (*například některé přestupní stanice v Petrohradě*).



Obrázek 32: Přestupní stanice s podzemním propojením dolních vestibulů (*jedna z možných prostorových variant*)

Podzemní přestupy mezi jednotlivými stanicemi standardního trojpodlažního systému ražených stanic navazují na:

- **konce nástupišť** (*v takovém případě zpravidla nahrazují výstup/nástup z druhého vestibulu, nenarušují šířkový profil nástupiště, viz Obrázek 32*),
- **prostředek nástupišť** (*v tomto případě jsou schodiště a eskalátory vyústěny do prostředka ostrovního nástupiště, což pochopitelně omezuje šířkový profil nástupiště*),
- **konce i prostředek nástupišť** (*toto řešení je kombinací obou výše uvedených a používá se z kapacitních důvodů*).

**Propojení různých systémů páteřního systému MHD** se děje zpravidla tak, že výstupy z podzemních vestibulů metra vyústí do povrchových vestibulů návazných systémů, zpravidla železničních stanic. Takové řešení bylo zvoleno například u Hlavního nádraží v Praze. Podobné řešení je voleno zpravidla u všech větších nádraží a u terminálů letecké dopravy, terminálů meziměstské autobusové dopravy atd.

Jiným možným řešením je vyústění jednotlivých druhů kolejové dopravy do **společného vestibulu**. V takovém případě se může stát, že přechod z jednoho systému do druhého probíhá pouze přes společné nástupiště (*například metro - železnice na nádraží, umístěném pod povrchem*).

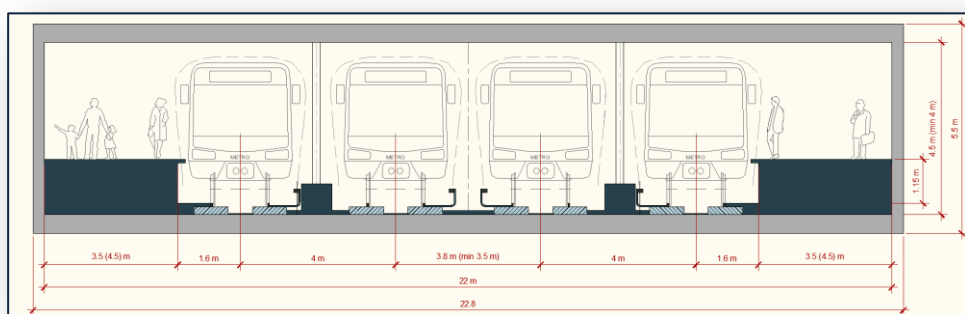
Komplexní řešení přestupů mezi jednotlivými druhy dopravy v daném místě se nazývá **integrováným přestupním uzlem**, jehož základním smyslem je podpora prostorové integrace jednotlivých druhů dopravy (*v rámci uceleného systému integrované MHD aglomerace*). Součástí integrovaných přestupních uzlů není jen například přestup mezi metrem a železnici, ale také

návaznost na tramvajovou, trolejbusovou a autobusovou dopravu, a také na individuální automobilovou dopravu cestou parkovacích míst pro systémy Kiss and Ride a Park and Ride.

#### TECHNICKÉ PARAMETRY STANIC

Stanice mají délku nástupní hrany přibližně rovnou maximální délce provozovaných vlaků (v Ruské federaci bývají některé stanice kratší a není proto v nich z koncových vozů možné vystoupit, případně lze vystoupit jen z některých dveří).

V Praze je tato **délka nástupní hrany cca 100 m. Šířka nástupiště je cca 3,5 - 4,5 m. Výška nástupní hrany je v Praze 1,100 m<sup>17</sup>.**



Obrázek 34: Metro se zrychlenými úseky (prostřední koleje slouží k průjezdu vozových souprav stanic, schéma je užíváno například v New Yorku)

#### PŘEPRAVA OSOB SE SNÍŽENOU POHYBLIVOSTÍ A SE ZRAKOVÝM POSTIŽENÍM

##### Snížená pohyblivost osob

Samostatnou kapitolou metra je **přeprava osob se sníženou pohyblivostí**.

Jde o systematické **odstraňování bariér**:

- na cestě ke stanici metra,
- v jejím horním i dolním vestibulu,
- při přepravě osob se sníženou pohyblivostí mezi horním a dolním vestibulem,
- při nástupu do vozidel metra a o
- přizpůsobení vozidel pro přepravu této kategorie cestujících veřejnosti.

Metro jako dopravní prostředek vytváří nevhodných bariér pro handicapované osoby víc než dost a to zejména svým vertikálním uspořádáním. **Kritická je především přeprava osob se sníženou pohyblivostí mezi horním a dolním vestibulem.** Přeprava cestujících eskalátory je v tomto smyslu velmi problematická a pro osoby na invalidních vozíčkách zcela nevhodná. Ruské eskalátory se navíc vyznačují vysokou rychlostí (na druhé straně vysokou přepravní kapacitou), což přístup pro velký okruh cestujících ještě více komplikuje.

Metro má oproti povrchovým prostředkům MHD jen jednu přednost, a sice skutečnost, že hrana nástupiště má stejnou výšku jako podlaha vozových souprav.

**Koncepční program integrace** osob se sníženou pohyblivostí tj. postupného odstraňování bariér pro přepravu handicapovaných osob zahrnuje:

- zřizování **nájezdových ramp** v prostoru vstupu do horního vestibulu,
- zřizování **výtahů** mezi horním a dolním vestibulem,
- **přizpůsobování vozidel** metra pro přepravu osob na invalidním vozíku,
- přizpůsobování vozidel metra pro přepravu dětských kočárků, kol a větších zavazadel,



Obrázek 33: Výtahy v pražském metru usnadňují přepravu osob se sníženou pohyblivostí

<sup>17</sup> výška podlahy vozové jednotky nad temenem kolejnice je 1 150 mm; u lehkého metra v Praze se plánuje výška nástupní hrany 300 mm (tramvajová výška) - 950 mm (výška lehkého metra)





Obrázek 35: Vodící proužky (stanice metra Zličín v Praze)



Obrázek 36: Odpadkové koše pražského metra jsou přizpůsobené možnosti teroristického útoku (koše jsou odolné proti výbuchu, výbuch tlumí nebo ho usměrňují ve směru nahoru)

- podstatné **rozšíření počtu vyhrazených míst** pro sezení seniorů a osob s tělesným postižením,
- **instalaci signalizace**, oznamující personálu nástup a výstup osob se sníženou pohyblivostí a případnou nutnost asistence.

Je nutné poznamenat, že se v mnohých případech nejedná o nijak levný program. Zejména **výstavba výtahů je velmi drahá záležitost**. Investiční náklady na jeden výtah lze počítat i v desítkách milionů korun. Proto se programy integrace osob se sníženou pohyblivostí realizují relativně pomalu, eventuálně se hledají mimobílanční zdroje<sup>18</sup>.

#### Zrakové postižení osob

Obdobným problémem je **přeprava zrakově postižených osob**. V tomto případě se jedná zejména o instalaci **vodících linií** a **akustických majáků**. Kritickým je možný pád zrakově postižených osob do kolejiště a jejich nástup na eskalátory, které se neobejde bez asistence personálu stanic metra.

#### BEZPEČNOST PŘEPRAVY

Jiným problémem metra je vnitřní bezpečnost dopravy. Ta je ohrožena především **na nástupišťích a na eskalátorech**. Vnější bezpečnost je ohrožena minimálně, díky prostorové segregaci provozu metra.

Bezpečnost cestujících na nástupišťích je řešena **oddělením nástupiště od tělesa kolejiště dělicí stěnou s dvěřmi**, které se otevírají až po zastavení vozové soupravy. Stěny bývají skleněné. U nás toto řešení čeká teprve na své využití, jinde ve světě se však začíná prosazovat v širokém měřítku (Londýn, Paříž, Peking apod.). Dělicí stěny vylučují i případy možných sebevražd a vražedných útoků.

Pokud se týká bezpečnosti na eskalátorech, je kritická zejména pro osoby se sníženou pohyblivostí. Ty proto dostávají **alternativní nabídku** méně kapacitních, ale o to více pro ně bezpečných **výtahů**. Výtahy slouží i matkám s dětmi a kočárky a osobám se zavazadly. Toto řešení vylučuje nejvíce ohrožené skupiny cestujících a tím řeší problém celkově.

Specifickým problémem metra je **hrozba teroristických útoků**. Metro je pro takový útok ideálním prostředím díky vysoké koncentraci osob a uzavřenému prostoru. Opatření proti terorismu nejsou předmětem této práce, je však nutné si uvědomit závažnost a souvislost tohoto tématu.

#### 1.4.5.5 DOPRAVNÍ SÍŤ

##### ÚLOHA METRA V SYSTÉMU MHD

Metro je podle zažitých schémat určeno pro páteřní / magistralní **dopravní obsluhu měst s více jak 1 milionem obyvatel, na trasách s dopravními proudy kolem 10 000 až 40 000 cestujících za hodinu** (lehké metro pro srovnání má kapacitu do 20 000 cestujících a rychlé metro až 60 000 cestujících za hodinu; viz Tabulka 4). Lehké metro je proto vhodné pro města od 300 000 do 1 milionu obyvatel a rychlé metro, jako nadřazený systém ke standardnímu metru, pro města s více jak 5 miliony obyvatel.

**Kapacita metra** se dá ovlivnit **kapacitou vozových jednotek**, jejich **počtem ve vozové soupravě** a **provozním intervalem**. **Kapacita stanic** je pak dána **délkou nástupní hrany** a pochopitelně **kapacitou šikmých tunelů** (pěší výstup, dva, tři nebo čtyři eskalátory, výstup na jednu či na dvě strany, přestup). Určitý vliv na kapacitu stanic má i rychlost eskalátorů, která je v Ruské federaci větší než v České republice.

**Přepavní rychlost**<sup>19</sup> metra se pohybuje kolem 35 km/h což je více než 20 km/h u povrchové MHD. Přepavní rychlost ovlivňuje dosahovaná provozní rychlost vozové soupravy, zrychlení a zpomalení

<sup>18</sup> dotace EU například

<sup>19</sup> **přepavní rychlostí** rozumíme rychlost s níž je cestující přepraven z bodu A do bodu B; oproti tomu **provozní**

vozových jednotek, doba čekání ve stanici a vzdálenost stanic metra. Neovlivňuje ji ostatní provoz na dopravní síti, což je problém povrchové MHD.

**Intervaly** mezi jednotlivými vozovými soupravami se pohybují v řádech několika minut až desítek minut. V Moskvě jsou ve špičce intervaly i méně jak jedna minuta (*dokonce 30 sekund*). Běžné jsou intervaly 5 - 15 minut, v dopravním sedle pak například do 30 minut. Hodinové intervaly nevysvětlí investiční účelnost metra.

**Optimální vzdálenost stanice** je do 1 km (*pěší dostupnost 300/500 m*), v Ruské federaci je průměr vzdálenosti stanic díky zahlužení až 2 km. Pokrytí území zvyšuje počet výstupů z metra. V některých městech se **v zájmu lepšího pokrytí území linky větví**. Větvení je často doprovázeno přechodem metra na povrch či nad úroveň terénu (*například New York*).

