

# **Ekonomická efektivnost vysokorychlostní osobní dopravy na trase Praha-Brno**

**Bakalářská práce**

**Vedoucí práce:**

**Ing. Bc. Martin Machay, Ph.D.**

**Petr Šlapal**

**Brno 2017**



Tímto bych rád poděkoval hlavně vedoucímu své bakalářské práce Ing. Bc. Martinu Machayovi, Ph.D. za veškerou pomoc, poskytnutí cenných rad, a zvláště otevřený přístup, díky kterému mohla tato práce vzniknout. Mé díky patří také Ing. Vojtěchu Olbrechtovi za jeho zvláště užitečné rady a doporučení k investičním modelům. Děkuji také své rodině a přátelům, kteří mi byli oporou.



## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto práci: **Ekonomická efektivnost vysokorychlostní osobní dopravy na trase Praha-Brno**

vypracoval/a samostatně a veškeré použité prameny a informace jsou uvedeny v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů, a v souladu s platnou *Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací*.

Jsem si vědom/a, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 Autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity o tom, že předmetná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne 22. května 2017

---



## **Abstract**

ŠLAPAL, P. *Economic efficiency of high-speed passenger transport on Prague-Brno route*. Bachelor thesis. Brno: Mendel University, 2017.

This bachelor thesis describes the concept of high-speed passenger transport on Prague-Brno route. In the first part of the thesis the theoretical background within the world context is characterized. The second, research part compares the economic efficiency of selected variants, firstly from the view of an investor of the infrastructure, secondly from the view of a carrier. Based on the calculations, the most appropriate variant is stated and finally necessary steps to implement the chosen project are advised.

## **Keywords**

High-speed transport, economic efficiency, high-speed rail, Maglev, Hyperloop, alternative means of transport.

## **Abstrakt**

ŠLAPAL, P. *Ekonomická efektivnost vysokorychlostní osobní dopravy na trase Praha-Brno*. Bakalářská práce. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2017.

Tato bakalářská práce pojednává o konceptu vysokorychlostní osobní dopravy na trase Praha-Brno. V první části práce jsou charakterizovány teoretická východiska vysokorychlostní osobní dopravy ve světovém kontextu. Ve druhé, výzkumné části je porovnávána ekonomická efektivnost vybraných variant, na kterou je pohlíženo nejprve ze strany investora infrastruktury a poté ze strany dopravce. Na základě výpočtů je stanovena nejvhodnější varianta a na konec doporučeny kroky potřebné k realizaci vybraného projektu.

## **Klíčová slova**

Vysokorychlostní doprava, ekonomická efektivnost, vysokorychlostní trať, Maglev, Hyperloop, alternativní způsoby dopravy.





# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>Cíl práce a metodika</b>	<b>12</b>
2.1	Cíl práce.....	12
2.2	Metodika.....	12
<b>3</b>	<b>Teoretická východiska</b>	<b>13</b>
3.1	Vysokorychlostní osobní doprava.....	13
3.1.1	Vysokorychlostní železniční trať (VRT).....	13
3.1.2	Maglev.....	18
3.1.3	Hyperloop.....	21
3.2	Aktuální situace osobní dopravy na trase Praha-Brno.....	24
3.2.1	Silniční osobní doprava na trase Praha-Brno.....	24
3.2.2	Vlaková osobní doprava na trase Praha-Brno.....	25
3.3	Vysokorychlostní osobní doprava na trase Praha-Brno.....	25
<b>4</b>	<b>Vlastní práce</b>	<b>27</b>
4.1	Posouzení a výběr variant.....	27
4.2	Analýza celkových nákladů vybraných variant.....	28
4.2.1	VRT.....	28
4.2.2	Hyperloop.....	28
4.3	Návratnost investice.....	32
4.3.1	VRT.....	32
4.3.2	Hyperloop.....	35
4.3.3	Porovnání a hodnocení investičních variant.....	37
4.4	Byznys plán.....	39
4.4.1	Orientační výpočet jízdného.....	39
4.4.2	Investiční návratnost.....	42
4.4.3	Porovnání a hodnocení investičních variant pro dopravce.....	46
<b>5</b>	<b>Doporučení</b>	<b>47</b>

<b>6</b>	<b>Závěr</b>	<b>48</b>
<b>7</b>	<b>Literatura</b>	<b>50</b>
<b>8</b>	<b>Seznam obrázků</b>	<b>55</b>
<b>9</b>	<b>Seznam tabulek</b>	<b>56</b>

# 1 Úvod

Železnice. Pokud by nebyla, nefungovaly by tak propracované dodávky munice při druhé světové válce, a ta mohla skončit dříve. Adolf Hitler by nejspíše neměl možnost jiné, efektivnější varianty pro velkokapacitní převoz lidí, a tak nemuselo být transportováno tolik lidí do Osvětimi, či jiných koncentračních táborů, kde miliony nevinných lidí shledaly téměř jistou smrt. Při snaze propojit bělochy osídlené východní pobřeží Severní Ameriky s rozvíjející se Kalifornií na západě, nemusely při stavbě železnice o život přijít tisíce dělníků a téměř vyhlazeno původní obyvatelstvo – Indiáni. Ovšem také bychom jako lidstvo nejspíše nebyly tam, kde jsme. Právě železnice spolu s parním strojem přispěly k velké průmyslové revoluci, a tak zásadně změnily fungování hospodářství a několikanásobně snížily cestovní dobu v osobní dopravě.

Po téměř dvou stoletích fungování železniční dopravy však stojíme na prahu dopravní revoluce, která obecné smýšlení o zarytých způsobech dopravy může existenciálně změnit. Otázkou však je, zda se vydáme cestou pomalého, stabilního, ovšem po dekády prověřeného způsobu rozvoje stávající železniční dopravy – stavbou vysokorychlostní železniční tratě (VRT), či cestou rychlého, průlomového, ovšem svojí nadčasovostí poněkud odvážného způsobu přeměny celého systému.

Tato bakalářská práce na tuto otázku neodpoví, zhodnotí však efektivnost vybraných alternativ a doporučí nejlepší z nich. Až toto doporučení může sloužit k rozhodnutí, zda se vydáme cestou *evoluce* či *revoluce*.

## 2 Cíl práce a metodika

### 2.1 Cíl práce

Cílem této bakalářské práce je ekonomické posouzení efektivnosti konceptu vysokorychlostní osobní dopravy na trase Praha-Brno.

### 2.2 Metodika

Práce bude rozdělena na dvě části. V první části bude v souvislosti s cílem práce provedena literární rešerše k získání přehledu o existujících alternativách vysokorychlostní osobní dopravy v evropském i světovém kontextu. Charakterizovány budou též existující i zvažované alternativy na trase Praha-Brno.

Ve druhé, výzkumné části bude provedena ekonomická analýza vybraných variant. Na jejich efektivnost bude pohlíženo ze dvou pohledů. Nejdříve ze strany investora infrastruktury (stát), následně ze strany dopravce provozující vlastní vozový park za účelem zisku. Z pohledu investora infrastruktury se bude jednat o *výpočet návratnosti investice*, z pohledu dopravce o *byznys plán*, přičemž bude využito standardních nástrojů posuzování investičních záměrů. Druhá část práce tak bude směřovat k naplnění cíle práce a zodpoví výzkumnou otázku: „Je koncept vysokorychlostní osobní dopravy na trase Praha-Brno ekonomicky efektivní?“.

## 3 Teoretická východiska

V této části bakalářské práce bude postupně popsán a charakterizován obecný koncept vysokorychlostní osobní dopravy a jeho existující i koncepční alternativy. Následně bude analyzována aktuální dopravní situace osobní dopravy na trase Praha-Brno a blíže představena státem projednávaná vysokorychlostní trať pro tuto trasu. Poznatky získané z této části práce poslouží jako podklad k návrhu nejefektivnějšího způsobu dopravy na trase Praha-Brno projednávané ve druhé (výzkumné) části bakalářské práce.

### 3.1 Vysokorychlostní osobní doprava

V současné době existuje několik typů vysokorychlostní osobní dopravy. Některé jsou již ve světě hojně využívané, další existují zatím pouze ve stádiu koncepce a zvažování jejich realizace. Tyto varianty budou podrobně popsány v následujících odstavcích. Nejčastěji realizovanou variantou je *vysokorychlostní železniční trať (VRT)*, právě které je věnována následující podkapitola.

#### 3.1.1 Vysokorychlostní železniční trať (VRT)

Světová historie vysokorychlostních tratí se začala psát již v roce 1960, kdy Francouzské dráhy jako první na světě představily vysokorychlostní osobní vlak „Le Capitole“ Paris s maximální rychlostí 200 km/h. První trať s primárním účelem vysokorychlostní dopravy byla otevřena v roce 1964 v **Japonsku** mezi městy Tokio a Osaka (Tokaido), obsluhovaná vlaky Shinkansen s maximální rychlostí 220 km/h (Kindersley, 2014). Trať se vlastním provozem splatila po 7 letech a další zisky z ní plynoucí byly použity na rozšíření traťové infrastruktury po celé zemi. V současnosti je v provozu celkem 3 041 km tratí (UIC, 2017), spojující 4 japonské ostrovy, a tak vytvářející ucelenou dopravní infrastrukturu, která zajišťuje dostupnost většiny částí země v relativně krátkém čase. Komerční atraktivitu Shinkansenu potvrzuje i fakt, že ve špičce dosahuje časový interval mezi jednotlivými spoji pouhých 2 minut (Japan Railway, 2017). I proto je velký důraz kladen na vysokou přesnost odjezdů. Pro ilustraci, v roce 2012 zpoždění žádného spoje nedosáhlo více než 12 sekund (Estler, 2013). I přes hojnou využívanost, již tyto později dostavěné úseky nejsou zdaleka tak ziskové, aby dokázali pokrýt vlastní provozní náklady, natož náklady investiční (Feigenbaum, 2013).

Obdobným evropským průkopníkem, jako Shinkansen v Japonsku, bylo TGV (= Train á Grande Vitesse) ve **Francii**. První vysokorychlostní trať v Evropě propojila dvě francouzská města Paris a Lyon v roce 1981 a obdobně jako Tokaido znamenala značný technický a komerční úspěch, který zajistil splacení investičního dluhu v rámci dekády (Rutzen a Walton, 2011). Počáteční úspěch a atraktivita vedla k expanzi VRT sítě po celé zemi, s aktuálními 2 142 km (UIC, 2017) a do roku 2025 plánovaných celkem 4 161 km vysokorychlostních tratí. Obdobně jako tomu bylo v Japonsku, nově zprovozněné úseky, i přes silnou komerční atraktivitu, však

již ziskové nejsou. Dle Burnettové (2009) jsou dokonce tyto dva úseky VRT (To-kaido a Paris-Lyon) pouze jediné ziskové na světě. Francouzský systém TGV později expandoval i na tratě v Belgii, Německu, Itálii a Švýcarsku.

Úspěšným rozvojem VRT ve Francii bylo silně motivováno i **Německo**, v důsledku čehož se zahrnutím Článku 87 do německé ústavy stala železniční doprava vládní odpovědností (Heike, 1994). Německá VRT, známá jako ICE (= Inter City Express), se od Francouzské VRT tratě v mnohém liší. Z důvodu rozdílné poptávky (kombinující nákladní a osobní dopravu) a husté populace, první ICE operovali zejména na modernizovaných konvenčních tratích, které se vyznačují častějšími zastávkami a přestupními uzly, na rozdíl od Francie, kde centrum sítě tvoří Paříž a jednotlivé stanice jsou pouze ve větších městech. Důsledkem je delší průměrná cestovní doba pro stejnou vzdálenost v porovnání s Francií. Tyto první tratě, v provozu od roku 1991, byly navrženy pro nižší rychlosti (maximálně 250 km/h), nicméně nové, stavěné v posledních 15 letech, jsou již výhradně VRT (s maximální rychlostí 300 km/h). ICE operují i v okolních zemích, a to v Nizozemí, Belgii a Švýcarsku.

Dalším následovatelem bylo **Španělsko**, které zprovoznilo svoji první VRT zvanou AVE (= Alta Velocidad Española) v roce 1992 na trase Madrid-Sevilla. Členitost a rozložení obyvatelstva je obdobné jako ve Francii, a tedy i podobný systém sítě s centrálním uzlem v Madridu. S 2 871 km (UIC, 2017) má Španělsko aktuálně nejdelší síť VRT v Evropě a po Číně druhou nejdelší na světě. Dle Petermana (2009) Španělsko od roku 2003 investuje více financí do železniční dopravy než do silniční. Vláda tak přislíbila vystavění celkem 10 000 km tratí do roku 2020, tak aby 90 % obyvatelstva bylo vzdáleno do 50 km od nejbližší vlakové stanice (Tremlett, 2009), oproti momentálním 40 % (Rutzen a Walton, 2011). Nicméně současná konzervativní vláda spolu se zvyšující se cenou primárních materiálů a nízkou ekonomickou výkonností ostatních tratí tyto ambice spíše nepodporují a většinu nových projektů pozastavují (Feigenbaum, 2013). Opak lze však opět tvrdit o komerční oblíbenosti a přínosům. Díky VRT se podařilo snížit cestovní vzdálenost mezi hlavním městem a Sevilou či Barcelonou o více než polovinu a také podporu v rozvoji malých a středních měst. Například ve městě Ciudad Real na trase Madrid-Sevilla se díky VRT, a tedy relativně nižší vzdálenosti od hlavního města zvýšil počet obyvatel o 15 % (Rutzen a Walton, 2011).

V prosinci 2009 **Itálie** slavnostně otevřela kompletní trať spojující sever a jih země, konkrétně z Turína do Salerna s celkovou délkou více než 900 km. V roce 2012 na trh, vedle státního dopravce Trenitalia, přistoupil soukromý dopravce NTV, čímž se Itálie stala první zemí na světě s dvěma konkurujícími dopravci využívající VRT v jedné zemi. Železniční infrastruktura je plně kombinovaná, což znamená, že ji mohou využívat jak vysokorychlostní, konvenční ale i nákladní vlaky. VRT se přisuzuje pouze 5 % podíl na celkové dopravě, což značí vysokou kvalitu (pomalejší o pouhých 20-30 %) a nízkou cenu právě konvenčních vlaků, využívající stejné, či paralelní tratě.

Nezanedbatelnou součástí evropské VRT sítě je také **Belgie a Nizozemí**. Právě Belgie jako první z Evropských zemí dokončila vlastní (border-to-border) VRT síť,

a tak kompletně propojila její hlavní město s okolními státy (Nizozemím, Německem, Francií a Velkou Británií), a tím přispěla k celistvosti evropské VRT sítě. V Nizozemí jediná VRT trať vede z hlavního města skrze jednu z nejhustěji osídlených oblastí v Evropě jižně právě do Belgie, a tím dokáže zprostředkovat tuto službu 40 % obyvatel Nizozemí.

**Čína** rozvíjí nejrozsáhlejší síť VRT na světě za účelem odlehčení poptávky po stávající přetížené konvenční síti jak pro osobní, tak i nákladní dopravu. Dále zkvalitnění dopravního spojení mezi jednotlivými regiony země, a tím i podpoření ekonomiky zejména chudších regionů. V roce 2008 čínská vláda oznámila ambiciózní cíl o vystavění 16 000 km VRT do roku 2020. Již nyní je v provozu téměř 24 000 km a přes dalších více než 10 000 km je ve výstavbě (UIC, 2017). K prozatím jediným, dříve zmíněným, ziskovým trasám se nedávno připojila i trasa spojující dvě největší ekonomická a nejvíce osídlená města Peking-Šanghaj, která díky více než 160 milionům cestujícím ročně překročila ekonomický bod zvratu a stala se rentabilní (Minter, 2016).

Nyní, když již známe způsob fungování VRT ve světě, můžeme si je shrnout, jak Feigenbaum (2013) uvádí, do následujících čtyř kategorií:

- **Výhradně VRT**  
Typickým příkladem je Japonsko, kde je vystavěna výhradní trať pouze pro vysokorychlostní Shinkansen.
- **Smíšené VRT**  
Příkladem je TGV ve Francii, jehož systém obsahuje jak výhradně VRT, které obsluhují pouze vysokorychlostní vlaky, tak i modernizované konvenční tratě, které dokáží obsloužit jak vysokorychlostní, tak i běžné konvenční vlaky.
- **Smíšené konvenční**  
Ve Španělsku existují výhradní VRT tratě, které ovšem dokáží využít i konvenční vlaky vybavené systémem pro změnu rozchodu. Naopak konvenční tratě (s nestandardní šířkou rozchodu) mohou využívat pouze klasické konvenční vlaky.
- **Plně smíšené**  
Příkladnou zemí pro tento model je Německo, kde je většina tratí přizpůsobena jak vysokorychlostním, konvenčním, tak i nákladním vlakům.

