



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

VLAPOVÁ DOPRAVA

TRAIN TRANSPORT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jan Netolický

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Kamil Řehák, Ph.D.

BRNO 2022

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student: **Jan Netolický**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Stavba strojů a zařízení
Vedoucí práce: **Ing. Kamil Řehák, Ph.D.**
Akademický rok: 2021/22

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem v

Vlaková doprava

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Z důvodu vytíženosti silniční sítě je při cestování na střední vzdálenosti s výhodou využíváno kolejové dopravy. Nemalý vliv na tomto trendu má i zvyšující se úroveň komfortu jednotlivých vlakových souprav či zvyšující se přepravní rychlosti, které zásadně zkrátí dobu cestování.

Cíle bakalářské práce:

Provedení rešerše.
Přehled vlakových souprav.
Současné trendy v oblasti vlakových souprav.
Kritické zhodnocení budoucího vývoje v ČR.

Seznam doporučené literatury:

JOZEF, Gašparík a Jiří KOLÁŘ. Železniční doprava: technologie, řízení, grafikony a dalších 100 zajímavostí. Praha: Grada Publishing, 2017. ISBN 978-80-271-0058-3.

ZELENÝ, Lubomír a Luboš PEŘINA. Doprava: dopravní infrastruktura. V Praze: Vysoká škola ekonomická, 2000. ISBN 80-245-0110-4.

ŠTĚPÁN, Miloslav. Přehledné dějiny československých železnic 1824-1948. [Praha]: Dopravní nakladatelství, 1958. Dostupné také z: <http://www.digitalniknihovna.cz/mzk/uuid/uuid:495ffd50-d811-11e6-8a71-005056827e52>.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2021/22

V Brně, dne

L. S.

.....
prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.
ředitel ústavu

.....
doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá vlakovou dopravou. Vlaková doprava je tu s námi už řadu let a neustále se vyvíjí. Od počátku, kdy kolejová vozidla sloužila pouze pro přepravu materiálu v dolech, uplynulo již mnoho let a současná kolejová vozidla slouží jako jeden z hlavních dopravních prostředků po celém světě. Vytíženost silniční dopravy přispívá k využívání a rozvoji vlakové dopravy a tím i k zvyšování rychlosti a komfortu, který se nám dopravci snaží nabídnout. Z tohoto důvodu byly rozděleny vlakové soupravy dle jednotlivých kritérií a vzdálenosti jejich cesty. Nebyly zde opomenuty ani vlaky nákladní. Kvůli neustálému zvyšování rychlosti byl dán větší prostor pro vysokorychlostní soupravy, které byly rozděleny do jednotlivých vysokorychlostních rodin. Tento přehled souprav nám napovídá směr budoucího vývoje. Jelikož má Česká republika rozsáhlou železniční síť, je v práci zhodnocení budoucího vývoje z hlediska zvyšování rychlosti, elektrifikace a nákladní dopravy. Výsledkem práce je rozdělení a přehled současných vlakových souprav, ze kterých byly vyvozeny trendy v tomto odvětví. Závěrem práce je také kritické zhodnocení budoucího vývoje v České republice.

KLÍČOVÁ SLOVA

Vlaková souprava, vlak, trendy vlakových souprav, pohony, budoucí vývoj, vysokorychlostní vlak

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with train transport. Train transport has been with us for many years and is constantly evolving. Many years have passed since the early days when rail vehicles were only used for transporting materials in mines, and today's rail vehicles serve as one of the main means of transport all over the world. The congestion of road transport is contributing to the use and development of train transport and thus to the increased speed and comfort that the carriers are trying to offer us. For this reason, the trains have been divided according to different criteria and the distance of their journey. Freight trains have also been included. Because of the constant increase in speed, more space has been given to high-speed trains, which have been divided into individual high-speed families. This overview of the trains gives us an indication of the direction of future development. As the Czech Republic has an extensive rail network, the paper includes an assessment of future developments in terms of speed increases, electrification and freight transport. As a result of the thesis, a breakdown and overview of current trainsets is presented, from which trends in this sector have been drawn. The thesis also concludes with a critical assessment of future developments in the Czech Republic.

KEYWORDS

Train set, train, train trends, drives, developments, high-speed train

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

NETOLICKÝ, J. *Vlaková doprava*. Brno, 2022. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. Vedoucí bakalářské práce Kamil Řehák. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/140179>

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Kamila Řeháka, Ph.D. a s použitím informačních zdrojů uvedených v seznamu.

V Brně dne 20. května 2022

.....

Jan Netolický

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce Ing. Kamilu Řehákovi, Ph.D. za pomoc a připomínky při zpracování práce. Rád bych poděkoval také své rodině za podporu během celého studia.

OBSAH

Úvod	11
1 Stručná historie vlakové dopravy	12
1.1 Počátek vlakové dopravy	12
1.2 Vlaková doprava v České republice	12
2 Dělení kolejových vozidel	14
2.1 Dělení podle schopnosti vyvinout tažnou sílu	14
2.1.1 Hnací vozidla	14
2.1.2 Vozy	15
2.2 Dělení podle rozchodu koleje	15
3 Pohony vlaků	16
3.1 Parní lokomotiva	16
3.1.1 Parní kotel	16
3.1.2 Parní stroj s klikovým mechanismem pohonu kol	17
3.2 Spalovací motor	18
3.2.1 Přenos výkonu	18
2.3 Elektrický pohon	20
2.3.1 Napájecí soustava	20
2.3.2 Sběrač	21
2.3.3 Odpojovač a uzemňovač	22
2.3.4 Hlavní vypínač	22
2.3.5 Trakční transformátor	22
2.3.5 Trakční měnič	23
2.3.6 Trakční motor	23
4 Vlaky osobní přepravy	24
4.1 Příměstská doprava	24
4.2 Regionální doprava	25
4.3 Dálková doprava	26
5 Vysokorychlostní vlaky	27
5.1 TGV	28
5.2 ICE	30
5.3 Talgo	31
5.4 Pendolino	32
5.5 KTX	34
5.6 Velaro	35
5.7 Shinkansen	36
5.8 Maglev	37
5.8.1 Pohon	37
5.8.2 Magnetická levitace	38
6 Nákladní vlaky	39
6.1 Otevřený vůz	40
6.2 Výsypný vůz	40
6.3 Krytý vůz	42

6.4	Chladicí vůz.....	42
6.5	Cisternový vůz.....	43
6.6	Plošinový vůz	43
7	Současné trendy vlakové dopravy	44
7.1	Zvyšování rychlosti	44
7.2	Výstavba vysokorychlostních tratí	45
7.3	Využití hliníkových slitin.....	45
7.4	Aerodynamika	46
7.5	Nízkopodlažní soupravy	47
7.6	Brzdy	47
7.7	Vypružení	48
7.8	Ekologie.....	50
7.8.1	Znečištění ovzduší.....	50
7.8.2	Hlučnost vlakové dopravy	51
8	Kritické zhodnocení budoucího vývoje v ČR	54
8.1	Elektrifikace tratí	54
8.2	Zvyšování rychlosti	56
8.3	Nákladní doprava	57
	Závěr	59
	Použité informační zdroje	60
	Seznam použitých zkratk a symbolů	66
	Seznam příloh.....	67

ÚVOD

V dnešním světě lidé neustále cestují ať už za prací nebo za zážitky. K tomu nám slouží celá řada dopravních prostředků, jako jsou letadla, lodě, automobily nebo právě vlaky. Pokud chceme cestovat na střední nebo dlouhé vzdálenosti, tak je vlaková doprava dobrá volba. Dnes se jedná o poměrně levnou, komfortní a rychlou přepravu z bodu A do bodu B. To dokazuje, že se vlaková doprava v posledních letech těší veliké oblibě. Jen v České republice bylo za rok 2020 přepraveno 129,5 milionů osob [1], a to i přes fakt světové pandemie covid-19. Je proto kladen důraz na zvyšování komfortu a přepravní rychlosti. Na trhu se nachází mnoho dopravců, kteří chtějí nabídnout svým zákazníkům to nejlepší. Díky tomu je vyvíjen tlak na výrobce a ti se snaží splnit všechny požadavky a vyrobit co nejkomfortnější a nejlepší vlakové soupravy. Výsledkem toho je, že dnes může pomocí vlaku cestovat úplně každý, i když má omezenou mobilitu. Soupravy pro příměstskou a regionální dopravu mají za cíl nabídnout alternativu k autobusové dopravě a tím snížit vytíženost silniční dopravy. Aby vlaková doprava mohla konkurovat dopravě letecké, je potřeba vyšší rychlosti a komfortu souprav.

Kvůli nátlaku na zvýšení přepravní rychlosti vznikají nové vysokorychlostní soupravy. Tyto soupravy jsou stavěny již na dnes preferovanou elektrickou trakci, díky čemuž jsou šetrnější k životnímu prostředí. Se zvýšením rychlosti však nastávají nové výzvy pro konstruktéry. V této práci je tedy vytvořen přehled vlakových souprav a následně je představen směr budoucího vývoje. Mezi problematiku patří například hlučnost, aerodynamika, hmotnost souprav, kvalitní vypružení a brzdné systémy. Nalezneme tedy určité trendy, kudy se konstrukce vlakových souprav směřuje. Není tomu jinak ani v České republice, kde hraje železnice významnou roli ve vnitrostátním cestování.

1 STRUČNÁ HISTORIE VLAKOVÉ DOPRAVY

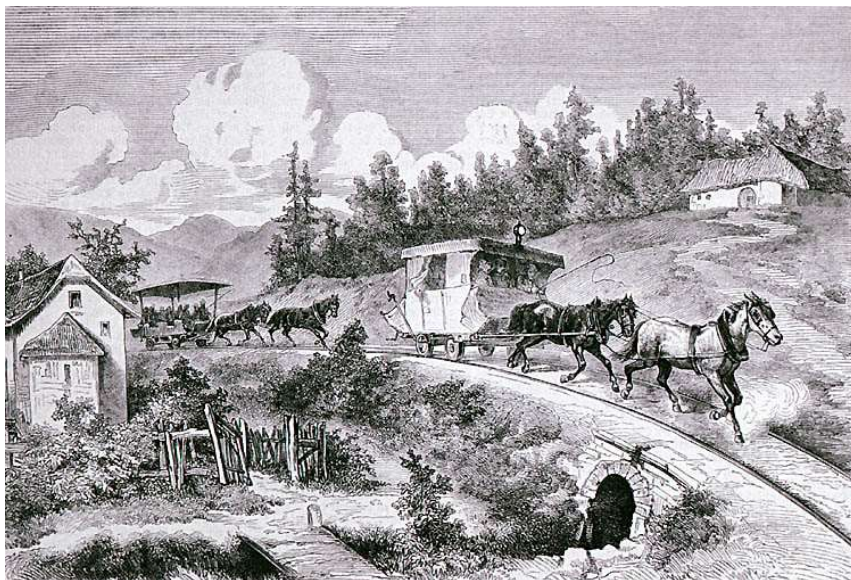
V této úvodní kapitole se podíváme, jak se vlaková doprava zrodila a dostala do Čech. Dále je zde stručná historie vývoje v České republice.

1.1 POČÁTEK VLAKOVÉ DOPRAVY

Počátek vlakové dopravy vznikl v Anglii, kde Richard Trevithick (1771–1833) získal patent na první kolejový hnací vůz s parním strojem. Nejvyšší rychlost jeho „tram waggonu“ činila 8 km/h. Poté přišlo ještě mnoho nových návrhů parních lokomotiv, například lokomotiva „Mylord“, která dokázala utáhnout zátěž 30 tun při rychlosti 6,5 km/h. Mezi lety 1826–1830 řídil anglický strojník George Stephenson výstavbu železniční trati mezi Liverpoolem a Manchesterem. Na dodání lokomotiv na tuto trať byla vypsána soutěž, kterou vyhrála „The Rocket“. Tato lokomotiva dosahovala rychlosti až 56 km/h, při zátěži 46 km/h, čímž potvrdila vhodnost parostroje pro železniční dopravu. [2] [3]

1.2 VLAKOVÁ DOPRAVA V ČESKÉ REPUBLICE

První železniční dráha na evropském kontinentu a zároveň v Čechách byla koněspřežná železnice Linec – České Budějovice. Přeprava na této dráze je zobrazena na obrázku 1. První část této koněspřežky o délce 130 km byla spuštěna na přelomu roku 1827 a 1828 z Leopoldschlagemu do Českých Budějovic. V roce 1832 byla prodloužena až do Lince, přičemž celá cesta trvala čtrnáct hodin. Hlavním důvodem výstavby byla přeprava soli a zboží. Druhá česká koněspřežná železnice byla dokončena v roce 1830 z Prahy do Lán. Tato železnice sloužila hlavně pro přepravu dřeva a později také uhlí. [2] [4] [5]



Obrázek 1 Osobní přeprava na koněspřežné železnici [6]

Příchod parních strojů na území České republiky připadá na přelom 30. a 40. let 19. století, kdy soukromá společnost Severní dráha císaře Ferdinanda (KFNB) zahájila výstavu parostrojních železnic. V roce 1841 se do výstavby nových železnic vložil i stát. Do 70. let 19. století bylo vybudováno 3500 km hlavních železničních tratí. V tomto období byl také přijat sekvestrační zákon, který umožnil zestátnit soukromé společnosti, které byly dlouhodobě ztrátové. V letech 1880 až 1920 nastal rozmach výstavby místních drah. Významný byl rok 1903, kdy se na našem území postavila první normálně rozchodná (tj. 1435 mm) elektrifikovaná trať na úseku Tábor – Bechyně. Po první světové válce v roce 1918 vznikly spolu s Československem i Československé státní dráhy. Mezi lety 1920–1925 proběhlo zestátnění dalších soukromých tratí. Během druhé světové války sloužily protektorátní Českomoravské dráhy pro převoz zbraní a vojsk, proto byly značně poškozeny sabotážními akcemi. Po druhé světové válce bylo potřeba opravit těžce poškozené tratě. V roce 1993 po rozpadu Československa vznikly České dráhy a od roku 1995 mohou soukromé společnosti na dráze poskytovat nákladní i osobní dopravu. [2] [5]

2 DĚLENÍ KOLEJOVÝCH VOZIDEL

Kolejová vozidla lze rozdělit dle mnoha kritérií. V této části si je rozdělíme podle schopnosti vyvinout tažnou sílu a podle rozchodu koleje.

2.1 DĚLENÍ PODLE SCHOPNOSTI VYVINOUT TAŽNOU SÍLU

Ne každá část vlaku je schopna vyvinout tažnou sílu. Rozdělme si tedy tyto části na hnací vozidla a vozy, které jsou taženy.

2.1.1 HNACÍ VOZIDLA

Hnací vozidla jsou vozidla, které mají schopnost vyvíjet tažnou sílu. Mezi základní typy hnacích vozidel řadíme [7]:

Lokomotivy – hnací vozidla, které jsou učené výhradně k tažení vlaků. Lze je rozdělit dle způsobu získávání energie pro pohon dvojkolí na parní, elektrické, motorové, akumulátorové, hybridní a duální (dvouzdrojové).

Motorové vozy – vozy určeny pro přepravu osob i nákladů, které jsou poháněny spalovacím motorem, který je umístěn ve vozidle.

Motorové jednotky – oproti motorovým vozům konstrukčně ucelené soupravy, tvořené z motorových, osobních a řídících vozů.

Elektrické vozy – vozy určeny pro přepravu osob nebo nákladu. Elektrická energie je získávána z trakčního trolejového vedení pomocí pantografů nebo polopantografů. Další možností je také odběr z třetí kolejnice.

Elektrické jednotky – souprava tvořena z elektrických, osobních a řídících vozů. Jedná se o ucelené soupravy pro přepravu osob.

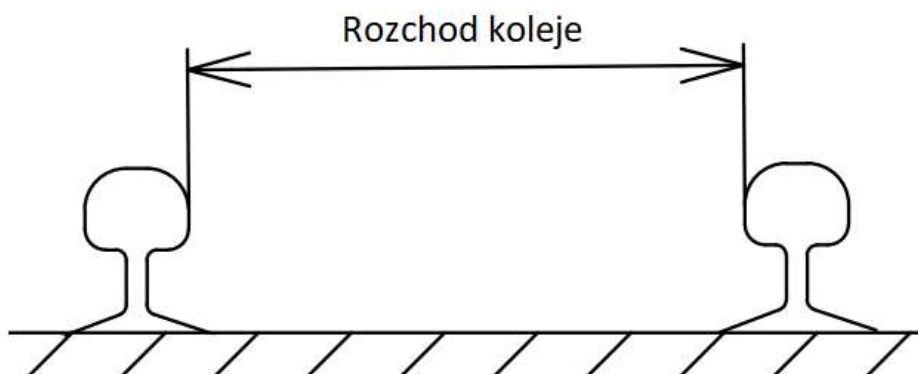
Duální (dvouzdrojové) jednotky – ucelené soupravy pro přepravu osob, které mají dva trakční systémy.

2.1.2 Vozy

Vozy nejsou schopny vyvinout hnací sílu. Jsou taženy lokomotivami nebo součástí jednotek. Vozy rozlišujeme na osobní a nákladní. Osobní vozy se využívají na přepravu osob a zavazadel. Nákladní vozy jsou určeny pro přepravu nákladu. [7]

2.2 DĚLENÍ PODLE ROZCHODU KOLEJE

Rozchod koleje je vzdálenost mezi vnitřními hranami kolejnic, která se udává v milimetrech. Rozlišujeme vozidla úzkorozchodná, širokorozchodná, s normálním rozchodem a s rozchodem měnitelným. [7]



Obrázek 2 Rozchod koleje

Úzkorozchodná vozidla

Úzkorozchodná jsou vozidla s jmenovitým rozchodem <1435 mm. Tento rozchod je využívám například v Jižní Africe – 1067 mm. Úzké rozchody pokrývají přibližně 15 % světových železnic.