Tabulka 4: Srovnání provozních parametrů lehkého metra, standardního metra a rychlého metra (*srovnej Tabulka 5*)

|                                                     | Lehké metro         | Standardní metro          | Rychlé metro       |
|-----------------------------------------------------|---------------------|---------------------------|--------------------|
| Velikost města ( <i>obyvatel</i> )                  | 300 000 - 1 000 000 | <b>více jak 1 000 000</b> | více jak 5 000 000 |
| Přepravní kapacita ( <i>cestujících za hodinu</i> ) | do 20 000           | <b>do 40 000 (60 000)</b> | do 60 000          |
| Přepravní rychlost ( <i>km / h</i> )                | 15 - 20             | <b>20 - 40</b>            | 40 - 60            |
| Provozní rychlost ( <i>km / h</i> )                 | 60                  | <b>80</b>                 | 100 (120)          |
| Optimální vzdálenost stanic                         | do 1 km             | <b>do 2 km</b>            | 3 - 5 km           |

#### METRO V HIERARCHICKÉ STRUKTUŘE PÁTEŘNÍHO SYSTÉMU MHD MĚSTSKÉ AGLOMERACE

Metro samo o sobě **tvoří páteřní systém MHD nebo je jeho součástí**. Složitější struktury páteřních systémů se prosazují u velkých městských aglomerací.

Velké městské aglomerace své **soustavy metra strukturují hierarchicky**. Cesta metrem v New Yorku, v Londýně, v Moskvě nebo v Paříži z jednoho konce města na druhý může přesahovat i hodinu. Proto je potřebná i rychlejší alternativa. Vedle klasického metra se zavádí trasy **rychlého metra**, kde se vzdálenost stanic měří v několika kilometrech. Rychlé metro používá Paříž a Moskva. V New Yorku jsou provozovány **zrychlené linky metra** (*nezastavují v každé stanici*), provozované současně s klasickými linkami.

V některých velkých aglomeracích působí **současně klasické metro se systémem rychlé tramvaje či lehkého metra** (*Moskva, Vídeň*). Toto řešení zajišťuje dopravní obsluhu i méně vytižených směrů přepravy. V Moskvě je používána také magnetická dráha nebo tzv. mini-metro - metro spojující pouze dvě koncové stanice. Tyto systémy se však nepříliš osvědčily.

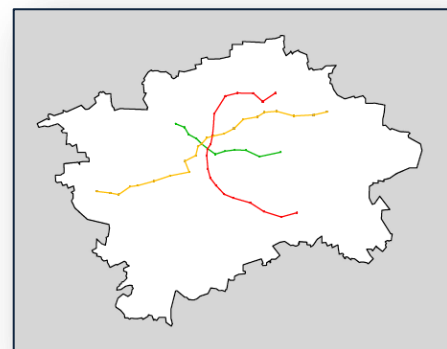
Jinde je kombinována soustava **podzemní dráhy** se soustavou **nadzemní a povrchové rychlodráhy** (*Berlín, New York*). Toto řešení zajišťuje kompaktní obsluhu intravilánu a extravilánu městské aglomerace.

Kolejová doprava v Londýně integruje do vnitřní obsluhy města i **klasickou železnici**. Tím je propojena dopravní obsluha intravilánu a extravilánu aglomerace s meziměstskou dopravou.

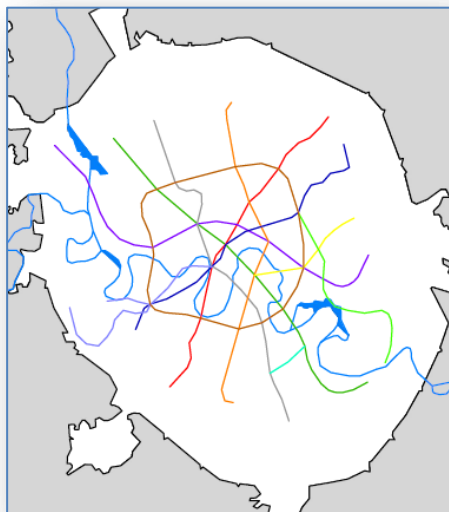
Struktura páteřního systému MHD v Praze a v pražské středočeské aglomeraci

**V Praze** je kapacita metra dimenzována na 30 000 cestujících za hodinu. Tyto zátěže jsou pro Prahu spíše výjimečnou horní hranicí. Charakter zástavby města jinými slovy předurčuje **využití**

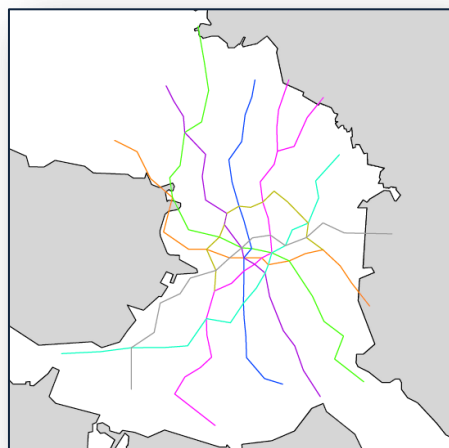
**rychlost** je rychlost již vozová souprava jede v daném místě; **maximální provozní rychlost** je rychlost vozové soupravy v místě, kde je tato rychlost nejvyšší; **návrhová rychlost** je taková rychlost na níž dimenzujeme technické řešení jednotlivých komponent metra



Obrázek 37: Síť pražského metra, složená ze tří diagonálních tras



Obrázek 38: Radiálně okružní síť moskevského metra (jedenáct tras: sedm diagonálních, dvě radiální, jedna okružní a jedna tangenciální)



Obrázek 39: Vějířovitá síť diagonálních tras petrohradského metra, doplněná o půlkruh středního okruhu (perspektivní síť)

**standartního metra v kombinaci s lehkým metrem.** Lehké metro je šancí zahuštění stávající sítě metra, protože rozvoj standartního (těžkého) metra na území Prahy vyčerpal své funkční možnosti. Další rozvoj sítě standartního metra by byl nerentabilní.

Rozvoj kolejového systému MHD na území městské aglomerace bude oproti tomu probíhat cestou **příměstské železnice**. Ta je vhodná pro páteřní obsluhu aglomerační zóny, která se rozvíjela po dobu více jak 100 let ve vazbě na železnici. Bohužel nezajistí dopravní obsluhu nedávno vzniklých satelitních prstenců, které na existující železniční tratě nebraly příliš ohled.

**Příměstská železnice** může být teoreticky **alternativou pro vnitřní dopravu ve městě** (zahuštění sítě metra), ale v Praze to není příliš pravděpodobné - díky velikosti města (maximálně jedna až dvě zastávky) a skutečnosti, že se urbanizace v minulosti spíše železničním tratím, stanicím a zastávkám vyvíjela. Smysl má toto řešení ve velkých městech, jako je Londýn, Moskva, Petrohrad či New York. V Berlíně se uplatňuje v podobě systému S-bahn.

Obdobně je pro Prahu vhodnou perspektivou provoz standartní **městské tramvaje** v centru města **v kombinaci s rychlou tramvají** na periferii města. Městská tramvaj byla se zaváděním metra z Prahy odstraňována. Tento trend se však ukázal jako nesprávný. Proto se do intravilánu města zase pomalu vrací. Rychlá tramvaj může být řešením pro území vnější zóny města a některá území za hranicí města.

Jinými slovy, perspektivou měst a městských aglomerací, podobných Praze, je správný **mix jednotlivých systémů, které v souhrnu zajistí maximální výkon, kvalitu a rentabilitu MHD**.

#### SÍŤ METRA

**Typologie sítí metra** je velmi podobná základní typologii sítí tramvají, tj. rozlišujeme sítě:

- radiální,
- diagonální,
- okružní,
- radiálně-okružní,
- šachovnicové apod.

V této teorii si však musíme uvědomit **specifické prostorové charakteristiky a limity měst**. Metra jsou páteřními systémy, proto působí v mezích prostorovým specifik a limitů svého území - naráží na ně (více než například tramvaj nebo autobus).

Ve velkých městech typu Londýn, Moskva, Paříž, Petrohrad, či například Peking apod. se uplatní **klasické radiálně okružní sítě v plném rozsahu**. Města jsou dostatečně velká a bez výrazných terénních bariér.

Pro města velikosti Prahy jsou však takové sítě spíše nereálné. Tangenciální směry na periferii nezdůvodní parametry metra a jsou proto řešeny tramvají nebo dokonce autobusem či trolejbusem. Případný okruh je jen velmi vzdálenou perspektivou, pokud by kdy vůbec měl smysl. Tj. **města kolem 1 - 2 milionů obyvatel nejsou pro plné rozvinutí radiálně - okružní sítě dostatečně velká** a zdůvodní pouze síť radiálního charakteru (diagonální linky, křížící se v centru).

Pro města typu a velikosti Prahy se v zemích bývalého socialistického tábora vyvinulo **schéma tří linek, křížících se trojúhelníkově v centru**. Trojúhelníkové schéma nejefektivněji pokrývá centrum města a rozkládá přestupy mezi jednotlivými trasami do tří oddělených přestupních stanic (oproti tomu hvězdicové schéma jen do stanice jedné, velmi přetížené). Toto schéma, jakkoliv ideologicky kritizované a zpochybňované, je základem pro vytváření sítě metra ve městech s jedním až dvěma miliony obyvatel.

Jinde použití okružních linek znemožňují **terénní limity města**. Je to případ New Yorku, například, s jeho protáhlým a úzkým Manhattanem. U dalších měst rozvinutí plného radiálně okružního systému nebo jinak pravidelného systému brání velké řeky, jezera či mořská nábřeží (Baku například), horské masivy atd.

Pro volbu správné podoby sítě metra je potřebné také znát **rozsah centrální zóny města**. Metro zajišťuje dostředné dopravní vztahy a také dopravní vykrytí center měst. V Praze je centrum relativně malé, proto se uplatní výše zmíněný trojúhelníkový model s následným zahuštěním

tangentami či větvením na konci. Naopak v Londýně se mohou uplatnit prvky šachovnicové sítě, která dobře vykrývá území centrální zóny.

#### METRO JAKO INTEGRÁTOR DOPRAVNÍ SOUSTAVY MĚSTSKÉ AGLOMERACE

Metro je **významný integrační prvek dopravní soustavy městské aglomerace**.

Je **nositelem klíčových**, zpravidla dostředných, **dopravních proudů**, je také zdrojem/cílem **návozné dopravy** (*tramvajové, trolejbusové, autobusové, ale i individuální automobilové*), zejména ve vnější zóně měst. **Propojuje nejdůležitější dopravní terminály ve městě** tj. zejména železniční a autobusová nádraží, a dále letiště, přístavy atd. Zejména v této jeho funkci je jeho integrační úloha pro město klíčová a nezaměnitelná, protože zajišťuje velký objem přestupů mezi těmito druhy dopravy ať už v kontextu města, aglomerace nebo i vnější dopravy.

Ve velkých městech tuto integraci zajišťují právě okružní linky (*Londýn, Moskva*), v menších městech tuto funkci plní radiály (*viz Praha, kde jsou nádraží a další dopravní terminály propojeny všemi třemi trasami*).

Přes veškeré své příznivé provozní charakteristiky vnáší nicméně metro do integrace systému MHD resp. integrace systému hromadné dopravy v městské aglomeraci i některé **kritické problémy**, které **funkčnost integrovaného systému jako celku narušují** nebo významně **ohrožují**.

