

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ v Praze**  
**Fakulta dopravní**

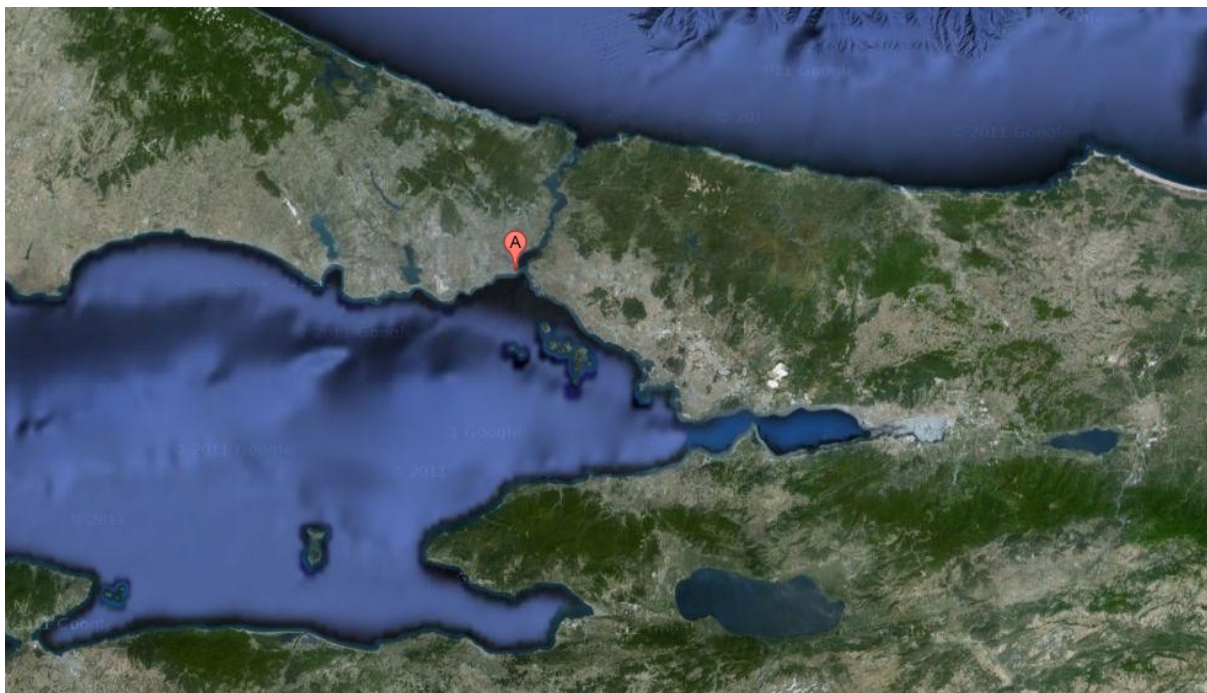


**Tunelové spojení pod Bosporem**  
**(Projekt Marmaray)**

**Semestrální práce z předmětu**

**Vysokorychlostní tratě**

Projekt Marmaray má za cíl propojit železničním tunelem pod Marmarským mořem evropskou a asijskou část Istanbulu. Zároveň dojde i k novému železničnímu propojení Evropy a Asie v trase starobylé Hedvábné stezky. Dojde také k modernizaci celé železniční sítě v Istanbulu. Výstavba byla zahájena v roce 2004 s plánovaným dokončením v roce 2013. Přesněji se jedná o 2-kolejný tunel, který bude společný pro městskou, příměstskou a dálkovou železniční dopravu a navíc také pro metro, a návaznou povrchovou dopravu.



Obrázek 1 - Poloha Istanbulu na mapě [6]

Jméno projektu, Marmaray, vzniklo složením dvou řeckých slov. Marmara jako Marmarské moře a ray, které znamená kolej.

## Obecně o projektu

Úplně první nápad propojit Istanbul železničním tunelem pod Istanbulskou úžinou vznikl v roce 1860. Avšak kvůli hloubce v úžině a tehdejším technickým možnostem byl plán neproveditelný. Od té doby bylo navrženo mnoho projektů, avšak žádný z nich nebyl realizován.