Širokorozchodná vozidla

Širokorozchodná se nazývají vozidla se jmenovitým rozchodem >1435 mm. Jedním z využívaných širokých rozchodů je rozchod 1520 mm, který je využívám v zemích bývalého Sovětského svazu a na tratích Finska.

Vozidla normálního rozchodu

Vozidla normálního rozchodu jsou vozidla, která využívají rozchodu 1435 mm. Jedná se o světově nejvyužívanější rozchod, který nalezneme na většině evropských železnic. Normální rozchod využívá přibližně 64 % železnic po celém světě.

3 POHONY VLAKŮ

Vlakové soupravy jsou taženy různými typy lokomotiv nebo hnacích vozů. Každý druh má své výhody, ale také nevýhody. Mezi první pohon patřil parostroj, který v dnešní vlakové dopravě potkáme zřídka. Parní lokomotivy se používaly do druhé poloviny 20. století a dosahovaly rychlosti až 202 km/h [8]. Později se však objevila myšlenka motorizace a dieselové lokomotivy rychle nahradily lokomotivy parní. V současné době se však nejčastěji setkáme s elektrickým pohonem, který téměř vytlačil parní a dieselové lokomotivy.

3.1 PARNÍ LOKOMOTIVA

Parní lokomotiva je první strojem poháněné kolejové vozidlo. Pro parní lokomotivy byl základním kamenem vynález parního stroje. Právě parní stroj byl při vývoji lokomotiv doveden k dokonalosti. Na malém prostoru a při relativně nízké váze musel vyvinout velkou tažnou sílu pro mnohahodinový provoz. Parní lokomotivu obsluhoval strojvedoucí a topič. Topič musel být šikovný a umět pořádně topit. Během jedné hodiny se na 1 m² roštu naházelo přibližně 400–600 kg uhlí. Mezi 3 základní konstrukční části patří [4] [9]:

- Parní kotel
- Parní stroj s klikovým mechanismem pohonu kol
- Rám lokomotivy

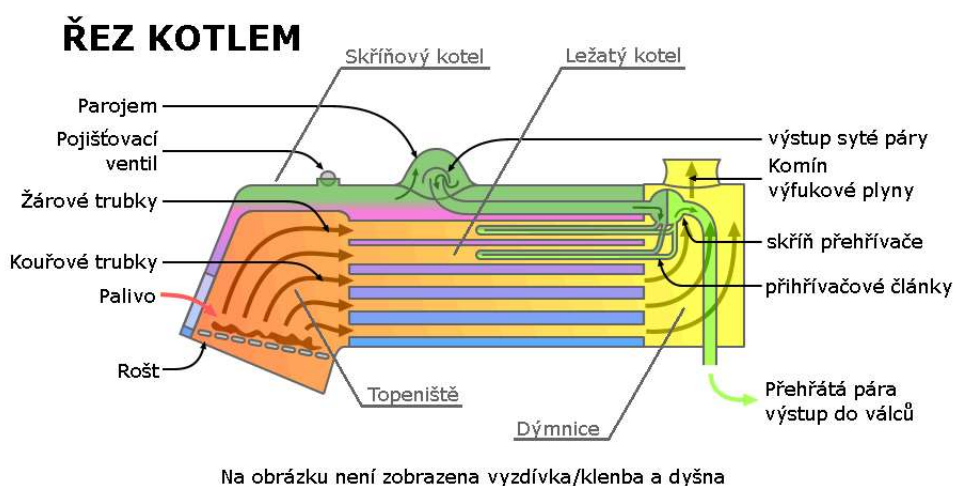
3.1.1 PARNÍ KOTEL

V parním kotli se spalováním uhlí a následným ohřevem vody mění tepelná energie na energii tlakovou. Parní kotel můžeme taktéž rozdělit na 3 části, a to na skříňový kotel s topeništěm, ležatý kotel s parojemou a také dýmnici s dyšnou a výfukem, jak je zobrazeno na obrázku 3.

Skříňový kotel s topeništěm je umístěn v blízkosti strojvedoucího s topičem. Jsou zde dvířka pro přikládání. V kotli se nachází rošt, na kterém hoří oheň a popel propadá do popelníku. Kvůli teplotní roztažnosti musí být kotel uložen kluzně. Jelikož se plameny nemohou dotýkat přímo stěn kotle, je vybaven vyzdívkou. Ke stropu topeniště se dostávají pouze horké spaliny a dochází zde k největšímu varu vody.

Ležatý kotel, též válcový kotel, je téměř celý zaplněný vodou. Jsou zde umístěny trubky, kterými prostupují horké spaliny až do dýmnice. Horké trubky ohřívají vodu na bod varu a vzniká zde pára, která vyplňuje zbylý parní prostor. V nejvyšším bodě parního prostoru, parojemu, se nachází regulátor, kterým lze řídit množství odebírané páry a spolu s ovládací pákou řídit výkon parního stroje.

Dýmnice je prostor kudy odchází spaliny a pára, která již vykonala práci. Nachází se zde také potrubí a přehřívač pro přívod nové páry k válcům. Dyšna je zařízení, kterým se přivádí již použitá pára do komína a zvyšuje tah k rozdmýchání ohně v topeništi. [9] [10]



Obrázek 3 Řez kotlem parní lokomotivy [10]

3.1.2 PARNÍ STROJ S KLIKOVÝM MECHANISMEM POHONU KOL

Lokomotivní parní stroj se lehce od normálního parního stroje liší. Musí se rozjet z libovolné polohy, zajistit pohon pro více náprav a dokázat chod vpřed i vzad. Parní lokomotivy mají vždy, až na výjimky, nejméně dva parní válce. Přehřátá vodní pára se dostává do šoupátkové komory a je šoupátkem rozvedena ve správný okamžik buď před píst, nebo za píst. Jelikož píst v úvratích nemá žádnou sílu, je chod druhého pístu posunut o 90° . Čerstvá pára tlakem působí na píst, ten se začne pohybovat směrem k opačnému konci válce a s ním se pohybuje také pístnice. Poté pára zatlačí na píst z druhé strany, vytlačí již použitou páru a vrátí píst s pístnicí do původní polohy. Pístnice se neustále pohybuje vpřed a vzad a tím, díky klikovému mechanismu, otáčí koly lokomotivy. Klikový mechanismus je tvořen křížákem, ojnicí a spojnicí. Důležitou součástí klikového mechanismu je i rozvod, který pohání a ovládá pohyb šoupátka v šoupátkové komoře. Nejpoužívanějším je Heusingerův nebo také Walschaertsův, oba rozvody jsou prakticky totožné. Díky rozvodu lze změnit směr jízdy a dobu plnění válců párou. [9] [11]

3.2 SPALOVACÍ MOTOR

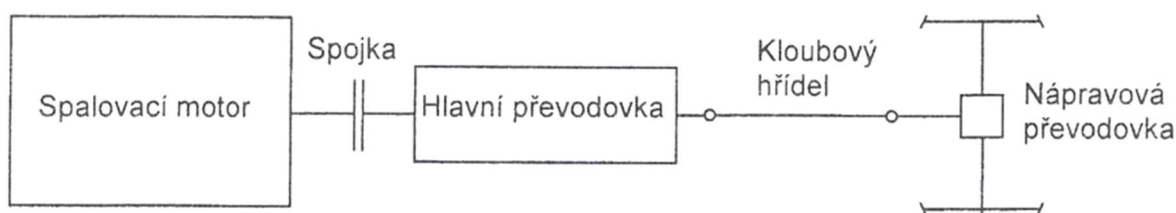
Spalovací motory, které pohánějí lokomotivy a motorové vozy, mají stejný princip jako motory nákladních automobilů. V současné době se používají čistě vznětové motory, které mají oproti zážehovým motorům vyšší účinnost. Vyšší účinnost, nižší spotřeba a cena nafty vypovídá ve prospěch vznětových motorů. Spalovací motor je schopný dosahovat vyšších výkonů než parní lokomotiva. Například v Evropě nalezneme vlaky se spalovacím motorem, které dosahují výkonu až 4000 kW. [12]

3.2.1 PŘENOS VÝKONU

Přenos výkonu zajišťuje přenos velkého výkonu motoru na železniční dvojkolí. Rozlišujeme 3 základní druhy: mechanický, hydraulický a elektrický přenos výkonu.

Mechanický přenos výkonu

Mechanický přenos je nejstarší typ přenosu výkonu a jeho konstrukce je velice jednoduchá. Skládá se ze spalovacího motoru, spojky mezi motorem a hlavní převodovkou, hlavní převodovky, rozváděcí hřídele, nápravové převodovky a dvojkolí. Pokud potřebujeme pohánět více dvojkolí lze sílu přenášet pomocí spojnic, jako u parní lokomotivy, nebo pomocí samostatných rozvodových hřídelí. Převodovka může být buď přímo řazená, jako tomu je například u lokomotiv řady 700–702, motorového vozu 801, nebo automatická – motorové vozy řady 810 [13]. Jelikož se zde mechanická energie ze spalovacího motoru nepřevádí na jinou formu, má tento přenos relativně vysokou mechanickou účinnost ($\eta \approx 0,9$). Mechanický přenos výkonu je prakticky použitelný do výkonu ≈ 200 kW. Schéma mechanického přenosu je zobrazeno na obrázku 4. [14]



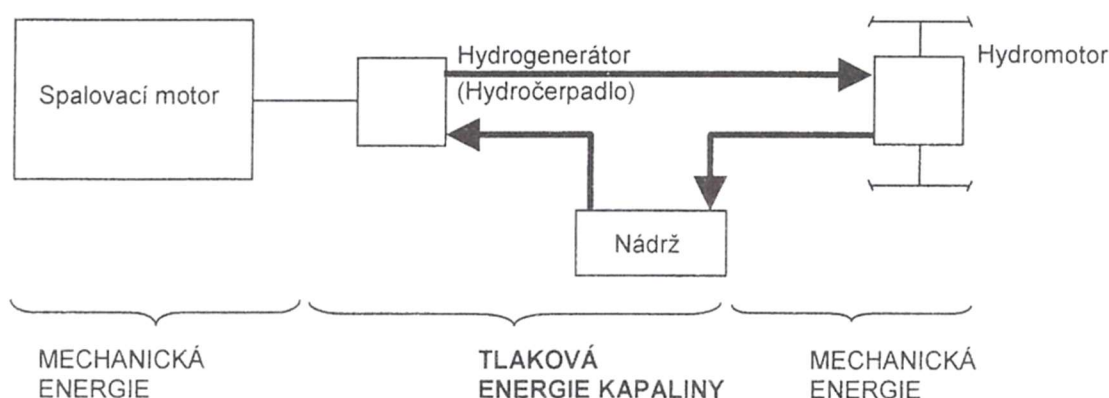
Obrázek 4 Uspořádání mechanického přenosu výkonu [14]

Hydraulický přenos výkonu

Tento přenos výkonu využívá změnu mechanické energie na energii pracovní kapaliny. Tato energie se následně změní zpět na mechanickou energii. Rozeznáváme dva druhy hydraulického přenosu výkonu – hydrostatický, kde využíváme tlakovou energii kapaliny, a hydrodynamický, kde využíváme kinetickou energii kapaliny. [14]

1) Hydrostatický přenos výkonu

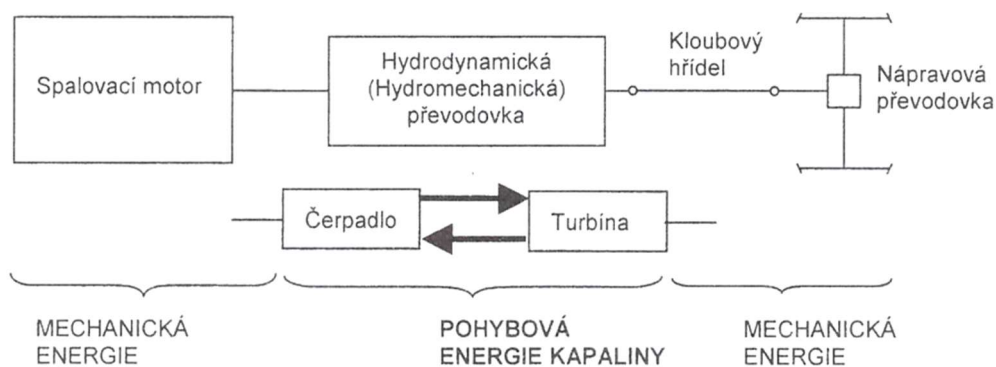
Hydrostatický přenos výkonu využívá tlakovou energii kapaliny. Hydrogenerátor, který je umístěn za spalovacím motorem, přeměňuje mechanickou energii na tlakovou energii kapaliny. Následně hydromotor, který funguje opačně jako hydrogenerátor, přemění tlakovou energii kapaliny zpět na energii mechanickou. Schéma uspořádání je zobrazeno na obrázku 5. Tento přenos výkonu se používá spíše na pomocné pohony, jako je pohon ventilátorů a kompresorů. [14]



Obrázek 5 Základní uspořádání hydrostatického přenosu výkonu [14]

2) Hydrodynamický přenos výkonu

Hydrodynamický přenos mění mechanickou energii na kinetickou a následně zase zpět na mechanickou energii. Využívá se při tom dvou základních hydrodynamických zařízení – hydraulické spojky a hydraulického měniče. V hydromechanické převodovce nalezneme kombinaci těchto dvou hydrodynamických strojů. Tento přenos výkonu lze být ryze hydrodynamický, nebo v kombinaci s mechanickou převodovkou – pak se nazývá hydromechanický. Hydrodynamické uspořádání je zobrazeno na obrázku 7. [14]



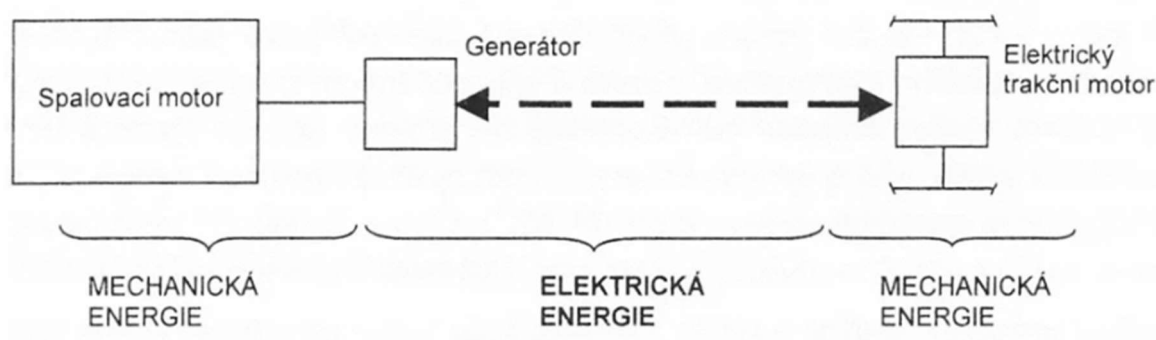
Obrázek 7 Základní uspořádání hydrodynamického přenosu výkonu [14]

Elektrický přenos výkonu

Tento přenos výkonu mění mechanickou energii na elektrickou a následně ji opět transformuje zpět na energii mechanickou. Elektrická energie je vyráběna v generátoru, poháněném od spalovacího motoru. Poté je vedena do trakčního motoru, který pohání dvojkolí, jak je vidět na obrázku 6. [14]

Rozlišujeme 3 typy tohoto přenosu výkonu:

- Stejnosměrný přenos výkonu
- Smíšený přenos výkonu
- Střídavý přenos výkonu



Obrázek 6 Základní uspořádání elektrického přenosu výkonu [14]

2.3 ELEKTRICKÝ POHON

Elektrický pohon používají elektrické lokomotivy a jednotky, které téměř zcela vytlačily parní a dieselové lokomotivy. V současné době se jedná o nejpoužívanější typ pohonu ať z důvodů ekologických nebo ekonomických. Pohon je napájen z vnějšího zdroje anebo z akumulátoru. Existuje mnoho typů lokomotiv a jednotek, které mají různé napájecí soustavy a typy motorů.

2.3.1 NAPÁJECÍ SOUSTAVA

Napájecí soustava zajišťuje přívod elektrické energie pro elektrickou lokomotivu a jednotku. Jsou dvě možnosti provedení, buď stejnosměrné anebo střídavé. [15]

Stejnosměrné napájecí soustavy

DC 750 V

Tato napájecí soustava se v Evropě využívá pouze na jihovýchodě Anglie, je typická spíše pro tramvaje a podzemní dráhy.

DC 1500 V

Jedná se o napájecí soustavu minulosti, dnes již tato soustava není schopna zvládat požadované výkony. Takto elektrizovány jsou například některé dráhy Francie, Španělska, Švédska a Švýcarska.

DC 3000 V

Soustava 3000 V se vyvinula z 1500 V a v současné době to je jedna z nejrozšířenějších napájecích soustav v Evropě. Je zde náročnější výstavba pevných zařízení, jako jsou měnírny a trakční vedení. Naopak je levnější a jednodušší pro stavbu elektrických částí vozidel.