Jedná se zejména o:

- **Nízkou prostorovou flexibilitu sítě metra:** krátkodobou i dlouhodobou, napojení některých významných uzlů (*letiště například*) je otázkou i několika desítek let
- **Vyvolávanou povrchovou dopravu:** metro potřebuje pro splnění některých svých funkcí systémy návozní dopravy, kterou území a jeho dopravní soustava samo o sobě nepotřebuje
- **Vytváření krizových situací v povrchové dopravě MHD:** metro vytváří kritické dopravní situace na povrchu svými provozními výpadky; v Praze došlo také k dlouhodobému výpadku v podobě zaplavení metra
- **Provoz metra v nočním období:** metro zpravidla není provozováno v noci, čímž v kritickém období dne chybí ve městě jeho integrační funkce
- **Technickou a tím i investiční náročnost přestupních uzlů:** přestupy z/do metra jsou prostorově a tedy i technicky a následně investičně náročné, některá technická řešení jsou fyzicky náročná pro cestující; hluboké uložení přestupních, například, prodlužuje přestupní trasy
- **Technologické limity metra ve vztahu k některým kategoriím cestujících:** metro není dobrým integrátorem MHD pro osoby se sníženou pohyblivostí, s malými dětmi, nadměrnými zavazadly, VIP osoby
- **Vysoké celkové investiční a zejména provozní náklady metra:** jednotkové náklady vedou k odčerpávání velkého objemu prostředků ze společného rozpočtu celé soustavy MHD tj. na úkor ostatních prostředků MHD; výstavba metra fakticky blokuje prostředky na rozvoj ostatních systémů
- **Odlišný způsob odbavování cestujících:** metro má odlišný způsob odbavení cestujících ve srovnání s povrchovou dopravou, zejména ve městech s turnikety je problematická integrace odbavovacího systému MHD (*v Londýně řešeno jednotnými kartami s magnetickými proužky, v Praze se prosazuje OpenCard*)
- **Organizační začlenění metra ve struktuře řízení systému MHD:** metro mnohdy nespadá pod stejného přepravce jako ostatní systémy MHD, jeho přístup k funkci integrátora dopravy bývá velmi komplikovaný a nevstřícný, což platí i pro železniční dopravu (*pro Prahu tato skutečnost naštěstí neplatí*)
- **Prostorová kompetence:** metro si chrání svou prostorovou kompetenci (*ve svém vymezeném prostoru*), nerado prostory sdílí, nerado hledá společná řešení; to komplikuje některá společná řešení - stanic, tras, dep, dispečinků apod.
- **Úzký prostor pro privatizaci infrastruktury metra:** metro je doménou veřejného sektoru, jeho spolupráce se soukromými přepravci ostatních systémů MHD je proto velmi komplikovaná a konfliktní



## METRO JAKO IMPULS ÚZEMNÍHO ROZVOJE

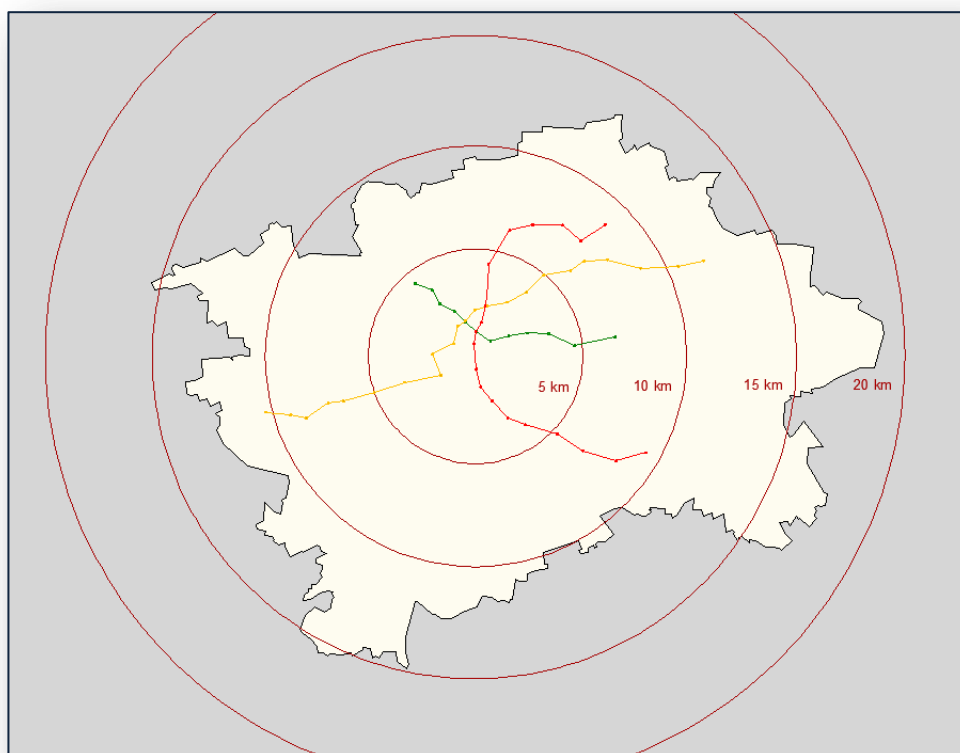
Stejně jako v případě dopravní soustavy je **metro důležitou kosterou/důležitým integrátorem území<sup>20</sup>**, zejména tím, že **zajišťuje propojení klíčových územních funkcí**. Jako jediné spolehlivě konkuruje v této oblasti individuální automobilové dopravě zejména svými výkony a rychlostí.

Díky tomu, že přepravuje velké objemy cestujících, stává se **významným podporovatelem dalšího rozvoje území**. Reálně městotvornou funkci má v podstatě pouze metro a železnice, ostatní druhy MHD takový vliv na územní rozvoj nemají.

Městotvorná funkce se týká zejména **území v nejbližším okolí stanic**. Toto území získává příznivý impuls pro svůj rozvoj díky vysoké koncentraci cestujících a díky snadné vnější dostupnosti takového území z centra města i jiných směrů. Proto u stanic metra vznikají lokální zdroje územního rozvoje, vybavené vlastní občanskou infrastrukturou tj. obchody, restauracemi apod. Kolem stanic metra se soustřeďují administrativní budovy, nákupní střediska, společenská, sportovní centra apod.

Metro je také **vhodným nástrojem decentralizace některých funkcí** městských aglomerací, umožňuje decentralizovat veřejnou správu, zóny vysoké koncentrace pracovních míst apod. Metro **umožňuje/podporuje polycentrickou strukturu území** tj. **vytváření sekundárních a terciálních center<sup>21</sup>**, která se mohou stát základem rozvoje dalšího území.

Je-li limitem MHD přepravní doba kolem 30 (od centra) resp. 45 minut (celkem), pak metro velmi účinně podporuje územní rozvoj **až na vzdálenost do 15 km resp. 20 km od centra (Praha, Berlín)**. Uplatní se nicméně s výhodou i ve městech se zástavbou až cca do 30 km od centra (cca 60 minut, Londýn, Paříž, Moskva). V případě větších územních celků (Poruří, New York, Peking, Šanghaj) je potřeba vycházet z integrační funkce rychlého metra (nebo alespoň zrychleného) nebo železniční dopravy (s vyšší přepravní rychlostí), klasické metro ztrácí v takových vzdálenostech své přednosti.



Obrázek 40: Praha s pěti, deseti, patnácti a dvacetikilometrovou zónou efektivního působení metra

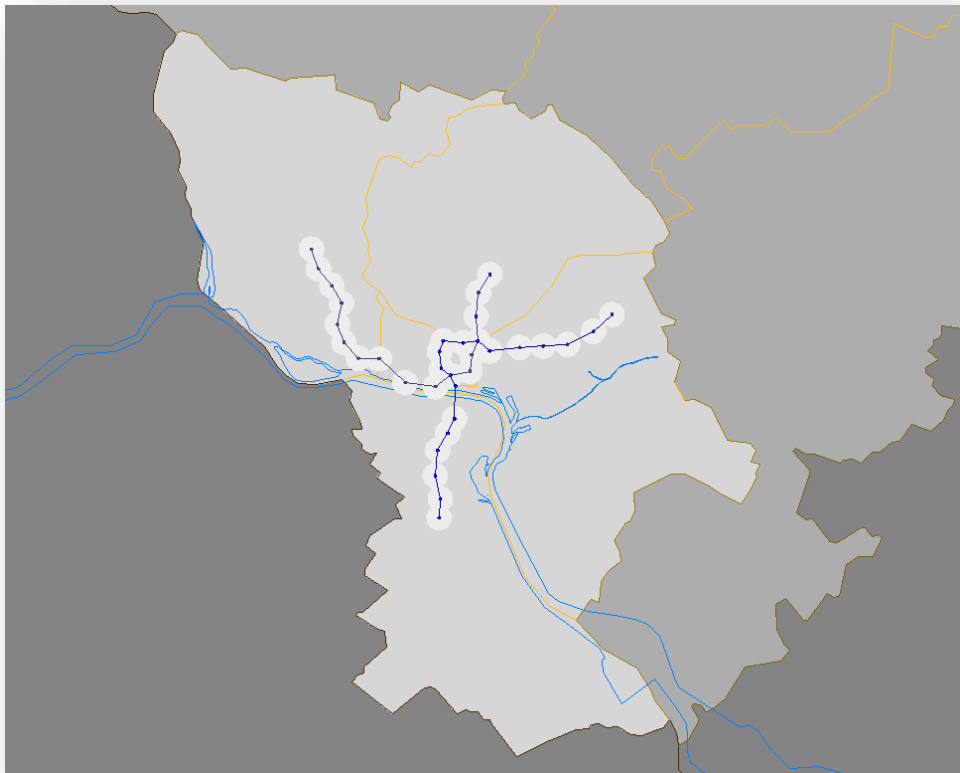
<sup>20</sup> viz model "kostra - tkáň"

<sup>21</sup> cca 5 - 10 km od hlavního centra, tj. 10 - 20 minut, na větší vzdálenosti působí obdobně železnice

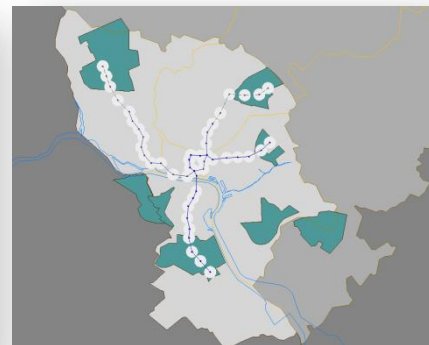
Předpokládáme tedy že:

- cca 30 km rádius od centra města je zóna možné působnosti klasického metra (*Moskva*),
- 20 km rádius od centra - zóna efektivního působení klasického metra a
- 15 km od centra - zóna optimální tj. kvalitní působnosti klasického metra.

Oproti tomu například příměstská železnice pokrývá území v rozmezí cca až do 60 km od centra. Pochopitelně, že v konkrétních podmínkách toho kterého města platí tato pravidla mírně odlišně.