Z tohoto výčtu se může zdát, že čím univerzálnější trať, tím lepší a praktičtější. Ovšem vyšší univerzálnost přináší různá negativa spojená s vyššími náklady na stavbu (dodatečných paralelních tratí sloužících pro čekání pomalejších vlaků na předjetí vlaku rychlejšího), údržbu, vyšší vytíženost (či přetíženost) a většinou i nižší povolenou rychlost pro vysokorychlostní vlaky, které tak nedokáží využít svůj plný potenciál.

Dle Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 1315/2013 ze dne 11.12.2013 jsou železniční tratě pro vysokorychlostní železniční dopravu:

1. Zvláště postavené vysokorychlostní tratě vybavené pro rychlost 250 km/h nebo vyšší
2. Zvláště modernizované konvenční tratě vybavené pro rychlosti přibližně 200 km/h
3. Tratě zvláště modernizované pro vysoké rychlosti se zvláštními vlastnostmi danými topografickými, terénními nebo urbanistickými omezeními, jimž musí být rychlost v každém jednotlivém případě přizpůsobena

Pro lepší pochopení, je však třeba VRT posuzovat jako komplexní celek, kombinující více rozdílných oborů. Mezinárodní železniční unie (UIC, 2015) přináší následující shrnutí:

- Infrastruktura (zahrnující inženýrské práce, trať, signalizace, napájení a trolejové vedení atd.);
- stanice (umístění, vybavení atd.);
- vozový park;
- operace (řízení, plánování, quality management atd.);
- údržba;
- financování;
- marketing;
- management;
- právní otázky a předpisy.

UIC (2015) dále zdůrazňuje nutnost vzájemné provázanosti těchto složek. Pouze jejich kombinace se následně může podílet na kvalitativním a kvantitativním zvyšování technické úrovně a komerční atraktivitě VRT. Finální systém je však vždy jedinečný, založený na sociálních a ekonomických požadavcích dané lokality. Konečný vliv VRT, jeho přínosy a nedostatky lze však poměrně jednoduše a racionálně zobecnit. UIC (2015) shrnuje výhody do dvou následujících kategorií:

- Výhody pro cestující  
Vyznačující se hlavně vysokou *rychlostí* a s tím spojenou *kratší dobou cesty*, *frekvencí spojů*, *spolehlivostí* a *plynulostí* (fungující nezávisle na vlivech počasí a okolní dopravy), snadnou *přístupností* (centrum-centrum), *komfortem* (pohodlí, prostor, možnost pohybu) a *bezpečností* (více než 14krát bezpečnější než automobilová doprava (NSC, 2011)).
- Výhody plynoucí pro společnost  
VRT dokáže obsloužit velké množství lidí, snižuje tedy vytížení a nápor na ostatní způsoby dopravy, využití krajiny je efektivnější (3krát méně plochy



nutné na km v porovnání s dálnicí), menší produkce škodlivých emisí (8krát menší ve srovnání s automobilovou dopravou stejného počtu cestujících (Techmagazin.cz, 2011)).

Důležitý je také vliv na růst HDP (výstavba trati a výroba vozového parku) a ekonomický rozvoj měst. Dle Rydera (2012) například městu Lleida VRT přineslo růst turismu o 15 % a další růst nových oborů průmyslu.

Výše zmíněné výhody jsou působivé, ovšem k některým z nich existují i oponující argumenty, shrnuté níže:

- **Ekologické a environmentální faktory**

Samotný provoz VRT je energicky méně náročný s nízkými emisemi škodlivin. Je třeba však pohlížet i na proces výstavby a následné nutné údržby tratě, které samy o sobě vyžadují obrovské energetické zdroje a s nimi spojené emise škodlivin. EPA (2014) uvádí, že energetické úspory z provozování VRT vyrovnají energetické výdaje výstavby až po 5 letech. Toto tvrzení však předpokládá, že energetická úspornost alternativních způsobů dopravy se v průběhu této doby nezlepší (což je spíše nepravděpodobné). V případě, že se v průběhu této doby zvýší energetická efektivita alternativních způsobů dopravy o 30 %, doba vyrovnání se prodlouží na 30 let. Obecná životnost VRT se však považuje právě 30-40 let, po které je nutná velmi, finančně i energeticky, nákladná rekonstrukce. Na základě tohoto tvrzení by tedy k téměř žádné energetické úspoře díky využívání VRT nedošlo.

- **Ekonomický rozvoj**

Samotná příprava a výstavba je příležitostí pro vznik mnoha krátkodobých pracovních pozic. Avšak z dlouhodobého hlediska, jak GAO (2009) poznamenává, jsou tyto ekonomické přínosy možné přisoudit pouze pro oblasti v blízkosti samotné VRT infrastruktury, pro vzdálené oblasti, či z národního hlediska se jedná pouze o přesun nebo relokaci zdrojů.

Otázkou, zda z výhod růstu pracovního trhu a cest za účelem práce dokáže profitovat národní ekonomika jako celek, se zabýval Sir Eddington (2006), který došel k závěru, že výše zvýšené účinky jsou v rozvinutých ekonomikách s dobře vyvinutou infrastrukturou poměrně limitovány. Dle Eddingtonovi studie, zabývající se VRT mezi Londýnem a Skotskem, by nepřinesla výrazné ekonomické přínosy z důvodu již dobře vyvinuté nízkonákladové letecké dopravy.

- **Náklady a návratnost investice**

Náklady lze rozdělit do dvou kategorií: náklady na infrastrukturu (zahrnující stavbu a údržbu tratě) a operační náklady (práce, energie apod.). Prozatím pomineme přesnou výši těchto nákladů, kterým se podrobně budeme věnovat ve výzkumné části této práce, jelikož jsou velmi specifické pro každý projekt (v Evropě jsou průměrné náklady na stavbu dle UIC 13-33 mil. USD/km). Proto je také samotné plánování předpokládaných výdajů velmi obtížné a může docházet k poměrně značným odchylkám. Toto dokazuje například studie vý-

stavby více než 250 dopravních projektů (z čehož 58 železničních), kdy skutečné náklady přesáhly predikce o průměrných 45 % (Flyvbjerg a kol., 2002).

Operační náklady silně závisí na počtu provozovaných vlaků, které mohou být relativně výrazným výdajem, pokud existuje nedostatečné množství cestujících, generujících příjmy. S tím je tedy spojena důležitost správné a co nejpřesnější predikce počtu cestujících. Studie zkoumající 27 železničních projektů zjistila, že u 90 % případů byly předpokládané počty cestujících nadhodnocené. U 67 % byly nadhodnocené dokonce o dvě třetiny (Flyvbjerg a kol., 2006).

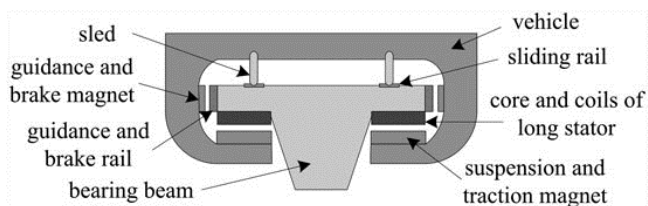
### 3.1.2 Maglev

Maglev (zkráceně z magnetic levitation) je vysokorychlostní jednokolejný dopravní prostředek využívající magnetickou levitaci k vlastnímu pohybu. Nevyužívá žádná kola, nápravy, ani elektrické vedení nad tratí, místo toho využívá speciální systém magnetů a lineárních motorů, díky kterým se pohybuje těsně nad tratí. Tím snižuje tření, vedoucí k větší efektivitě, nižšímu hluku a mnohem větší rychlosti, v porovnání s VRT. Jeho rychlost není teoreticky omezená, avšak prakticky ji limituje spotřeba energie a aerodynamický odpor. Ten je však hypoteticky možné eliminovat v tubusech zbavené vzduchu až na úroveň vakua. Tímto by se rychlost mohla zvýšit na mnohem vyšší úroveň, Zhigang a kolektiv (2015) tento případ nazývají jako „super-Maglev“.

Ač se jedná o teprve vyvíjenou, či již využívanou Maglev technologii, vždy sdílí základní fyzikální zásady magnetické přitažlivosti, fungující na magnetické odpudivosti (severní póly magnetů směřují proti sobě) nebo magnetické přitažlivosti (opačné póly magnetů jsou přitahovány k sobě). V praxi může být využívána jak pouze jedna z nich, tak i kombinace obou. Tímto se také liší dva druhy současně užívaných technologií:

- Německá technologie (Transrapid)

Vývoj započatý již v 70. letech minulého století se, jako na nejlepší variantu, zaměřil na systém fungující na magnetické přitažlivosti, odborně *elektromagnetické suspenzi* (EMS), kdy elektronicky ovládané elektromagnety umístěné na záchytném mechanismu vlaku ve tvaru „C“, jsou přitahovány k magneticky vodivé, obvykle ocelové, trati, jenž je ve tvaru „T“, obecně z bezpečnostních důvodů nadzemní. Stabilizační funkci pak vykonávají boční vodící magnety spolu s komplexním elektronickým stabilizačním systémem. Tento mechanismus, zajišťující konstantní levitaci přibližně 1 cm nad tratí, naznačuje následující obrázek.

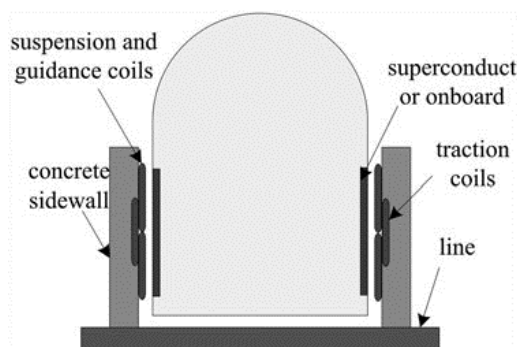


Obr. 1 Způsob fungování Maglevu Transrapid  
Zdroj: Maglev Trains: Key Underlying Technologies, 2015

Hlavní výhodou EMS je, že funguje i při nízkých rychlostech, a tedy není třeba zvláštního nízko-rychlostního systému (kola, sekundární pohon). Poměrnou nevýhodou může být nestabilní povaha EMS, jež je však korigována zmíněnými stabilizačními systémy.

- Japonská technologie (MLX)

Japonská technologie je založená na *elektrodynamické suspenzi* (EDS), která kombinuje magnetickou přitažlivost i odpudivost. EDS využívá supravodivé elektromagnety nebo silné permanentní magnety umístěné na vozidle, které po dosažení dané rychlosti (kolem 150 km/h) indukují cívky umístěné po stranách vodící dráhy ve tvaru „U“. Tato interakce způsobuje levitaci (10-15 cm nad tratí) a zároveň stabilizuje směr jízdy vlaku.



Obr. 2 Způsob fungování Maglevu MLX  
Zdroj: Maglev Trains: Key Underlying Technologies, 2015

Hlavní výhodou japonské technologie je přirozená stabilita díky velmi malé vzdálenosti mezi magnety a tratí, a tak silnou magnetickou interakcí, která zajišťuje automatickou korekci vozidla do původní polohy. Jakékoliv odchýlení je ihned korigováno přitažlivou či odpudivou magnetickou silou, což potlačuje nutnost složitějšího elektronického stabilizačního systému. Na druhou stranu vyžaduje dodatečné vybavení pro nižší rychlosti, ve kterých je magnetická síla nedostatečná a neumožňuje levitaci. Z tohoto důvodu je nutné, aby byl vlak vybaven koly či jinou formou podvozku.

Kromě několika testovacích tratí, se komerčního využití dočkal zatím pouze jediný projekt. Německý Transrapid po 3 letech výstavby zahájil svou činnost v roce 2003 v Číně, na šanghajské trase z Longyang Road, Pudong na letiště Pudong (Wey a kol., 2010). Jak zmiňuje Boardman (2005), tato 30,5 km dlouhá trať prokazuje vysokou dostupnost a spolehlivost. Funguje v každodenním provozu rychlostí až 431 km/h, časovou přesností 99,98 % a zatím bez jakékoliv závažné nehody. Náklady se ovšem díky kombinaci více faktorů (první instalace, nutnost dovozu všech součástí projektu z Německa, náročný časový plán apod.) relativně zvýšily. Celkové náklady na projekt byly 1,2 mld. USD (=40 mil. USD/km). Projekt se stal ekonomicky návratný až v roce 2006, kdy počet cestujících dosáhl 4 mil./rok, dostačující k pokrytí provozních nákladů. Ty až z dvou třetin tvoří spotřeba energie, zvláště díky příliš krátké délce této tratě. I proto Transrapid International-USA (2007) deklaruje tuto trať spíše jako demonstrativní a až po dostavění a napojení dalších plánovaných tras, s předpokládanými nižšími náklady až o 30 %, může vykonávat skutečnou přepravní funkci.

Japonský Maglev MLX funguje prozatím pouze na testovací trati v japonské prefektuře Yamanashi. Po úspěšném testování této 42,8 km dlouhé tratě, v roce 2007 Central Japan Railway Company (JR Central) navrhlo propojit města Tokyo-Nagoya-Osaka (cca 500 km) vedle VRT Shinkansen také pomocí této technologie Maglev. Současnou dobu přepravy dlouhou 142 minut (Tokaido Shinkansen) by navrhovaný Chuo Shinkansen Maglev zkrátil na méně než polovičních 67 minut. Za účelem finanční stability projektu financovaného privátní společností JR Central je stavba rozdělena do dvou fází. První fáze (Tokyo-Nagoya) má být dokončena v roce 2027 a v roce 2045 dokončena fáze druhá (Nagoya-Osaka), tak aby již v tomto 18 letém intervalu dokázala první fáze generovat příjmy. I díky nutnosti stavby první fáze až z 86 % v podzemí (v Tokiu až 40 m pod zemí z důvodu velmi husté, již existující, podzemní dopravy), či v tunelech (hornatý region), se předpokládané náklady na stavbu vyšplhají až na 70 mld. USD (175 mil. USD/km). Transport Policy Council Chuo Shinkansen Subcommittee (2011) však zdůrazňuje ekonomické přínosy, které mají v prvních 50 letech vyrovnat investiční náklady právě 70 mld. USD. JR Central (2012) navíc doplňuje významnost tohoto projektu v době nutné rekonstrukce Tokaido Shinkansenu (po 50 letech fungování), v průběhu které nastane zrušení velké části spojů.

Obecné výhody a nevýhody systému Maglev můžeme shrnout následovně:

- **Výhody**

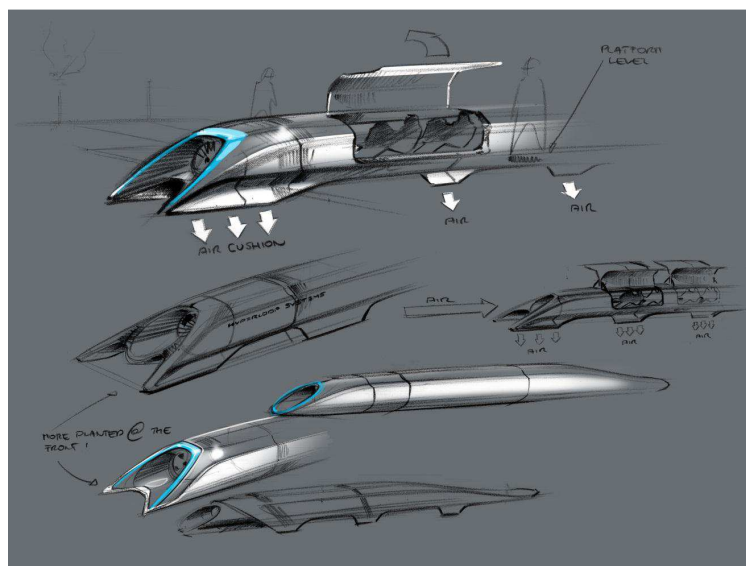
Kromě obecných výhod vysokorychlostní dopravy zmíněné v kapitole VRT, Maglev je díky své technologii energicky efektivnější a tím má i nižší provozní náklady; díky relativně tiššímu provozu a nadzemní konstrukci je ekologičtější; přináší mimořádný komfort pro cestující. Hlavním faktorem je však vyšší rychlost, v závislosti na použité technologii až 500 km/h.

- **Nevýhody**

Mezi možné nevýhody lze zařadit nízkou flexibilitu oproti například smíšené VRT, tedy fixaci tratě na danou technologii; možnost plného využití potenciálu pouze na delších tratích; vysoké náklady. Právě poslední zmíněné jsou hlavním nedostatkem technologie Maglev, které brzdí jeho masovější rozmach nejvíce. Odhadované náklady s nadzemním provozem jsou 50-100 mil. USD/km v závislosti na členitosti terénu. Boardman (2005) však argumentuje, že přestavba konvenčních tratí na VRT může být v některých případech tak náročná, že se nákladům na výstavbu Maglevu může přiblížit či v některých případech je i překročit. Inženýři JR Central odhadli, že totožná trasa Tokio-Osaka by při použití technologie Maglev v porovnání s výstavbou klasické VRT byla dražší pouze o 20-30 %.