Střídavé napájecí soustavy

AC 15 kV 16,7 Hz

Jedná se o starší střídavý napájecí systém, který vznikl za účelem zvýšení napájecího napětí a ze snahy o použití jednofázových trakčních motorů. Jedny z hlavních výhod jsou možnosti přenesení vyššího výkonu a nižší ztráty ve vedení. Nevýhodou pak je nutnost změny průmyslového kmitočtu z 50 Hz na 16,7 Hz a budování vysokonapěťových soustav a stanic s frekvenčními měniči.

AC 25 kV 50 Hz

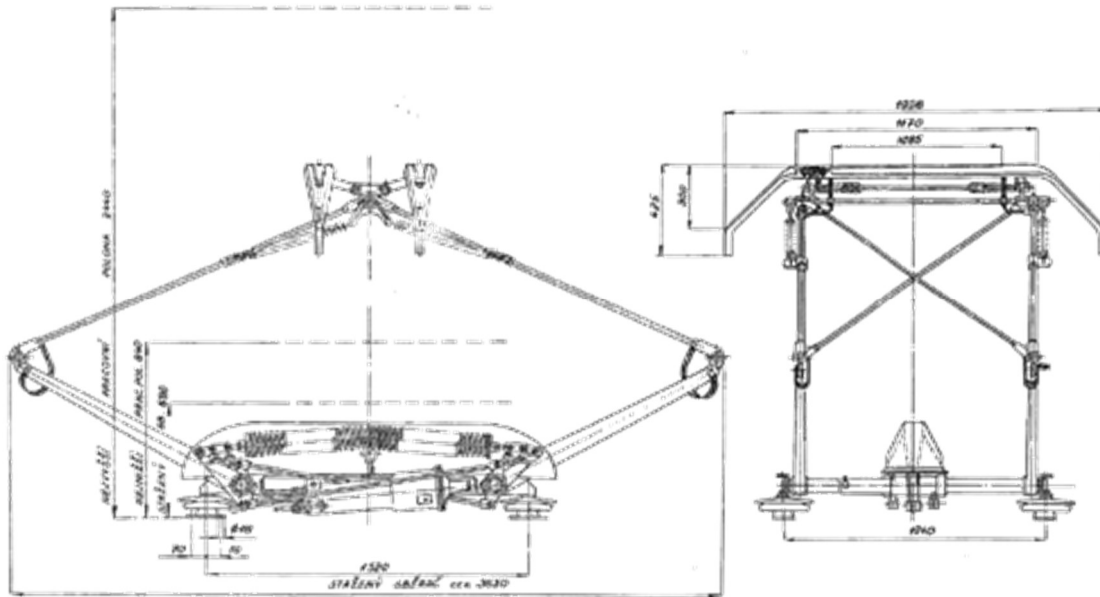
Novější střídavý napájecí systém, který lze napájet z vřeužitečné sítě. Spolu s DC 3000 V se jedná o nejrozšířenější napájecí soustavu v Evropě. Výhodou této soustavy je úspora materiálu, díky menšímu průřezu trolejového vedení, jednodušší napájecí stanice a nízké ztráty v trolejovém vedení.

2.3.2 SBĚRAČ

Sběrač je zařízení, které odebírá elektrický proud z vedení. Existuje více typů sběračů, avšak nejpoužívanějšími jsou pantografy a polopantografy. V současné době se na nová vozidla téměř vždy montují polopantografy.

Pantograf

Pantograf je dvouramenný sběrač elektrického proudu, který se začal využívat přibližně před 60 lety. Jedná se o soustavu ramen, které drží smykadlo ve výšce a pohybují s ním ve svislém směru. Rám pantografu je usazen na izolátorech. Pod rámem se nachází pružiny (ocelové, vzduchové), které sběrač zdvihají. Na vrchu pantografu je smykadlo složené z lišt (měděné, uhlíkové), které se dotýkají trolejového vedení. Jeho části jsou vidět na obrázku 8.



Obrázek 8 Pantograf [16]

Polopantograf

Polopantograf vznikl ve snaze snížit hmotnost pantografu, princip přitom zůstává stejný. Konstrukce se od pantografu mírně liší, polopantograf se skládá pouze z jednoho spodního a vrchního ramene, které může být buď v podobě tyče anebo ve tvaru písmene V.

2.3.3 ODPOJOVAČ A UZEMŇOVAČ

Odpojovač je otočná hlavice, ovládaná ze strojovny, která v případě poruchy odpojí sběrač. Naproti tomu se uzemňovač používá při odstavení lokomotivy, nebo před vstupem strojvedoucího do vysokonapětové komory. Toto zařízení bezpečně odvede elektrický proud do kolejnic v případě kontaktu sběrače s vedením.

2.3.4 HLAVNÍ VYPÍNAČ

Hlavní vypínač je důležitá součást elektrických lokomotiv a jednotek, která je řazena za sběračem a odpojovačem. Jeho základní funkcí je vypnutí a zapnutí lokomotivy. Vypínač chrání lokomotivu jako celek, jeho neméně důležitá funkce je také co nejrychlejším rozepnutím ochránit lokomotivu před ztrátovými proudy.

2.3.5 TRAKČNÍ TRANSFORMÁTOR

Trakční transformátor je jedna z nejdůležitějších částí střídavé lokomotivy. Jelikož napětí u střídavé napájecí soustavy je vyšší než u stejnosměrné, využívá se transformátor, který přemění napětí z napájecí soustavy na požadované napětí pro elektromotory.

2.3.5 TRAKČNÍ MĚNIČ

Trakční měniče jsou sestaveny z většího množství tyristorů a diod. Jedná se o polovodičové zařízení, které slouží k regulaci výkonu. Tyristorová regulace díky vyššímu výkonu nahradila odporovou regulaci. V současné době je však tyristorová regulace nahrazována regulací IGBT tranzistory.

2.3.6 TRAKČNÍ MOTOR

Trakční motor je elektromotor, který pohání dvojkolí lokomotivy a je využíván ve všech lokomotivách elektrické trakce a dieselových lokomotivách s elektrickým přenosem výkonu. Základní rozdělení je na stejnosměrné a střídavé elektromotory.

Stejnosemnné motory

Stejnosemnné motory se skládají ze 3 základních částí – stator, rotor a komutátor s kartáči. Stator je nepohyblivá část, která poskytuje konstantní magnetické pole. Rotor, nazýván také kotva, je pohyblivou částí. Na rotoru se nachází vinutí kotvy, které je napájeno přes komutátor. Stejnosemnné motory se rozdělují na motory s elektromagnetickým buzením anebo s buzením pomocí permanentních magnetů. Elektromagnetické buzení se dále dělí na buzení cizí, derivační, sériové a kompaundní [17]. V současné době se nejvíce využívají stejnosemnné sériové motory.

Střídavé motory

Střídavý motor se také skládá z nepohyblivého statoru a pohyblivého rotoru. Střídavé motory lze rozdělit dle počtu napájecích fází na jednofázové a trojfázové. Dnes se nejvíce používají střídavé třífázové trakční motory. Ve statoru se vytváří točivé magnetické pole, které způsobuje otáčení rotoru a vytváří rotaci hřídele [18]. V železniční trakci se setkáváme s asynchronním motorem. Motor synchronního typu se zde vyskytuje pouze zřídka.

4 VLAKY OSOBNÍ PŘEPRAVY

Vlaky osobní přepravy jsou nazývány vlaky, které slouží k přepravě osob, jejich zavazadel a případně spěšnin. Tyto vlaky můžeme rozdělit podle délky jejich cesty na příměstské, regionální a dálkové.

4.1 PŘÍMĚSTSKÁ DOPRAVA

Za příměstskou dopravu se v Evropě považuje přeprava osob do vzdáleností 40–60 km od centra aglomerace, v Japonsku až 100 km. Hlavními požadavky jsou četnost, rychlost a přiměřená kvalita dopravy. Linky jsou uspořádány paprskovitě, na rozdíl od regionální dopravy, jejíž linky tvoří svými spoji síť. Hlavní dopravní prostředky jsou nejen vlaky, ale také kolejová vozidla městské hromadné dopravy – tramvaje a metra [19]. Vlaky byly dříve tvořeny lokomotivou a vozy. Toto uskupení je však pro příměstskou dopravu nevhodné. Při tažení vozů lokomotivou je poháněn nízký počet dvojkolí, to zapříčiní nízké rozjezdové zrychlení a nízkou technickou rychlost. Proto jsou současným trendem ucelené nízkopodlažní trakční jednotky s elektrickou výzbrojí na střeše. Výhodou těchto jednotek je velikost prostoru pro přepravu cestujících díky absenci strojovny a dalších zařízení. Podlaha je ve stejné výšce jako nástupiště, to zajistí bezbariérový přístup, plynulejší nastupování a vystupování a zkrácení času pobytu na zastávkách. Další výhodou je možnost jízdy v obou směrech. [20]

Tabulka 1 Výběr příměstských souprav [21] [22] [23] [24]

Typ	Max. rychlost	Výkon	Napájecí soustava	Hmotnost	Délka	Výrobce
	[km/h]	[kW]		[t]	[m]	
Desiro city Thameslink	160	3300	750 V, 25 kV 50 Hz	278	162	Siemens
Desiro city class 707	160	1200	750 V	165	101	Siemens
Talgo Vittal	176	2200	25 kV 50 Hz	131	75	Talgo
Regio nova jednotka 814	80	242 kW při 1950 ot/min	Diesel	396	28,44	Vagónka Studénka
City Elephant řada 471	140	2000 kW	3 kV	155,4	79,2	Škoda Vagonka

4.2 REGIONÁLNÍ DOPRAVA

Regionální doprava má větší pole působnosti oproti dopravě příměstské. Není zde žádná ostře vymezená hranice vzdálenosti. Vlaky jezdí i na méně osídlená místa, která jsou příliš vzdálená pro příměstskou dopravu. Technické parametry vozidel jsou velmi podobné vozidlům příměstské dopravy. I zde najdeme trend konstrukce nízkopodlažních vozidel pro bezbariérový přístup. Na obrázku 9 je zobrazena částečně nízkopodlažní souprava RegioPanter. Oproti příměstské dopravě je zde větší podíl vozidel nezávisle vozby – dieselová vozidla. [19] [20]

Tabulka 2 Výběr regionálních souprav [21] [22] [25] [26] [27]

Typ	Max. rychlost	Výkon	Napájecí soustava	Hmotnost	Délka	Výrobce
	[km/h]	[kW]		[t]	[m]	
RegioShark Jednotka 844	120	780	Diesel	86	43,73	PESA Bydgoszcz
RegioPanter	160	2040	3 kV, 25 kV 50 Hz	103	52,9	Škoda Transportation
Talgo Vittal	176	2200	25 kV 50 Hz	131	75	Talgo
Desiro RUS	160	2550	3 kV, 25kV 50 Hz	264	126,462	Siemens
Desiro HC Israel	160	4800	25 kV 50 Hz	260	102,852	Siemens
DBAG Class 425	140	2350	Diesel	114	67,5	Bombardier, Siemens, DWA



Obrázek 9 RegioPanter Česko [26]

4.3 DÁLKOVÁ DOPRAVA

Jako dálkovou dopravu označujeme meziměstskou nebo mezistátní přepravu osob. Vozidla jezdí po hlavních tratích, které jsou dnes v Evropě většinou plně elektrifikované. Používají se dva typy vlakových souprav – ucelené jednotky a soupravy tažené lokomotivami. Jelikož je na rozdíl od příměstské nebo regionální dopravy mezi zastávkami poměrně velká vzdálenost, není potřeba klást extrémní důraz na zrychlení a lze tedy využít soupravy tažené lokomotivami. Díky soustředění pohonu do jednoho trakčního vozidla je snadnější údržba. Soupravy s lokomotivami nám také umožňují vyšší variabilitu. Tuto koncepci s jedním trakčním vozidlem lze využít do rychlostí 230 km/h. Soupravy pro dálkovou osobní dopravu musí splňovat určitá kritéria. Vozidla musí poskytovat nejvyšší standart pro pohodlné cestování (tj. odhlučnění, klidný chod, volná průchodnost, palubní servis apod.), dobré jízdní vlastnosti, vysoký měrný trakční výkon a nejvyšší provozní rychlost, vysokou účinnost brzd, vysokou bezpečnost a možnost mezistátního cestování. V České republice jsou meziměstské vlaky označovány IC – InterCity. Mezinárodní vlaky jsou pak označovány EC – EuroCity. V současné době je snaha plně elektrifikovat hlavní trať a zvýšit přepravní rychlosti. Vznikají tak tzv. vysokorychlostní vlaky. [28] [29]

Tabulka 3 Výběr lokomotiv a souprav pro dálkovou dopravu [21] [30] [31] [32]

Typ	Max. rychlost	Výkon	Napájecí soustava	Hmotnost	Délka	Výrobce
	[km/h]	[kW]		[t]	[m]	
Emil Zátopek	200	6400	3 kV, 25 kV 50 Hz, 15 kV 16.7 Hz	88	18	Škoda Transportation
Travca	250	2400	3 kV, 25kV 50 Hz	72	19,4	Talgo
Talgo XXI	256	1500–1800 kW při 1800 ot/min	Diesel	224	180	Talgo
InterPanter	160	8*340	3 kV, 25kV 50 Hz		132,4	Škoda Transportation
DB class 101	220	6400	15 kV 16.7 Hz	84	19,1	Adtranz

5 VYSOKORYCHLOSTNÍ VLAKY

Vysokorychlostní železnici lze považovat jako určitý typ dálkové a meziměstské kolejové dopravy. Dnes jsou využívány dva typy vysokorychlostní dopravy. Prvním je typický přímý kontakt kolo-kolejnice a druhým typem je magnetická levitace. Za vysokorychlostní železnici se považují tratě, které vykazují rychlost vyšší než 200 km/h. Koncepční řešení vysokorychlostních vozidel lze rozdělit do 4 typů: Vysokorychlostní jednotky s trakčními hlavovými vozidly, vysokorychlostní jednotky, vysokorychlostní jednotky s naklápěcími skříněmi a vysokorychlostní jednotky s hlavovým trakčním vozidlem a naklápěním pouze připojených vozů. Výhody v porovnání s automobilovou dopravou jsou vyšší bezpečnost, nižší energetická náročnost na jednoho cestujícího, nižší emise a menší zábor půdy. Nevýhodou je pak nákladná výstavba (četnost mostů, tunelů atp.). Vysoko rychlostní vozidla lze rozdělit do jednotlivých rodin (TGV, Talgo, ICE, Pendolino atp.). [33]

Vysokorychlostní vozidla se konstrukčně liší od klasických kolejových vozidle. Jsou na ně kladeny náročné požadavky z hlediska bezpečnosti a spolehlivosti. Tyto požadavky jsou kladeny nejen na mechanickou a elektrickou část, ale také na vozy a komfort. [33]

Mechanická část

Vozidla mají minimální neodpružené hmoty, díky uložení trakčních motorů na skřín vozidla. Kvůli tomuto uložení je však náročnější přenos výkonu na dvojkolí. Při rychlostech vyšších než 200 km/h jsou na hlavová trakční vozidla připouštěny nižší nápravové tlaky. Jsou proto využity lehké a pevné konstrukční materiály. Soupravy mají aerodynamický tvar, díky kterému sníží aerodynamický odpor a hluchost působící na okolí i cestující uvnitř vozů. Jelikož soupravy jezdí velmi vysokou rychlostí, jsou nezbytné výkonné brzdové systémy a bezpečnost. Z hlediska pasivní bezpečnosti jsou vozidla tuhé konstrukce s deformačními prvky pro pohlcení co největší kinetické energie. [33]

Elektrická část

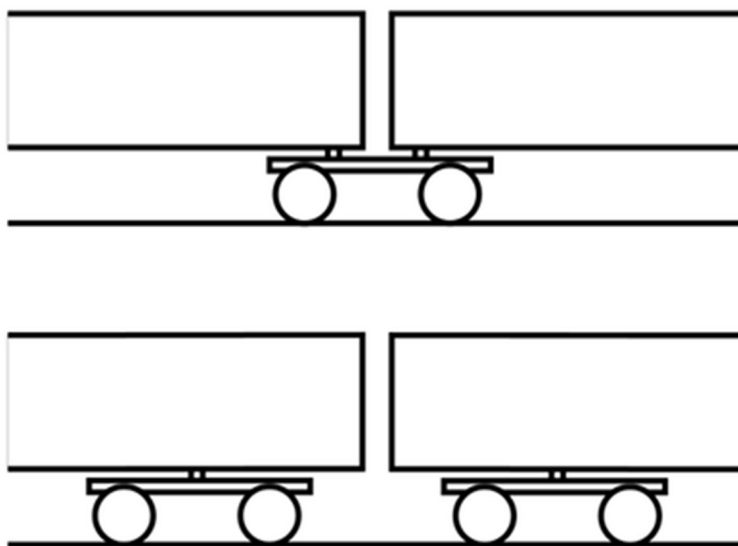
Protože je v řadě států různá napájecí soustava, jsou vozidla řešena jako vícesystémová. Sběrače mají spolehlivý kontakt s trolejovým vedením a musejí zajistit dokonalý odběr elektrického proudu. Vozidla jsou vybaveny diagnostickými systémy pro případ závady a potřeby rychlé opravy. Trakční motory jsou asynchronní anebo synchronní s permanentními magnety. Jako pomocné pohony jsou využívány asynchronní. [33]

Osobní vozy

Vozy jsou konstruovány tak, aby byl poskytnut co nejvyšší komfort pro cestující. Nachází se zde elektrické přípojky, wifi, klimatizace, ergonomické a komfortní sedadla, dokonalé osvětlení a možnost stažení okenních rolet. Přejít mezi jednotlivými vozy je konstruován, aby odolával tlakovým vlnám. Toalety jsou vakuové a umyvadla mají teplou i studenou vodu. Některé vozy jsou přizpůsobeny pro cestující s tělesným postižením. [33]