Obrázek 42: Síť metra v Bratislavě podle územního plánu z roku 2002



Obrázek 41: Síť metra podle územního plánu z roku 2002 a rozvojová území



Obrázek 43: Síť metra podle územního plánu z roku 2002 a vzdálenosti od centra města

#### 1.4.5.6 PŘEDNOSTI, NEDOSTATKY, PŘÍLEŽITOSTI A RIZIKA METRA

##### PŘEDNOSTI

Přednosti metra ve srovnání s ostatními druhy hromadné dopravy:

- **Vysoká přepravní kapacita** (*nejvyšší ve srovnání s povrchovými druhy dopravy, vyjma železniční dopravy; tato přednost je současně nedostatkem, protože neumožňuje uplatnění metra na méně zatížených úsecích, metro nemůže být univerzálním řešením MHD ve městech*)
- Velmi dobrá **dostupnost cílů v centrech měst**: stanice metra se nachází v podzemí na nejméně frekventovaných místech v centru, kam jiné povrchové druhy dopravy velmi často nemají přístup
- Dobrý **integrátor dopravních soustav měst**: metro efektivně propojuje navzájem terminály vnějších druhů dopravy (*železniční a autobusová nádraží, letiště, přístavy*), nejvýznamnější územní celky, včetně centra, dopravní soustavy nižších úrovní (*tramvaje, trolejbusy, autobusy*)

- **Vysoká rychlost přepravy** (nejvyšší ve srovnání s povrchovými druhy dopravy, vyjma železniční dopravy): rychlá přeprava cestujících na delších spojích tj. z periferie měst do centra
- **Malé intervaly** mezi jednotlivými spoji: snižují dobu čekání na spoj a tím celkovou dobu přepravy, zvyšují subjektivní pocit kvality
- **Vysoká provozní spolehlivost**: metro prakticky není závislé na vnější dopravní situaci, je provozně spolehlivé za nepříznivých klimatických podmínek
- **Přijatelná kvalita přepravy** (kvalita závisí na řadě faktorů, v Praze je vnímána dobře, v Moskvě naopak velmi špatně, hlavním faktorem hodnocení je obsazenost vozových souprav, čistota, bezpečnost)
- **Reálná alternativa pro IAD** (na rozdíl od ostatních druhů MHD, vyjma železniční příměstské dopravy): zejména díky dostupnosti míst, která jsou komplikovaně dostupná pro automobily (centra měst) a díky srovnatelně vysoké rychlosti dopravy
- **Ideální prostředek kombinované dopravy**: zejména pokud je vybaveno parkovišti systému Park and Ride
- **Ochrana životního prostředí**: metro je obecně vnímáno jako vysoce ekologický druh dopravy, nevytvářející na povrchu žádné emise, prach, hluk, vibrace
- **Elektrický pohon**: elektřina je považována za ekologický zdroj energie, byť právě u metra je spotřeba elektrického proudu v přepočtu na jednoho přepraveného cestujícího a jeden kilometr nejvyšší (vyšší než u trolejbusu, tramvaje i železniční dopravy), metro není rovněž spotřebitelem obnovitelných zdrojů energie
- **Spolehlivost elektrického pohonu**: užívání náhradních zdrojů eliminuje možné výpadky elektrické energie, které jsou častější u tramvajové dopravy
- **Malé územní nároky**: metro má díky svému umístění pod zemí srovnatelně velmi malé územní nároky, což je ocenitelné zejména v centrální zóně měst, metro nevytváří prostorové bariéry, takové jako například železniční těleso
- **Stejná výška nástupiště a podlahy vozových jednotek**: usnadňuje nástup a výstup pro osoby se sníženou pohyblivostí; bohužel jediná přednost v oblasti přepravy osob se sníženou pohyblivostí
- **Bezpečnost dopravy**: metro patří k bezpečným druhům dopravy s nízkým vnějším ohrožením cestujících, rovněž vnitřní bezpečnost cestujících je relativně vysoká
- **Životnost infrastruktury**: infrastruktura metra má obecně vysokou životnost, týká se to zejména tunelů, kolejového svršku a vozových souprav
- **Únava řidičů (strojvůdců)**: strojvůdci nemusí sledovat okolní provoz na komunikacích; v některých městech je metro provozováno automaticky bez strojvůdců, což u povrchových druhů dopravy není možné
- **Zaměstnanost**: provozovatel metra nabízí velký počet relativně dobře placených a stabilních pracovních míst, rovněž výstavba metra je prostor pro zaměstnávání velkého množství dobře placených zaměstnanců
- **Komerencializace**: metro je velmi vhodným prostředím pro komercializaci (v podobě různých obchodů, kaváren a restaurací, reklamy); vhodnost prostředí pro komercializaci vychází z vysoké koncentrace dopravních proudů, které je možné odpovídající obchodní nabídkou velmi efektivně oslovit
- **Městotvorný charakter metra**: metro je silným impulsem pro rozvoj území, týká se to zejména území kolem stanic metra

#### NEDOSTATKY

Nedostatky metra ve srovnání s ostatními druhy hromadné dopravy:

- **Malá výkonová flexibilita**: klasické (těžké) metro je vhodné pro přepravní směry s vysokou přepravní kapacitou (cca 30 000 cestujících za hodinu), není proto vhodné pro méně zatížené směry, tj. nemá ve městě universální použití
- **Ryze městský charakter metra**: metro je dopravní prostředek pro města, není koncipováno pro provoz v městské aglomeraci, to je určitý problém pro rozvoj efektivního integrovaného systému městské aglomerace
- **Malá prostorová flexibilita**: metro má prakticky nulovou prostorovou flexibilitu; v případě překážky na trati se zastaví celá trasa v obou směrech a metro musí být

nahrazeno povrchovými prostředky dopravy (*i přesto je metro považováno jako provozně velmi spolehlivé*); v případě změny zástavby a poptávky na povrchu může dojít ke zmarování podzemní infrastruktury (*viz mrtvé nebo málo vytížené stanice/úseky metra*)

- **Problematické větvení tras:** větvení tras je problematické z hlediska provozního, z hlediska bezpečnosti dopravy i z hlediska provozní rentability rozvětvených úseků, tím se omezuje pokrývaný charakter dopravní obsluhy metra ve městech
- **Oblouky tratí:** v případě mělkého založení metra vyvstává problém s minimálními oblouky tratí, které nejsou srovnatelné s tramvají
- **Rozestup stanic:** rozestup stanic metra kolem jednoho kilometru a někdy i více prodlužuje pěší dostupnost systému MHD, nezřídka vyžaduje prostředky návozní dopravy
- **Horší dostupnost pro pěší na povrchu:** umístění metra pod zemí snižuje/komplikuje jeho dostupnost ve srovnání s povrchovými druhy dopravy
- **Hloubka založení metra:** metro s raženými tunely je nejen velmi drahé, ale také funkčně problematické, protože značně (*na rozdíl od hloubených úseků*) oddaluje přepravu cestujících od povrchu, jehož dopravní obsluha je ovšem určeno
- **Fyzická náročnost přestupů:** podzemní přestupy bývají velmi náročné z hlediska pěších vzdáleností a převýšení
- **Nutnost prostředků vertikální dopravy:** umístění metra pod zemí zpravidla vyžaduje užívání vertikálních prostředků dopravy, takových jako jsou eskalátory či výtahy, u mělce založených stanic jsou problematickou bariérou schodiště
- **Technologická a investiční náročnost:** klíčovou nevýhodou metra je jeho vysoká technologická a investiční náročnost, dlouhá návratnost investic, vysoké nárazové náklady na uvedení systému metra či jeho nové linky do provozu, poměrně dlouhá doba výstavby
- **V době své výstavby klade metro značné nároky na životní prostředí:** přesuny velkého množství zeminy, odstřely, hluk na staveništi, vyvolaná doprava těžké techniky
- **Těžká konstrukce vozového parku:** váha vozových jednotek vytváří velké nároky na nosnost nadzemních konstrukcí, tj. mostů a estakád, čímž možné nadzemní úseky metra značně prodražuje
- **Náročná technická správa a údržba:** metro je složitou soustavou technologických celků, jejichž technická správa a údržba je velmi náročná a drahá, drahý je provoz podzemních stanic metra, soustavy provozního zabezpečení, ventilace, provoz vertikálních prostředků dopravy, osvětlení, dohledu apod.
- **Průsaky v tunelech:** metro se v podzemí musí vypořádat s podzemní vodou a průsaky v tunelech, nekvalitní izolace a odvodnění může způsobit řadu problémů zejména v podzemních stanicích
- **Nízká provozní rentabilita:** vytváří vysoké nároky na městský rozpočet, ekonomické efekty metra jsou mimobílanční a proto komplikovaně dokladovatelné
- **Problematická podpora přepravy osob se sníženou pohyblivostí a zrakovým postižením:** metro je velmi nepřátelským prostředím pro osoby se sníženou pohyblivostí a zrakově postižené osoby, náklady pro dodatečné odstraňování bariér jsou velmi vysoké
- **Terorismus:** metro je atraktivním cílem pro teroristické útoky (*díky vysoké koncentraci osob a uzavřené prostorové koncepci*), obrana proti teroristickým útokům (*výbušniny a otravné látky*) je velmi komplikovaná a je proto spíše pasivní než aktivní (*soustavný video dohled, který s velkou pravděpodobností vede k dopadení případných útočníků*)
- **Nekonkurenční prostředí:** metro díky své složitosti a vzájemně provázané technologické koncepci prakticky neumožňuje současné působení většího počtu dodavatelů a přepravců, proto není prostředím pro volnou konkurenci, což následně vede k ne hospodárnému chování

## PŘÍLEŽITOSTI

Příležitosti metra do budoucna lze shrnout takto:

- **Lehčí formy metra a rychlé metro:** postupný rozvoj metra se bude u menších měst ubírat cestou lehčích forem jako je lehké metro, podzemní či rychlá tramvaj, u velkých



měst pak cestou rychlého/expresního metra; kombinací různých technologických forem metro lépe uspokojí potřeby městské aglomerace.

- **Integrace metra a příměstské železniční dopravy:** budoucností metra je jeho integrace s příměstskou železniční dopravou, vytváření společných přestupních uzlů, dělba práce, vzájemná spolupráce, technologická integrace apod.
- **Integrované přestupní uzly:** metro je ideálním základem pro budování integrovaných přestupních uzlů jednotného systému MHD, je také dobrým prostředím pro uplatnění prvků kombinované dopravy (IAD/MHD).
- **Méně náročné technologie:** budoucností metra musí být efektivnější technologie jeho provozu, nižší nároky na spotřebu elektrické energie, nižší nároky na provoz a údržbu
- **Investiční a provozní rentabilita:** metro musí najít rentabilnější prostředky svého rozvoje a provozu ať už v oblasti technické či organizační, musí se prosadit levnější technologie a dodavatelské modely.
- **Handicapované osoby:** metro se musí přizpůsobit potřebám přepravy handicapovaných osob, v již existující infrastruktuře musí zainvestovat odstranění vzniklých bariér, v rámci nové infrastruktury musí věnovat zvýšenou péči přepravě této kategorie cestujících.
- **Bezpečnost:** metro musí zvýšit svou bezpečnost zejména na nástupištích instalací dělících stěn mezi nástupiště a tratí, zvýšením bezpečnosti na eskalátorech a lepší ochranou proti teroristickým útokům.
- **Privatizace a konkurence:** metro musí najít prostředky pro privatizaci a volnou soutěž, která povede k vyšší investiční a provozní rentabilitě.
- **Soukromé financování:** metro je dobrým prostředím pro uplatnění efektivních modelů soukromého financování, výhodou je zejména stabilita dopravní poptávky, nevýhodou pak problematická rentabilita investic.
- **Komerencializace:** metro je ideálním prostředím pro komercializaci infrastruktury, zejména pak pro komercializaci horních vestibulů a pro umístování reklamy, pro integraci horních vestibulů s komerčně využívanými objekty obchodních středisek, administrativních budov, důležité je, aby vnější efekty metra sloužili k jeho dalšímu rozvoji.

#### RIZIKA

Hlavním rizikem rozvoje metra je především:

- **Vysoká investiční a provozní náročnost:** rentabilita investic a provozu se srovnatelnými systémy je hlavní výzvou této technologické koncepce a hlavním ohrožením její budoucnosti

#### 1.4.5.7 MODIFIKACE

Nejrozšířenější technickou podobou metra je **klasické těžké podzemní metro**. Ve světě se nicméně uplatňují i další technické/ technologické koncepce metra a sice:

- **Nadzemní metro**
- **Lehké metro**
- **Rychlé metro**
- *(Městská) rychlodráha*
- **Monorail**

#### PODZEMNÍ METRO

**Podzemní metro** je tradiční podoba metra, tak jak ho známe z Prahy, a tvoří základ pro další srovnání.

Koncepce podzemního metra vychází ze skutečnosti, že je tento systém **na celé své síti provozován pod zemí** - ať už v hloubených či ražených tunelech.