### 3.1.3 Hyperloop

Možné řešení výše zmíněných nedostatků přináší nová dopravní technologie, kterou v srpnu 2013 představil Elon Musk v open-source studii zvané Hyperloop Alpha. Ta podrobně popisuje technické a ekonomické aspekty této technologie, která má být rychlejší a levnější než klasické způsoby dopravy (vlaková, automobilová, letecká, lodní). Hyperloop si lze představit jako super-Maglev (zmíněný výše), ovšem fungující s mírně odlišnou technologií. Jak ji Musk (2013) popisuje, jedná se o tubus se sníženým tlakem vzduchu, ve kterém se pohybují levitující kapsle pro předpokládaných 28 osob rychlostí až 1220 km/h. Podobnost s Maglevem je v užití pohonné technologie, která využívá lineární indukční motor, který slouží jak k akceleraci, tak i brždění kapsle. Super-Maglev bere v úvahu tubus zbavený vzduchu na úroveň vakua. Z důvodu velkého objemu vzduchu nutného k odsátí, by vytvoření vakua bylo extrémně nákladné. Proto Musk počítá pouze se sníženým tlakem vzduchu. Ten však při extrémních rychlostech vytváří enormní aerodynamický efekt, kvůli čemuž na přední části kapsle Musk navrhl vzduchový kompresor nasávající vzduch tlačенý před sebou, který následně z části vypouští za sebou a z části pod sebou z podvozku, čímž tak spolu s aerodynamickým vztlakem pomáhá levitovat kapsli na vzduchovém polštáři 0,5-1,3 mm nad povrchem. Toto řešení je levnější a stejně účinné jako levitace magnetická (Musk, 2013).



Obr. 3 Hyperloop koncepční skeč transportní kapsle  
Zdroj: Hyperloop Alpha, 2013

Elon Musk Hyperloop navrhnul na trase Los Angeles-San Francisco (563 km), jako alternativu k plánované VRT, v porovnání s kterou tvoří pouze 9 % jejich nákladů (10,7 mil. USD/km) a cestovní dobu by zkrátil z 2 hodin a 38 minut na pouhých 35 minut. Těmito dech beroucími fakty vzbudil obrovský zájem široké veřejnosti, jak pozitivní, tak i negativní od řady kritiků. Do podrobnějšího výzkumu s cílem výstavby testovací tratě a následné komerční realizace se pustily start-upy:

- Hyperloop One (H1)

Se získaným venture kapitálem ve výši 160 mil. USD a spolu s 200 zaměstnanci staví testovací trať ve státě Nevada, USA (O'Brien, 2016) a pracuje na studiích proveditelnosti ve Skandinávii, Spojených arabských emirátech, Rusku a Švýcarsku. Zvláště první zmíněná studie je již převážně hotová. Trasa by měla vést ze švédského Stockholmu do finských Helsinek převážně pod vodou, s předpokládanými náklady 40 mil USD/km (KPMG, 2016). Tyto relativně vysoké náklady, H1 (2016) obhájuje tvrzením, že jsou stále na pouhých 50-60 % nákladů klasické VRT stavěné na stejné trase. Na základě odhadovaných příjmů z provozu dle studie KPMG (2016), by projekt byl splacen již po necelestých 17 letech. H1 (2016) v širším ekonomickém dopadu na regiony uvádí horizont dokonce pouhých 10 let.

Pro klasické nadzemní uložení na pylonech H1 odhaduje náklady na 16 mil. USD/km, nepočítaje náklady na pozemková řízení. (Taylor a kol., 2016)

- Hyperloop Transportation Technologies (HTT)

HTT využívá crowdsourcing model, pomocí kterého sdružuje přibližně 600 technicky zaměřených pracovníků, jejichž odměnou jsou firemní akcie. Tímto způsobem se virtuálně může na vývoji podílet téměř kdokoliv, v návratnosti

za potenciální budoucí úspěch společnosti (HTT, 2014). HTT plánuje vystavět 8 km dlouhou testovací trať v Kalifornii, USA, a také otevřít nové testovací středisko v Toulouse, ve Francii (Cooper, 2017).

V březnu roku 2016 podepsalo HTT dohodu se slovenskou vládou ohledně přípravy studie proveditelnosti trasy Bratislava-Vídeň, Bratislava-Budapešť a Bratislava-Košice, čímž by se z hlavního města Slovenska stal mezinárodní dopravní hub a dle slov ministra hospodářství Slovenské republiky, Vazila Hudáka, „předefinovala koncept současné dopravy a posílila mezistátní spolupráci v Evropě“.

V prosinci stejného roku se HTT dohodlo s vládou Abu Dhabi o vypracování studie proveditelnosti trasy Abu Dhabi-Al Ain, jejichž propojení je dle ředitele dopravního sektoru DMAT, K. M. Hashima „strategickým cílem emirátu Abu Dhabi, pro stimulaci hospodářského růstu“. Dle tiskové zprávy HTT (2016) má být studie vyhotovena v řádu měsíců a slibuje výrazně nižší náklady a poloviční cestovní dobu než u klasické VRT.

Nejnovější dohoda z ledna 2017 vzešla z jednání s Magistrátem města Brna. Studie má zkoumat proveditelnost na trase Praha-Brno-Bratislava a podrobněji poukázat na náklady a právní a technické aspekty projektu, s předpokládaným termínem vyhotovení studie již během tohoto roku (Černý, 2017). Prozatím však HTT žádné konkrétní výpočty nepřineslo.

Mimo tyto snahy oficiálních společností se do rozvoje zapojuje i mnoho nezávislých inovátorů a univerzit, které podporuje například soutěž pořádaná SpaceX – Hyperloop Pod Competition.

Dle dostupných dat a informací můžeme shrnout výhody a nevýhody konceptu Hyperloop následovně:

- Výhody

Největšími výhodami konceptu Hyperloop v porovnání s jinými způsoby dopravy jsou jednoznačně vyšší rychlost a nižší investiční i provozní náklady. Předpokládaná životnost dosahuje až 100 let (Musk, 2013) a tím více než dvakrát přesahuje životnost VRT, která v průměru dosahuje pouhých 30-40 let (Rus a kol., 2012). Tyto faktory spolu s typologií samotné nadzemní konstrukce a využitím energicky nenáročných pohonných jednotek, tvoří Hyperloop vysoce šetrným k životnímu prostředí, nenarušuje migrační trasy zvířeny a nadměrně nezabírá půdu. Dalšími podstatnými výhodami jsou vyšší bezpečnost (standards obdobné letecké dopravě), méně často nutná údržba a kratší čekací doba z důvodu odjezdu kapslí v krátkých a pravidelných časových intervalech.

Hyperloop však mimo vlastních výhod přináší i spoustu výhod sekundárních, zejména ekonomických a sociálních. Takto extrémní zkrácení dojezdové doby může rozšířit potenciální trh práce až na hranici stovek kilometrů. Lidé tak jsou ochotni za práci dojíždět z mnohem větších vzdáleností či odlehlejších regionů, ve kterých je pracovních příležitostí nedostatek, a tím tak pomáhá lé-

pe alokovat zdroje z metropolitních oblastí (generování důchodů) do regionů (útrata důchodů), a tak také pomáhat snižovat obecný trend urbanizace.

- Nevýhody

Jednou z největších nevýhod je samotná, zatím dlouhodobě nevyzkoušená technologie a absence jakékoliv komerčně využívané tratě, a tedy i zkušenosti ze samotné stavby projektu. Tyto neznalosti a nezkušenosti mohou konečnou výši nákladů podstatně zvýšit. V případě výpočtu investičních nákladů je tedy třeba počítat s dostatečnou cenovou rezervou pro případy nepředpokládaného zvýšení těchto nákladů.

Jednou z dalších překážek je i platná legislativa. Ve většině států nejsou dopravní technologie jako je Hyperloop zákony zatím přizpůsobeny. Úpravy, či tvorba nových zákonů však mohou trvat i měsíce a tím způsobovat časové prostoje.

Možnou nevýhodou může být také pouze bodové propojení konečných stanic a nekompatibilita či absence interoperability s ostatními druhy dopravy v rámci současného systému.

## 3.2 Aktuální situace osobní dopravy na trase Praha-Brno

V současné době se možnosti osobní dopravy na trase Praha-Brno dají shrnout do dvou kategorií. První z nich je silniční osobní doprava provozovaná zejména na dálnici D1, osobními automobily a autobusy. Jako druhou lze považovat osobní dopravu drážní, převážně na 1. tranzitním železničním koridoru (SŽDC, 2016).

### 3.2.1 Silniční osobní doprava na trase Praha-Brno

Dálnice D1 je podle ŘSD ČR (2016) nejvytíženější a vůbec nejstarší komunikací z dálniční sítě v České republice. Jako hlavní spojovací tepna mezi Prahou a Brnem slouží již více než 30 let a za tuto dobu je již na konci své plánované životnosti (ŘSD ČR, 2016). Z tohoto důvodu nyní probíhá řada modernizací, které v současnosti dopravu významně omezují, avšak do budoucna by měly přispět k lepší propustnosti této trasy.

Na základě údajů z celostátního sčítání dopravy (ŘSD ČR, 2010), se autobusová doprava na celkové dopravě na dálnici D1 na trase Praha-Brno podílí pouze necelým 1 %. Naopak osobní automobilová doprava tvoří většinovou část, a to více než 74 %. Kvantitativně vyjádřeno v ročním průměru denní intenzity – 418 autobusů a 34 075 osobních automobilů denně.

Autobusová doprava se v České republice vyznačuje poměrně vysokou obsazeností, a to průměrně 61 % (EEA, 2008), v porovnání s např. Rakouskem (21 %). Soukromý dopravce RegioJet se na trase Praha – Brno těší obsazenosti 80-90 % (StudentAgency.cz, 2012). Automobilová doprava je na tom podstatně hůře. Dle TSK-Praha (2013) je průměrná obsazenost automobilů na vnějším koridoru Prahy pouze 1,3 osob na vozidlo. Tento fakt způsobuje automobilovou dopravu extrémně neefektivní.



Autobusovou přepravu na této trase provozuje několik společností. Téměř většinový podíl vlastní společnost RegioJet, s více než 40 spoji denně (Regiojet.cz, 2017). Na základě tohoto dopravce je průměrná doba přepravy mezi zastávkou Brno – AN u hotelu Grand a Praha – Florenc 2,5 hodiny a cena jednosměrné jízdenky 210 Kč (RegioJet.cz, 2017).

Cesta automobilem by na stejné trase (209 km), při dodržení maximálních povolených rychlostí a ideálních podmínek bez jakýchkoliv zdržení, trvala odhadem 2 hodiny. Při cestě úsporným naftovým automobilem (průměrná spotřeba 6 l/100 km), obsazeností 1 osoba a ceně nafty 30 Kč/l, by cesta stála 376 Kč. Je však třeba nutno podotknout, že tato ideální varianta je ve skutečnosti málokdy pravděpodobná a je třeba počítat se zdržením, a tedy i s vyššími náklady na cestu. Také není uvažována amortizace vozu a náklady na zpoplatněné úseky trasy.

### 3.2.2 Vlaková osobní doprava na trase Praha-Brno

Hlavní drážní spojení mezi Prahou a Brnem poskytuje I. tranzitní (IV. panevropský) koridor. Tyto dvě města byla propojena železnicí již v polovině 19. století. Postupná modernizace do současné podoby byla v podstatě dokončena v roce 2004 (Nejezchleb, 2008). Nejvyšší rychlost je legislativou omezena na 160 km/h, té je však momentálně možné dosáhnout pouze zhruba na polovině této trasy (Křýže a SŽDC, 2016). Tedy i v případě legislativně povolené vyšší rychlosti by na této zastaralé trati nebylo možné dosahovat vysokých rychlostí charakterizující VRT. S vyšší rychlostí totiž, jak Tvrdíček (2010) zmiňuje, roste kinetická energie kvadraticky, což při rychlostech nad 300 km/h vyžaduje mnohem vyšší nároky na trať.

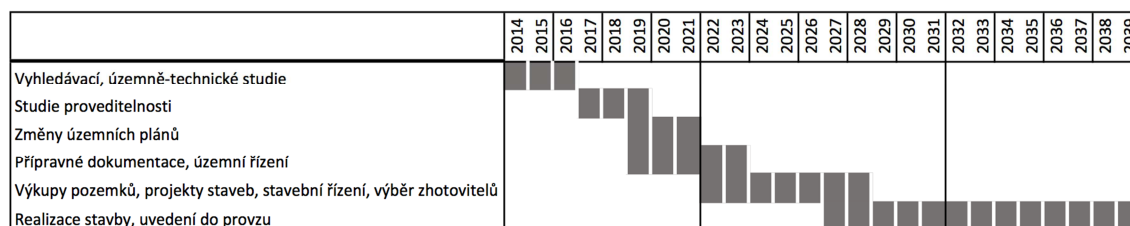
Historicky na této trase měl prakticky 100 % podíl, a tedy monopol státní podnik, později v roce 2013 vzniklá akciová společnost České dráhy (Ceskedrahy.cz, 2017). V září 2011 vstoupila na trasu Praha-Brno soukromá společnost RegioJet (Studentagency.cz, 2016). Vstup tohoto soukromého dopravce způsobil konkurenční prostředí, a tedy i nižší ceny a zkvalitnění poskytovaných služeb.

Momentálně stále dominují České dráhy s 30 spoji denně (jedním směrem), avšak i RegioJet postupně zvyšuje počet provozovaných linek, se současnými 3 pravidelnými linkami denně. Cena standardního tarifu je v případě ČD 219 Kč. RegioJet používá diferencovaný systém jízdného, jehož výše se liší úrovní nabízeného servisu, na jehož základě se cena pohybuje v rozmezí 140-279 Kč. Doba přepravy je shodných 2,5 hodiny.

### 3.3 Vysokorychlostní osobní doprava na trase Praha-Brno

Současná železniční síť z 19. století i přes četné modernizace zůstala převážně ve své původní podobě. Základní geometrické parametry tratí (zejména podélný sklon a poloměr oblouků) odpovídají trakčním a brzdovým vlastnostem vozidel té doby (Tvrdíček, 2010). Také celková mapa sítě již neodpovídá současným potřebám a vyžaduje přizpůsobení změně osídlení krajiny, průmyslu či životního stylu obyvatelstva.

První úvahy o výstavbě VRT v České republice po vzoru západních zemí byly již v 70. letech. Od té doby bylo zpracováno několik studií, z nichž nejnovější je územně-technická studie vypracovaná v roce 2010 pro Ministerstvo dopravy ČR externí společností SUDOP PRAHA a.s. Ta podrobněji rozpracovává technické a ekonomické aspekty projektu. Současný průběh je v souladu s prognózou SŽDC stále ve fázi příprav s plánovaným dokončením VRT na trase Praha-Brno v roce 2039. Podrobný rozpis možného scénáře je znázorněn na následujícím obrázku.



Obr. 4 Postup výstavby VRT Praha-Brno (možný scénář) do roku 2039  
Zdroj: SŽDC, 2009 (upraveno, aktualizováno)

Z počátku roku 2017 je dostupný dokument zvaný Program rozvoje Rychlých železničních spojení v ČR. Ten obecně projednává problematiku Rychlých spojení (RS) v České republice. RS jsou nadmnožinou VRT a zahrnují kombinaci tratí vysokorychlostních i modernizovaných konvenčních. Dokument slouží jako základní koncepční podklad pro rozhodnutí vlády ČR o tom, zda a za jakých podmínek se má Česká republika vydat směrem k přípravě, výstavbě a provozu systému RS v České republice.

K docílení účelnosti této tratě je důležitým faktorem snížení cestovní doby mezi Prahou a Brnem alespoň na 60 minut. Ke splnění tohoto předpokladu je stanovena požadovaná rychlost 300-350 km/h (Tvrdík, 2010). Dle Programu rozvoje (2017) jsou zvažovány 2 alternativní trasy, a to Severní (směr Kolín, Čáslav, Havlíčkův Brod, Jihlava) a Jižní (směr Benešov, Jihlava). Úsek Jihlava-Brno má také několik podvariant, jejichž finální řešení má být součástí dalších studií. Obě alternativy umožňují dosažení velmi podobných cestovních dob. Díky rozdílné náročnosti výstavby jsou však jejich předpokládané investiční náklady poněkud rozdílné. Pro Severní alternativu 122 mld. Kč (472 mil. Kč/km), pro Jižní 159 mld. Kč (636 mil. Kč/km). Tyto náklady zahrnují pouze stavbu samotné trati (dva směry) bez nákupu vozového parku. Údržba tratě se na základě zahraničních zkušeností odhaduje na 1 900 000 Kč/km/rok. Tyto náklady však dostatečně pokrývají výnosy z poplatků za použití dopravní cesty.