5.1 TGV

TGV neboli Train à Grande Vitesse je označení pro francouzské vysokorychlostní vlaky. Jedná se o první z pokusů o vysokorychlostní železnici v Evropě. První zkoušený prototyp byl poháněn spalovací turbínou. Od tohoto pokusu se ovšem upustilo a spalovací turbína byla nahrazena elektrickým pohonem. Soupravy mají dvě hnací elektrická trakční vozidla, v čele a na konci vlaku. Trakční motory se nachází na hlavním rámu vozidla a jsou tedy odpruženy primárně i sekundárně. Aby se zvedl výkon, nachází se trakční motory také v podvozku prvního a posledního vloženého vozu. Vložené vozy jsou spojeny podvozky typu JAKOBS, jejichž schéma je na obrázku 10. To znamená, že konce vložených vozů leží na stejném podvozku. Výhodou tohoto řešení je vyšší bezpečnost v případě vykolejení, snížení hmotnosti a zvýšení prostoru v interiéru vozu. Krouticí moment je přenášán pomocí kloubových spojek a kardanů typu TRIPOD. [33]



Obrázek 10 Porovnání podvozku JAKOBS a konvenčního podvozku [34]

Vlaky TGV jezdí po kolejích normálního rozchodu a jsou pro ně budovány vysokorychlostní tratě, takzvané LGV – Ligne a Grande Vitesse, bez úrovnových křížení a s velkými poloměry oblouků, které jsou v současnosti přes 7000 m. TGV drží světový rychlostní rekord pro kolejová vozidla – 574,8 Km/h. [33]

AGV

Jedná se o nástupce TGV. Vysokorychlostní vlaky AGV nemají na rozdíl od TGV hnací elektrická trakční vozidla pouze vepředu a vzadu, ale pohon je rozložen po celé délce vlaku. AGV disponuje synchronními motory s permanentním magnetem o účinnosti 97 % a výkonem 1 kW/kg. Rychlost otáčení lze měnit změnou frekvence střídavého proudu. Regulace zde probíhá pomocí IGBT tranzistorů. Při navrhování byl brán zřetel na desing, aerodynamiku

a aeroakustiku. AGV, na obrázku 11, má okna zvětšena o 15 % a u každého vozu nalezneme pouze jeden pár nástupních dveří. Podařilo se odklonit turbulentní víry pomocí konkávního tvaru čela a zlepšit aerodynamiku díky pryžovým aerodynamickým přechodům v mezivozovém prostoru. Tyto úpravy dokázaly snížit aerodynamický odpor o 10–20 % a spotřeba energie klesla o 15 %. [33]



Obrázek 11 Vysokorychlostní vlak AGV [35]

Tabulka 4 TGV vlakové soupravy [33] [36]

Typ	Rychlost	Výkon (25 kV)	Napájecí soustava	Hmotnost	Délka	Výrobce
	[km/h]	[kW]		[t]	[m]	
Atlantique	300	8800	1,5 kV, 25 kV 50 Hz	435	237	Alstom
Réseau	320	8800	1,5 kV, 25 kV 50 Hz	383	200	Alstom
Duplex	320	8800	1,5 kV, 25 kV 50 Hz	390	200	Alstom
Dasye	320	9280	25 kV 50 Hz, 1.5 kV	390	200	Alstom
POS	320	9280	1,5 k V, 25 kV 50 Hz, 15 kV 16.7 Hz	423	200	Alstom
Eurostar	300	12240	25 kV 50 Hz, 15 kV 16.7 Hz	752	394	Alstom
Thalys	320	8800	3 kV, 1.5 kV, 25 kV 50 Hz	385	200	Alstom
Korea (KTX)	300	13300	25 kV 60 Hz	701	388	Alstom
AGV	360	6000– 12000	3 kV, 1.5 kV, 25 kV 50 Hz, 15 kV 16.7 Hz	272	132	Alstom

5.2 ICE

Intercity-Express je označení pro německé vysokorychlostní vlaky provozované společností Deutsche Bahn. Výroba těchto vysokorychlostních souprav začala v roce 1980. Od této doby vzniklo již několik sérií: ICE 1, ICE 2, ICE 3, ICE S, ICE T, ICE D. Vysokorychlostní soupravy ICE 1 a ICE 2 jsou poháněny pomocí dvou elektrických trakčních vozidel. Trakční vozidla se nacházejí na obou koncích vlaku a mají aerodynamicky tvarovanou kapotáž. Vozy jsou vyrobeny z ocelových profilů a plechu. Jsou využity podvozky klasické koncepce, dva pro jeden vůz. Spojení vagónů je zajištěno pomocí automatických spřáhel, které dovolují propojení vzduchového potrubí a kabeláže. Trakční vozidla jsou čtyřnápravová. Elektrické trakční motory jsou uloženy v rámu podvozku. Soupravy jsou brzděny pomocí kotoučových brzd uložených na nápravách a elektrodynamické brzdy. Kroutící moment je přenášen pomocí ojníčkové spojky a dutého hřídele, který objímá nápravu. Po soupravách ICE 1 a ICE 2 přišlo ICE 3 s odlišnou koncepcí. ICE 3 nemá hnací hlavová vozidla, ale pohon je rozložen po celé délce vlaku, jako tomu je například u AGV. Byl rovněž upraven desing kabiny strojvedoucího, který zvedl rychlost až na 330 km/h. ICE 3 byl inspirací pro vysokorychlostní vlaky Velaro, které jsou právě z této soupravy odvozeny. Při vývoji ICE vzniklo také ICE T, s naklápěcí skříní typu Pendolino, a ICE D s pohonem dieselmotorem. Tyto dva typy se sériově nevyrábí. [33]

Tabulka 5 Vybrané soupravy Intercity-Express [36]

Typ	Max. rychlost	Výkon	Napájecí soustava	Hmotnost	Délka	Výrobce
	[km/h]	[kW]		[t]	[m]	
401 (ICE 1)	280	9600	15 kV 16.7 Hz	782	358	Siemens, Bombardier
402 (ICE 2)	280	4800	15 kV 16.7 Hz	418	205	Siemens, Bombardier
407 (ICE 3)	320	8000	3 kV, 1.5 kV, 25 kV 50 Hz, 15 kV 16.7 Hz	454	201	Siemens
406 (ICE 3 M)	330	8000	3 kV, 1.5 kV, 25 kV 50 Hz, 15 kV 16.7 Hz	435	200	Siemens, Bombardier
415 (ICE T)	230	3000	15 kV 16.7 Hz	273	133	Siemens, Bombardier, Alstom

5.3 TALGO

Talgo, neboli Tren Articulado Ligero Goicoechea Oriol, jsou španělské článkované vlaky s jednonápravovými podvozky, jejichž zástupce lze vidět na obrázku 12. Vozy kloubových souprav Talgo sdílejí pojezd se sousedním vagónem. To zapříčiní, že vlak se chová jako jediné, plně integrované vozidlo. Hlavní výhodou této konstrukce je snížení počtu náprav, hmotnosti, tření mezi vlakem a kolejnicemi, hluku a spotřeby energie. Je zde použita také technologie samostatně se otáčejících a samonaváděcích kol, kdy se pravé a levé kolo na nápravě může otáčet různými rychlostmi při průjezdu zatáčkou. Vlakové soupravy Talgo využívají technologii naklápění stejně jako například Pendolino. Snížením těžiště a naklápěním vozu směrem k vnitřnímu oblouku jsou kompenzovány boční síly v zatáčkách. Technologie naklápění Talgo je automatická. Čím rychleji vlak jede, tím více se naklání a kompenzuje boční síly. To zapříčiní komfortnější jízdu a možnost projetí zatáčkou o 25 % rychleji než ekvivalentní vozidla jiných výrobců. Talgo je prvním výrobcem, který vyvinul systém variabilního rozchodu, který dnes denně využívají stovky vlaků. Tento systém umožňuje vlaku si přizpůsobit rozchod kol při rychlostí přibližně 15 km/h bez nutnosti zastavovat. Vlak přejede přes podložku, odemkne kola, umístí je do nové polohy a následně je znovu zablokuje. Tato technologie umožňuje vlakům přizpůsobit se jakékoli železniční síti. Talgo se snaží vyrábět ty nejlehčí vlaky na trhu. Vozy jsou zkrácené a je využito hliníkových slitin. Zkrácení délky umožňuje výrobu širších vozů a díky tomu maximalizovat kapacitu. Vlakové soupravy jsou přibližně o 25 % lehčí než ekvivalentní vozidla konkurentů. Vozy jsou nízkopodlažní a umožňují nástup i pro lidi, kteří mají problémy s mobilitou. Podlaha ve stejné výšce jako nástupiště zapříčiní plynulejší nastupování a vystupování cestujících. Vlaky tak stráví na nástupišti až o 20 % méně času. [37]



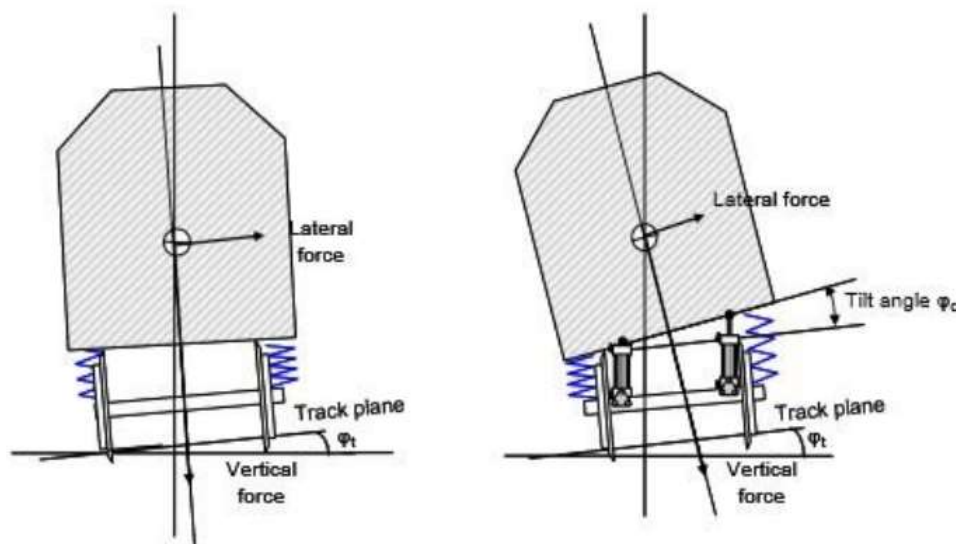
Obrázek 12 Talgo Avril [38]

Tabulka 6 Vlakové soupravy Talgo [21]

Typ	Rychlost	Výkon	Napájecí soustava	Hmotnost	Délka	Výrobce
	[km/h]	[kW]		[t]	[m]	
Talgo Avril	365	8800	25 kV 50 Hz	317	201,9	Talgo
Talgo 350	363	8000	25 kV 50 Hz	322	200	Talgo
Talgo 250	275	4800	3 kV, 25 kV 50 Hz	312	183,9	Talgo
Talgo 250 dual	275	4800	3 kV, 25 kV 50 Hz	361	185,6	Talgo

5.4 PENDOLINO

Označení Pendolino se používá pro vlakové soupravy s aktivním naklápěním vozové skříně výrobce Fiat Ferroviaria, který dnes již patří ke skupině Alstom. Technologie aktivního naklápění je řízena senzory s elektronikou a prováděna pomocí hydraulických nebo elektrických aktuátorů. Hranice komfortu nekompenzovaného bočního zrychlení na úrovni cestujícího se pohybuje od 0,8 do 1,2 m/s², naklápění skříně až o 8° v kombinaci s aplikovaným úhlem na úrovni kolejnice dokážeme u naklápěcího vlaku tuto hodnotu snížit až na 0,65 m/s², tedy velmi pod hranici komfortu. V porovnání s tradičním vlakem lze pomocí naklápění zvýšit rychlost v obloucích o 30-35 % při dodržení bezpečnosti a komfortu cestujících bez nutnosti změny geometrie a uspořádání stávajících kolejí. Tato skutečnost dokáže zkrátit dobu cestování při zachování komfortu. Pendolino díky svému úspěchu přilákalo pozornost ostatních národních železnic, například Deutsche Bahn, které dnes provozuje naklápěcí soupravu ICE-T. Základní princip naklápění je vidět na obrázku 13. [39] [40]



Obrázek 13 Koncepce/princip naklápění vlaků, vlevo nenaklápěcí, vpravo naklápěcí [39]

Vlakové soupravy Pendolino jezdí ve většině případů na normálním rozchodu. Výjimkou je například souprava Allegro sm6, kterou používají ve Finsku na rozchodu 1524 mm a v Rusku

na 1520 mm [41]. Pendolino vyžívá téměř na všech napájecích soustav. V roce 2004 byla v České republice nasazena elektrická jednotka řady 680.

Elektrická jednotka řady 680

Elektrická jednotka řady 680, na obrázku 14, je vlaková souprava využívající techniku naklápění Pendolino. Jedná se o soupravu nejvyšší kategorie SuperCity provozovanou národním dopravcem České dráhy. Jednotka 680 jezdí rychlostí 160 km/h, je však konstruována na maximální rychlost 230 km/h. Skládá se ze 7 vozů, 5 vložených a 2 trakčních s výkonem 4000 kW. Využívá lehké samonosné vozové skříně, které jsou svařovány z velkoplošných hliníkových profilů. Podvozky jsou dvou typů – hnací a běžné, které jsou řešeny jako dvounápravové kolébkové podvozky. Pomocí naklápění lze dosáhnout odklonu od svislé osy až o 8°. [42]



Obrázek 14 Jednotka řady 680 [42]

Tabulka 7 Vybrané soupravy typu Pendolino [36] [42]

Typ	Rychlost	Výkon	Napájecí soustava	Hmotnost	Délka	Výrobce
	[km/h]	[kW]		[t]	[m]	
ETR 485	250	6000	3 kV, 25 kV 50 Hz	409	236	Alstom
ETR 470	250	6600	3 kV, 15 kV 16.7 Hz	798	236	Alstom
ETR 675	250	5500	3 kV, 25 kV 50 Hz	400	187	Alstom
CRH5	250	5500	25 kV 50 Hz	446	211,5	Alstom, CNR Changchun
Allegro sm6	220	5500	25 kV 50 Hz	409	184,8	Alstom
Jednotka 680	230	4400	3 kV, 25 kV 50 Hz, 15 kV 16.7 Hz	385	185	Alstom

5.5 KTX

KTX neboli Korean Train Express je vysokorychlostní železniční systém v Jižní Koreji. Vlakové soupravy KTX přímo vychází z francouzských vozidel typu TGV. Společnost Alstom sdílela technologie pro původní KTX vlaky s korejskými výrobci. Počáteční vozový park byl pouze s vozidly TGV Korea, které vycházejí z TGV Réseau a jsou označovány jako KTX-I. Na přelomu roku 1996 a 1997 zahájila korejská vláda výzkum nového vysokorychlostního vlaku vyvinutého v tuzemsku. Prvním prototypem byl HSR 350X. Po 11 letech návrhů, testování a uvedení do provozu byl výsledkem vlak KTX-Sancheon, označován také jako KTX II. Tento nový model je vidět na obrázku 15. Skládá ze dvou trakčních hlav a karoserie má dvouplášťovou hliníkovou konstrukci. Byl také upraven aerodynamický tvar koncových vozů. U vývoje dalšího typu se korejští experti shodli na přechod k distribuovanému výkonu. Nejnovějším typem je KTX-Eum. Jedná se o ekologický, nízkouhlíkový vlak, který využívá systém distribuce energie, kde jsou napájecí zařízení rovnoměrně rozložena po celé délce vlaku. V současné době vlak jezdí rychlostí 260 km/h. Do budoucna je v plánu model, který zvýší přepravní rychlost na 320 km/h. [43] [44]



Obrázek 15 KTX-Sancheon [45]

Tabulka 8 Vlakové soupravy KTX [36] [46]

Typ	Max. rychlost	Výkon	Napájecí soustava	Hmotnost	Délka	Výrobce
	[km/h]	kW		[t]	[m]	
KTX	300	13560	25kV 60 Hz	701	388	Alstom, HyundaiRotem
KTX-Sancheon	330	8800	25kV 60 Hz	434	201	HyundaiRotem
KTX-Honam	330	8800	25kV 60 Hz	434	201	HyundaiRotem
KTX-Wongang	330	8800	25kV 60 Hz	434	201	HyundaiRotem
KTX-Eum	286	xxx	25kV 60 Hz	312	150,5	HyundaiRotem

5.6 VELARO

Velaro je řada vysokorychlostních vlakových souprav od výrobce Siemens inspirovaná německým vysokorychlostním vlakem ICE 3. Vlaky Velaro nalezneme celkem v 9 zemích světa, jsou proto stavěny na dva typy rozchodů kolejí – normální rozchod 1435 mm a ruský rozchod 1520 mm. Jedná se výhradně o více jednotkové vlakové soupravy, kde je trakční systém rozmístěn pod podlahou po celém vlaku. Tato koncepce zaručuje optimalizovaný výkon a zlepšené jízdní vlastnosti. Poháněno je 50 % ze všech náprav. Rovnoměrné rozložení hmotnosti snižuje zatížení náprav a náklady na údržbu podvozku. Soupravy Velaro se vyznačují pokročilou technologií aerodynamického profilování, energetického managementu a snižování hluku. Maskované zařízení namontované na střeše, podvozky a mezivozové lávky snižují spotřebu energie. Soupravy mají energeticky účinný brzdový systém. Elektrická brzda dodává přebytečnou brzdovou energii zpět do elektrické sítě, čímž vzniká 10% úspora energie. Vyvýšená část střechy od středu posledního vozu snižuje akustický třesk v tunelu. Přední část je aerodynamicky optimalizována. Na obrázku 16 lze vidět soupravy Velaro s německým ICE. [47]