Současný projekt začal vznikat koncem 90. let minulého století. Stávající stav železniční infrastruktury nevyhovoval svými cestovními dobami a tak bylo potřeba přijít s něčím novým.



## Technické údaje

- celková délka: 73 km
  - z toho v tunelu: 13,6 km
- největší hloubka: 56 m pod hladinou moře
- rozchod: 1435 mm
- trakce: 25 kV AC
- maximální podélný sklon: 18 ‰
- minimální poloměr: 300 m
- počet podzemních stanic: 3
- maximální rychlost: 100 km/h
- průměrná rychlost: 45 km/h
- nejmenší interval: 2 min

## Problémy při stavbě

Prvním problémem je hloubka Istanbulské úžiny do které bude železniční tunel zapuštěn.

Druhý problém je, že stavba se nachází v oblasti, kde dochází k častým zemětřesením. Poslední silnější zemětřesení v této oblasti z roku 2011 dosáhlo hodnoty 5,9 Richtera a vyžádalo si 79 obětí. Projektanti si proto pozvali na pomoc inženýry z Japonska a z amerického San Franciska, kteří mají s touto problematikou zkušenosti. Stavba byla proto navržena tak, aby vydržela nejsilnější zemětřesení, které by mohlo v této oblasti nastat. Podle výpočtů by to mělo být zemětřesení o síle 7 Richtera, které by mělo nastat během 30 let s pravděpodobností 77 %. Pod stavbou je proto prováděna injektáž betonové kaše pro zpevnění půdy. Všechny díly a spoje jsou voděodolné a vodotěsné. Tubusy tunelů jsou flexibilní, což jim umožňuje průhyb při zemětřesení bez popraskání konstrukce.



Obrázek 3 - Následky zemětřesení v Turecku [1]

Třetím problémem jsou historické budovy v centru města. Výstavba musí probíhat tak, aby tyto budovy nebyly poškozeny. Na toto dohlíží místní úřady. Stavba navíc musela být trasována tak, aby se vyhnula historickým podzemním dílům (kanalizace, vodojemy, katakomby).

## **Způsob stavby**

Výstavba by se dala rozdělit do 3 částí. Výstavba podmořské části tunelu, výstavba podzemních tunelů a výstavba stanic.

### **Podmořská část**

Podmořská část tunelu se staví pomocí potápění tunelových sekcí. Napřed je nutno v mořském dně vytvořit rýhu 12 m hlubokou, do které se potom umístí jednotlivé sekce. Celkově bude potřeba vytěžit 1000000 m<sup>3</sup> materiálu. Vzhledem k hloubce úžiny mohou vykonávat tuto práci pouze 2 stroje. Plovoucí rypadlo a speciálně upravená sací loď.

Plovoucí rypadlo je vybaveno mohutnou lžící o objemu až 23 m<sup>3</sup>. Někdy mám tyto lžice 2. Odtěžování materiálu tímto způsobem je velmi spolehlivé a navíc rypadlo je schopno těžít z velkých hloubek. Nevýhodou je, že s větší hloubkou klesá objem vytěženého materiálu na jeden záběr. Pro jeho provoz je navíc potřeba remorkér a nákladní člun pro vytěžený materiál.

Dalším strojem je speciální loď označovaná TSHD, která je určena pro přepravu sypkého materiálu. K tomu je vybavena speciálním zařízením, které ze dna odsává těžný materiál a ten je čerpán do lodi. Loď dokáže pojmout 17000 m<sup>3</sup> materiálu a je schopna těžít do hloubky 70 m. Výhodou je její mobilita a nepotřebnost dalšího stroje. Nevýhodou je nemožnost pracovat v blízkosti břehů v malé hloubce a v tvrdších materiálech.

Po vytěžení materiálu ze dna je možno začít ukládat části tunelu. Podmořská část bude tvořena dvoutubusovými segmenty. Tunel bude složen z 11 segmentů. Jeden segment měří na délku 130 m a váží 18000 tun. Jejich výroba probíhá v suchém doku. Po dokončení betonářských prací se segment vodotěsně uzavře a následně se dok zaplaví vodou. Poté je za pomoci 4 remorkérů dovečen na místo určení a následně potopen. Po dokončení jsou segmenty zasypány.