Technologie metra tomu odpovídá tj. neumožňuje resp. nepodporuje provozování metra v otevřeném tělese na povrchu. Pokud vychází metro na povrch nebo nad něj, pak je kolejové těleso



Obrázek 44: Podzemní úsek metra v Hamburku

zpravidla uzavřeno do **tubusu**, jehož hlavním účelem je **chránit provoz a technologie metra před vlivem vnějších klimatických podmínek**. Toto technické řešení se uplatnilo v Praze, kde byla na přelomu šedesátých a sedmdesátých let zvolena koncepce ruského klasického metra.

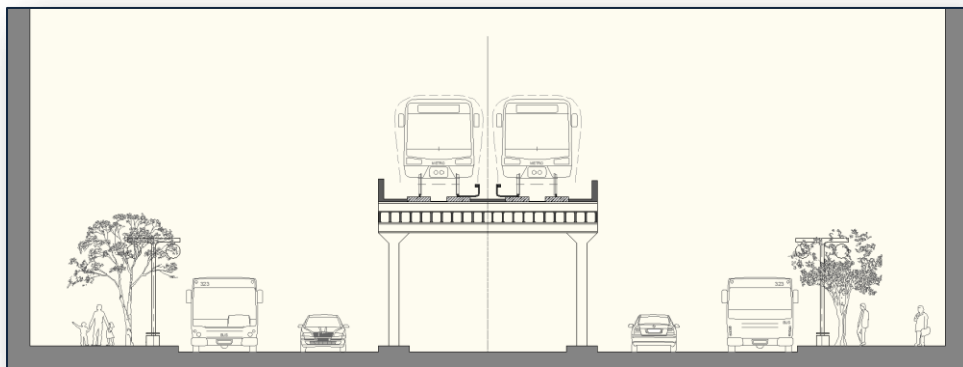


Obrázek 45: Nadzemní úseky metra v New Yorku nijak nepřispívají ke kráse okolního prostředí

#### NADZEMNÍ METRO

**Nadzemní metro** (*nadzemní dráha*) je nadzemní alternativou podzemního metra. **Zachovává si základní rys metra, a sice jeho prostorovou segregaci od ostatní povrchové dopravy**. Vychází stejně jako podzemní metro ze železniční technologie, mnohdy se jeho provoz, na rozdíl od klasického podzemního metra, s železnicí prolíná.

**Technická koncepce nadzemního metra je velmi podobná podzemní**, tj. jsou zachovány jeho základní technické a provozní parametry, které jsme popsali dříve (*stoupání, minimální poloměry, návrhová i provozní rychlost, rozestupy stanic, délka vlakových souprav, délka nástupišť, výška nástupní hrany, vnější profil vozových souprav, váha vozových souprav, uspořádání vozových souprav, přepravní kapacita, intervaly atd.*).



Obrázek 47: Nadzemní metro



Obrázek 46: Nadzemní úseky metra v Hamburku

#### S - BAHN

V německy mluvících zemích se pro pojem nadzemní metro používá označení **S-bahn** (*Stadtschnellbahn* = *městská rychlodráha*, resp. *Stadtbahn* = *městská dráha*, resp. *Schnellbahn* = *rychlodráha*).

Srovnání nadzemní metro vs. příměstská železnice

**K základním rysům nadzemního metra ve srovnání s příměstskou železnici patří:**

- **Městský charakter:** Nadzemní metro je městským systémem, vstupuje do vnitřní zástavby města, městských center apod., má proto městský charakter
- **Oddělení od železnice:** Používá se na tratích, které jsou částečně nebo zcela odděleny od tratí běžného železničního provozu, někdy bývá na trati provoz smíšený
- **Segregace:** Tratě nadzemního metra jsou důsledně segregovány od ostatní povrchové dopravy (*příměstská železnice oproti tomu připouští úrovněové přejezdy*)
- **Minimální poloměry:** Tratě mohou mít výrazně menší poloměr zatáček, než jaký je vyžadován u železnice (*srovnaj technické parametry metra a železnice*)
- **Rozestupy stanic** jsou srovnatelné s metrem, tj. cca 1 až 2 km (*což je výrazně méně než u železnice*)
- **Napěťová souprava** odpovídá napěťové soustavě podzemního metra, velmi výjimečně napěťové soustavě železnice
- **Délka souprav** i nástupišť odpovídá délce podzemního metra (*do 100 m*)
- **Váha vozových souprav** odpovídá váze souprav podzemního metra (*je tedy nižší než u železničních vozidel*)
- **Vnější profil** vozového parku umožňuje jeho použití v tunelech, jejichž profil odpovídá podzemnímu metru (*je tedy výrazně menší než u železničních vozidel*)
- **Větší počet dveří:** Vozový park je svým prostorovým uspořádáním uzpůsoben k rychlému a častému výstupu a nástupu
- **Výška nástupní hrany:** Úroveň podlahy vozidel nad temenem kolejnice odpovídá podzemnímu metru, výška nástupní hrany nástupiště odpovídá výšce nástupiště u podzemního metra (*například 1100 mm u metra, 550 mm u železnice*)
- **Interval:** Provoz se uskutečňuje v krátkém (*taktovém*<sup>22</sup>) časovém intervalu (*srovnatelném jako u podzemního metra*), příměstská doprava je provozována převážně podle jízdního řádu
- **Odbavovací systém:** Nadzemní metro má stejný odbavovací systém jako ostatní druhy MHD, byť v rámci některých systémů platí současně železniční jízdenky, velmi často se používají turnikety, dnes se prosazují magnetické karty
- **Integrace:** Nadzemní metro je provázáno s ostatními druhy MHD, existuje návozná doprava, je vybaveno přestupními uzly, parkovišti typu „Park and Ride“ apod.
- **Diagonální a tangenciální dopravní funkce:** Hlavní úlohou příměstské železniční dopravy je dovézt cestující z příměstí do centra (*má tedy dominantně radiální charakter*), nadzemní metro naopak běžně zajišťuje vnitroměstskou dopravní obsluhu (*tj. má i diagonální a tangenciální funkce*)

Srovnání nadzemní metro vs. podzemní metro

**Oproti podzemnímu metru k rysům nadzemního metra patří:**

- **Umístění nad zemí:** Na rozdíl od podzemního metra technická koncepce nadzemního metra vychází z jeho umístění na mostní konstrukci (*nejčastěji*), na viaduktu či na náspu
- **Otevřené těleso:** Těleso nadzemního metra je otevřené, výjimečně se používají hlukové stěny, metro nad zemí nebo na povrchu se shora nezakrývá, nadzemní metro je uzpůsobeno k provozu v různých klimatických podmínkách
- **Otevřené stanice:** Nadzemní metro využívá otevřených stanic s přístřešky nad nástupišti, zřídka se používají uzavřené stanice
- **Větvění:** Častěji se větví, na některých úsecích se provozuje více linek najednou
- **Rozestupy stanic** bývají stejné nebo mírně větší než u podzemního metra, ne však tak velké jako u příměstské železniční dopravy
- **Boční nástupiště:** Stanice mají zpravidla boční nástupiště, ostrovní nástupiště se používají méně často

<sup>22</sup> Taktovým intervalem rozumíme interval, který je částí (*resp. násobkem*) hodinového intervalu. To umožňuje organizovat prokládání spojů na tratích a zejména návaznost spojů (*obecně integraci osobní dopravy*).

- **Trolejové napájení:** Na rozdíl od podzemního metra může být vedle napájející kolejnice použito i trolejové napájení
- **Železnice jako provozovatel:** Nadzemní metro bývá velmi často provozováno železničními společnostmi, v takovém případě bývá často uplatňována urbanizovaná verze příměstské železniční dopravy

Oproti podzemnímu metru má nadzemní metro **mnohem větší počet technologických variací** překrývající celou škálu od rychlé tramvaje, přes klasické metro, provozované na povrchu, nejružnější formy rychlodrah, až po klasickou příměstskou železniční dopravu (*klasické podzemní metro je v tomto ohledu vyhraněnější*).

Soužití nadzemního metra s podzemním

V některých městech je **nadzemní metro kombinováno s podzemním**. V Chicagu je například 60 % metra nad zemí, 15 % metra pod zemí a zbytek na povrchu. V New Yorku je podíl podzemního a nadzemního metra opačný, tj. 60% pod zemí.

Přednosti a nedostatky nadzemního metra ve srovnání s podzemním

**Přednosti nadzemního metra** ve srovnání s podzemním:

- **Funkce metra v rozvolněné zástavbě:** Nadzemní metro se lépe vypořádává s dopravní obsluhou rozvolněné zástavby, může vycházet za hranice města na území městské aglomerace, jeho teritoriální dosah může být proto větší, nadzemní metro může v aglomeraci plnit funkci příměstské železnice
- **Povrchové úseky:** Nadzemní metro plynule přechází k provozu na povrchu, povrchové úseky výstavbu metra zlevňují
- **Větvení:** Nadzemní metro se jednoduše větví, může proto pokrýt širší území
- **Kontakt cestujících s územím:** Cestující má v případě nadzemního a povrchového metra optický kontakt s územím, jímž projíždí, pocit pohodlí cestování je v tomto ohledu větší
- **Investiční náklady:** Výstavba mostních konstrukcí je levnější a rychlejší než výstavba podzemních tunelů, nadzemní metro je proto zpravidla investičně méně náročné než podzemní metro
- **Složitost stanic:** Konstrukce nadzemních stanic je méně složitá než konstrukce stanic podzemních, velmi často nejsou používány eskalátory, stanice mívají otevřený charakter s bočními nástupišti s přístřešky
- **Ventilace a osvětlení metra:** Nadzemní metro nevyžaduje složité a provozně nákladné systémy ventilace a osvětlení podzemních staveb
- **Provozní náklady:** Obecně jsou provozní náklady nadzemního metra nižší než u podzemního metra, podstatně nižší je spotřeba elektrického proudu
- **Voda a geologie:** Nadzemní metro neřeší problémy s podzemní vodou a se záplavami, netýká se ho geologické problémy podloží, naopak se potýká s problémy větru, deště, sněhu a blesků
- **Oprava provozních parametrů a demontáž nepotřebných úseků:** Traťové poměry na povrchu se snadněji opravují a přizpůsobují novým podmínkám, nepotřebné úseky metra se standardním způsobem demontují, což u podzemního metra není možné
- **Terorismus:** Důsledky teroristických útoků jsou u nadzemního metra menší, proto je nadzemní metro pro terorismus méně atraktivní

**Nedostatky nadzemního metra** ve srovnání s podzemním:

- **Otevřená technologie** metra podléhá vlivu klimatických podmínek, hůře se chrání před vandaly, vyžaduje se zejména úklid sněhu při velkých sněhových kalamitách, problémem mohou být porывy větru, blesky, tornáda
- **Otevřené nadzemní stanice** neposkytují cestujícím takové pohodlí jako uzavřené podzemní stanice
- **Dostupnost nadzemních stanic** je pro cestující fyzicky komplikovanější než dostupnost mělkých podzemních stanic (*převýšení je paradoxně větší než u podzemního metra, platí zde stejné pravidlo jako pro nadchody a podchody*), naopak se však nadzemní stanice lépe vybavují výtahy pro osoby se sníženou pohyblivostí



- **Prostorové nároky:** Nadzemní metro má řádově větší prostorové nároky než podzemní metro, vyžaduje větší rozsah výkupu pozemků, přičemž pozemků s vysokou výkupní cenou
- **Prostorové bariéry:** Nadzemní metro vytváří prostorové bariéry pro rozvoj území podél dráhy a v okolí nadzemní stanice
- **Znehodnocení městského parteru:** Nadzemní metro znehodnocuje městský parter v okolí dráhy, mostní konstrukce a viadukty nejsou vnímány jako architektonicky přitažlivé objekty
- **Soužití s budovami na povrchu:** Nadzemní metro se hůře provazuje s budovami na povrchu, sdružování stanic s pasážemi obchodních domů, administrativních budov bývá proto méně časté než u podzemního metra
- **Hluk, prach, vibrace:** Provoz nadzemního metra vytváří hluk, prach a vibrace, které obtěžuje okolní zástavbu
- **Životnost konstrukcí a technologií na povrchu** bývá nižší než u staveb a technologií pod zemí
- **Bezpečnostní ochrana:** Ochrana nadzemních a povrchových staveb je výrazně složitější než u staveb podzemních, nadzemní metro může být jednoduše napadeno ze země i ze vzduchu, ve válečných oblastech neposkytuje dostatečnou ochranu

**Dříve nadzemní koncepce metra** byla pro města **atraktivnější**. Proto jí byla dávana přednost před složitou podzemní technologií. To je období výstavby nadzemního metra v amerických a v německých městech před druhou světovou válkou.