Obrázek 16 Vlakové soupravy Velaro [47]

Tabulka 9 Přehled souprav Velaro [43] [47] [48]

Typ	Max. rychlost	Výkon	Napájecí soustava	Hmotnost	Délka	Výrobce
	[km/h]	kW		[t]	[m]	
Velaro D (ICE 3)	320	8000	3 kV, 1.5 kV, 25 kV 50 Hz, 15 kV 16.7 Hz	454	201	Siemens
Velaro E (S103)	350	8800	25 kV 50 Hz	439	200	Siemens
Velaro CN (CRH3C)	350	8800	25 kV 50 Hz	425	200	Siemens, CNR-Tanshang
Velaro RUS (Sapsan)	250	8000	3 kV	662	250	Siemens
Eurostar e320	320	16000	3 kV, 1.5 kV, 25 kV 50 Hz,	max 1088	400	Siemens
Velaro TR (HT80100)	300	8000	25 kV 50 Hz	456	200,7	Siemens

5.7 SHINKANSEN

Shinkansen je systém japonských vysokorychlostních tratí. Tyto tratě dnes již vedou téměř do všech koutů Japonska. Byly pro ně vybudovány podmořské tunely – Kjúšú a Honšú. Japonské VRT jsou postaveny na normálním rozchodu 1435 mm, Japonský standard je však úzkorozchodný - 1064 mm. Vlakové soupravy Shinkansen jsou označovány jako bullet train, neboli kulový vlak a jsou především známe svým aerodynamickým provedením. Vlaky se skládají až z 16 vozů, které jsou dlouhé 25 m. Dnes se na některých úsecích setkáme s rychlostí až 320 km/h. Existuje mnoho typů vlakových souprav Shinkansen, které mají různá řešení, ale všechny jsou vybaveny nejmodernější technologií. Například souprava N700 má aerodynamiky provedenou čelní část vozidla, elektrickou výzbroj rozloženou po celé délce vozidla, naklápění vozové skříň a dokonalé vypružení. Jednotky E6 a E7 jsou známe pro svůj tvar čela o délce 16 m, jak lze pozorovat na obrázku 17. Při zkouškách tohoto unikátního tvaru se sledoval nejen vliv vjezdu a výjezdu z tunelu, ale také pasivní bezpečnost během srážky. Společnost KAWASAKI přišla s novinkou v konstrukci, když při vypružení podvozku použila místo ocelových pružin kompozitní materiály CFRP Leaf Spring a tím snížila hmotnost a zvedla kvalitu vypružení. Mezi výrobce vlaků Shinkance řadíme Hitachi(H), Kawasaki Heavy Industries(KHI), Kinki Sharyo(KS), Nippon Sharyo(NS). [33]



Obrázek 17 Vlaková souprava E6 [49]

Tabulka 10 Vybrané soupravy Shinkansen [36]

Typ	Max. rychlost	Výkon kW	Napájecí soustava	Hmotnost	Délka	Výrobce
	[km/h]			[t]	[m]	
N700 - 2000	300	17080	25 kV 60 Hz	715	404,7	H, KHI, KS, NS
H5	320	9600	25 kV 50 Hz	453,5	253	H, KHI
E3 - 700	275	4800	25 kV 50 Hz, 20 kV 50 Hz	258	128,2	KHI
E5	320	9600	25 kV 50 Hz	453,5	253	H, KHI
E6	320	6000	25 kV 50 Hz, 20 kV 50 Hz	306,5	148,7	H, KHI

5.8 MAGLEV

Vysokorychlostní železnice je jedna z nejekologičtějších a nejefektivnějších druhů dopravy. Systém kolo-kolejnice má však určitá omezení a ukazuje se, že hranice 400 km/h je už mezní. Jelikož vysokorychlostní vozidlo má být pohodlné, ekologické, nenáročné na údržbu, lehké a schopno hromadné přepravy osob, ukazuje se, že magnetická levitace (Maglev) je jedno z nejlepších řešení. Tato nekonvenční vlaková doprava je schopna plně konkurovat vysokorychlostní železnici a letecké dopravě. [33]

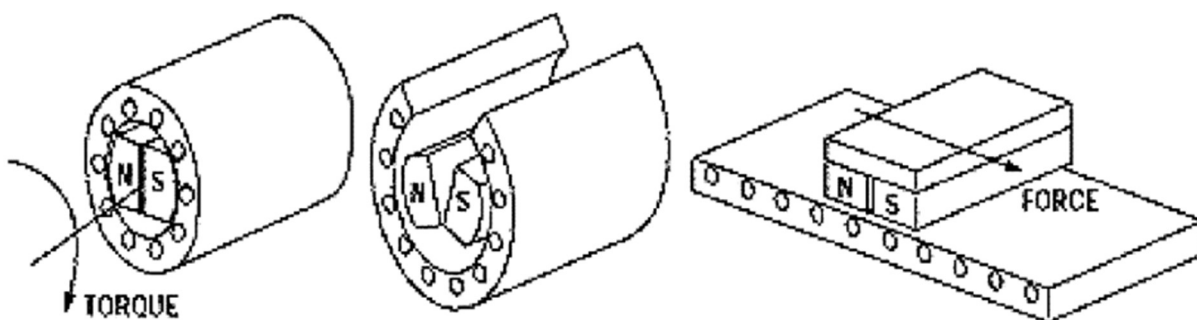
Systém magnetické levitace není vhodný pro nákladní dopravu, jelikož s vyšší hmotností musíme dodávat větší množství elektrické energie pro podporu levitační síly. Kvůli absenci styku kolo-kolejnice musí trakční motory zajišťovat brzdné síly. Dále je také potřebné stínění magnetického pole v prostoru pro cestující. I přes to vlaky Maglev nabízí velký počet výhod oproti konvenčním vlakovým soupravám. [50]

Výhody

Kvůli absenci dotyku kolo-kolejnice se eliminuje jejich opotřebení, a to způsobí snížení nákladů na údržbu. Absence kol také snižuje hluk a vibrace (u Maglevu se hlučnost pohybuje okolo 60-65 dB, zatímco u systému kolo-kolejnice 75-80 dB). Díky speciálnímu vedení je nemožné vykolejit. Systém magnetické levitace má vysoké zrychlení, zpomalení a je méně náchylný na povětrnostní podmínky. [50]

5.8.1 POHON

Systém Maglev využívá pro získání hnací síly lineární motor. Lineární motor si lze představit jako rozříznutý klasický rotační elektromotor, jehož prvky jsou rozvinuty do roviny. Ukázka tohoto rozvinutí je vidět na obrázku 18. Konstrukce lineárního motoru je jednoduchá, nevyužívá se zde mechanické spojky pro přímočarý pohyb. Stator je rozvinut po délce jízdní dráhy, zatímco rotor je součástí vozidla. Výkon lze řídit pomocí změny napětí a frekvence. Přenos energie je u vozidel pro nízkou až střední rychlost zajištěn přímým kontaktem (pantograf). Pro vozidla s vysokou rychlostí je využíváno lineárního generátoru, který získává energii z pohybujícího se elektromagnetického pole. [50]



Obrázek 18 Koncepce lineárního motoru z rotačního motoru [50]

5.8.2 MAGNETICKÁ LEVITACE

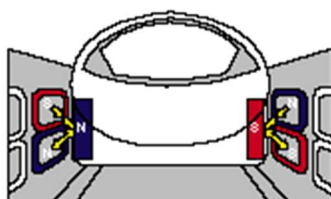
K magnetické levitaci a nesení vozidla jsou využívány dva základní typy technologií [33]:

Elektromagnetický systém (EMS)

Tento systém funguje na základě přitažlivých sil mezi elektromagnety a konstrukcí jízdní dráhy. Nosné a vodící síly působí i za klidu vozidla a pro optimální velikost těchto sil je potřeba udržet vzduchovou mezeru 10 mm. K udržení této vzduchové mezery ± 2 mm je zapotřebí velmi rychlý a citlivý regulační systém. Vozidla využívající elektromagnetický systém jsou německý Transrapid a japonské High Speed Surface Transport (HSST). [50]

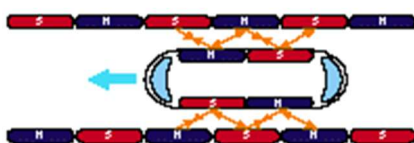
Elektrodynamický systém (EDS)

Elektrodynamický systém funguje na kombinaci odpudivé a přitažlivé síly (někdy pouze odpudivé síly). Na vnitřní straně boční stěny vodící dráhy je připevněna cívka ve tvaru osmičky (obrázek 19). Pokud supravodivý magnet připevněný na vozidle projede vysokou rychlostí (100 km/h a více) pod středem cívky v boční stěně, v cívce se začne indukovat proud, který se dočasně změní na elektromagnet a odpudivá síla společně s přitažlivou silou vytáhnou vozidlo nahoru a začne levitovat ve výšce cca 110 mm. Vozidlo proto musí být vybaveno nosným podvozkem. [33] [51]



Obrázek 19 Levitace pomocí supravodivého magnetu [51]

Vozidlo je poháněno také pomocí přitažlivé a odpudivé síly. Když třífázový střídavý proud prochází pohonnými cívkami na bočních stranách vedení, generuje se pohybující se magnetické pole. Supravodivý magnet na vozidle je pak zároveň tažen i tlačén. [51]



Obrázek 20 Princip pohonu [51]

6 NÁKLADNÍ VLAKY

Železniční nákladní doprava je jedna z možností levné přepravy velkého nákladu na dlouhé vzdálenosti. Jedná se přitom o jednu z nejekologičtějších variant. Jednou z velkých nevýhod je nižší flexibilita než u silniční nákladní dopravy. Jelikož většina firem nemá snadný přístup k železnici, musí se využít kombinace těchto dvou způsobů přepravy. Nákladní vlak se skládá z jedné či více lokomotiv, které táhnou nákladní vozy. Nejčastěji se setkáme s vozy čtyřnápravovými, protože mají větší nosnost než vozy dvounápravové. Je zde ale také možnost šesti náprav. Šestinápravové vozy mají při nižších rychlostech větší tažné síly. Jelikož je v Evropě hustá osobní doprava, nákladní vlaky musí jezdit rychle a ukazují se spíše nevýhody více náprav (vyšší hmotnost, složitější konstrukce atp.). Šestinápravové vozy jsou používány spíše v Africe a Asii. V tabulce 11 nalezneme základní parametry nákladních vlaků. [52] [53]

Tabulka 11 Parametry nákladních vlaků [53]

Hmotnost	400–2500 t
Rychlost	70–120 km/h
Délka	až 700 m

Vlaky jsou využívány pro přepravu intermodálních kontejnerů, sypkého materiálu, kapalin, obecného a speciálního nákladu. Podle typu nákladu se používají různé typy nákladních vozů. Vozy lze rozdělit dle UIC na [53]:

E – otevřené vozy běžné stavby

F – otevřené vozy speciální

G – kryté vozy běžné stavby

H – kryté vozy speciální

I – chladicí vozy se střední izolací

K – Plošinové vozy dvounápravové běžné stavby

L – plošinové vozy speciální – dvounápravové

R – podvozkové vozy běžné stavby s otevíratelnými čelními stěnami a klanicemi

S – podvozkové plošinové vozy speciální

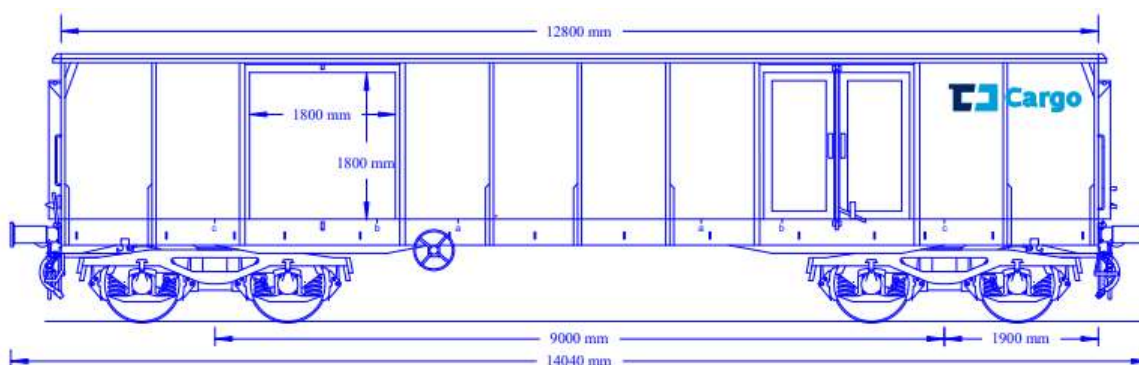
T – vozy s otevíratelnou střechou a výškou „dveří“ do 1,90 m

U – ostatní vozy

Z – kotlové vozy („cisternové“)

6.1 OTEVŘENÝ VŮZ

Otevřené vozy jsou určeny k přepravě volně loženého sypkého zboží (uhlí, šrot, ruda, dřevo atp.) nebo upnutých kusových zásilek. Vagón má otevřený úložný prostor ve tvaru krabice s možností upnutí plachty proti případnému navlhnutí přepravovaného materiálu. Vůz má ocelovou kostru vyplněnou plechy. Na boku vozu se obvykle nachází dvojice dveří. [54]

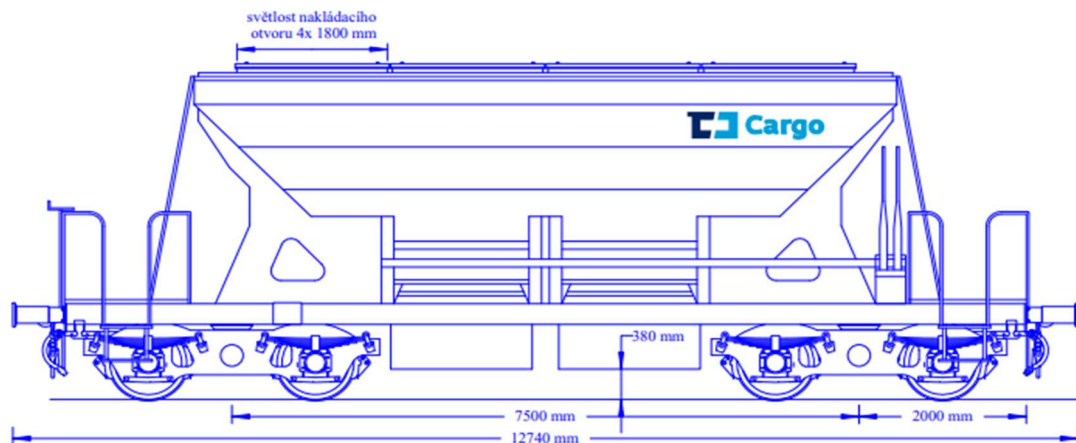


Obrázek 21 Otevřený vůz řady Eas od dopravce ČD Cargo [54]

6.2 VÝSYPNÝ VŮZ

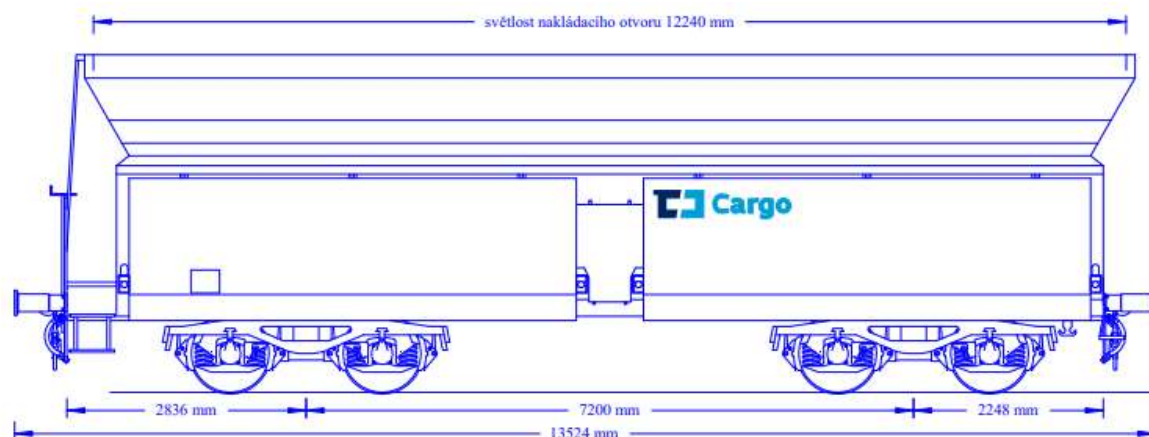
Výsypné vozy se používají k přepravě sypkých materiálů (uhlí, šterk, stavebniny atp.). Existuje mnoho různých typů vagónů dle požadavků na přepravu materiálu. Jako příklad si uvedeme vozy s označením Fal, Fac nebo Tal. [54]

Vozy s označením Fac, na obrázku 22, jsou využívány pro přepravu sypkého materiálu, který není potřeba udržet v suchu. Jedná se o samovykládací železniční nákladní vozy, u nichž je náklad přepravován v několika vedle sebe uspořádaných násypkách a vykládán z vozů gravitací. Rychlost vykládky lze regulovat kvůli případné vykládce na pásový dopravník. [54]