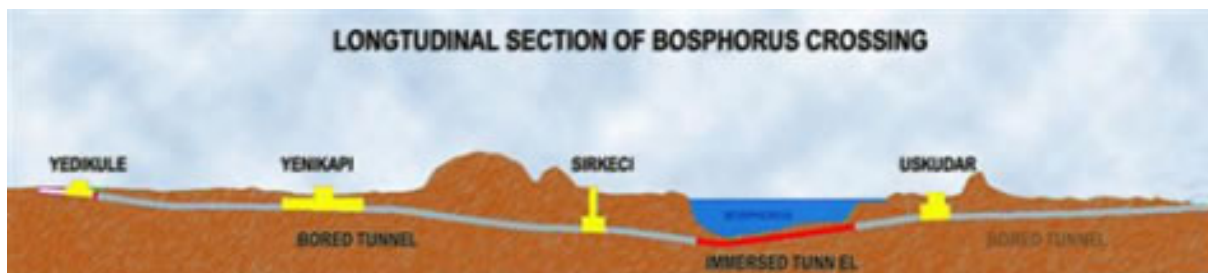
Obrázek 4 - Stavba segmentu tunelu v suchém doku [1]

### **Podzemní část**

Podzemní tunely budou tvořeny 2 jednokolejnými tunely, které budou navzájem propojeny po 200 m. Ty budou sloužit pro servisní služby a zároveň i jako záchranné v případě nehody. Tunely budou raženy pomocí tunelovací TBM. Z obou stran od koncových stanic budou postupovat tunelovací stroje. V případě změny profilu tunelu nebo nevhodné horniny, bude použito NRTM nebo odstřelu. Nejtěžším úkolem bude přesné napojení tunelovacích strojů do již umístěných segmentů na dně moře.

### **Stanice**

V projektu figuruje celkem 40 stanic. 37 stanic bude povrchových a stávající stanice budou rekonstruovány. Také vzniknou 3 nové podzemní stanice. Všechny stanice budou mít ostrovní nástupiště. Počítá se s provozem souprav až s 10 vozy, nástupní hrana bude mít proto 225 m. Nejdůležitější stanicí se stane nově zbudovaná podzemní stanice Yenikapi, na evropské straně Istanbulu. V této stanici bude umožněn nástup do všech druhů vlaků. Bude zde i možnost přestupu na metro a povrchovou dopravu (tramvaj, lehká tramvaj).



Obrázek 5 - Výškové vedení tunelu [1]

## Zpoždění

Při výkopových pracích byl objeven starověký přístav se zachovalou galeonou. Práce na místě proto musely ustát a čeká se až archeologové objevy odkryjí a přemístí do muzea. To však potrvá dlouhou dobu. Dojde tedy ke zpoždění projektu. Místo plánovaného otevření 29. října 2013 se předpokládá, že tento termín se posune na 18. května 2015.