## 4 Vlastní práce

Na základě teoretické části práce byl získán obecný přehled o vysokorychlostní osobní dopravě ve světě a charakterizovány možné alternativní varianty. Díky těmto podkladům mohou být vybrány nejvhodnější varianty k posouzení, následně provedena analýza jejich efektivnosti a vzájemné porovnání. Výstupem bude doporučení nejvhodnější a ekonomicky nejefektivnější varianty na trase Praha-Brno.

### 4.1 Posouzení a výběr variant

Na trase Praha-Brno je v současnosti jednoznačně nejčastěji projednávanou variantou VRT a dle vlády a premiéra Sobotky (2017) patří mezi její priority. VRT je považováno za nutné minimum, a tedy v analýze bude zahrnuto jako základní projekt, se kterým bude vybraná alternativa porovnávána.

Další představené alternativy mohou svou podstatou působit poněkud futuristicky. Fakt je, že se jedná o projekt s horizontem výstavby až 20 let a z tohoto důvodu by i samotná technologie měla být nadčasová, tedy v době zprovoznění a své životnosti (dalších min. 50 let) aktuální. VRT, ve světě používaná již přes půl století, naopak může působit zastarale, marnit technologický potenciál doby a jako investicí být jakýmsi hodně stabilním krokem, nikoliv však sebevědomým krokem vpřed. Jistě však ne krokem zbytečným.

V okamžiku posuzování alternativ je třeba se zamyslet nad základními faktory, kterými jsou: *rychlost* přepravy a *náklady* na stavbu a provoz. Faktory jako jsou bezpečnost či ekologie jsou u obou alternativ (Maglev, Hyperloop) na obdobně vysoké úrovni, mohou být tedy v našem případě z porovnávání pominuty. Nyní může být využito informací získaných z teoretické části práce a tato tvrdá fakta porovnána. Ta měkká, která jsou shrnuta mezi výhodami a nevýhodami u každé z variant nejsou pokládána za nedůležitá (spíše naopak), ovšem pro eliminaci subjektivního názoru, a zvláště zachování ekonomického smyslu této práce budou právě fakta tvrdá v samotném doporučení klíčová. Pro přehlednost jsou uvedena v následující tabulce.

Tab. 1 Shrnutí základních parametrů zvažovaných alternativ

	<b>Maglev</b>	<b>Hyperloop</b>
Max. rychlost	cca 500 km/h	cca 1 200 km/h
Náklady na stavbu	40-175 mil. USD/km	11-40 mil. USD/km

Toto jednoduché porovnání jasně znázorňuje lepší parametry technologie Hyperloop. Je více než dvakrát rychlejší, také nižší náklady jsou zřejmé, ovšem jejich konkrétní výše silně závisí na daném terénu. V každém případě je tedy nutná alespoň rámcová znalost povrchu k možnosti adaptace dané dopravní technologie a zisku přesnějších údajů o investičních nákladech.

Jako alternativní způsob dopravy na trase Praha-Brno, který bude s VRT porovnáván je tedy vedle VRT zvolen Hyperloop. V následující kapitole budou rozepsány celkové náklady, kterých bude využito ve výpočtech v dalších kapitolách.

## 4.2 Analýza celkových nákladů vybraných variant

Jak již bylo dříve předesláno, ekonomická efektivnost vybraných variant bude posuzovaná z dvou pohledů. Nejdříve ze strany investora infrastruktury a následně dopravce. Následující analýzy celkových nákladů pak bude využito pro oba z nich.

### 4.2.1 VRT

Jelikož celkové náklady VRT na úseku Praha-Brno jsou již poměrně podrobně kalkulovány, není třeba provádět jejich jednotkový rozpis. Z teoretické části práce jsou přehledně shrnuty následující tabulkou.

Tab. 2 Souhrn celkových investičních nákladů (CIN) VRT Praha-Brno

	CIN [mld. Kč]	Délka [km]	CIN [mil. Kč/km]	CIN [mil. USD/km] <sup>1</sup>
Severní varianta	122	258,7	471,6	18,9
Jižní varianta	159	249,9	636,3	25,5
S.A. vč. 30 % rezervy	158,6	258,7	613	24,5
J.A. vč. 30 % rezervy	206,7	249,9	827,1	33,1

Zahraniční zkušenosti s dopravními stavbami dokládají časté zvýšení předpokládaných nákladů v průběhu výstavby (viz Flyvbjergova studie zmíněná výše). Je tedy přinejmenším rozumné zahrnout rizikovou přírážku (rezervu) k celkovým předpokládaným nákladům – Program rozvoje (MDČR, 2017) ji doporučuje ve výši 30 %. Upravené údaje včetně této rezervy již zahrnuje tab. 2 pro Severní i Jižní variantu.

Pro následující výpočty budou celkové náklady včetně zmíněné 30 % rezervy figurovat jako počáteční investiční náklad.

### 4.2.2 Hyperloop

V případě Hyperloopu je situace složitější, jelikož žádná studie na posuzovanou trasu zatím neexistuje. Je tedy nutné rozebrat jednotkové náklady, které budou následně přepočteny na konkrétní parametry trasy Praha-Brno. Celkové náklady na trasu Los Angeles-San Francisco v Kalifornii jsou podrobně popsány ve studii Elona Muska – Hyperloop Alpha (2013), která je však mnoha kritiky považována za velmi optimistickou, či dokonce nereálnou. V kontextu Muskovy podnikatelské

<sup>1</sup> Ve všech případech převodu měn je použit kurz: 25 USD/CZK.

historie a bohaté zkušenosti s, dle kritiky, nereálnými projekty, se kterými však později slavil/slaví úspěch (SpaceX, Tesla), tato studie do výpočtů zahrnuta bude, pro pracovní účely bude nazvána *optimistickou variantou*. Druhým zdrojem bude univerzitní práce H. Brookse z Princeton University (2014), která studii Hyperloop Alpha reviduje a ve většině případů náklady zvyšuje. Z tohoto důvodu bude tato varianta pracovní nazvána jako *pesimistická*.

Po provedení rozpisu jednotkových nákladů bude proveden přepočít na trasu Praha-Brno, k němuž budou využity parametry trasy rozepsané v Technické zprávě vypracované společností SUDOP Praha a.s. (2010), jež splňují i minimální technické požadavky (poloměry oblouků) pro Hyperloop.

Nyní již k samotnému rozpisu. V případě, že dané složky jsou ve studiích uvedeny pouze jako celkové pro trasu LA-SF, jednotková kalkulace je provedena vydělením předpokládanou délkou trasy 563 km (Musk), respektive 534,8 km (Brooks), případně použita vhodná dedukce. Náklady na ražbu tunelů jsou převzaty v identické výši z Technické studie (SUDOP, 2010), jež bere v úvahu tuzemské geologické podmínky.

Tab. 3 Jednotkový rozpis investičních nákladů (IN) pro stavbu Hyperloopu

Položka	IN [USD/km]	
	Optimistická varianta	Pesimistická varianta
Stavba tubusu (2 směry)	1 154 529	2 056 844
Stavba pylonů	4 529 307	14 304 413
Ražení tunelů	26 000 000	26 000 000
Vývěvy	17 761	17 000
Solární panely & baterie	373 000	373 000

Dalšími náklady jsou pohon a trvalé zábory pozemků. Jelikož je pohon rozdělen na 6 sekcí (3 akcelerační a 3 brzdící), nelze jej bez bližších technických znalostí jednotkově kalkulovat. Z projektového hlediska se nejedná o významný náklad, bude může být tedy použit celkový náklad kalkulovaný pro trasu v Kalifornii LA-SF. Náklady na pozemková řízení jsou v identické výši převzaty z Technické studie SUDOP (2010).

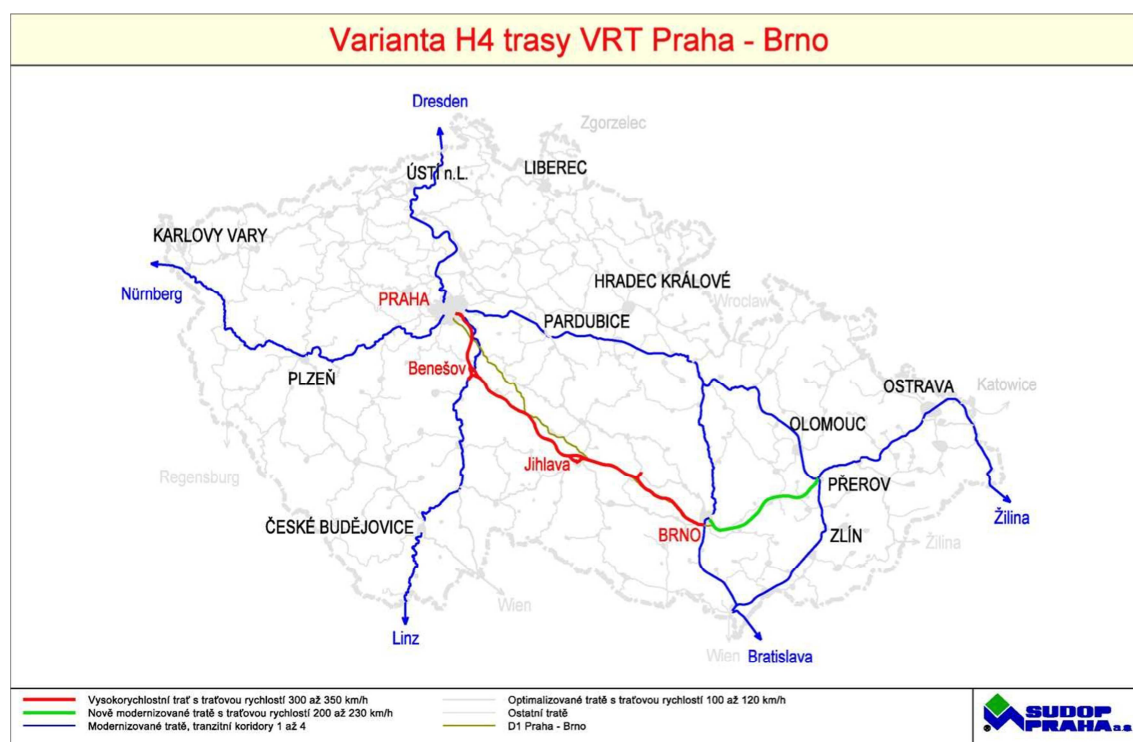
Tab. 4 Doplnění jednotkových investičních nákladů (IN) pro stavbu Hyperloopu

Položka	IN [USD]	
	Optimistická varianta	Pesimistická varianta
Pohon	140 000 000	101 500 000
Trvalý zábor pozemků	100 176 000	100 176 000

Z rozpisu obou variant je zřetelná podobnost nákladů. Zásadním rozdílem jsou náklady na stavbu podpěrných pylonů, jež plyne z odlišného pojetí jejich možné výroby dle obou autorů. Musk spoléhá na výrazné snížení výrobních nákladů díky

velkovýrobě identických kusů (s výškou 6, 15, 30 m), čemuž Brooks oponuje nutností jejich zakázkové úpravy v závislosti na konkrétním terénu pro zachování perfektně rovného uložení tubusů a z toho plynoucích vyšších nákladů na jejich výrobu. Toto markantní navýšení právě této složky je i hlavním důvodem odlišnosti celkových nákladů na projekt u obou variant. V případě trasy Praha-Brno lze předpokládat částečné řešení z obou přístupů, jelikož trasu tvoří jak nížiny (využití velkovýroby), tak i pahorkatiny (zakázková výroba).

Po jednotkové kalkulaci všech složek celkových nákladů, je možné přejít k jejich přepočtu na konkrétní parametry trasy Praha-Brno. Z Technické studie (SUDOP, 2010) byla vybrána varianta s nejhodnějšími směrovými poměry pro Hyperloop, varianta H4. Jak je možné vidět na obr. 5, červeně označené vedení trasy kopíruje dálnici D1, v úseku Brno-Jihlava vede s dálnicí D1 paralelně. Tento fakt může přinášet synergický efekt v možnosti využití stávající infrastruktury D1, například obslužných komunikací, či viaduktů nebo estakád při výskytu zvláště hlubokých údolí. V případě nadměrného stoupání je však nevyhnutelným řešením tunelové vedení, kterého bude využito na 82 km trasy. Z důvodu menší potřeby velikosti průměru tunelu v porovnání s potřebou pro VRT lze předpokládat mírně nižší náklady na ražbu – ne však zásadní, a i pro zachování rezervní složky je možné ponechat originální údaje z Technické zprávy (SUDOP, 2010).



Obr. 5 Vedení trasy

Zdroj: Textová zpráva, SUDOP Praha a.s., 2010

Celková délka trasy je 254,5 km, tedy pouze zbylých 172,5 km je Hyperloop uvažován s nadzemním uchycením na pylonech.

Nyní, když jsou již známy všechny podrobnosti trasy, je možné přejít k přepočtu jednotkových nákladů na náklady celkové. Tento přepočet znázorňuje následující tabulka.

Tab. 5 Celkové investiční náklady (CIN) na Hyperloop v USD

Položka	Výměry [km]	CIN [mil. USD]	
		Optimistická var.	Pesimistická var.
Stavba tubusu (2 směry)	254,5	293,828	523,467
Stavba pylonů	172,5	781,306	2 467,511
Ražení tunelů	82	2 132,000	2 132,000
Vývěvy	254,5	4,520	4,327
Solární panely & baterie	172,5	64,343	64,343
Pohon	TC	140,000	101,500
Trvalý zábor pozemků	TC	100,176	100,176
Náklady celkem	TC	3 516,172	5 393,323
Jednotkové náklady celkem	1	13,816	21,192

Z tab. 5 je vhodné zdůraznit celkové náklady na 1 km, které je možné porovnat ve světovém kontextu. Pro optimistickou variantu náklady ve výši 13,8 mil. USD/km, respektive 21,2 mil. USD/km pro variantu pesimistickou, dokáží plně konkurovat s průměrnými náklady na VRT v Evropě (jak je uvedeno v teoretické části – 13-33 mil. USD/km). Pro následující výpočty jsou však důležitější hodnoty uvedené v CZK. Obdobně jak bylo provedeno u VRT, i v tomto případě bude připočtena 30 % riziková přírážka k celkovým nákladům.

Tab. 6 Celkové investiční náklady (CIN) na Hyperloop v CZK

	CIN [mld. USD]	CIN [mil. USD/km]	CIN [mld. CZK]	CIN [mil. CZK/km]
Optimistická var.	3,52	13,82	87,90	345,40
Pesimistická var.	5,39	21,19	134,83	529,80
O.V. vč. 30 % rezervy	4,57	17,96	114,28	449,02
P.V. vč. 30 % rezervy	7,01	27,55	175,28	688,73

Tímto je kalkulace pro Hyperloop na trase Praha-Brno kompletní a je možné přejít k výpočtům investiční návratnosti projektu v další kapitole.

### 4.3 Návratnost investice

V této kapitole bude, na základě vybraného ekonomického modelu, spočteno, zda a jakou mírou je investice do vybraných dopravních variant návratná. Jinými slovy, jak je vlastní stavba infrastruktury na trase Praha-Brno efektivní. Zahrnovány tedy nebudou výnosy z provozu dopravních jednotek, pouze vlastní výnosnost a přínosnost infrastruktury jako takové. Výnosností provozu dopravních jednotek se bude zabývat příští kapitola.

Nellthorp a kolektiv (1998) v přehledu socio-ekonomických vlivů uvádí doporučení plynoucí z dopravních projektů zemí EU. Nejčastěji využívanými modely výpočtu návratnosti investice jsou BCR (Benefit-Cost Ratio; poměr nákladů a výnosů), NPV (Net Present value; čistá současná hodnota) a IRR (Internal Interest Rate; vnitřní výnosové procento). Z důvodu nejlepší vypovídací schopnosti zejména v případě porovnávání více variant byl zvolen právě poslední zmíněný model – IRR. NPV pak bude využito pouze pro doplnění.

IRR je s NPV velmi úzce spojeno. Je možné jej definovat jako takovou úrokovou míru, při které současná hodnota peněžních příjmů z investice se rovná kapitálovým výdajům, a tedy současná hodnota investice (NPV) = 0. Při srovnávání různých variant platí, že ta varianta, která vykazuje vyšší IRR, je výhodnější. Přijatelné investiční projekty jsou obecně ty, jejichž IRR je větší než požadovaná výnosnost investice, minimálně však 0.

Jelikož se IRR stanovuje pomocí lineární interpolace, výpočet je poměrně rozsáhlý. V rámci této práce proto bude prováděn v tabulkovém procesoru Microsoft Excel a funkcí MÍRA.VÝNOSNOSTI. NPV pak obdobně použitím funkce ČISTÁ.SOUČHODNOTA. Vstupní data obou funkcí budou obsahovat prvotní investici, tedy zápornou hodnotu a následně v každém roce životnosti projektu peněžní toky, které budou v závislosti na poměru výnosů/nákladů za dané období buď kladné nebo záporné. Jejich konkrétní složení bude spolu s celým výpočtem a komentářem uvedeno v následujících dvou podkapitolách věnujících se každé z vybraných variant zvlášť.