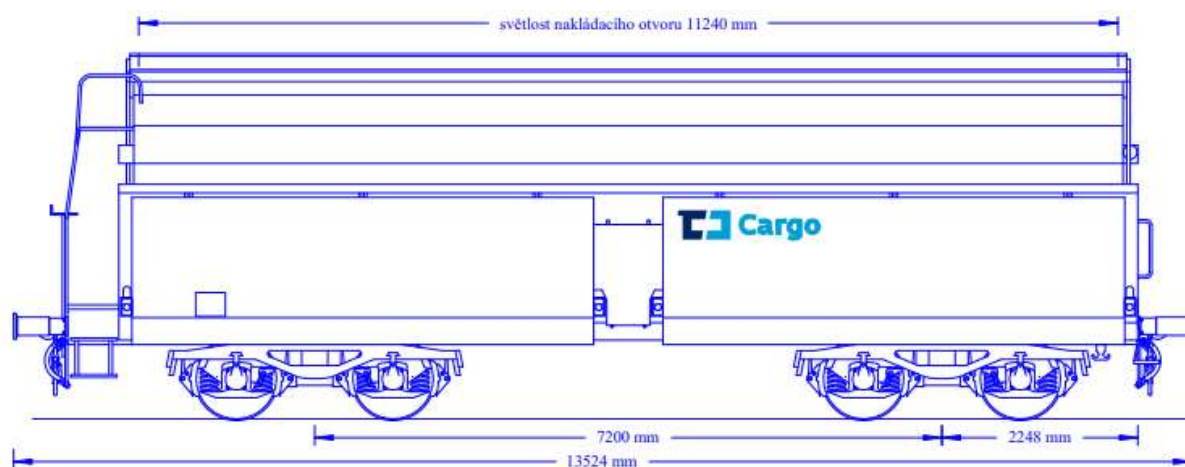
Obrázek 22 Výsypný vůz řady Facs od dopravce ČD Cargo [54]

Vozy Fal jsou využívány pro přepravu velkého množství sypkého materiálu, který není citlivý na vlhkost. Náklad by měl být naložen rovnoměrně. Vozy mají sedlové dno a náklad je vyložen vlastní gravitací po otevření bočních výsypných kladek. Pro úplné vyprázdnění musí být otevřeny všechny výsypné kladky. Příklad vozu tohoto typu je na obrázku 23. [54]



Obrázek 23 Výsypný vůz řady Falls od dopravce ČD Cargo [54]

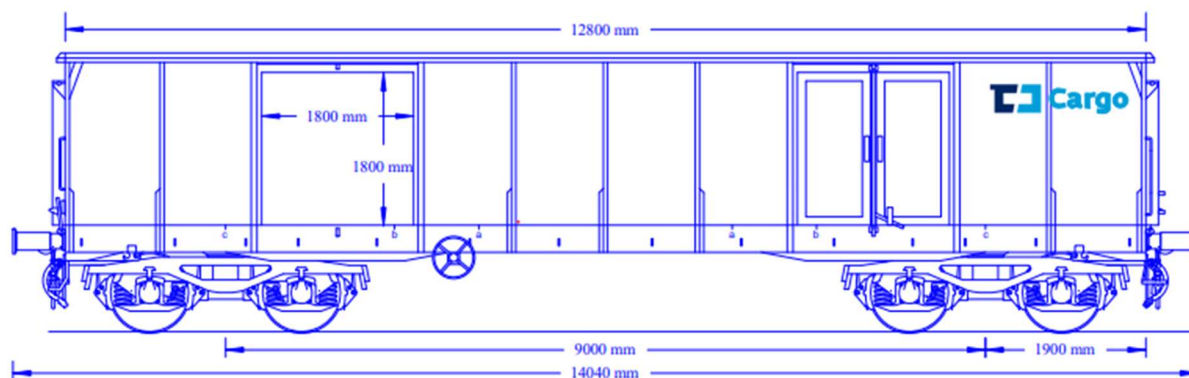
Vozy Tal jsou konstrukčně i ložnými vlastnostmi podobné vozům Fal. Tyto vozy jsou užívány k přepravě sypkého materiálu citlivého na vlhkost, a proto jsou vybaveny otočným střešním panelem, kterého si lze povšimnout na obrázku 25. [54]



Obrázek 25 Výsypný vůz řady Talls od dopravce ČD Cargo [54]

6.3 KRYTÝ VŮZ

Kryté vozy se využívají na přepravu paletovaného zboží, které je potřeba chránit před vnějšími vlivy. Vozy jsou dvounápravové a čtyřnápravové běžné stavby nebo s posuvnými bočními stěnami s možností rozdělení vnitřního prostoru dělicími přepážkami. [53]



Obrázek 24 Dvounápravový krytý vůz běžné stavby od dopravce ČD Cargo [54]

6.4 CHLADÍČÍ VŮZ

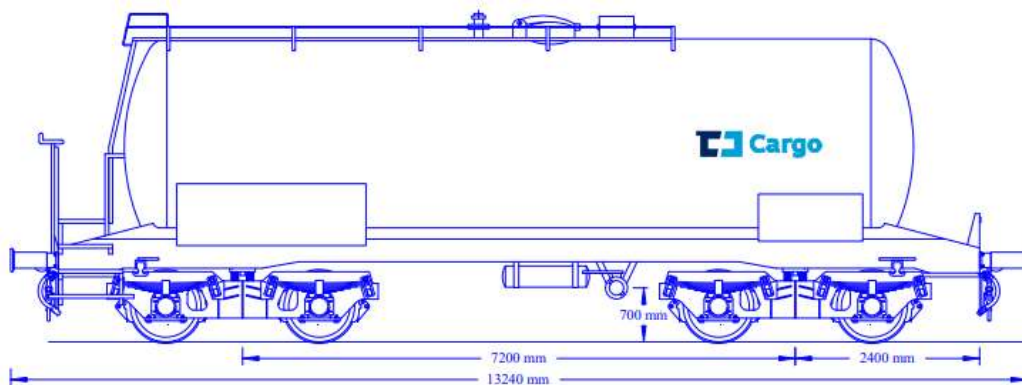
Chladicí, nebo také izotermický vůz na obrázku 26, je použit pro přepravu zboží, které je potřeba chladit z důvodů snadné zkazitelnosti (jogurty, zmražené potraviny atp.). Vozy rozdělujeme na 3 typy podle regulace teploty. První, izotermický vůz bez chladicího zařízení, je využíván pro přepravu ovoce, jogurtů a tomu podobného zboží. Druhý, chladicí vůz s chladicím zásobníkem, se využívá pro přepravu potravin, které nepotřebují konstantní nízké teploty. Jako chladicí látka se používá suchý nebo přírodní led. Posledním typem, chladicí vůz vybavený chladicím zařízením, jsou přepravovány zmražené potraviny, které potřebují při převozu konstantní teplotu. [53]



Obrázek 26 Chladicí vůz společnosti ČD Cargo [53]

6.5 CISTERNOVÝ VŮZ

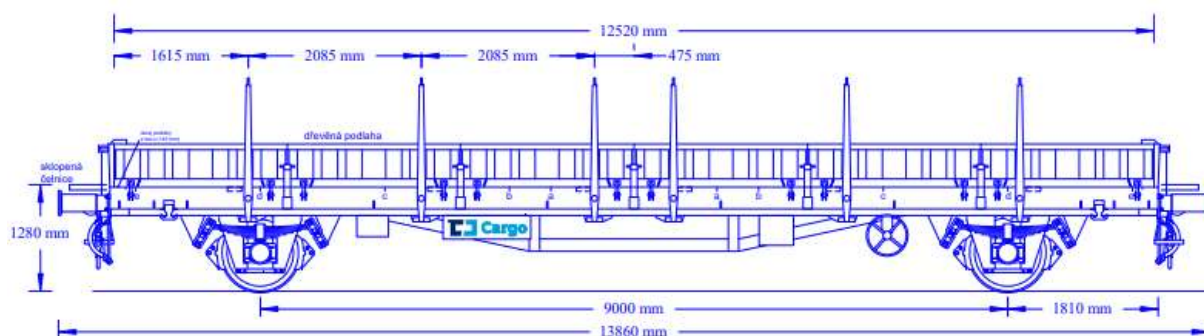
Cisternový vůz slouží k přepravě kapalného zboží (stlačený plyn, uhlovodíková paliva, chemické látky atp.). Vůz tohoto typu je zobrazen na obrázku 27. [53]



Obrázek 27 Cisternový vůz řady Zas od dopravce ČD Cargo [54]

6.6 PLOŠINOVÝ VŮZ

Pomocí plošinových vozů (obrázek 28) jsou přepravovány velké náklady jako automobily, stroje, ocelové svítky, ocelové desky, trubky, kolejnice anebo intermodální kontejnery. Existuje mnoho řad plošinových vozů. Z hlediska stavby se setkáme s vozy: plošinové vozy s vysokými nebo nízkými kladnicemi, dvou a čtyřnápravové vozy se sklopnými stěnami a nízkými nebo vysokými kladnicemi, plošinové vozy s pevnými čelními stěnami a vysokými kladnicemi, vozy pro přepravu intermodálních kontejnerů a speciální plošinové vozy pro přepravu automobilů. [53] [54]



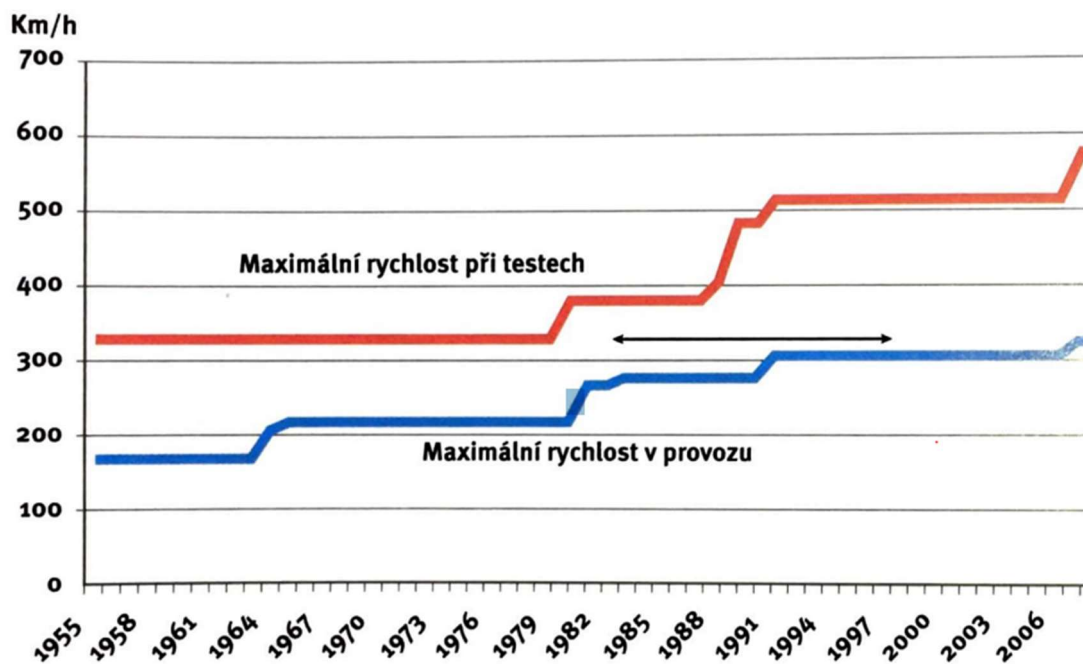
Obrázek 28 Dvounápravový plošinový vůz řady Kns od dopravce ČD Cargo [54]

7 SOUČASNÉ TRENDY VLAKOVÉ DOPRAVY

Z předešlých bodů práce lze vypožorovat určité trendy a směr vývoje vlakové dopravy a souprav. Především jde o zvyšování přepravní rychlosti, výstavbu vysokorychlostních tratí, nízkopodlažní soupravy pro příměstské a regionální dráhy, aerodynamicky upravené soupravy, kvalitní brzdné systémy s možností rekuperace, minimum neodpružených hmot a v neposlední řadě snížení vlivu na životní prostředí.

7.1 ZVYŠOVÁNÍ RYCHLOSTI

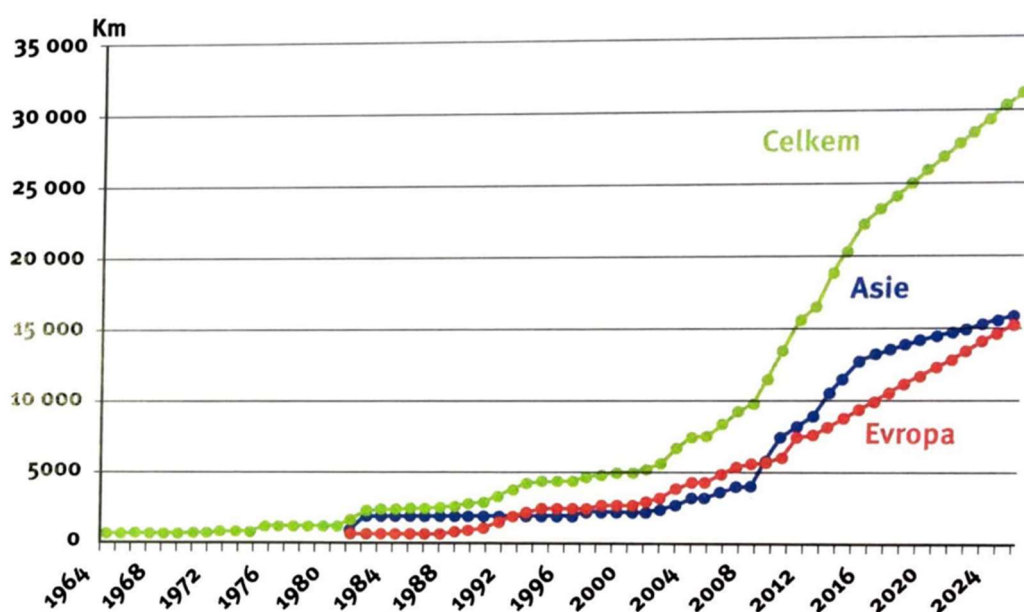
Zvyšování rychlosti je trendem již řadu let, jak je vidět na grafu 1. Během dvou století se vlaková doprava dostala od parních lokomotiv až po současné moderní vysokorychlostní jednotky. Hlavním důvodem je konkurenceschopnost silniční, letecké a v některých případech také námořní dopravě (Eurotunel). Kromě zvyšování trakčních výkonů, lze rychlost zvýšit konstrukcí jednotlivých souprav. Z přehledu vysokorychlostních vlaků lze vypožorovat, že vlaky jsou stavěny tak, aby vozidla byla lehké stavby. Jelikož se hmotnost objevuje často při výpočtu jízdních odporů, její snížení tak značně ovlivní celkový jízdní odpor [36]. Hmotnost lze snížit nahrazením ocelové konstrukce hliníkovými slitinami, využitím podvozku typu JAKOBS nebo snížením počtu náprav (například kloubové soupravy Talgo). Průměrnou přepravní rychlost vlaku je možné také zvýšit pomocí naklápěcí skříně (Pendolino, Talgo, ...). Další možnosti jsou také aerodynamické řešení vlaku anebo magnetická levitace. Kombinací těchto řešení bylo dosaženo, že některé dnešní vysokorychlostní vlakové soupravy mají maximální provozní rychlosti vyšší než 300 km/h. [33]



Graf 1 Přehled maximálních rychlostí v provozu v čase [33]

7.2 VÝSTAVBA VYSOKORYCHLOSTNÍCH TRATÍ

Ke zvyšování rychlosti ale také patří rekonstrukce stávajících tratí a výstavba nových vysokorychlostních koridorů. Výstavba VRT je výhodná i z pohledu záboru půdy, jelikož šířka záboru půdy VRT je oproti dálnicím pro silniční vozidla poloviční. Mezi základní parametry VRT pro rychlosti 300 km/h patří: dokonalý odběr elektrické energie, střídavý napájecí systém 20 kV 50 Hz nebo 15 kV 16,7 Hz, rozchod kolejí 1435 mm (v Asii také 1520 mm), dvoukolejná trať, poloměry směrových oblouků 8000-9000 m (při osobní dopravě nejméně 4500 m, při smíšené 6000 m), nápravový tlak 17 t. Pro vysokorychlostní magistrály se využívají kolejnice tvaru UIC 60. Vysokorychlostní železnice jsou budovány už od poloviny 20. století, ale nejvyšší nárůst VRT přichází až na počátku 21. století, jak si lze povšimnout z grafu 2. [33]



Graf 2 Výstavba VRT v Evropě a Asii [33]

7.3 VYUŽITÍ HLINÍKOVÝCH SLITIN

Jak již bylo zmíněno, jedním ze způsobů zvýšení rychlosti a úspory energie je odlehčení celé soupravy. Z přehledu vysokorychlostních souprav je zřejmé, že dnešním trendem je nahrazování ocelových konstrukcí pomocí hliníkových slitin. Otázkou však je, kde všude lze hliníkové slitiny využít. Aplikace hliníkových slitin při výrobě karoserie vlaku je vcelku známým využitím. Zde se využívají různé slitiny pro každou oblast, dle vlastností jednotlivých řad. Typickými slitinami jsou pak řady 5000, 6000 a 7000. Tímto lze dosáhnout snížení hmotnosti vozové skříň o 30-50 %. Jelikož vozová skříň tvoří přibližně 20% hmotnosti celého vlaku, je pro další snížení hmotnosti potřeba využít hliníkové slitiny i na jiných komponentách. Dnes se objevuje trend využití těchto slitin u skříň nápravy a převodovky. Ukázkou hliníkové převodovky je vidět na obrázku 29, jedná se o převodovku z čínského vysokorychlostního vlaku řady CRH. Převodovka je vyráběna jako odlitek, přičemž jako materiál pro odlévání převodovek se využívají slitiny $AlSi_7MgA$ a $AlCu_4Ti$. [55]