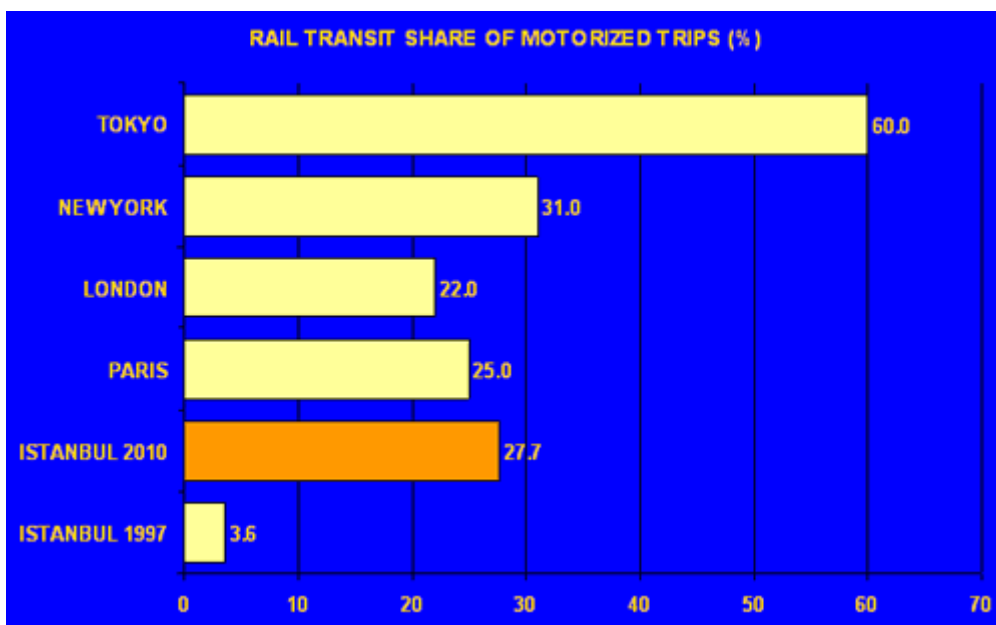
## Po dokončení

V současnosti trvá cesta mezi okrajovými stanicemi Halkali a Gebze více jak 3 hodiny. Navíc je mezi stanicemi Sirkeci a Haydarpasa potřeba použít trajekt. Po dokončení projektu zabere cesta 1 hodinu a 45 minut.

Bylo spočítáno, že v roce zahájení provozu bude celkově ušetřeno na cestovních dobách 13 mil. hodin. V roce 2025 bude ušetřeno až 36 mil. hodin.

Díky projektu Marmaray se zvýší podíl železniční dopravy na všech vykonaných cestách. V Istanbulu v 1999 tento podíl činil 3,6 %. V roce 2010, po uvedení některých povrchových částí projektu do provozu, podíl činil 27,7 %.





Obrázek 6 - Podíl železniční dopravy na celkové [1]

Očekává se také zvýšení počtu cestujících a počtu denních cest. Odhaduje se, že v roce 2015 bude denně vykonáno 1 500 000. V roce 2025 se má tato hodnota zvýšit o dalších 200 000 cest. Předpokládaná maximální hodinová kapacita pro rok 2015 je 65 000 cestujících.

Po dokončení celého projektu se nejdůležitějšími stanicemi stanou nově vybudované Yenikapi (evropská část) a Üsküdar (asijská část). V obou stanicích bude cestujícím umožněn přestup na autobusy, trajekt, tramvaje a lehkou železnici.

Podle tvůrců projektu bude tunel navíc mimo dopravní špičky sloužit i pro nákladní dopravu.



## Použité zdroje

- [1] *Marmaray* [online]. 19.09.2004 [cit. 2012-01-08]. Marmaray. Dostupné z WWW:  
<<http://www.marmaray.com/index.asp>>.
- [2] *Wikipedia* [online]. 07.01.2012 [cit. 2012-01-08]. Marmaray. Dostupné z WWW:  
<<http://en.wikipedia.org/wiki/Marmaray>>.
- [3] *Wikipedia* [online]. 13.10.2011 [cit. 2012-01-08]. Marmaray. Dostupné z WWW:  
<<http://de.wikipedia.org/wiki/Marmaray>>.
- [4] *Silnice-Železnice* [online]. 23.11.2008 [cit. 2012-01-08]. Marmaray. Dostupné z WWW:  
<<http://www.silnice-zeleznice.cz/clanek/dva-kontinenty-se-spoji-diky-zeleznici/>>.
- [5] *Railway technology* [online]. 2011 [cit. 2012-01-08]. Marmaray. Dostupné z WWW:  
<<http://www.railway-technology.com/projects/marmaray/>>.
- [6] Google [online]. 2011 [cit. 2012-01-08]. Istanbul. Dostupné z WWW:  
<<http://maps.google.com/>>.

## Fotodokumentace



Obrázek 6 - Doprava segmentu na místo uložení [5]



Obrázek 7 - Plovoucí segment [2]



Obrázek 8 - Lod' TSHD [1]



Obrázek 9 - Speciální sací zařízení [1]



Obrázek 10 - Plovoucí rypadlo [1]



Obrázek 11 - Vizualizace stanice Üsküdar [1]