Dalším doplňujícím ukazatelem, jež je pro lepší pochopení investice vhodné použít je ROC (Return on Capital; Rentabilita nákladů), který prostým součtem všech výnosů a jejich dělením počáteční investicí prozradí, jaké množství tržeb připadá na 1 Kč investovaných nákladů.

#### 4.3.1 VRT

Průměrná životnost VRT se obecně uvádí 35 let. Nawabi (2012) při výpočtech doporučuje užívat časový horizont užívání projektu 30-60 let, přičemž 60 let je doporučená doba pro velké investice na pevné jízdní dráze. Správná volba časové periody přitom vysoce ovlivní výslednou kalkulaci, proto je třeba mít na zřeteli, že i drobná změna časových horizontů může výrazně ovlivnit celé hodnocení projektu. Pro zachování střídmosti výpočtu je volena snížená hodnota časového horizontu na 50 let. Je preferován střídavý přístup s možnými horšími výsledky nad zbytečnou nadhodnoceností a nereálností.



Diskontní sazbu, která bude využita pro výpočet NPV lze dle Nawabiho (2012) volit v rozmezí 3-6 %. Přičemž při vysokých vstupních nákladech a dlouhé životnosti lze volit levou stranu intervalu. Při výpočtech NPV bude tedy použita diskontní sazba 3 %.

Prvotní vstupní náklady již byly kvantifikovány, je tedy možné přejít na složení každoročních peněžních toků. Jejich základní složkou jsou náklady na údržbu tratě a výnosy z poplatku za využívání tratě dopravci. Dle Programu rozvoje (2017) jsou předpokládané náklady na údržbu 1 900 000 Kč/km/rok a poplatek za průjezd fiktivní 200 m dlouhé dopravní jednotky 27 Kč/km. Při očekávaném provozu 4 párů expresních vlaků a 2 párů rychlíkových vlaků za hodinu v průběhu běžného občanského dne (provoz 18 hodin denně) během 320 dnů ročně pak představují výnosy z poplatků za použití dopravní cesty přibližně totožnou částku, a to necelých 1 900 000 Kč/km/rok. Z tohoto hrubého vyčíslení lze snadno vyčíst, že výnosy z poplatků pokrývají pouze náklady na údržbu, a tedy nejsou zdrojem výnosů pro zajištění návratnosti investice.

K definici hlavního přínosu (výnosu) z investice je třeba širší, makroekonomický pohled, který zohledňuje přínosy i pro společnost. Dle zahraničních projektů jsou nejčastěji monetizovanými přínosy *časová úspora, bezpečnost, hluk, znečištění vzduchu* a mnoho dalších je v případné valuaci měřeno a jejich (ač hypotetický) přínos je analyzován (Nellthorp a kolektiv, 1997). V případě VRT (a zejména Hyperloopu) lze největší výnos očekávat z realizované časové úspory, jejíž monetizace je i poměrně snadná. Dle Nellthorpa a kolektivu (1997) efektivně využitý ušetřený čas odpovídá výši hrubé mzdy cestujících. Pro zobecnění bude využit medián nebo průměrná mzda v závislosti na předpokládané mzdové úrovni cestujících, jejichž hodnota bude vynásobena předpokládaným množstvím cestujících.

V následujících výpočtech bude využit medián, jelikož je předpokládaná obsazenost všemi (i nižšími) příjmovými úrovněmi cestujících. Ve 4. čtvrtletí 2016 byl měsíční medián mzdy 25 061 Kč (CZSO, 2017), což při časové úspoře 1 hodiny a 30 minut oproti současné situaci na trase Praha-Brno, představuje monetizovanou časovou úsporu 230,6 Kč/cestující. Dle výsledků Socioekonomické studie potenciálu využití rychlého železničního spojení mezi Brnem a Prahou (KORDIS, 2013), která při cenové hladině jízdného v rozmezí 200-299 Kč a době cesty do 60 minut předpokládá 19 000 cestujících denně, by pak roční suma monetizované časové úspory činila 1 401 756 026 Kč. Tato časová úspora tvoří většinu (př. Velká Británie až 80 %) všech monetizovaných přínosů (Nellthorp a kolektiv, 1997). Ostatní přínosy (bezpečnost, hluk, ekologie) lze očekávat u obou dopravních variant vzájemně obdobné, tedy při porovnání a v následujících výpočtech zanedbatelné. Při konečné analýze absolutních přínosů dané investice by již však opomíjeny být neměly.

Poslední složkou vstupující mezi výnosy je zbytková hodnota projektu zahrnutá v konečném roce životnosti. Rus a kolektiv (2012) ji doporučuje ve výši 30 % z hodnoty počáteční investice.

V následující tabulce je provedeno přehledné shrnutí všech složek vstupující do výpočtu návratnosti investice.

Tab. 7 Shrnutí složek pro výpočet investiční návratnosti VRT

Složka	Částka [mld. Kč/rok]	
	Severní varianta	Jižní varianta
Počáteční investice	158,600	206,700
Náklady na údržbu	0,492	0,475
Výnosy z poplatku	0,483	0,466
Monetiz. časová úspora	1,577	1,577
Zbytková hodnota	47,580	62,010

Zápis pro výpočet bude proveden následovně.

Tab. 8 Zápis pro výpočet návratnosti investice VRT

Rok životnosti	Částka [mld. Kč]	
	Severní varianta	Jižní varianta
0.	-158,600	-206,700
1.	1,393	1,393
.	.	.
.	.	.
49.	1,393	1,393
50.	48,973	63,403

Z čehož při použití odpovídajících funkcí v procesoru Microsoft Excel pro výpočet NPV a IRR vychází následující hodnoty.

Tab. 9 Výsledky výpočtu návratnosti investice VRT

Ukazatel	Hodnota	
	Severní varianta	Jižní varianta
NPV (diskontní s. 3 %)	-108 652 566 162Kč	-137 034 029 916
IRR	-0,78 %	-1,12 %
ROC	0,75	0,64

Na základě výše vypočítaných hodnot je evidentní, že projekt výstavby VRT při daných výnosech není rentabilním. Hodnoty NPV při 3 % diskontní sazbě vyšly vysoce záporné, a tedy v porovnání s možnou alternativní investicí (s 3 % výnosem) jsou horší volbou k investici. Toto potvrzuje i hodnota IRR, která je menší než 3 %, ba i dokonce záporná, čímž ztrácí svoji ekonomickou interpretovatelnost, jelikož záporná hodnota diskontní sazby by znamenala nutnost úročení peněžních toků. Teoreticky lze tedy říci, že počáteční investice se při dané výši výnosů vrátí pouze v případě, že by cash flow bylo úročeno vypočtenou hodnotou IRR, jelikož IRR udává právě takovou úrokovou míru, při které je NPV rovno nule.

Hodnota ROC <1 již pouze potvrzuje skutečnost, že projekt při daných výnosech není návratný, konkrétně tedy že na 1 Kč vynaložených nákladů připadá pouhých 0,75 Kč, respektive 0,64 Kč tržeb. Pro závěry této práce bude ovšem opět důležitější pozdější porovnání obou dopravních variant mezi sebou.

### 4.3.2 Hyperloop

Obdobně bude postupováno i při výpočtu pro Hyperloop. Životnost infrastruktury je dle Muska (2013) až 100 let. Lze ovšem předpokládat nutnost určitých oprav mnohem dříve, ovšem z hlediska povahy stavby jistě později než u VRT. Opět pro zachování střídmosti volíme rozumný časový horizont, v tomto případě 60 let.

Jelikož v případě Hyperloopu nejsou prozatím dostupné žádné bližší informace ohledně nákladů na údržbu infrastruktury, volíme stejnou hodnotu jako pro VRT, tedy 1 900 000 Kč/km/rok. Ve skutečnosti lze jejich výši opět z povahy stavby a předpokládané nenáročnosti údržby očekávat nižší, ovšem jistě ne vzdáleně rozdílnou. Poplatek za průjezd vlakové jednotky je v případě VRT regulován danými sazbami. Díky absenci směrnic pro Hyperloop, lze tento poplatek nastavit, či doporučit ve vhodné výši, tak aby i pro případného dopravce nebyla velkou zátěží. Základním požadavkem však je, aby tento poplatek za užití dopravní cesty pokryl alespoň náklady na jeho údržbu. Z tohoto důvodu je poplatek stanoven ve výši odpovídající nákladům na údržbu, tedy 1 900 000 Kč/km/rok.

Hlavní složkou výnosů bude opět monetizovaná časová úspora, která bude díky větší rychlosti Hyperloopu vyšší. Předpokládaná doba přepravy je 19 minut, jež činí časovou úsporu 2 hodiny a 11 minut oproti současné situaci na trase Praha-Brno. K předpokládanému počtu cestujících pro parametry Hyperloopu zatím neexistují žádné kvalifikované odhady a nepřesný laický odhad by výsledky mohl silně ovlivnit. Přesto, že při takto markantním zkrácení cestovní doby lze jistě očekávat vyšší počet cestujících než u VRT, ve výpočtech bude použita stejná hodnota 19 000 cestujících. Tento přístup zajistí možnost objektivního vzájemného porovnání a znázornění vlastní efektivnosti obou technologií. Při využití stejného mediánu mzdy je tak suma celkové monetizované časové úspory 2 040 333 771 Kč/rok.

V závěru posledního roku životnosti bude opět připočtena zbytková hodnota projektu ve výši 30 % z hodnoty počáteční investice.

Tab. 10 Shrnutí složek pro výpočet investiční návratnosti Hyperloopu

Složka	Částka [mld. Kč/rok]	
	Optimistická varianta	Pesimistická varianta
Počáteční investice	114,276	175,283
Náklady na údržbu	0,484	0,484
Výnosy z poplatku	0,484	0,484
Monetiz. časová úspora	2,040	2,040
Zbytková hodnota	34,283	52,585

Zápis pro výpočet bude proveden následovně.

Tab. 11 Zápis pro výpočet návratnosti investice Hyperloopu

Rok životnosti	Částka [mld. Kč]	
	Optimistická varianta	Pesimistická varianta
0.	-114,276	-175,283
1.	2,040	2,040
.	.	.
.	.	.
59.	2,040	2,040
60.	36,323	54,625

Opět bude využito funkcí v procesoru Microsoft Excel pro výpočet NPV a IRR, k zisku následujících hodnot.

Tab. 12 Výsledky výpočtu návratnosti investice Hyperloopu

Ukazatel	Hodnota	
	Optimistická varianta	Pesimistická varianta
NPV (diskontní s. 3 %)	-50 313 164 810 Kč	-106 615 484 018 Kč
IRR	0,93 %	0,03 %
ROC	1,39	1,01

V případě Hyperloopu jsou výsledky výpočtu poněkud rozdílné. Hodnoty vypočteného NPV při 3 % diskontní sazbě jsou stále záporné, což značí že případná alternativní investice s 3 % výnosem by byla výhodnější, ovšem hodnoty IRR jsou již kladné. To vypovídá o schopnosti vlastní rentability projektu, pouze však s nižší než požadovanou mírou zhodnocení. Dle očekávání je optimistická varianta výnosnější, a to o necelý 1 p. b.

Hodnoty ROC již pouze potvrzují rentabilitu jak optimistické, tak i pesimistické varianty, na jejichž 1 jednotku nákladů připadá více než 1 jednotka tržeb.

Za zmínku stojí i velmi těsně rentabilně vycházející pesimistická varianta. Při takto blízkých hodnotách nule lze konstatovat, že zahrnuté výnosy (časová úspora) svou výší pokrývají pouze vlastní náklady projektu a negenerují téměř žádný zisk.

### 4.3.3 Porovnání a hodnocení investičních variant

Pro porovnávání více investičních příležitostí je nejlepším ukazatelem IRR. NPV udává pouze absolutní hodnotu návratnosti a nezohledňuje rozdílnou výši vstupních nákladů. Absolutní hodnota navíc v tomto případě, kdy stěžejním cílem interpretace je porovnání vybraných variant mezi sebou, při vynechání k porovnání nepodstatných vstupujících výnosů (monetizovaných přínosů), není podstatným faktorem.

Pro připomenutí jsou hodnoty IRR a ROC přehledně shrnuty v následující tabulce.

Tab. 13 Porovnání hodnot IRR a ROC pro stavbu infrastruktury obou variant

Hodnota	VRT		Hyperloop	
	S. V.	J. V.	O. V.	P. V.
IRR	-0,78 %	-1,12 %	0,93 %	0,03 %
ROC	0,75	0,64	1,39	1,01

Záporné hodnoty IRR samy o sobě ztrácí ekonomický smysl interpretace, ovšem při porovnání díky jejich relativnímu vyjádření užitečné být mohou. Jelikož byl stanoven stejný předpokládaný počet cestujících u obou variant, základní faktory, které budou míru návratnosti ovlivňovat jsou výše počáteční investice a rychlost. Tím že Hyperloop je nákladově velmi podobný VRT, ovšem navíc je mnohem rychlejší, svou podstatou nemůže vyjít jako horší investice. Na základě IRR Hyperloop vychází o 0,81-2,05 p. b. výnosnějším (v závislosti na kombinaci variant) než VRT.

Dále je možné zamyslet se nad významností samotné rychlosti, která může být znázorněna v poměru s cenou projektu. Jelikož jsou výnosy z poplatku za použití dopravní cesty téměř totožné s náklady na údržbu, případně jejich výše je nevýznamná, lze říci, že hlavním faktorem, který se ve výpočtu podílí na pokrytí nákladů na investici (tedy výši ROC) jsou monetizované přínosy z časové úspory. Na základě toho lze říci, že přínosy z časové úspory v případě VRT se na 1 jednotku nákladů podílí pouhými 70-82 %, v porovnání s Hyperloopem, jehož jednotku nákladů časová úspora pokrývá dokonce více než 100 %. Hyperloop lze takto označit jako výhodnější i v poměru cena:rychlost.

Pro obě varianty je však opět nutné zdůraznit, že z důvodu zjednodušeného formátu porovnání nebyly zahrnuty všechny běžně monetizované přínosy a díky širším návaznostem a dopadům projektů tohoto typu lze očekávat jejich skutečně široké spektrum, které ač dle zvyklostí monetizovány nejsou (či je svou podstatou ani monetizovat nelze), avšak jejich socio-ekonomický dopad pro společnost je opravdu nezanedbatelný. Na základě provedených výpočtů se oba projekty mohou zdát nevýhodnými, ovšem pro investora (stát) by hlavním argumentem měl být následný efekt ve formě oživení celkové hospodářské aktivity, které relativně vysoké náklady na stavbu nepochybně převyšují.

V míře tohoto oživení bude opět hrát klíčovou roli rychlost, respektive doba cesty. Obecně udávaná maximální doba ochoty dojíždění do zaměstnání je

1 hodina. V případě, že se vybraná dopravní varianta dokáže pod tuto psychologickou hranici dostat, lze s velkou pravděpodobností předpokládat provázání trhu práce a tím stimulovat ekonomiku obou měst. VRT počítá s dobou cesty právě kolem 60 minut. Hyperloop si ji uchovává i včetně určité doby věnované dopravě na/z nádraží, čímž dokáže ovlivnit ekonomiku i v rámci regionů.

Hlavním cílem této kapitoly bylo analyzovat obě investiční příležitosti a doporučit vhodnější variantu. Dle provedených výpočtů a dodatečných presumpcí lze jako nejvhodnější volbu vysokorychlostní osobní dopravy na trase Praha-Brno jednoznačně doporučit Hyperloop. Důležitým předpokladem, zda a jakou mírou bude využíván je však cena jízdného, na kterou je samozřejmě zákazník velmi citlivý. Problematice jízdného se bude věnovat následující kapitola.

## 4.4 Byznys plán

Byznys plán bude sloužit jako praktické doporučení podnikatelské příležitosti pro případného dopravce. Jeho základem bude orientační výpočet jízdného dle nákladů jednotlivých položek, které vstupují do jeho cenotvorby. Tím bude stanovena minimální cena jízdného k pokrytí provozních nákladů a následně doporučena prodejní cena jízdenky. Na základě rozpětí mezi prodejní cenou a náklady na provoz bude spočten čistý zisk, který bude využit při výpočtu návratnosti investice, opět pomocí NPV a IRR.

### 4.4.1 Orientační výpočet jízdného

Jako předloha pro cenotvorbu bude sloužit Program rozvoje rychlých železničních spojení v ČR (2017), který podrobně rozepisuje náklady pro dopravní soupravu VRT. K nim budou zrcadlově dooplněny totožné položky odpovídající přepočteným nákladům na Hyperloop. Tento rozpis je přehledně uveden v tab. 14.