Obrázek 29 Hliníková převodovka vysokorychlostního vlaku CRH [55]

7.4 AERODYNAMIKA

Aerodynamika je důležitým faktorem při konstrukci kolejových vozidel určených pro vysoké rychlosti. Aerodynamickou úpravou hlavového vozidla, zakrytváním zařízení na střeše a dalšími úpravami lze zlepšit celkovou aerodynamiku vozidla. Aerodynamický odpor je odpor prostředí, v případě kolejových vozidel jde o odpor vzduchu. Velikost této odporové síly lze vyjádřit pomocí [52]:

$$F_{ae} = p_{dyn} \cdot C_x \cdot S = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot C_x \cdot S \quad (1)$$

ρ hustota vzduchu

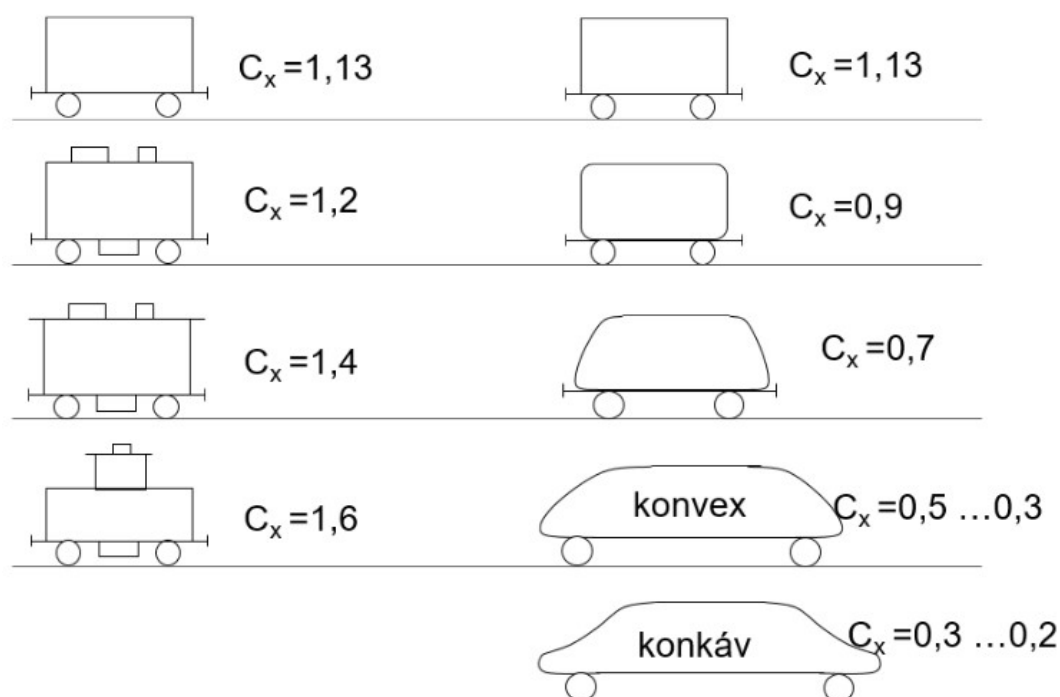
p_{dyn} dynamický tlak

S čelní plocha vozidla

C_x tvarový součinitel odporu vzduchu

v relativní rychlost vozidla vůči prostředí

Úpravou hlavového vozidla lze výrazně snížit tvarový součinitel odporu vzduchu. Velmi známým příkladem jsou vysokorychlostní vlaky Shinkansen, jejichž hlavové vozidlo má konkávní tvar (tzv. kachní zobák). Konkávní tvar hlavového vozidla má čtyřikrát až pětkrát menší tvarový součinitel odporu vzduchu než tupé, neupravené vozidlo. Hodnoty tvarových součinitelů jsou zobrazeny na obrázku 30.

Obrázek 30 Hodnoty C_x v závislosti na tvaru vozidla [46]

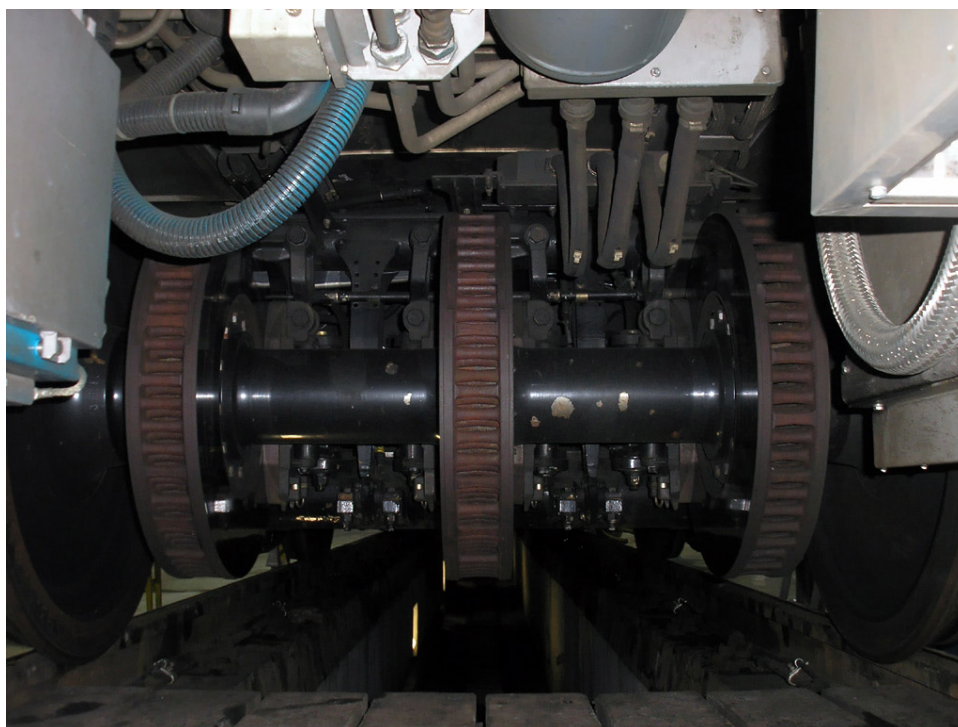
7.5 NÍZKOPODLAŽNÍ SOUPRAVY

Při pohledu na vlakové soupravy pro příměstskou a regionální dopravu se často setkáme s nízkopodlažní nebo částečně nízkopodlažní soupravou. Postavit 100% nízkopodlažní soupravu je však technicky náročné. Kvůli rozměrům trakčních motorů a podvozků se setkáme spíše s částečně nízkopodlažními soupravami. Vlaková doprava na menší vzdálenosti je velmi frekventovaná a tyto soupravy s chybějícím „schůdkem“ dokážou zajistit plynulý nástup a výstup cestujících a zkrátit tak dobu pobytu na nástupišti. Velikou výhodou je také bezbariérový přístup pro cestující s omezenou mobilitou. Soupravy jsou velmi často vybaveny bezbariérovým WC. S nízkopodlažními soupravami je také možné se setkat u meziměstských a vysokorychlostních souprav. Španělský výrobce Talgo udává u svých meziměstských souprav Intercity Talgo 230 snížení času zastavení na stanicích až o 50 %. [56]

7.6 BRZDY

Se zvyšováním rychlosti je nezbytné vybavit vlakové soupravy kvalitními brzdovými systémy. Všechny soupravy musí totiž dodržet zábrzdnou vzdálenost i za nepříznivých podmínek. S vyšší rychlostí je proto kladen veliký důraz na účinnost a spolehlivost brzdových systémů. Vlaků mohou jet tedy jenom tak rychle, jak dobré mají brzdy. U rychlých vlaků (rychlost okolo 200 km/h) se setkáme s vysoce účinnou elektrodynamickou brzdou u trakčních vozů (respektive lokomotivy), kotoučovými brzdami jednotlivých vozů (na každém dvojkolí nalezneme tři brzdové kotouče) a elektromagnetickou třecí kolejnicovou brzdou. Pro vysokorychlostní soupravy nastávají komplikace: vysoká kinetická energie, nižší součinitel adheze a vysoký brzdný výkon. Jako řešení se ukazuje distribuovaný výkon, kdy je 50 %

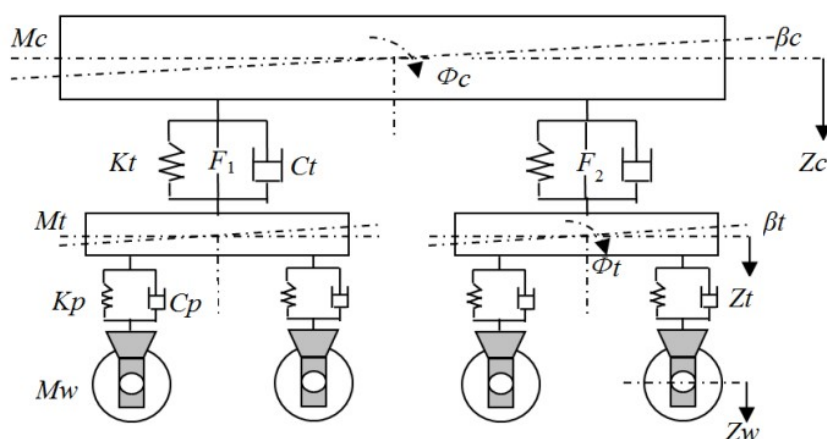
dvojkolí trakčních s elektrodynamickou brzdou (pokud možno rekuperační) a 50 % běžných s několika brzdovými kotouči. Objevuje se zde navíc také bezdotyková (neadhezní) kolejnicová brzda na principu vířivých proudů. U této brzdy jsou však komplikace s vysokým příkonem a ohřevem kolejnic. Existují dva možné přístupy koordinace brzd. Prvním je kritérium preference dynamické brzdy, kdy se snažíme minimalizovat ohřev a opotřebení brzdových destiček a kotoučů. Druhým přístupem je kritérium rovnoměrného brzdění, kdy je brzdná síla rovnoměrně rozdělena na všechna dvojkolí. Řešením je management brzd, kdy při nižších nárocích na adhezi se využívá pouze dynamická brzda a při vyšších nárocích na adhezi je brzděno rovnoměrně všemi dvojkolími. Na obrázku 31 vidíme pohled na brzdové kotouče. [52]



Obrázek 31 brzdové kotouče elektrické jednotky řady 680 [42]

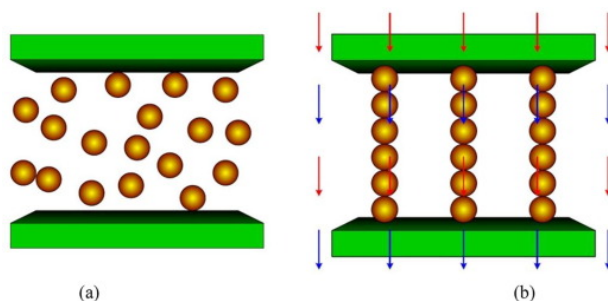
7.7 VYPRUŽENÍ

Při konstrukci nových vysokorychlostních vozidel je potřeba dbát na kvalitní vypružení, aby nerovnosti na traťovém svršku byly co nejúčinněji tlumeny. Nové soupravy jsou proto vybaveny svislým a příčným vypružením. Pro co nejlepší vypružení se využívá zároveň primárního a sekundárního vypružení, kdy primární vypružení znamená odpružení mezi dvojkolí a rámem podvozku, zatímco sekundární vypružení je odpružení mezi rámem podvozku a skříní vozu. Dnes je využíváno vinutých a vzduchových pružin. S vyšší rychlostí je důležitá kontrola vibrací odpružení vysokorychlostních vozidel, proto se u nových vozidel setkáme s hydraulickými (kapalinovými) tlumiči, které jsou řazeny paralelně k pružině. Nekvalitně vypružená souprava má při vyšších rychlostech značný vliv na komfort a bezpečnost cestujících. Jedním z nejmodernějších využívaných tlumičů je magnetoreologický tlumič, jehož využití je zobrazeno na vertikálním modelu na obrázku 32. [57] [58]



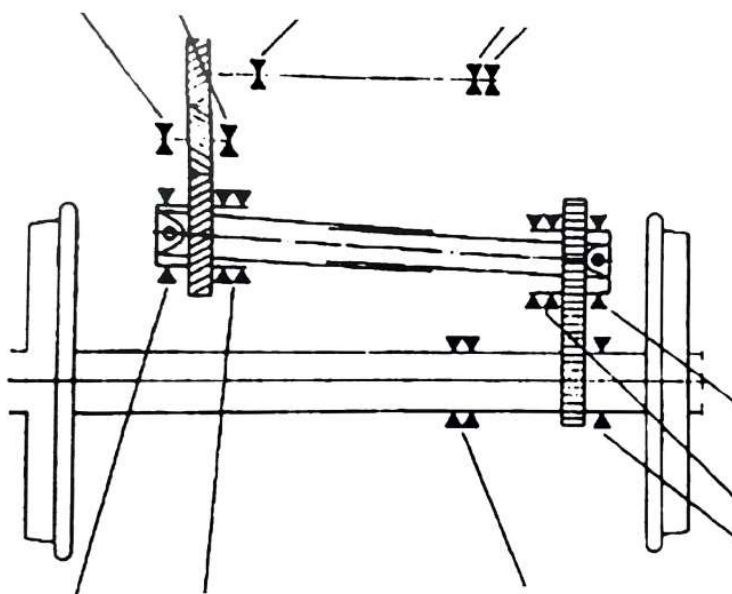
Obrázek 32 Vertikální model kolejového vozidla na bázi MR tlumičů[57]

Magnetoreologický tlumič (MR tlumič) funguje pomocí speciální (magnetoreologické) kapaliny, ve které se nachází magnetické částice železa o velikosti několika mikrometrů. Při vytvoření magnetického pole v tlumiči částice změň svou orientaci a vytvoří řetězovitou strukturu zobrazenou na obrázku 33. V tomto stavu mají vyšší viskozitu a mez pružnosti. Velikou výhodou MR tlumiče je snadná regulace jeho síly. [59]



Obrázek 33 MR částice kapaliny a) bez magnetického pole b) s magnetickým polem [59]

Při vypružení soupravy se snažíme dosáhnout co nejmenších neodpružených hmot. Z tohoto důvodu se u vlaků pro vyšší rychlosti setkáme s uložením trakčních motorů na rámu podvozku a v ideálním případě přímo na rámu vozidla. Jako příklad si lze uvést francouzské TGV, jejichž trakční motory jsou uloženy přímo na rámu vozidla a krouticí moment je přenášen pomocí kloubových spojek a kardanů typu TRIPOD, jak je vidět na obrázku 34. [33]



Obrázek 34 Schéma přenosu výkonu pomocí kardanů TRIPOD [33]

7.8 EKOLOGIE

S neustálým rozvojem železnice je potřeba se zaměřit také na vliv na životní prostředí. Mezi hlavní faktory, které mají vliv na životní prostředí lze zahrnout znečištění ovzduší, zábor zemědělské půdy, hluk a vibrace. V současné době jsou rekonstruovány stávající tratě a budovány nové VRT. VRT jsou již budovány s ohledem na životní prostředí. Kvůli vysokým rychlostem jsou tyto tratě oploceny, aby se zamezilo srážce se zvěří a jsou stavěny přechody pro živočichy. Podívejme se ale blíže na některé již zmíněné faktory.

7.8.1 ZNEČIŠTĚNÍ OVZDUŠÍ

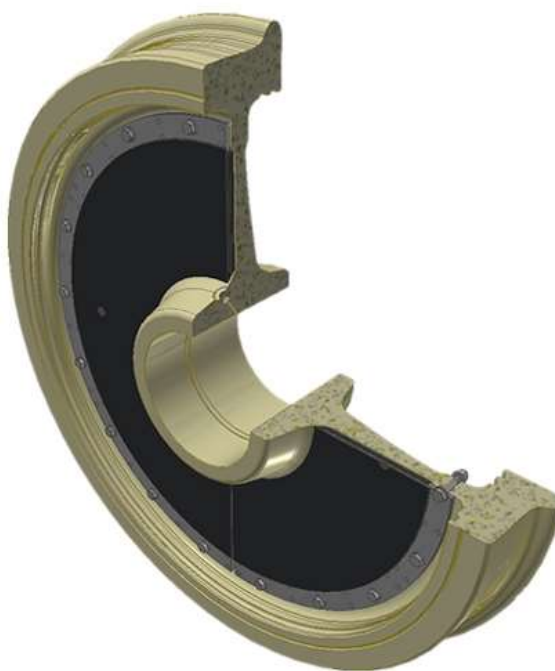
Vlaková doprava je ekologickým způsobem přepravy. Vysokorychlostní a hlavní tratě jsou z velké části elektrifikovány, a tak podél těchto tratí nedochází k znečištění životního prostředí. Toto znečištění se vyskytuje v okolí zdrojů elektrické energie, a tudíž lze snadno zajistit opatření k ochraně životního prostředí. Hodnoty znečištění také závisí na typu elektrárny, ve které byla elektrická energie vyrobena. Současným trendem je snižování spotřeby energie (například pomocí rekuperace). Pokud se podíváme na dnešní emise CO_2 , zjistíme, že množství emisí oxidu uhličitého pro přepravu 100 osob na 1 km je přibližně 3,5x nižší, než je tomu u osobních automobilů. [33]

7.8.2 HLUČNOST VLAKOVÉ DOPRAVY

Hlučnost vlakové dopravy a dopravy celkově je důležitým faktorem, který má vliv na životní prostředí v okolí železničních tratí. Hluk z železnice se dělí na 3 základní složky: valení kol po kolejnici, trakce a aerodynamický hluk. Nejčastěji se setkáme se snahou snížit hluk z valení kola po kolejnici a aerodynamického hluku. Jelikož hluk z trakce se nějak výrazně nemění s vyšší rychlostí, není na něj kladen takový důraz.