Dnes se však prosazuje opačný trend. Technologie výstavby podzemního metra je lépe zvládnuta než dříve, a města se brání znehodnocení svého parteru těžkými mostními konstrukcemi, hlukem a prostorovými bariérami. Proto **nadzemní metro ustupuje do pozadí a uvolňuje místo klasické koncepci metra podzemního**. Typický je v tomto ohledu vývoj metra v New Yorku, kde původní nadzemní úseky metra byly postupně přestěhovávány pod zem.

Pokud se uplatňuje koncepce nadzemního metra v centrální zóně měst dnes (*například Dubai*) má to zpravidla specifické zdůvodnění. Jinak má nadzemní a následně povrchové metro spíše uplatnění na periferii a v aglomerační zóně.

#### LEHKÉ METRO

Lehké metro je na rozdíl od tradičního těžkého metra (*odvozeného od železniční technologie*) **odvozeno od tramvajové technologie**.

Lehké metro využívá menších, lehčích a lépe manévrujících vozidel, což vede k menším a levnějším profilům tunelů, lehčím mostním konstrukcím, menším minimálním poloměřům oblouků, vyšší stoupavosti apod. Pro provoz lehkého metra se zpravidla nebudují ražené tunely, lehké metro se ukládá mělce pod zemí. Velmi často je lehké metro provozováno na povrchu nebo nad zemí (*Videň*).

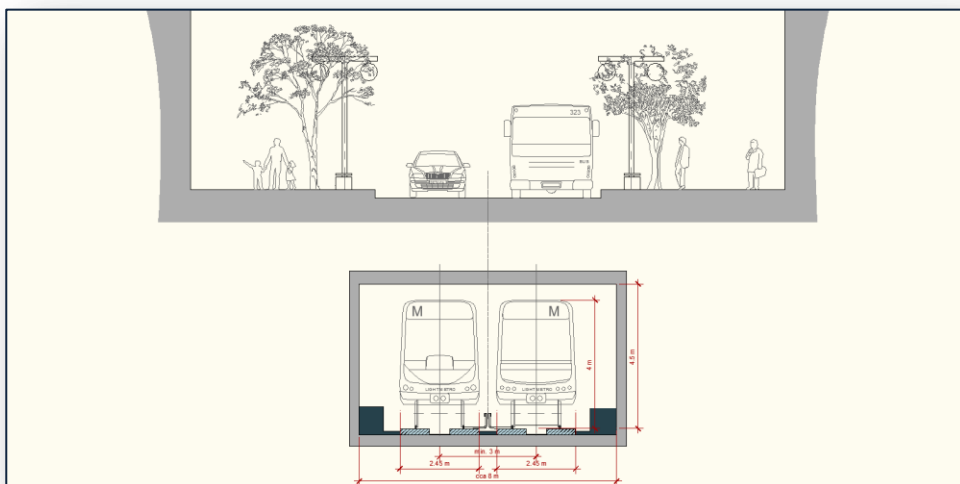
**Lehké metro je příbuzné rychlé či podpovrchové tramvaji**, ale není tramvají. Liší se zejména tím, že nemá nízkou podlahu (*využívá zvýšená nástupiště*), není napájeno z troleje (*z troleje je napájena tramvaj*), je provozováno ve vlacích o čtyřech i pěti vozových jednotkách, je provozováno v taktu tj. v pravidlených intervalech podobných metru apod. Je plně prostorově segregováno. Přestože se častěji než klasické těžké metro větví, není provozováno na linkové síti, ale na samostatných trasách, mezi kterými se na přestupních stanicích uskutečňují přestupy tak, jako tomu je u klasického metra.

Lehké metro má zpravidla **menší přepravní kapacitu** než klasické metro do 20 000 cestujících za hodinu, ale na druhou stranu má větší pokryvnost území. Mívá kratší rozestup zastávek do 1 km. Z tohoto důvodu se hodí jako **doplňkový dopravní systém k metru u měst nad 1 milion obyvatel** nebo jako **samostatný dopravní systém k městům do 1 milionu obyvatel** (*od 300 000 / 500 000 do 1 000 000*). Hodí se pro taková města, jako je Bratislava, Brno apod. Pro menší města, jako je Ostrava, Plzeň, České Budějovice apod., jsou vhodné tramvajové systémy.

#### Srovnání lehkého metra a standardního metra

K základním rysům lehkého metra ve srovnání s klasickým těžkým metrem patří:

- **Hloubka založení:** Lehké metro bývá ukládáno převážně do hloubených tunelů mělkého založení, velmi výjimečně do ražených tunelů hlubokého založení, bývá tedy blíže k povrchu, velmi často bezprostředně pod povrchem ulic, profil hloubených i ražených tunelů je menší, proto je menší objem výrubu a nižší jsou investiční náklady
- **Povrchové úseky:** Lehké metro má větší podíl povrchových a nadzemních úseků než klasické metro
- **Minimální poloměry, stoupavost:** Tratě mohou mít výrazně menší poloměr oblouku (300 m, lze však začít už u 25 - 50 m) a vyšší stoupavost (60 ‰), než jaké jsou vyžadovány u klasického metra
- **Rozestupy stanic** jsou nižší než u klasického metra, tj. cca 500 - 1 000 m
- **Délka souprav i nástupišť** bývá menší díky kratším vozům a menšímu počtu vozů ve vozových soupravách (například do 70 m)



Obrázek 48: Hloubený tunel lehkého metra (srovnej Obrázek 14)

- **Kapacita vozového parku:** Kapacita vozů lehkého metra bývá nižší než u klasického metra (například 90 cestujících); kapacita jednoho vlaku se pohybuje na úrovni 270 - 450 cestujících, což je výrazně méně než u klasického metra;
- **Přepravní kapacita:** přepravní kapacita lehkého metra se plánuje maximálně do 20 000 cestujících/h (zpravidla kolem 10 - 15 000 cestujících/h), tj. podstatně méně než u klasického metra
- **Provozní intervaly:** Provozní intervaly mohou být srovnatelné s klasickým metrem, bývají však však delší, srovnatelné s tramvají, lehké metro se však provozuje v pravidelných intervalech a ne podle jízdního řádu jako tramvaj
- **Přepravní rychlost:** Přepravní rychlost lehkého metra bývá díky nižší cestovní rychlosti, menšímu zrychlení a menšímu rozestupu stanic menší (do 20 km/h)
- **Váha vozových souprav** je nižší než u klasického metra (do 20 000 kg na jeden vůz), nižší váha vozových souprav umožňuje subtilnější mostní konstrukce
- **Vnější profil** vozového parku je mírně menší než u klasického metra, lehké metro si zachovává napájení s postranní kolejnicí čímž nevyžaduje takovou výšku tunelů jako podzemní tramvaj, menší vnější profil tunelů znamená menší výrub a proto snížení investičních nákladů (v řádu kolem 10 - 15%)
- **Výška nástupní hrany:** Úroveň podlahy vozidel nad temenem kolejnice je nižší než u klasického metra (na úrovni 900 - 950 mm), je však vyšší ve srovnání s tramvají, nepoužívá se nízká podlaha

- **Městský charakter:** Lehké metro se daleko lépe než klasické metro přizpůsobuje zástavbě na povrchu, díky mělkému založení vychází z uliční sítě města
- **Diagonální a tangenciální dopravní funkce:** Hlavní úlohou lehkého metra ve srovnání s klasickým metrem je pokrytí zastavěného území (tj. má vedle radiálních a diagonálních směrů velký podíl tangenciálních linek)

Tabulka 5: Srovnání technických parametrů lehkého metra, standartního metra a rychlého metra (orientační hodnoty v českém prostředí; srovnej Tabulka 4)

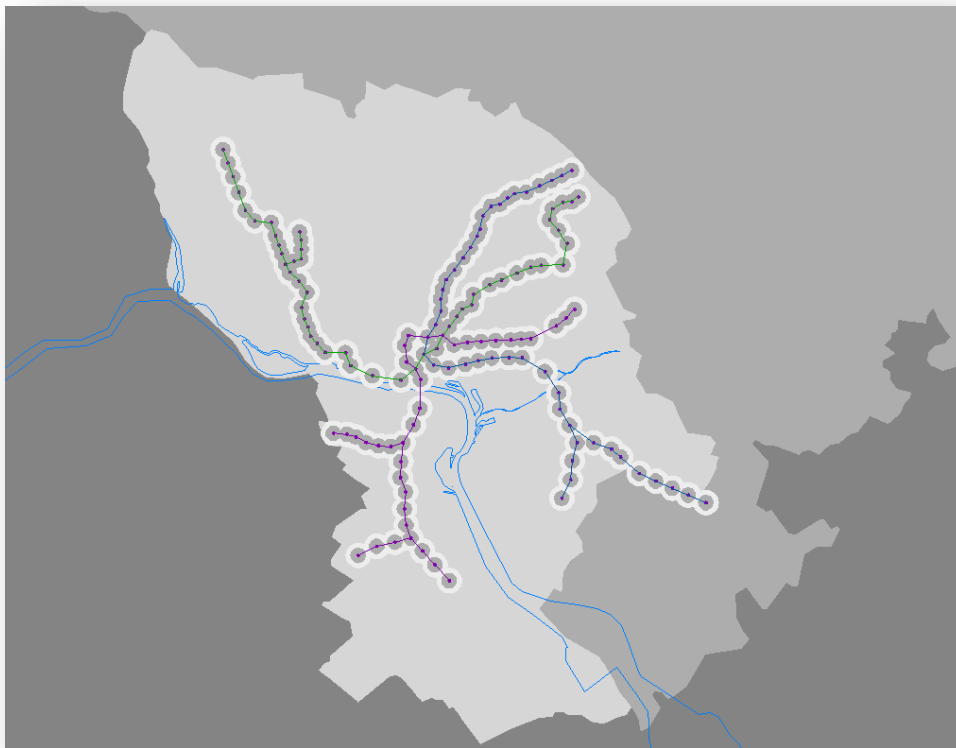
|                                                | Lehké metro          | Standartní metro          | Rychlé metro         |
|------------------------------------------------|----------------------|---------------------------|----------------------|
| Šířka jednotky                                 | 2,65 m               | 2,712 m                   | 2,712 m              |
| Výška jednotky                                 | 3,6 m                | 3,67 m                    | 3,67 m               |
| Délka jednotky                                 | 13 - 15 m            | 19,5 m                    | 19,5 m               |
| Výška podlahy nad temenem kolejnice            | 900 - 950 mm         | 1 100 mm                  | 1 100 mm             |
| Počet míst k sezení                            | 30                   | 50                        | 50                   |
| Počet míst k stání (8 osob na m <sup>2</sup> ) | 60                   | 210                       | 210                  |
| Počet míst celkem                              | 90                   | 260                       | 260                  |
| Napěťová soustava                              | 600 V / 750 V        | 750 V                     | 750 V                |
| Rozchod                                        | 1 435 mm             | 1 435 mm                  | 1 435 mm             |
| Hmotnost prázdného vozu                        | 20 000 kg            | 30 000 kg                 | 30 000 kg            |
| Minimální poloměry zatáček                     | 300 m (50 m)         | 500 m (300 m)             | 500 m                |
| Maximální stoupání trati                       | 60 ‰ (70 ‰)          | 40 ‰                      | 40 ‰                 |
| Maximální stoupání stanice                     | 15 ‰                 | 3 ‰                       | 3 ‰                  |
| Maximální provozní rychlost                    | 50 km / h            | 80 km / h                 | 110 km / h           |
| Maximální konstrukční rychlost                 | 60 km / h            | 90 km / h                 | 120 km / h           |
| Průměrná přepravní rychlost                    | do 20 km / h         | 30 km / h                 | 40 - 50 km / h       |
| Počet vozidel ve vozové soupravě               | 3 - 5                | 5 - 8                     | 5 - 8                |
| Celková délka vlaku                            | 60 - 100 m           | 100 - 160 m               | 100 - 160 m          |
| Celková přepravní kapacita vlaku               | 20 000 cestujících/h | 30 - 60 000 cestujících/h | 60 000 cestujících/h |
| Automatické řízení                             | velmi často          | občas                     | vyjimečně            |
| Průměrná cena vozu                             | 25 mil. Kč           | 45 mil. Kč                | 60 mil. Kč           |