Způsoby výpočtu položek pro Hyperloop vyžadující komentář, jsou bodově shrnuty níže.

1. Pořizovací cena jedné kapsle je dle Muska (2013) v přepočtu 33 750 000 Kč, včetně 30 % rizikové přírážky (rezervy) pak 43 875 000 Kč
2. Jedná se o dodatečně přidanou položku, která v Programu rozvoje (2017) chybí, avšak je potřebná pro stanovení následující položky (proběh) pro Hyperloop a bude jí také využito při výpočtu investiční návratnosti. Předpokládaný počet souprav tedy potřebujeme znát pro obě varianty.
  - 2.1. Pro VRT je kalkulována jako podíl celkově najetých kilometrů za den a proběhu. Celkově najeté kilometry lze spočítat jako součin předpokládaného počtu vysokorychlostních spojů za den (dle Programu rozvoje 144 spojů/den) a délky tratě (průměr Severní a Jižní varianty je 254,3 km). Výpočet:  $144 \times 254,3 \div 1600 = 22,89$ . Po zaokrouhlení na celé číslo nahoru: 23 souprav.
  - 2.2. V případě Hyperloopu je k výpočtu třeba dospět jinou cestou. Z důvodu malé kapacity kapsle je pro stěžejní schopnost uspokojit poptávku v nejvytíženější chvíli – špičce. VRT při 100 % obsazenosti, tedy 450 osob, dokáže při 4 spojích za hodinu obsloužit až 1 800 osob. Právě tato hodnota je stanovena jako cílová i pro Hyperloop ve špičce. Potřebný počet kapslí bude vypočítán jako podíl cílového počtu přepravených osob oběma směry za hodinu, kapacity kapsle a počtu cest za hodinu jedné kapsle, jejíž cesta trvá 19 minut. Výpočet:  $3600 \div 28 \div \frac{60}{19} = 40,71$ . Tato hodnotu bude opět zaokrouhlena na celé číslo, tedy 41 kapslí, které jsou schopny převést 1800 osob za hodinu jedním směrem, s průměrným intervalem mezi odjezdy 56 sekund.
3. Průměrný denní proběh Hyperloopu je kalkulován jako součin průměrného počtu spojů při 19 000 cestujících denně a 80 % obsazenosti (vysvětleno dále)

spolu s délkou tratě, podělené o předpokládaný počet souprav. Výpočet:  $19000 \div (28 \times 0,8) \times 254,5 \div 41 = 5265,14 \text{ km}$ .

4. Elon Musk (2013) ve své studii uvádí, že plánovaná trať v Kalifornii spotřebuje průměrně 21 MW/rok. Tuto spotřebu však pokrývají solární panely, které generují až 57 MW/rok, tedy dokonce přebytek, který je možné prodat zpět do sítě. K dedukci, zda a jakou mírou se solární panely podílí na spotřebě elektrické energie na trase Praha-Brno, je možné postupovat poměrově. V Kalifornii se jedná o poměr 21 (*spotřeba*) : 51 (*výroba*), tedy 1 : 2,714. Na trase Praha-Brno je pouze 67,77 % tratě nadzemní se solárními panely, poměr se tedy mění na 1 : 1,838. Dále je třeba brát v potaz rozdíl v počtu slunných hodin v České republice a v Kalifornii. Dle Longtermsolar.com a ČHMÚ je počet slunných hodin v České republice v průměru o 30 % nižší než v Kalifornii. Poměr se tak změnil na 1 : 1,286. Lze tedy konstatovat, že výroba elektrické energie pomocí solárních panelů (zahrnutých v projektu) pokryje veškerou spotřebu Hyperloopu. Jeho mírný přebytek již však nebude uvažován.
5. Z důvodu velmi krátké cestovní doby a jeho charakteru (automatický provoz, malý prostor kapsle), není se samotným provozem Hyperloopu vyžadován žádný personál.
6. Poplatek byl stanoven ve výši odpovídající nákladům na údržbu, tedy 1 900 000 Kč/rok/km. Při 19 000 cestujících a 80 % obsazenosti bude výpočet proveden následovně:  $1900000 \div (19000 \div (28 \times 0,8)) \div 320 = 7,00 \text{ Kč/km}$ .
7. Režijní náklady pro systém jako celek lze předpokládat pro obě varianty totožné. Hodnota udávaná pro VRT tedy bude vynásobena předpokládaným počtem souprav a podělena počtem kapslí, tedy:  $10 \times 23 \div 41 = 5,61 \text{ Kč/km}$ .
8. Náklady na údržbu a úklid soupravy se vztahují k počtu míst. Přepočet bude proveden vydělením počtu míst ve vlakové soupravě a následným vynásobením počtu míst v kapsli, tedy:  $50 \div 450 \times 28 = 3,11 \text{ Kč/km}$ .
9. Celkové náklady na provoz jsou součtem následujících položek: účetní odpis jednotky, cena za energii, náklady za personál, poplatek za použití dopravní cesty, režijní náklady a náklady za údržbu a úklid.
10. Program rozvoje (2017) kalkuluje s 60 % obsazeností spojů, která je běžná v případě vysokorychlostní vlakové dopravy. Hyperloop lze však svou podstatou přiblížit spíše dopravě letecké, kde se obsazenost pohybuje v průměru kolem 80 % (ATAG, 2016). Navíc lze využít variabilního systému času odjezdů, kdy lze vyčkat a kapsli vypustit až v okamžiku, kdy se malá kapacita kapsle v rámci daného maximálního časového intervalu zaplní co nejvíce.
11. Náklady na cestujícího jsou již pouze podílem celkových nákladů a počtu přepravovaných osob se stanovenou mírou obsazenosti. K této hodnotě je navíc připočtena míra požadovaného zisku a DPH. Výsledkem jsou celkové náklady, které musí modelový cestující uhradit.



Tab. 14 Orientační výpočet jízdného dle nákladů jednotlivých položek vstupujících do cenotvorby

#	Položka	Počet		Jednotka
		VRT	Hyperloop	
1	Pořizovací cena vysokorychlostního vozidla	900 000 000	43 875 000	Kč
	Počet míst k sezení	450	28	Jednotky
	Cena za sedadlo	2 000 000	1 566 964	Kč
2	Požadovaný počet souprav	23	41	Jednotky
3	Průměrný denní proběh	1 600	5 265,14	Km
	Počet provozních dnů	320	320	Jednotky/rok
	Životnost soupravy	30	30	Roky
	Účetní odpis jednotky	58,59	0,87	Kč/souprava/km
	Účetní odpis na sedadlo	0,13	0,03	Kč/sedadlo/km
4	Spotřeba trakční energie	22	0	kWh/km
	Cena energie	2,5	2,5	Kč/kWh
	Cena za energii	55	0	Kč/km
	Průměrná cestovní rychlost	180	804	km/h
5	Počet strojvedoucích	1	0	Jednotky
	Náklady na strojvedoucí(ho)	600	0	Kč/hod
	Počet vlakvedoucích/průvodčích bez obsluhy	2	0	Jednotky
	Náklady na vlakvedoucí(ho)/průvodčí(ho)	400	0	Kč/hod
	Náklady na personál	7,78	0	Kč/km
6	Poplatek za použití dopravní cesty	27	7,00	Kč/km
7	Režijní náklady	10	5,61	Kč/km
8	Náklady na údržbu a úklid	50	3,11	Kč/km
9	Celkové náklady na provoz	208,37	16,59	Kč/km
10	Počet přepravovaných cestujících (obsazenost VRT 60 %/Hyperloop 80 %)	270	22,40	Jednotky
11	Náklady na cestujícího	0,77	0,74	Kč/km
	Zisk	5	5	%
	DPH	15	15	%
	Náklady, které musí uhradit modelový cestující	0,93	0,89	Kč/km

Po vynásobení poslední hodnoty délkou tratě je vypočtena minimální cena jízdného, kterou pro zachování ziskovosti musí modelový cestující na trase Praha-Brno uhradit.

Na základě socio-ekonomické studie (Kordis, 2013) lze pro zachování 19 000 cestujících denně oběma směry cenu jízdného nastavit v rozmezí 200-299 Kč. Rozmezí 250-300 Kč navrhuje Program rozvoje (2017). Jelikož je žádoucí, aby vysokorychlostní doprava byla maximálně dostupná co nejširší skupině obyvatelstva, doporučená prodejní cena je stanovena ve výši 250 Kč, jež je pouze mírně vyšší než současná hladina cen jízdného na konvenční trati.

Tab. 15 Souhrn orientačních cen jízdného

	<b>VRT (254,3 km)</b>	<b>Hyperloop (254,5 km)</b>
Minimální cena jízdného	236,98 Kč	227,59 Kč
Doporučená cena jízdného	250 Kč	

Na základě tab. 15 lze vyčíst, že nejenom že Hyperloop je s VRT nákladově plně konkurenceschopný, ale dokonce jeho provoz je i levnější. To je zapříčiněno zejména relativně levnou pořizovací cenou kapsle, energetickou nenáročností spojenou s možností využití solární energie a nulovou potřebou personálu. Velký vliv má také vysoká obsazenost, která efektivnost provozu značně zvyšuje. Levnější náklady znamenají pro dopravce vyšší zisk při stejné prodejní ceně, případně pro zákazníka možnost nižší ceny z důvodu konkurenčního boje mezi dopravci, kterých lze díky poměrně nízkým vstupním nákladům na provoz dopravní kapsle očekávat více.

Díky účasti více dopravců lze očekávat silný tlak na nízkou cenu, a tedy efektivní využití zdrojů a také vysokou kvalitu služeb, jež v určitém okamžiku bude tvořit významný konkurenční nástroj k přesvědčení zákazníka k nákupu.

Na investiční atraktivitě pro dopravce může přispět i fakt, že provoz kapslí není nijak významně regulován procesem přidělování disponibilní kapacity dráhy (ve špičce určitá míra regulace nastane), převážně však na projevené poptávce cestujících, což přispívá k co nejvyšší vytíženosti a maximalizaci efektivního provozu systému. Opět je to výhodou i pro cestující, kteří tak nemusí čekat na odjezd dle jízdního řádu, pouze na naplnění nízkokapacitní kapsle v rámci daného časového úseku.

#### 4.4.2 Investiční návratnost

V této podkapitole bude prováděn výpočet návratnosti investice do jedné dopravní jednotky VRT a Hyperloopu. V první fázi je nejprve nutné stanovit cash flow (CF), které po dobu životnosti jednotky bude každoročně do výpočtu vstupovat ve formě výnosů. Hodnota počáteční investice je již známa, další neznámou hodnotou je pro pouze zbytková hodnota investice po konci životnosti (30 let). Ta, jak doporučuje Rus a kolektiv (2012), bude pro obě varianty ve výši 30 % z hodnoty počáteční investice.

Při kalkulaci CF je nejdříve nutné spočítat zisk před zdaněním (EBT), a to rozdílem mezi prodejní cenou jízdenky bez DPH a náklady na modelového cestujícího bez uvažovaného minimálního zisku a bez DPH. Z EBT očištěním o daň z příjmu (19 %) je získán čistý zisk (EAT). Jelikož odpisy byly nákladem, ovšem svou podstatou nejsou výdajem, je třeba je přičíst k EAT, čímž je také využito jejich přínosu ve snížení základu daně. Přičtením odpisů k EAT je získáno konečné CF na cestujícího. Celý výpočet pro obě varianty shrnuje následující tabulka.

Tab. 16 Výpočet CF na cestujícího

Ukazatel	Hodnota	
	VRT	Hyperloop
Cena jízdenky bez 15 % DPH	$250 - (250 \times 0,1304) = 217,40 \text{ Kč}$	
Náklady na jízdenku bez zisku a 15 % DPH	$0,77 \times 254,3 = 196,26 \text{ Kč}$	$0,74 \times 254,5 = 188,48 \text{ Kč}$
EBT	$217,40 - 196,26 = 21,14 \text{ Kč}$	$217,40 - 188,48 = 28,92 \text{ Kč}$
EAT	$EBT \times 0,81 = 17,13 \text{ Kč}$	$EBT \times 0,81 = 23,43 \text{ Kč}$
CF	$EAT + \frac{58,59}{270} \times 254,3 = 72,31 \text{ Kč}$	$EAT + \frac{0,87}{22,4} \times 254,5 = 33,29 \text{ Kč}$

CF na cestujícího je nyní třeba převést na roční CF na jednu dopravní jednotku při 19 000 cestujících denně a celkové potřebě 23 vlaků respektive 41 kapslí. Tento výpočet je proveden následovně:  $72,31 \times 19\,000 \div 23 \times 320 = 19\,115\,598,79 \text{ Kč}$  pro VRT, respektive  $33,29 \times 19\,000 \div 41 \times 320 = 4\,936\,697,70 \text{ Kč}$  pro Hyperloop.

Zápis pro výpočet NPV a IRR je vyjádřen následovně.

Tab. 17 Zápis pro výpočet investiční návratnosti jedné dopravní jednotky VRT a Hyperlopu

Rok životnosti	Částka [mil. Kč]	
	VRT	Hyperloop
0.	-900	-43,875
1.	19,116	4,937
.	.	.
.	.	.
29.	19,116	4,937
30.	289,116	18,099

K výpočtu NPV a IRR je opět využito funkcí v procesoru Microsoft Excel. Jejich hodnoty shrnuje následující tabulka.

Tab. 18 Výsledky výpočtu návratnosti investice do jedné dopravní jednotky VRT a Hyperlooppu

Ukazatel	Hodnota	
	VRT	Hyperloop
NPV (diskontní s. 3 %)	-397 750 780,57 Kč	58 374 660,38 Kč
IRR	-0,20 %	10,93 %

Na základě této tabulky lze Hyperloop, respektive nákup jeho jedné dopravní kapsle, považovat za přijatelnou investici, jelikož i při 3 % diskontní sazbě je jeho NPV kladné. Také IRR 3 % hranici přijatelnosti převyšuje, investice je tedy nejenom rentabilní, ale také lepší investicí, než by bylo případné vložení daných finančních prostředků do alternativní investice s výnosem 3 %, a to o necelých 8 p. b. Vypočtená hodnota IRR u VRT je ovšem záporná, což nasvědčuje o nerentabilitě projektu, a to i přesto, že cena jízdného byla nastavena nad hranicí provozních nákladů.

Příčina této nerentability byla nalezena v hluboce rozdílné představě o předpokládaném počtu cestujících při výpočtu orientační ceny jízdného v Programu rozvoje rychlých spojení v ČR (MDČR, 2017) a výpočtů v této práci, které kalkulují s údaji na základě Socioekonomické studie potenciálu využití rychlého železničního spojení mezi Brnem a Prahou (KORDIS, 2013). Socioekonomická studie, jak již bylo mnohokrát zmíněno, kalkuluje s 19 000 cestujícími denně oběma směry. Ke konkrétní hodnotě dle Programu rozvoje je třeba dospět dedukcí využitím dostupných dat, a to jednoduše vynásobením předpokládaného denního počtu spojů s průměrnou obsazeností jednotky, které tento dokument specifikuje. Výpočet:  $144 \times 270 = 38\,880$ . Program rozvoje tedy kalkuluje s více než dvojnásobným počtem cestujících oproti Socioekonomické studii.

Po pátrání po objasnění tohoto rozdílu a následné konzultaci se spoluautory těchto dvou dokumentů/studií vzešlo následující vysvětlení. Na základě ústního sdělení spoluautora Socioekonomické studie Ing. K. Havlíka<sup>2</sup>, predikovaný počet 19 000 cestujících představuje pouze procentuální část cestujících, kteří již cestovního koridoru Praha-Brno jakýmkoliv cestovním módem využívají a jsou pouze ochotni při existenci VRT této možnosti využít. Konkrétně se jedná o 36 % z celkových 52 400 cestujících na trase Praha-Brno. Tato hodnota tedy nezvažuje nabídkou generovanou poptávku. Na základě ústního sdělení spoluautora Programu rozvoje Mgr. J. Ilíka<sup>3</sup>, se pak z důvodu pouze koncepčního účelu dokumentu pro jednání Vlády, mohou v hlubších (numerických) detailech objevovat určité nepřesnosti či nuance vzniklé pouze odhady, či extrapolacemi, které tak podrobné výpočty v této práci mohly vychýlit. Přesné hodnoty pak budou dostupné až ve studii proveditelnosti, jejíž vyhotovení je očekáváno v horizontu dvou let.

<sup>2</sup> Ústní sdělení Ing. Květoslava Havlíka (vedoucího odboru tarifního, marketingu, rozvoje a zástupce ředitele, KORDIS JMK, a.s., Nové Sady 30, 602 00 Brno), dne 10. května 2017.

<sup>3</sup> Ústní sdělení Mgr. Jana Ilíka (ministerského rady na Odboru drah, železniční a kombinované dopravy MD ČR, nábřeží Ludvíka Svobody 1222/12, 110 15 Praha 1), dne 9. května 2017.