#### Srovnání lehkého metra a tramvaje

K základním rysům lehkého metra ve srovnání s tramvajovými systémy (podzemní tramvaj, rychlá tramvaj, městská tramvaj) patří:

- **Segregace provozu:** Lehké metro je důsledně prostorově segregováno od povrchové dopravy, u tramvajových systémů není důsledná prostorová segregace podmínkou, spíše bývá výjimkou
- **Výška podlahy/nástupní hrany nad temenem kolejnice:** Lehké metro je provozováno obdobně jako metro s vyvýšenými nástupišti, proto nevyžaduje nízkou podlahu vozidel a technické komplikace s touto nízkou podlahou spojené

- **Napájecí soustava:** Lehké metro zpravidla využívá napájecí soustavy klasického metra (750 V, napájení z třetí kolejnice), není to však podmínkou (napájení z třetí kolejnice snižuje potřebnou výšku tunelů, která je u tramvajových systémů vyšší)
- **Provozní interval:** Lehké metro je provozováno v pravidelném taktovém intervalu na rozdíl od tramvajových systémů, které jsou provozovány podle jízdních řádů
- **Provozní a přepravní rychlost:** Přestože je provozní rychlost lehkého metra srovnatelná s tramvajovými systémy, je přepravní rychlost díky rozestupu stanic a důsledné provozní segregaci vyšší
- **Přepravní vzdálenost:** Přepravní vzdálenosti lehkého metra jsou vyšší než přepravní vzdálenosti tramvajových systémů díky vyšší přepravní rychlosti a většímu rozestupu stanic
- **Délka vozových souprav a přepravní kapacita:** Vozové soupravy jsou běžně složeny ze tří až pěti vozidel (ne tedy dvou až tří jako u tramvajových systémů), jejich přepravní kapacita je proto vyšší; vyšší přepravní kapacity je dosahováno navíc kratšími intervaly a vyšší přepravní rychlosti
- **Systém odbavení:** Systém odbavení cestujících je podobný metru a ne tedy odbavení cestujících v tramvajích
- **Radiální, diagonální a tangenciální funkce:** Lehké metro bývá určeno k přepravě cestujících na delší vzdálenosti, než tomu je u tramvajových systémů, proto běžně vstupuje do center měst, tangenciální tratě jsou delší a více se přimykají k centrální zóně měst, tramvajové systémy oproti tomu mají více zónový a periferní charakter, více se přizpůsobují okolní zástavbě

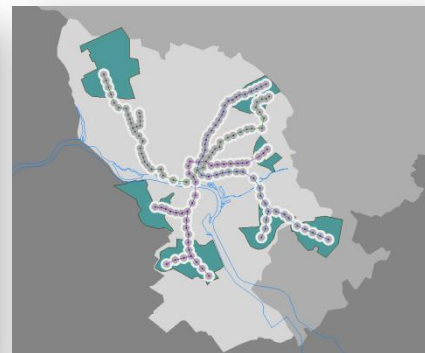


Obrázek 50: Možná síť lehkého metra v Bratislavě: dlouhodobý výhled

#### Přednosti a nedostatky lehkého metra

##### Přednosti lehkého metra ve srovnání s klasickým:

- **Investiční náročnost:** Lehké metro je investičně méně náročné než klasické metro
- **Provozní náklady:** Lehké metro je méně provozně nákladné než klasické metro
- **Vyšší účinnost a rentabilita u měst s méně jak jedním milionem obyvatel:** Lehké metro je vhodnější pro páteřní dopravní obsluhu měst s méně jak jedním milionem obyvatel,

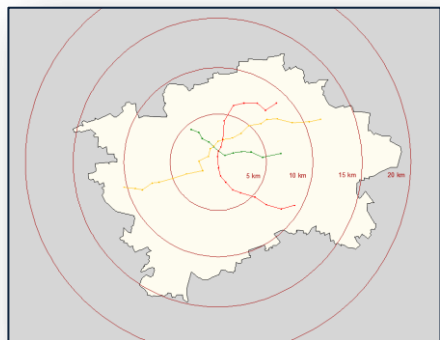


Obrázek 49: Možná síť lehkého metra v Bratislavě a rozvojová území

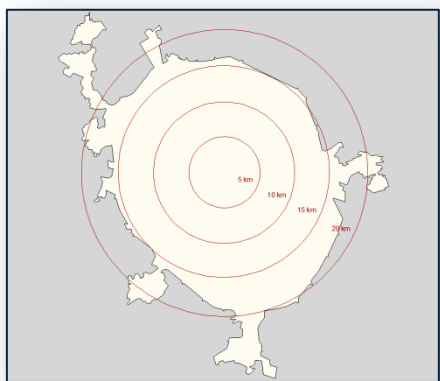


Obrázek 51: Možná síť lehkého metra v Bratislavě a vzdálenosti do centra

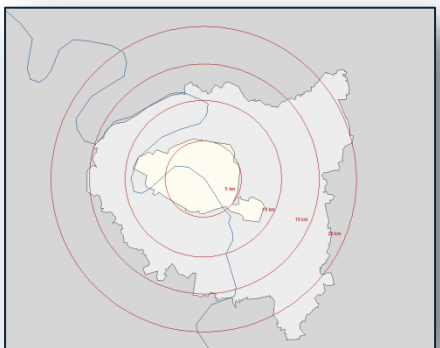




Obrázek 54: Území hlavního města Prahy (1,2 milionu obyvatel) prakticky nepřekračuje vzdálenost 15 km od centra města (dá se tak dosahovat dostupnosti centra do 30 minut bez přestupu a 45 minut s přestupem) => koncepce rychlého metra nemá opodstatnění



Obrázek 54: Území Moskvy (12 milionů obyvatel) v mezích 20 km od centra (administrativní hranice) a navíc s rozsáhlou kompaktní zástavbou za touto hranicí je vhodné pro uplatnění překryvného konceptu rychlého metra



Obrázek 54: Metropolitní území Paříže (10,2 milionu obyvatel, samotná Paříž uprostřed má 2,3 milionu obyvatel, Ile-de-France má 11,8 milionu obyvatel) se nachází přibližně v mezích do 20 km od centra (administrativní hranice) a má podobně jako Moskva rozsáhlou kompaktní zástavbu za touto hranicí; proto je toto území vhodné pro uplatnění překryvného konceptu rychlého metra

hodí se také jako vhodný doplňkový systém k těžkému metru u měst nad 1 milion obyvatel

#### Nedostatky lehkého metra ve srovnání s klasickým:

- **Rychlost:**
- **Kratší životnost technologie:** Lehké metro má kratší životnost své technologie než klasické metro, protože se odvozuje od tramvajové technologie, která je tak koncipována

#### RYCHLÉ METRO

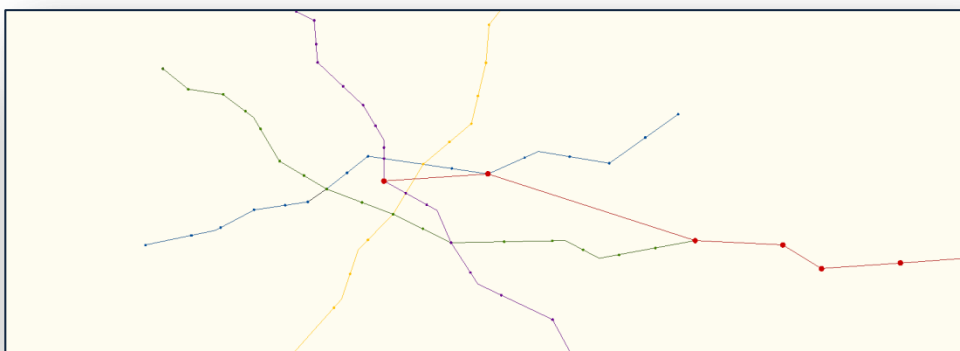
Rychlé (*expresní*) metro je kapacitní dopravní prostředek MHD, odvozený od klasického (*těžkého*) metra<sup>23</sup>, jehož smyslem je zajištění **rychlé radiální či diagonální přepravy osob v prostředí velkých měst a velkých městských aglomerací s více jak 5 miliony obyvatel**.

Cílem rychlého metra je **přeprava osob na velké vzdálenosti v přijatelných časových limitech** do 30/45 minut (tj. 20 - 30 km)<sup>24</sup> resp. 60 minut (tj. 40 - 50 km)<sup>25</sup>. Rychlé metro svého cíle vysoké přepravní rychlosti dosahuje **vysokou provozní rychlostí<sup>26</sup> a větším rozestupem stanic<sup>27</sup>**.

Rychlé metro zpravidla v překryvu **rozvíjí již vybudovanou síť klasického metra (které není svými provozními parametry schopno zajistit rychlou přepravu osob na velké vzdálenosti), nebývá proto samostatným systémem MHD, ale systémem doplňkovým, nadstavbovým**. Vedle toho, že nové trasy rychlého metra zrychlují páteřní dopravu ve městech, zpravidla také přiměřeně rozšiřují přepravní kapacitu metra na nejzatíženějších dopravních směrech. Rychlé metro vychází za administrativní hranice města do aglomerační zóny, ale pouze tam, kde je vysoká hustota zástavby. Smyslem rychlého metra je obecně provázání vzdálených území městské aglomerace s vysokou úrovní zástavby.

Rychlé metro je **provázáno s klasickým metrem prostřednictvím společných/přestupních stanic**. Stanice rychlého metra přeskakují cca tři až pět stanic klasického metra, čímž vytváří podmínky pro požadované zrychlení (viz Obrázek 55). Menší počet stanic znamená menší časové ztráty na stanicích, delší mezistaniční úseky umožňují dosažení vyšší provozní a tím i přepravní rychlosti. Zrychlení přepravy může být tak až dvojnásobné (z cca 25-30 km/h na 40-50 km/h).

Rychlé metro v čisté podobě je jen **výjimkou**, zpravidla inklinuje ke klasickému metru v podobě **zrychleného metra (New York s linkami, které některé stanice projíždí) nebo k rychlé a kapacitní formě přímětské železniční dopravy (Paříž, systém RER)**.