Nelze tedy jednoznačně říci, který z těchto dvou údajů je správný. Je však zřejmé, že skutečné hodnoty budou zhruba vprostřed, jelikož Socioekonomická studie nezahrnuje nově indukovanou poptávku a Program rozvoje očividně poptávku nadhodnocuje, jelikož 144 spojů denně při průměrné obsazenosti 270 osob je v kontextu současné situace poněkud nereálná představa. Bude tedy provedeno doporučení a předpoklad pravděpodobnějšího scénáře.

144 spojů denně vychází z předpokladu 4 párů spojů za hodinu po dobu 18 hodin každý den. V úvahu nejsou brány méně vytížené časy (mimo špičku), ve kterých bude s největší pravděpodobností poptávka nižší a soupravy se každou čtvrt hodinu nezaplňují. Nový předpokládaný počet cestujících bude stanoven jako průměr obou hodnot, tedy cca 29 000 cestujících denně oběma směry. Počet spojů při stejné průměrné obsazenosti 270 cestujících tak bude 106, tedy téměř o 40 méně než původně. Těchto celkem 38 zrušených spojů představuje snížení frekvence odjezdů v méně vytížené časy. Při nižším počtu spojů tak klesá i potřeba vlakových jednotek, z původních 23 na aktuálních 17 při ponechaném proběhu 1 600 km na jednotku a průměrné obsazenosti 270 cestujících/jednotka.

V případě Hyperloopu není proběh limitujícím faktorem, proto v případě zvýšení počtu cestujících v rámci dostupné kapacity 41 kapslí, není třeba zvyšovat jejich počet. Změna se projeví pouze ve zvýšeném proběhu, tedy také nižších účetních odpisech, které mírně ovlivní minimální cenu jízdného směrem dolů.

Důležité hodnoty dle nově stanovených parametrů přehledně shrnuje následující tabulka.

Tab. 19 Souhrn výsledků výpočtu po provedené optimalizaci

Ukazatel	Hodnota	
	VRT	Hyperloop
Minimální cena jízdného	236,98 Kč	223,48 Kč
EAT	17,13 Kč	26,18 Kč
CF	72,31 Kč	32,64 Kč
NPV (diskontní s. 3 %)	-2 433 405,89 Kč	105 987 562,95 Kč
IRR	2,98 %	16,74 %

Z výsledků v této tabulce si lze povšimnout, že CF na cestujícího se téměř nezměnilo. Velká změna však nastala v ukazatelích návratnosti, které díky zvýšení počtu cestujících a snížení počtu dopravních jednotek (u VRT) vykazují mnohem pozitivnějších hodnot. Dopravní jednotka VRT se svou návratností dostala až na hranici 3 %. Můžeme tedy říci, že se po provedené optimalizaci parametrů jedná o vhodnou investici, porovnatelnou s alternativní investicí s výnosem 3 %. Hyperloop se při vyšším počtu cestujících stal ještě výnosnějším, jelikož jeho počet kapslí byl ponechán, pouze se zvýšilo množství příjmů.

#### 4.4.3 Porovnání a hodnocení investičních variant pro dopravce

Tato podkapitola byla zdrojem několika zásadních informací. I v případě, že se cena jízdného nastaví nad hranici vlastních provozních nákladů jednotky, je velmi důležité optimální nastavení celého dopravního systému, které jeho efektivnost zásadně ovlivňuje. Klíčové je tedy správně odhadnout počet spojů spolu s předpokládaným počtem cestujících, na základě čehož lze vypočítat počet potřebných dopravních jednotek. Zejména v případě VRT, díky jejich vysoké pořizovací ceně, dokáže nadměrný počet neefektivně užívaných jednotek míru návratnosti investice negativně ovlivnit.

Návratnost VRT lze samozřejmě dále zvýšit snížením počtu spojů, čímž snížíme i potřebu dopravních jednotek, mezi kterými se zisk bude dělit. Tento postoj však může vést k nežádanému stavu malé frekvence odjezdů v jízdnímu řádu, čímž zákazník ztratí možnost flexibilní volby spojů v rámci krátkého časového rozmezí.

Použitý přístup poukazuje na efektivnost obou dopravních variant při nejkonzervativnějším počtu cestujících ovšem při žádaném počtu spojů, tak jak je u moderní vysokorychlostní osobní dopravy ve světovém kontextu zvykem. Při tomto stavu VRT vychází jednoznačně méně efektivní. Důvodem je nízká flexibilita vysokokapacitních vlakových jednotek, které nedokáží pružně reagovat na měnící se poptávku, jelikož jsou vázány jízdním řádem, nízký proběh souprav a v neposlední řadě vysoká pořizovací cena jednotky.

Hyperloop naopak i při relativně vysokém počtu kapslí dokáže i v případě konzervativně stanoveného počtu cestujících generovat zisk. V případě dalšího navyšování cestujících lze počet kapslí (41) ponechat až do průměrně 65 000 cestujících denně (3 600 cestujících/hodinu). Stejná kapacita je i v případě 23 VRT jednotek, ovšem s nižší, či zápornou mírou výnosnosti.

Na základě provedených výpočtů lze tedy poměrně jednoznačně jako vhodnější investiční variantu pro dopravce označit Hyperloop, který je rychlejší, levnější a flexibilnější.

## 5 Doporučení

V předchozích kapitolách byl Hyperloop jasně označen jako efektivnější alternativou vysokorychlostní osobní dopravy na trase Praha-Brno. Upřednostnění jeho realizace by bezesporu přineslo mnohem větší užitek a škálu přínosů nežli VRT. Jelikož se však jedná o prozatím poměrně novou a progresivní technologii, pro možnost její realizace je třeba provést několik kroků, které jsou bodově shrnuty jako doporučení v této kapitole.

- **Vypracování podrobné studie proveditelnosti**  
I přesto, že tato práce podrobně kalkuluje jednotlivé náklady na stavbu, je potřeba specifická kalkulace, která detailně prozkoumá možnosti vedení trasy, stanoví přepravní rychlost, analyzuje současný legislativní stav a navrhne další doporučení. Tato studie je již ve spolupráci s HTT ve fázi zpracovávání, a to na zvažované trase Praha-Brno-Bratislava.
- **Dokončení technologického vývoje a ověření bezpečnosti provozu**  
V průběhu vypracovávání studií proveditelnosti je třeba kompletně dokončit technologický vývoj, opravit nedostatky a ověřit či případně vyvrátit všechny bezpečnostní hrozby. K tomuto má přispět testovací trať v Kalifornii, která technické hledisko technologie spolu s bezpečností prověří.
- **Porovnání studií proveditelnosti na VRT a Hyperloop**  
Po dokončení studií proveditelnosti na VRT i Hyperloop je nutné podrobné a objektivní porovnání obou variant, vyvozující jednoznačné doporučení s výběrem vhodnější varianty k realizaci.
- **Nastavení legislativního rámce respektující Hyperloop**  
Jelikož Hyperloop svou povahou nelze posuzovat dle současných drážních norem a díky jejich rigidnosti je i jejich případná úprava málo pravděpodobná, či dokonce nemožná, doporučuje se vytvoření nového, pružného legislativního rámce, který tuto novou technologii bude respektovat.  
Právě tento krok je obecně považován za jeden ze zásadních, k jehož dosažení je nezbytný krok následující.
- **Dostatečná politická iniciativa**  
Z historie postupu plánování VRT je evidentní, že i přes obecnou shodu o nutnosti nové dopravní (vysokorychlostní) alternativy na trase Praha-Brno, je stále hlavním faktorem nedostatečná politická iniciativa. Z důvodu relativně velkého zásahu do státního rozpočtu je postup neúměrně pomalý důležitosti stavby. V případě, že se na základě studií potvrdí Hyperloop jako lepší a přínosnější volbou, je nezbytné, aby i ze strany vládní byla pevně uchopena iniciativa, která povede k jeho realizaci.

## 6 Závěr

Bakalářská práce měla za cíl ekonomické posouzení konceptu vysokorychlostní dopravy na trase Praha-Brno. Byly využity standardní nástroje posuzování investičních záměrů (NPV, IRR, ROC), díky kterým byly vybrané alternativy posouzeny a vyvozena nejefektivnější varianta.

Alternativy, které byly zvoleny k vzájemnému porovnání a hodnocení, byly vybrány na základě teoretických znalostí z první části práce, a to VRT a Hyperloop. Při všech výpočtech byla preferována střídmost a konzervativní odborné odhady nad zbytečně nadhodnocenými, které by výpočty mohly, ač pozitivně, avšak nereálně vychýlit.

Nejdříve byla zhodnocena investiční návratnost vlastní infrastruktury z pohledu investora (stát), kdy hlavní složkou výnosů byly monetizované přínosy z časové úspory, které se na celkových monetizovaných přínosech podílí až z 80 %. Z investičního hlediska byly obě stavby hodnoceny jako nepřijatelné, přičemž Hyperloop byl díky porovnatelným nákladům s VRT a vyšší časové úspoře hodnocen jako relativně výnosnější. Po posouzení širších socio-ekonomických dopadů pro společnost byly i přes vlastní investiční nepřijatelnost obě alternativy zhodnoceny pozitivně. Díky vyšší rychlosti lze v případě Hyperloopu tyto dopady navíc očekávat v mnohem větším měřítku.

Následující kapitola se věnovala byznys plánu, v rámci kterého byla spočtena orientační výše jízdného a investiční návratnost jedné dopravní jednotky. Na základě podrobného rozpisu nákladů vstupujících do cenotvorby byla stanovena minimální cena jízdného k jejich celkovému pokrytí. Díky porovnatelné hodnotě byla doporučena shodná prodejní cena ve výši 250 Kč pro obě varianty. Rozdílem mezi prodejní cenou a náklady na provoz byl následně stanoven čistý zisk, který po vynásobení předpokládaným počtem cestujících vstupuje do výpočtu návratnosti investice ve formě výnosů. Při výpočtu bylo zjištěno, že při konzervativně stanoveném počtu cestujících (bez indukované poptávky) není investice do jedné dopravní jednotky VRT přijatelnou. Tou se stala až po provedené optimalizaci systému – zvýšení počtu cestujících (dodatečná indukovaná poptávka) a snížení počtu spojů, a tedy počtu potřebných dopravních jednotek mezi nimiž se dělí zisk. Investice do jedné dopravní kapsle Hyperloopu je přijatelná v obou případech, tedy i bez indukované poptávky v rámci nejkonzervativnějšího pohledu.

Výše uvedenými závěry je výzkumná otázka potvrzena, lze tedy konstatovat, že koncept vysokorychlostní osobní dopravy na trase Praha-Brno efektivní je. Navíc se podařilo prokázat, že efektivnější variantou v porovnání s VRT je Hyperloop, a to zejména díky porovnatelné výši nákladů na stavbu, nižším nákladům na dopravní jednotku, mnohem vyšší rychlosti, možné flexibilitě a velké frekvenci spojů.

Toto konstatování je poměrně jednoznačné a jasně naznačující směr, kterým by se případný vývoj vysokorychlostní osobní dopravy měl uchylovat. Faktem je, že prokázání efektivnosti je pouze jedna z elementárních částí a pro případnou realizaci může sloužit maximálně jako primární impuls. Tato práce tedy slouží jako jakési nastínění potenciálu technologie Hyperloop na trase Praha-Brno, čímž pod-



poruje význam spolupráce mezi Magistrátem města Brna a HTT s cílem vypracování podrobné studie proveditelnosti na trase Praha-Brno-Bratislava.

Pokud studie proveditelnosti potvrdí závěry této bakalářské práce, je třeba z politického hlediska dát Hyperloopu prostor a uskutečnit zásadní rozhodnutí, kterým směrem rozvoj vysokorychlostní osobní dopravy v České republice směřovat. Na základě slovního vyjádření Ing. J. Vituly<sup>4</sup>, jež se na spolupráci s HTT podílí, není největší překážkou, mnoha kritiky zmiňovaný, technický vývoj, avšak právě politická vůle, spolu s nedostatečně přizpůsobenou legislativou, které přijetí takto přelomové technologie do českého prostředí mohou bránit nejvíce.

Hyperloop by neměl být brán jako hrozba, která bude konkurovat drážní dopravě, naopak by měl být chápán jako její plnohodnotná součást, které mohou cestující flexibilně využívat. Navíc při uvědomění si jeho nesporných výhod v cestování na delší vzdálenosti, je možné uvažovat o propojení evropských metropolí, a tak vytvoření jakéhosi konceptu „snadno dostupné Evropy“ kdekoliv a kdykoliv. Uvažování v tomto kontextu je však již nad rámec této práce, ovšem jistě předmětným tématem pro další úvahy.

---

<sup>4</sup> Ústní sdělení Ing. Jana Vituly (zastupitele a náměstka hejtmána Jihomoravské kraje, Žerotínovo nám. 449/3, 601 82 Brno-střed), dne 11. května 2017.

## 7 Literatura

- AIR TRANSPORT ACTION GROUP (ATAG). *Facts & Figures* [online]. 2017 [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: <http://www.atag.org/facts-and-figures.html>
- BOARDMAN, J., H. *Report to Congress: Costs and Benefits of Magnetic Levitation* [online]. U. S. Department of Transportation Federal Railroad Administration, 2005 [cit. 2017-02-22]. Dostupné z: <https://www.fra.dot.gov/Elib/Document/1176>
- BROOKS, H. *The Hyperloop: A Top-Down Systems Engineering Evaluation of the Technical and Economic Feasibility*. Princeton University, 2014.
- BURNETT, V. *Spain's High Speed Rail Offers Guideposts for US*. New York Times, 2009.
- CENTRAL JAPAN RAILWAY COMPANY. *The Realization of the Chuo Shinkansen by SC Maglev*. [online] Presented at the 3rd meeting of Transport Policy Council Chuo Shinkansen Subcommittee, May 10, 2012. [cit. 2017-02-24]. Dostupné z: <http://www.mlit.go.jp/common/000114078.pdf>.
- COOPER, D. *Hyperloop company to develop its technology in France* [online]. 2017 [cit. 2017-03-06]. Dostupné z: <https://www.engadget.com/2017/01/24/the-other-hyperloop-company-sets-up-shop-in-france/>
- ČAPKOVÁ, T. *Kolik dnů svítí v Česku slunce? Solárníci odmítají nařčení ERÚ*. [online]. 2013 [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: <http://zpravy.e15.cz/byznys/prumysl-a-energetika/kolik-dnu-sviti-v-cesku-slunce-solarnici-odmitaji-narceni-eru-1018063>
- ČERNÝ, A. *Brno to s hyperloopem myslí vážně. Chystá se na studii proveditelnosti* [online]. 2017 [cit. 2017-03-07]. Dostupné z: [http://ekonomika.idnes.cz/hyperloop-brno-podepsalo-memorandum-s-htt-fja-/eko-doprava.aspx?c=A170118\\_141802\\_eko-doprava\\_rny](http://ekonomika.idnes.cz/hyperloop-brno-podepsalo-memorandum-s-htt-fja-/eko-doprava.aspx?c=A170118_141802_eko-doprava_rny)
- ČESKÉ DRÁHY, A.S. *Historie* [online]. [cit. 2017-01-07]. Dostupné z: <http://www.ceskedrahy.cz/skupina-cd/historie/-700/>
- ČESKÝ STATISTICKÝ ÚŘAD. *Průměrné mzdy - 4. čtvrtletí 2016*. [online]. 2017 [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: [https://www.czso.cz/csu/czso/cri/prumerne-mzdy-4-ctvrtleti-2016#\\_ftn1](https://www.czso.cz/csu/czso/cri/prumerne-mzdy-4-ctvrtleti-2016#_ftn1)
- EDDINGTON, R. *Eddington Transport Study*. UK Department for Transport. 2006, str. 208.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *California Environmental Quality Act and National Environmental Policy Act: Environmental Impact Statement*. 2014 [online]. [cit. 2017-02-11].
- ESTLER, T. *Fast Trains Worldwide*. Schiffer Publishing, Ltd, 2013. ISBN 978-0-7643-4447-3.
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. *Long distance bus occupancy rates* [online]. [cit. 2016-12-17]. Dostupné z: <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/long-distance-bus-occupancy-rates>