Obrázek 55: Ideální koncept linky rychlého metra (červená: je nadstavbou klasického metra, vstupuje bezprostředně do centra města, kříží alespoň dvě-tři linky klasického metra, má velké rozestupy stanic mezi centrem a periferií města, zajišťuje dopravní obsluhu okrajové části města)

<sup>23</sup> zpravidla jeho síť doplňuje či rozvíjí

<sup>24</sup> Radiální směry

<sup>25</sup> Diagonální směry

<sup>26</sup> V řádech kolem 80-100 km/h, přepravní rychlost kolem 40 - 50 km

<sup>27</sup> V řádech od 2 do 3 - 5 km

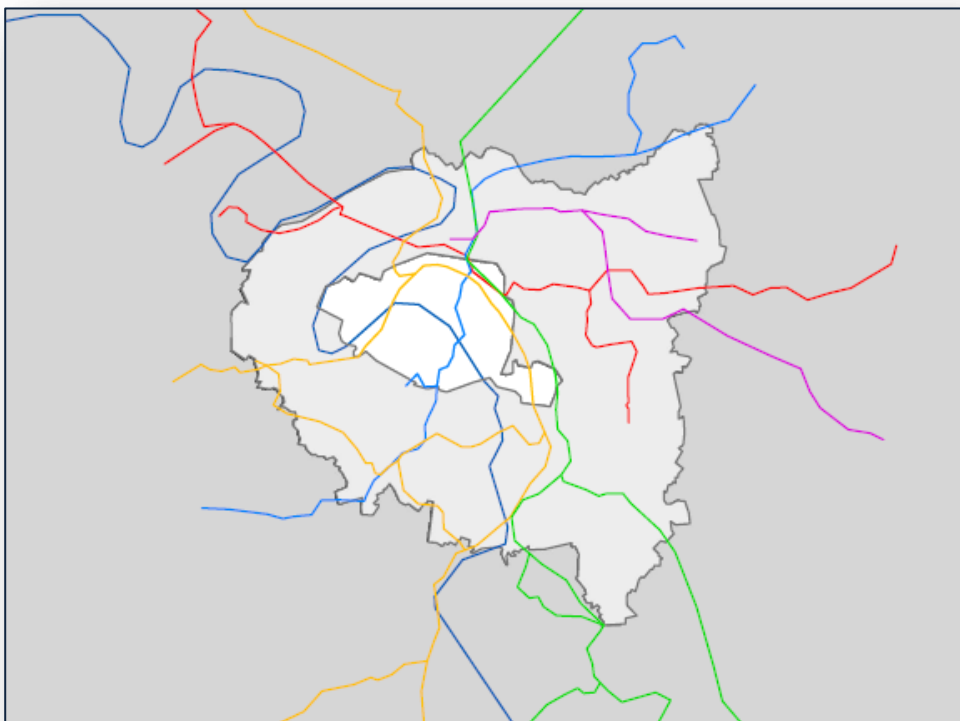
#### Příklad rychlého metra v Paříži

V Paříži bylo zavedeno **pět linek rychlého metra RER** (*Réseau Express Régional* = *Regionální rychlodrážní síť*) o celkové délce 586 km, z čehož je cca 60 km pod zemí (zbytek je veden na povrchu, zejména v rámci železničních tratí). Síť má celkem 258 stanic o průměrné mezistaniční vzdálenosti 2350 m (viz Tabulka 6). Cílem sítě je **spojení centra města s jeho vzdálenými čtvrtěmi a s hustě zastavěným příměstím**.

Síť RER je napájena pomocí pantografů. Je provozována společně pařížským dopravním podnikem a francouzskými železnicemi. Síť je tedy **přechodem mezi metrem a příměstskou železnicí**. Proto **ne úplně naplňuje koncept rychlého metra**, byť se mu svou podstatou blíží.

Tabulka 6: Základní parametry pařížského systému RER

| Linka           | Délka (km) | Počet stanic | Průměrná mezistaniční vzdálenost (m) |
|-----------------|------------|--------------|--------------------------------------|
| A (červená)     | 108,5      | 46           | 2411                                 |
| B (bledě modrá) | 80         | 47           | 1739                                 |
| C (žlutá)       | 185,6      | 86           | 2184                                 |
| D (zelená)      | 160        | 58           | 2807                                 |
| E (fialová)     | 52,3       | 21           | 2615                                 |
| Celkem          | 586,4      | 258          | 2351,2                               |



Obrázek 56: Síť pařížského systému RER vycházející daleko za hranice města (nachází se nicméně v mezích Ile-de-France, je páteří soustavou Ile-de-France)

#### Srovnání rychlé metro vs. klasické metro

**K základním rysům rychlého metra ve srovnání s klasickým těžkým metrem patří (viz Tabulka 5):**

- **Přepravní rychlost:** Přepravní rychlost rychlého metra bývá vyšší (40 - 50 km/h) což odpovídá vyšší provozní rychlosti (80 - 100 km/h)
- **Rozestupy stanic** jsou větší než u klasického metra, tj. od 2 až do cca 3 - 5 km

- **Přepravní vzdálenost** rychlého metra je podstatně vyšší než u klasického těžkého metra (*cca na úrovni 15 - 20 km, někdy i více*), nebývá však tak vysoká jako u příměstské železniční dopravy (*až do 60 km i více*)
- **Minimální poloměry, stoupavost:** Tratě rychlého metra jsou svými technickými parametry srovnatelné s klasickým těžkým metrem, blíží se však spíše parametrům vysokorychlostních železničních tratí, mohou mít, zejména na okraji zástavby, výrazně větší poloměr oblouku (*500 m a výše*) a menší stoupavost (*max 40 ‰ i méně*), než jaké jsou vyžadovány u klasického metra
- **Podpovrchové úseky:** Podíl podpovrchových úseků se pohybuje od 30 do 60% celé sítě, vedení celé sítě pod zemí je velmi výjimečné (*Moskva, Арбатско - Покровская линия 03 vs. Филевская линия 04 v úseku stanic Киевская - Кунцевская*)
- **Povrchové úseky:** Rychlé metro na periferii a v aglomerační zóně běžně vychází na povrch
- **Větvení:** Rychlé metro se velmi často větví
- **Délka souprav i nástupišť** bývá stejná nebo větší než u klasického metra díky většímu počtu vozů ve vozových soupravách (*například od 100 do 160 m*)
- **Výška podlahy/nástupní hrany nad temenem kolejnice:** Rychlé metro je provozováno obdobně jako metro s vyvýšenými nástupišti (*1100 mm*), proto nevyžaduje nízkou podlahu vozidel a technické komplikace s touto nízkou podlahou spojené; někdy je používána železniční výška podlahy/nástupní hrany (*například 550 mm*), tato výška podporuje nasazení dvoupatrových souprav
- **Kapacita vozového parku:** Smyslem rychlého metra je kapacitní rychlá přeprava osob na velké vzdálenosti velkého města a velké městské aglomerace, proto bývá zadáním vyšší kapacita vozových souprav, té se dosahuje větší délkou souprav a někdy i využíváním dvoupatrových jednotek, omezením pro použití dvoupatrových jednotek bývá profil tunelů
- **Přepravní kapacita** rychlého metra bývá tedy vyšší než u klasického těžkého metra (*až kolem 60 000 cestujících za hodinu*)
- **Provozní intervaly:** Provozní intervaly mohou být srovnatelné s klasickým metrem, bývají však delší, rychlé metro se provozuje v taktovém režimu tj. v pravidelných intervalech
- **Váha vozových souprav** je stejná nebo vyšší než u klasického metra (*tj. od 20 000 kg na jeden vůz*), vyšší váha vozových souprav a vyšší provozní rychlost vyžaduje masivnější mostní konstrukce
- **Vnější profil** vozového parku je obdobný jako u klasického metra, případně o něco větší, zejména, pokud je voleno napájení z pantografu nebo dvoupatrová konstrukce vozových souprav
- **Menší počet dveří:** Rychlé metro může mít menší počet dveří než klasické metro, záleží na tom je-li blíže koncepci metra nebo příměstské železniční dopravy
- **Napájecí soustava** buď vychází ze systému napájení klasického metra (*750 V, třetí postranní kolejnice*) nebo ze systému napájení železnice (*napájení pomocí pantografů, napěťová soustava železnice*)
- **Systém odbavení** variuje mezi systémem běžným pro klasické metro a pro příměstskou železniční dopravu
- **Diagonální a radiální dopravní funkce:** Rychlé metro je určeno pro zajištění radiálních směrů, výjimečně jsou protilehlé radiální trasy propojeny do diagonální linky

Srovnání rychlé metro vs. nadzemní metro resp. příměstská železnice

**K základním rysům rychlého metra ve srovnání s nadzemním metrem a příměstskou železnici patří:**

- **Segregace provozu:** Rychlé metro je stejně jako klasické metro důsledně prostorově segregováno od povrchové dopravy, u příměstské železnice není důsledná prostorová segregace podmínkou
- **Podpovrchové úseky v centru:** Potřeba a myšlenka rychlého metra je novějšího data, proto se v centru měst rychlé metro umísťuje pod povrch a ne na povrch či nad zem, důvody (*možné znehodnocení zástavby centra*) byly vysvětleny v souvislosti s prezentací koncepce nadzemního metra

- **Povrchové a nadzemní úseky na periferii a v aglomerační zóně:** Naopak na periferii a v aglomerační zóně bývá rychlé metro velmi často vedeno na povrchu či nad zemí, nadzemní úseky řeší potřeby důsledné prostorové segregace provozu rychlého metra od provozu ostatní povrchové dopravy
- **Segregace tratí rychlého metra a železnice:** Rychlé metro bez ohledu na svou technickou a technologickou koncepci si zachovává provozní oddělení od železniční dopravy, platí to i tehdy, když je trať vedena v souběhu se železniční tratí; naopak příměstská železnice je vedena na tratích železniční sítě
- **Městský charakter tratí rychlého metra, městský charakter vozového parku:** Rychlé metro si zachovává městský charakter, proto prochází zastavbou města a nevyhýbá se jí, přestože mohou mít vozové jednotky rychlého metra menší počet dveří, než tomu je u vozových jednotek klasického metra, zachovávají si městský charakter a také pokud možno vnější (tj. *menší než železnice*) profil

#### Soužití rychlého metra s klasickým metrem a příměstskou železnici

Rychlé metro je svou technickou a technologickou podstatou méně vyhraněné než klasické metro. Koncepce rychlého metra **technicky variuje mezi klasickým metrem a příměstskou železnici**. Velmi často s oběma systémy spolupracuje:

- **V centru města** je vedeno pod zemí s tím, že je vybaveno průběžnými i přestupními stanicemi obdobného charakteru, jako má klasické metro, přičemž přestupy jsou stejné nebo obdobné, jako mezi jednotlivými linkami metra, je snaha používat stejný odbavovací systém a nezaplatněný přestup
- **Na periferii města a v aglomerační zóně** je rychlé metro vedeno na povrchu v souběhu se železniční tratí s tím, že průběžné a přestupní stanice jsou obdobné stanicím příměstské železnice, ideální je přímý přestup mezi rychlým metrem a příměstskou železnici, ideální je také obdobný odbavovací systém za předpokladu, že železnice přejde na systém odbavení MHD
- Pokud se v centru chová rychlé metro jako klasické metro **není** na periferii a v aglomerační zóně **provozně spojené se železnici**, trať je sice vedena v souběhu, ale není s železniční tratí propojena, už proto například, že se zpravidla liší napěťová soustava
- V podmínkách přechodu od metra k příměstské železnici je vhodné hledat **společného provozovatele**

#### Přednosti a nedostatky rychlého metra