- EVROPSKÝ PARLAMENT A RADA (EU). *NAŘÍZENÍ EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (EU) č. 1315/2013: o hlavních směrech Unie pro rozvoj transevropské dopravní sítě a o zrušení rozhodnutí č. 661/2010/EU.*
- FEIGENBAUM, B. *High-Speed Rail in Europe and Asia: Lessons for the United States* [online]. Reason Foundation, 2013 [cit. 2017-01-29]. Dostupné z: [http://reason.org/files/high\\_speed\\_rail\\_lessons.pdf](http://reason.org/files/high_speed_rail_lessons.pdf)
- FLYVBJERG, B., HOLM, M., K., S., BUHL, S., L. *Inaccuracy in Traffic Forecasts*. Transport Reviews, vol. 26, no. 1. 2006.
- FLYVBJERG, B., HOLM, M., K., S., BUHL, S., L. *Underestimating Costs in Public Works Projects: Error or Lie?* Journal of the American Planning Association, vol. 68, no. 3. 2002.
- HEIKE, L. *German Railway Reform: Chances and Risks*. Japan Railway & Transport Review, 1994, str. 22.
- HTT. *Hyperloop Transportation Technologies Reaches Agreement with Slovakia* [online]. 2016 [cit. 2017-03-07]. Dostupné z: <https://hyperloop-transportation-technologies.relayto.com/post/tFXuAjiY>
- HTT. *Official Crowdstorm Documentation* [online]. 2014 [cit. 2017-03-06]. Dostupné z: <https://lintvkrqe.files.wordpress.com/2014/12/crowdstorm.pdf>
- HTT. *The Abu Dhabi Department of Municipal Affairs and Transport signs agreement with Hyperloop Transportation Technologies to study the develop of high-speed transportation between Abu Dhabi and Al Ain* [online]. 2016 [cit. 2017-03-07]. Dostupné z: <http://hyperloop.global/wp-content/uploads/2016/11/The-Abu-Dhabi-Department-of-Municipal-Affairs-and-Transport-signs-agreem....pdf>
- INTERNATIONAL UNION OF RAILWAYS (UIC). *HIGH SPEED RAIL: FAST TRACK TO SUSTAINABLE MOBILITY* [online]., 2015 [cit. 2017-01-21]. Dostupné z: [http://www.uic.org/IMG/pdf/high\\_speed\\_brochure.pdf](http://www.uic.org/IMG/pdf/high_speed_brochure.pdf)
- KINDERSLEY, D. *Train Book*. Dorlin Kindersley Limited, 2014. ISBN 978-1-4093-4796-5.
- KORDIS JMK, A.S. *Socioekonomické studie potenciálu využití rychlého železničního spojení mezi Brnem a Prahou* [online]. 2013 [cit. 2017-03-21]. Dostupné z: [http://www.vysokorychlostni-zeleznice.cz/wp-content/uploads/2012/10/Studie\\_potencial\\_VRT\\_Brno-Praha\\_VIZE-2030\\_Havlik\\_2013.pdf](http://www.vysokorychlostni-zeleznice.cz/wp-content/uploads/2012/10/Studie_potencial_VRT_Brno-Praha_VIZE-2030_Havlik_2013.pdf)
- KPMG AB, *Pre-feasibility study Stockholm – Helsinki using Hyperloop One technology Short summary* [online]. 2016 [cit. 2017-03-03]. Dostupné z: [https://www.dropbox.com/s/5ytsqk1h7q51ldn/FS%20Links%20-%2020160712%20Stockholm-Helsinki%20pre-feasibility%20final%20delivery\\_FSL.pdf?dl=0](https://www.dropbox.com/s/5ytsqk1h7q51ldn/FS%20Links%20-%2020160712%20Stockholm-Helsinki%20pre-feasibility%20final%20delivery_FSL.pdf?dl=0)
- KRÝŽE, P. (SŽDC). *Největší traťové rychlosti* [online]. In: . [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: [http://provoz.szdc.cz/PORTAL/Show.aspx?path=/Data/Mapy/rychlosti\\_m.gif](http://provoz.szdc.cz/PORTAL/Show.aspx?path=/Data/Mapy/rychlosti_m.gif)

- LEO EXPRESS, A.S. *Leo Express výroční zpráva 2012* [online]. [cit. 2017-01-07]. Dostupné z: [http://www.le.cz/pdf/vyrocní\\_zpravy/leo\\_express\\_vyrocní\\_zprava\\_2012.pdf](http://www.le.cz/pdf/vyrocní_zpravy/leo_express_vyrocní_zprava_2012.pdf)
- LONGTERMSOLAR.CZ. *Average solar sunlight hours per day* [online]. 2010 [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: <http://www.longtermsolar.com/solar-sunlight-hours/>
- MDČR. *Program rozvoje rychlých železničních spojení v ČR* [online]. 2017 [cit. 2017-03-23]. Dostupné z: [https://www.mdcr.cz/getattachment/Media/Media-atiskove-zpravy/Ministr-Tok-Vysokorychlostni-trate-potrebuji-novy/MD\\_Program-rozvoje-rychlych-spojenu-v-CR.pdf.aspx](https://www.mdcr.cz/getattachment/Media/Media-atiskove-zpravy/Ministr-Tok-Vysokorychlostni-trate-potrebuji-novy/MD_Program-rozvoje-rychlych-spojenu-v-CR.pdf.aspx)
- MINTER, A. *Just Say No to High-Speed Rail*. Bloomberg [online]. 2016 [cit. 2017-02-09]. Dostupné z: <https://www.bloomberg.com/view/articles/2016-07-07/just-say-no-to-high-speed-rail>
- MUSK, E. *Hyperloop Alpha* [online]. 2013 [cit. 2017-03-02]. Dostupné z: [http://www.spacex.com/sites/spacex/files/hyperloop\\_alpha-20130812.pdf](http://www.spacex.com/sites/spacex/files/hyperloop_alpha-20130812.pdf)
- NATIONAL SAFETY COUNCIL. *INJURY FACTS 2011 EDITION* [online]., 2011 [cit. 2017-01-22]. Dostupné z: [http://static.mgnetwork.com/rtd/pdfs/20110610\\_deathrates11.pdf](http://static.mgnetwork.com/rtd/pdfs/20110610_deathrates11.pdf)
- NAWABI, W. *Sledování a vyhodnocování nákladů po dobu životnosti železniční dopravní cesty (metodika lcc)* [online]. DB, AG, Mnichov, SRN, 2012 [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: <http://www.szdc.cz/soubory/konference-a-seminare/zdc-2012/b01-nawabi-db-sb.pdf>
- NEJEZCHLEB, M. (SŽDC). *Specifika vysokorychlostních tratí v České republice a tranzitní koridory* [online]. [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: [http://www.casopisstavebnictvi.cz/specifika-vysokorychlostnich-trati-v-ceske-republice-a-tranzitni-koridory\\_N585](http://www.casopisstavebnictvi.cz/specifika-vysokorychlostnich-trati-v-ceske-republice-a-tranzitni-koridory_N585)
- NELLTHORP, J., BRISTOW, A.L., MACKIE, P.J. *Measurement and valuation of the impacts of transport initiatives*. Deliverable D9, (Restricted), EUNET Project Socio Economic and Spatial Impacts of Transport (Contract: ST-96-SC.037). Institute for Transport Studies, University of Leeds, 1998
- O'BRIEN, C. *Hyperloop One's new autonomous transportation system: We're not just a train in a tube company anymore*. Venturebeat.com [online]. [cit. 2017-03-03]. Dostupné z: <http://venturebeat.com/2016/11/21/hyperloop-ones-new-autonomous-transportation-system-were-not-just-a-train-in-a-tube-company-more/>
- PETERMAN, R., D., FRITTELLI, J., MALLETT, J., W. *High Speed Rail (HSR) in the United States* [online]. Congressional Research Service, 2009 [cit. 2017-02-08]. Dostupné z: <https://fas.org/sgp/crs/misc/R40973.pdf>
- RUS, DE GINÉS ET AL *Economic Analysis of High Speed Rail in Europe*. Bilbao: Editorial Biblioteca Nueva, 2012. ISBN 978-84-92937-32-5.
- RUTZEN, B., WALTON, C. M. *High Speed Rail: A Study of International Best Practices and Identification of Opportunities in the U.S.* [online]. Center for Transportation

- Research The University of Texas at Austin, 2011 [cit. 2017-01-29]. Dostupné z: <http://ntl.bts.gov/lib/43000/43400/43454/476660-00071-1.pdf>
- RYDER, A. *High speed rail*. Journal of Transport Geography [online]. 2012, (22), p.303 [cit. 2017-01-22].
- ŘSD ČR. *Nová D1* [online]. [cit. 2016-12-03]. Dostupné z: <http://www.novad1.cz/o-projektu/>
- ŘSD ČR. *Silnice a dálnice v České republice* [online]. Str. 14 [cit. 2016-12-03]. Dostupné z: <https://www.rsd.cz/wps/wcm/connect/4480eb1a-f86e-4060-b930-11d8c9dcc647/Silnice+a+dalnice+v+Ceske+republice+2016+%28CZ%29.pdf?MOD=AJPERES>
- ŘSD ČR. *Výsledky celostátního sčítání dopravy* [online]. [cit. 2016-12-07]. Dostupné z: <http://scitani2010.rsd.cz/pages/shop/default.aspx>
- STUDENT AGENCY, K.S. *Posílení linky Praha – Brno* [online]. [cit. 2017-01-07]. Dostupné z: <https://www.studentagency.cz/o-nas/pro-media/archiv/2012-11-posileni-linky-praha-brno.html>
- STUDENT AGENCY, K.S. *Před pěti lety vstoupila na české koleje konkurence. Vlaky Regio-Jet cestovalo za pět let více než 22 miliónů cestujících* [online]. [cit. 2017-01-07]. Dostupné z: [https://www.studentagency.cz/o-nas/pro-media/2016/2016\\_09\\_26\\_5\\_let.html](https://www.studentagency.cz/o-nas/pro-media/2016/2016_09_26_5_let.html)
- SŽDC. *Postup výstavby RS do roku 2030 (možný scénář)* [online]. [cit. 2017-03-17]. Dostupné z: [http://www.vysokorychlostni-zeleznice.cz/wp-content/uploads/2012/10/harmonogram\\_vystavby\\_VRT\\_Binko\\_SZDC\\_2013.jpg](http://www.vysokorychlostni-zeleznice.cz/wp-content/uploads/2012/10/harmonogram_vystavby_VRT_Binko_SZDC_2013.jpg)
- SŽDC. *Železniční tranzitní koridory* [online]. [cit. 2016-12-03]. Dostupné z: <http://provoz.szdc.cz/PORTAL/Show.aspx?path=/Data/Mapy/koridory.pdf>
- TAYLOR, L., C. HYDE, D., J. BARR, L., C. *Hyperloop Commercial Feasibility Analysis: High Level Overview* [online]. 2016 [cit. 2017-03-06]. Dostupné z: <https://ntl.bts.gov/lib/59000/59300/59393/DOT-VNTSC-NASA-16-01.pdf>
- TRANSPORT POLICY COUNCIL CHUO SHINKANSEN SUBCOMMITTEE. *Final Report on the Chuo Shinkansen Project*. [online] Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan. 2011. [cit. 2017-02-24]. Dostupné z: <http://www.mlit.go.jp/common/000144328.pdf>
- TRANSRAPID INTERNATIONAL-USA, INC. *Transrapid Shanghai Maglev Project Update* [online]. Washington DC, 2007 [cit. 2017-02-22]. Dostupné z: [http://www.ga.com/websites/ga/docs/transportation/high\\_speed/Transrapid%20Shanghai%20Maglev%20Project%20Update\\_May\\_2007.pdf](http://www.ga.com/websites/ga/docs/transportation/high_speed/Transrapid%20Shanghai%20Maglev%20Project%20Update_May_2007.pdf)
- TREMLET, G. *Spain's high-speed trains win over fed-up flyers*. The Guardian [online]. Congressional Research Service, 2009 [cit. 2017-02-08]. Dostupné z: <https://www.theguardian.com/world/2009/jan/13/spain-trains>
- TSK-PRAHA. *Ročenka dopravy Praha 2013* [online]. Str. 12 [cit. 2016-12-17]. Dostupné z: <http://www.tsk-praha.cz/static/udi-rocenka-2013-cz.pdf>

- TVRDÍK, J. *Vysokorychlostní trať Praha-Brno: Technická zpráva* [online]. SUDOP Praha, a.s., 2010 [cit. 2017-04-14]. Dostupné z: [http://www.vysokorychlostni-zeleznice.cz/wp-content/uploads/2012/10/Studie\\_VRT\\_Praha-Brno\\_Technicka\\_zprava\\_B2\\_Sudop\\_2010.pdf](http://www.vysokorychlostni-zeleznice.cz/wp-content/uploads/2012/10/Studie_VRT_Praha-Brno_Technicka_zprava_B2_Sudop_2010.pdf)
- TVRDÍK, J. *Vysokorychlostní trať Praha-Brno: Textová zpráva* [online]. SUDOP Praha, a.s., 2010 [cit. 2017-03-17]. Dostupné z: [http://www.vysokorychlostni-zeleznice.cz/wp-content/uploads/2014/02/Studie\\_VRT\\_Praha-Brno\\_Textova\\_zprava\\_A1\\_Sudop\\_2010.pdf](http://www.vysokorychlostni-zeleznice.cz/wp-content/uploads/2014/02/Studie_VRT_Praha-Brno_Textova_zprava_A1_Sudop_2010.pdf)
- UIC. *High Speed Lines in the World*. [online]. 2017 [cit. 2017-02-07]. Dostupné z: [http://www.uic.org/IMG/pdf/20170201\\_high\\_speed\\_lines\\_in\\_the\\_world.pdf](http://www.uic.org/IMG/pdf/20170201_high_speed_lines_in_the_world.pdf)
- UNITED STATES GOVERNMENT ACCOUNTABILITY OFFICE (GAO). *High Speed Passenger Rail: Future Development Will Depend on Addressing Financial and Other Challenges and Establishing a Clear Federal Role* [online]. 2009 [cit. 2017-02-11]. Dostupné z: <http://www.gao.gov/new.items/d09317.pdf>
- UPBIN, B. *We Ran the Numbers on a European Hyperloop—And They Look Fantastic*. Hyperloop One [online]. 2016 [cit. 2017-03-03]. Dostupné z: <https://hyperloop-one.com/blog/we-ran-the-numbers-on-euro-hyperloop>
- WEI Q. C., KONG Y. J., SHI JIN. *System and Technology for Maglev Transit*. China Science and Technology Press; 2010.
- ZHIGANG, L., ZHIQIANG, L., XIAOLONG, L. *Maglev Trains: Key Underlying Technologies*. Springer Berlin Heidelberg, 2015. ISBN 978-3-662-45672-9.

## 8 Seznam obrázků

<b>Obr. 1</b>	<b>Způsob fungování Maglevu Transrapid Zdroj: Maglev Trains: Key Underlying Technologies, 2015</b>	<b>19</b>
<b>Obr. 2</b>	<b>Způsob fungování Maglevu MLX Zdroj: Maglev Trains: Key Underlying Technologies, 2015</b>	<b>19</b>
<b>Obr. 3</b>	<b>Hyperloop koncepční skeč transportní kapsle Zdroj: Hyperloop Alpha, 2013</b>	<b>22</b>
<b>Obr. 4</b>	<b>Postup výstavby VRT Praha-Brno (možný scénář) do roku 2039 Zdroj: SŽDC, 2009 (upraveno, aktualizováno)</b>	<b>26</b>
<b>Obr. 5</b>	<b>Vedení trasy Zdroj: Textová zpráva, SUDOP Praha a.s., 2010</b>	<b>30</b>

## 9 Seznam tabulek

Tab. 1	Shrnutí základních parametrů zvažovaných alternativ	27
Tab. 2	Souhrn celkových investičních nákladů (CIN) VRT Praha-Brno	28
Tab. 3	Jednotkový rozpis investičních nákladů (IN) pro stavbu Hyperloopu	29
Tab. 4	Doplnění jednotkových investičních nákladů (IN) pro stavbu Hyperloopu	29
Tab. 5	Celkové investiční náklady (CIN) na Hyperloop v USD	31
Tab. 6	Celkové investiční náklady (CIN) na Hyperloop v CZK	31
Tab. 7	Shrnutí složek pro výpočet investiční návratnosti VRT	34
Tab. 8	Zápis pro výpočet návratnosti investice VRT	34
Tab. 9	Výsledky výpočtu návratnosti investice VRT	34
Tab. 10	Shrnutí složek pro výpočet investiční návratnosti Hyperloopu	35
Tab. 11	Zápis pro výpočet návratnosti investice Hyperloopu	36
Tab. 12	Výsledky výpočtu návratnosti investice Hyperloopu	36
Tab. 13	Porovnání hodnot IRR a ROC pro stavbu infrastruktury obou variant	37
Tab. 14	Orientační výpočet jízdného dle nákladů jednotlivých položek vstupujících do cenotvorby	41
Tab. 15	Souhrn orientačních cen jízdného	42
Tab. 16	Výpočet CF na cestujícího	43
Tab. 17	Zápis pro výpočet investiční návratnosti jedné dopravní jednotky VRT a Hyperloopu	43
Tab. 18	Výsledky výpočtu návratnosti investice do jedné dopravní jednotky VRT a Hyperloopu	44
Tab. 19	Souhrn výsledků výpočtu po provedené optimalizaci	45



# Přílohy