Valení kol po kolejnici

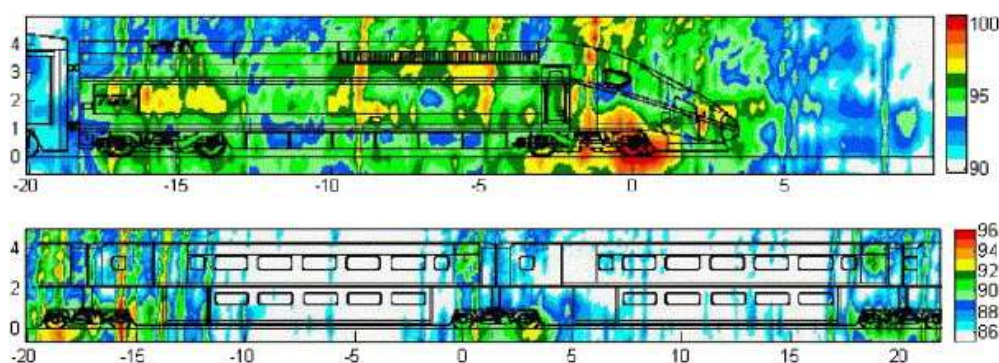
Při jízdě kolejových vozidel vzniká hluk ze samotného odvalování kola po kolejnici. Aby se tento hluk co nejvíce eliminoval, hledají se nové možnosti konstrukce železničních kol. Jako řešení snížení hluku se ukazuje vybavit kola speciálními tlumiči, které dokáží snížit hluk kol. Například při testování vlaku na trase Oslo – letiště Gardemoen bylo zjištěno, že pomocí deskových tlumičů kol byl snížen valivý hluk o 3 dB při rychlosti 200 km/h a při tentýž rychlosti lze snížit hluk kol o 4-5 dB [60]. V České republice se s tlumičem hluku kol setkáme například u elektrické jednotky City Elefant (řada 471). Mezi výrobce těchto tlumičů patří například Bonatrans, jejichž deskový tlumič je zobrazen na obrázku 35. [33]



Obrázek 35 Deskový tlumič hluku Bonatrans [61]

Aerodynamický hluk

Aerodynamický hluk je způsoben obtékáním vzduchu a stává se dominantním při rychlostech nad 300-350 km/h a s dalším zvyšováním rychlosti se dramaticky zvětšuje. Jako zdroje aerodynamického hluku se ukazují nos vlaku, oblast podvozku, pantograf, dutina pro pantograf a přechod mezi vozy, jak je vidět na obrázku 36. Pro zjištění aerodynamického hluku jsou prováděny testy v aerodynamickém tunelu. Buď ve zmenšeném měřítku, kdy je testován model soustavy, anebo v plném měřítku, kdy jsou testovány pouze určité části (například pantograf). [62]



Obrázek 36 Zdroje hluku při rychlosti 300 km/h v pásmu třetí oktávy 1250 Hz [63]

Z obrázku 36 je zřejmé, že největší zdroj aerodynamického hluku je na čelním vozu. U moderních aerodynamických souprav je tento hluk připisován spíše přednímu podvozku než samotnému nosu vlaku, jelikož dopadající proudění má vyšší rychlost než na ostatní podvozky. Snížení hluku podvozku lze dosáhnout pomocí krytů. S tím je ale úzce spojena možná náročnější údržba. S kryty podvozku se setkáme častěji v Japonsku. Na obrázku 37 je vidět zakrytí prvního podvozku u soupravy Shinkansen řady 700. Celkové, alespoň částečné, zakrytí se pak nachází na novější řadě N700. [62]



Obrázek 37 Kryt předního povozku Shinkansen řady 700 [62]

Jak již bylo uvedeno, dalším významným zdrojem aerodynamického hluku je pantograf. Ve vědecké literatuře se dočteme, že značný vliv na produkci hluku má samotný desing. Jako řešení ukazuje optimalizace vrchní části pantografu (anglicky označována panhead) a použití vhodných průřezů vzpěr. Například jenom použitím kruhových průřezů lze hlučnost snížit o 6-10 dB. Dalším způsobem, který využíván spíše v Japonsku, je zakapotování veškerých mechanismů a použití dvou bočních desek pro usměrnění proudu vzduchu. Toto řešení je na obrázku 38. [62]



Obrázek 38 Japonský nízkohlučný polopantograf [64]

8 KRITICKÉ ZHODNOCENÍ BUDOUCÍHO VÝVOJE V ČR

Vlaková doprava v České republice je oproti ostatním státům lehce pozadu. Ve vyspělých státech Evropy a Asie, jako jsou například Francie, Německo a Japonsko, představuje železniční doprava efektivní, rychlý a velmi spolehlivý způsob dopravy na krátké, ale i velké vzdálenosti. V České republice je železnice sice také dobrým způsobem dopravy, ale nedosahuje takových přepravních rychlostí, jako v ostatních státech. Jedním z výrazných negativ pro vlakovou dopravu jsou velmi častá zpoždění. V této práci se budeme zabývat 3 body ohledně budoucího vývoje vlakové dopravy v České republice: Elektrifikace tratí, zvyšování rychlosti a nákladní doprava.

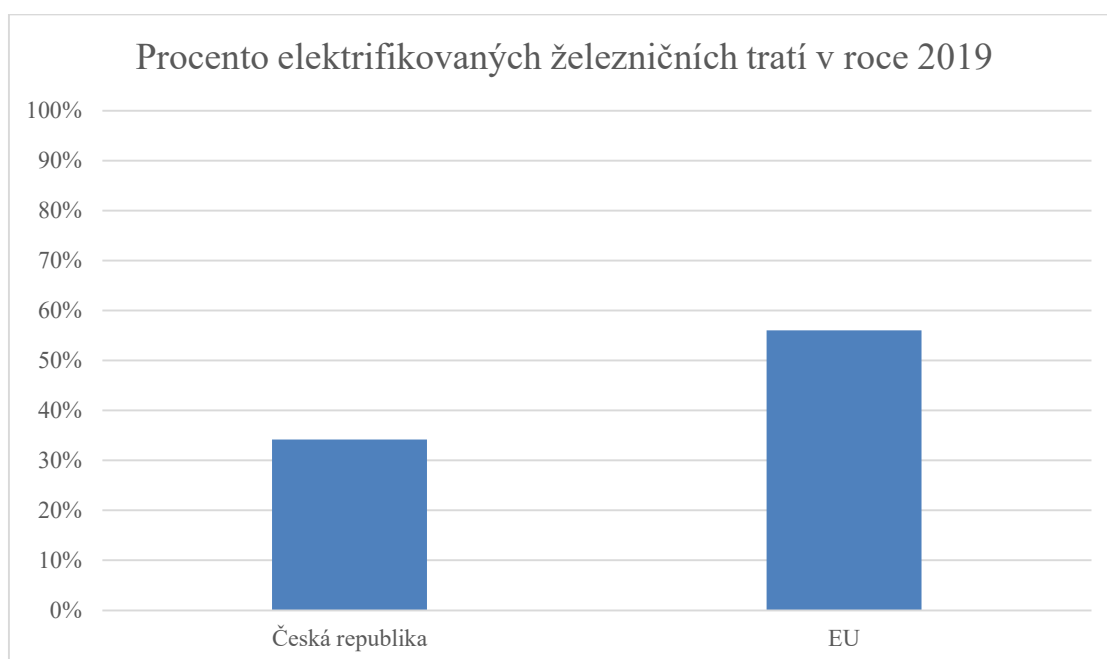
8.1 ELEKTRIFIKACE TRATÍ

Z historického vývoje železnice jsou v České republice dvě napájecí soustavy – 3 kV a 25 kV 50 Hz, jak je vidět na obrázku 39. Tyto dvě soustavy jsou pro naši republiku nevýhodné, jelikož je potřeba vícesystémových souprav a lokomotiv. Tuto skutečnost si uvědomuje i ministerstvo dopravy, které koncem roku 2016 schválilo vypracování studie ohledně koncepce přechodu na jednotnou napájecí soustavu. Tímto krokem byl rovněž schválen přechod na střídavou napájecí soustavu 25 kV 50 Hz. Přechod na tuto napájecí soustavu je správným krokem kupředu, jelikož nové vysokorychlostní soupravy využívají právě tuto soustavu a nebude tedy problém s přechodem z VRT na konvenční tratě. Ze studií vyplývá, že přechod přinese zvýšení výkonnosti železniční dopravy, snížení ztrát ve vedení a tím zvýšení energetické účinnosti a snížení nákladů na další elektrifikaci. Navržený harmonogram přechodu je v letech 2019-2037. Přechod na jednotnou napájecí soustavu již započal, uvedl to generální ředitel správy železnic na technické konferenci CZ LOKO v roce 2021. Doufejme tedy, že tento přechod se nesetká s žádnými problémy a bude dokončen v řádném termínu. [65] [66]



Obrázek 39 Napájecí systémy v ČR, zelená 3 kV, červená 25 kV 50 Hz [67]

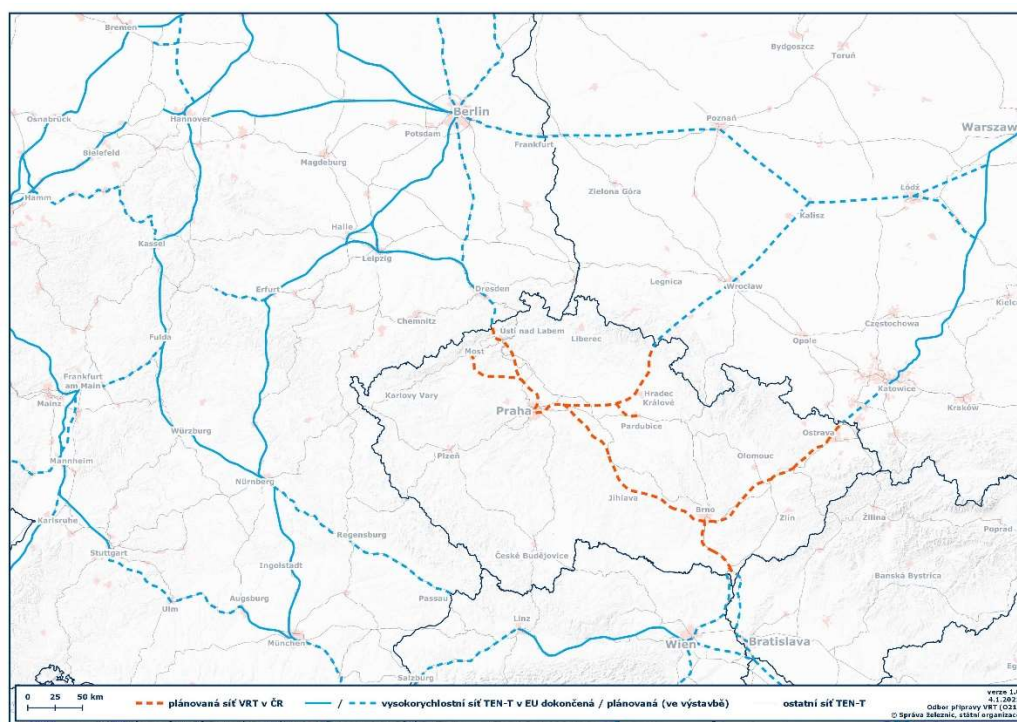
Kromě přechodu na jednotnou soustavu je za potřebí se také zaměřit na elektrifikaci tratí jako takových. V současné době je dle statistik správy železnic elektrifikováno 3215 km tratí z celkového počtu 9358 km. Přibližně je tedy elektrifikováno 34 %, stejně jako v roce 2019. Z grafu 3 je patrné, že Česká republika zaostává za evropským průměrem, který v roce 2019 činil 56 %. Při tomto porovnání ale nelze opomenout fakt, že Česká republika má na svou rozlohu vcelku rozsáhlou železniční síť. V budoucnu by se však měli elektrifikovat alespoň všechny tratě pro spojení velkých měst. Na technické konferenci CZ LOKO v roce 2021 zmínil generální ředitel správy železnic, že je v plánování elektrifikace dalších 520 km tratí v následujících 5 letech. Na otázku diváka, zdali je efektivní elektrifikovat všechny tratě, jako k tomu směřují sousední země, odpověděl, že ano. Elektrifikace všech tratí by ukázala uživatelů (výrobce, dopravce, ...) směr a nevznikal by problém změny vozby závisle na nezávislou při cestování do menších měst. Železnice se tedy postupně elektrifikuje a v budoucnu budeme snad mít plně (nebo alespoň z větší části) elektrifikované tratě. [66] [68]



Graf 3 Srovnání počtu elektrifikovaných tratí ČR a EU v roce 2019 [69]

8.2 ZVYŠOVÁNÍ RYCHLOSTI

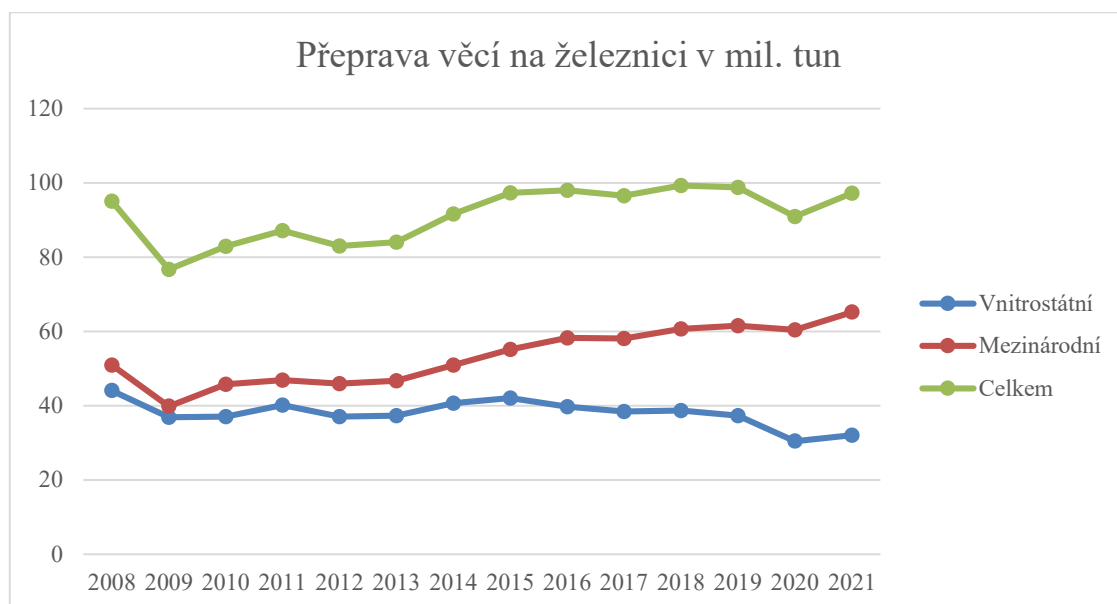
Zvyšování rychlostí je celosvětový trend. V České republice jsme však pozadu oproti ostatním vyspělým státům. Zatímco v České republice je maximální přepravní rychlost 160 km/h, ve vyspělých státech Evropy je zcela běžná přepravní rychlost 200+ km/h. Důvodem jsou zastaralé tratě a četnost křížení tratí se silniční komunikací. Ze zkušeností srážek vlaku s nákladním vozidlem víme, že úrovně křížení tratí s komunikací je značné bezpečnostní riziko. Pro zvýšení rychlosti na 200 km/h je proto potřeba zajistit mimoúrovňové křížení tratí s komunikací. Správa železnic má již v přípravě 207 km úseků, na kterých by se v budoucnosti mohlo jezdit 200 km/h. Tohoto zvýšení rychlosti bychom se měli dočkat na některých tratích již v polovině roku 2025. Zvýšení rychlosti na současných tratích není však jediná snaha o zrychlení vlakové dopravy v ČR. V současné době je v plánování vybudování VRT na našem území. Na těchto nových, vysokorychlostních tratích, bude minimální přepravní rychlost 200 km/h a výrazně zkrátí dobu cestování. Jako příklad si lze uvést cestu z Pardubic do Prahy, kde se doba jízdy zkrátí ze současných 74 minut na přibližně polovinu. Plány výstavby VRT lze vidět na obrázku 40. Tyto nové tratě by měly být v dosahu 20 minut cesty pro 5,5 milionu obyvatel. Bohužel se tento způsob dopravy se nedotkne velkých měst, jako je Plzeň nebo České Budějovice. Na tiskové konferenci ohledně VRT v roce 2021 uvedl generální ředitel správy železnic, že z těchto míst bude návoz na VRT. Jako příklad byl uveden nový 4. koridor Praha – České Budějovice, na kterém bude rychlost vyšší než 160 km/h. Dle informací od správy železnic to vypadá, že se snad již brzy dočkáme vyšších rychlostí a vlaková doprava mezi velkými městy bude značně rychlejší a efektivnější. Bude však zapotřebí nakoupit nové vlakové soupravy pro vysokorychlostní tratě. [70] [71] [72]



Obrázek 40 Plány VRT v České republice a napojení na VRT sousedních zemí [73]

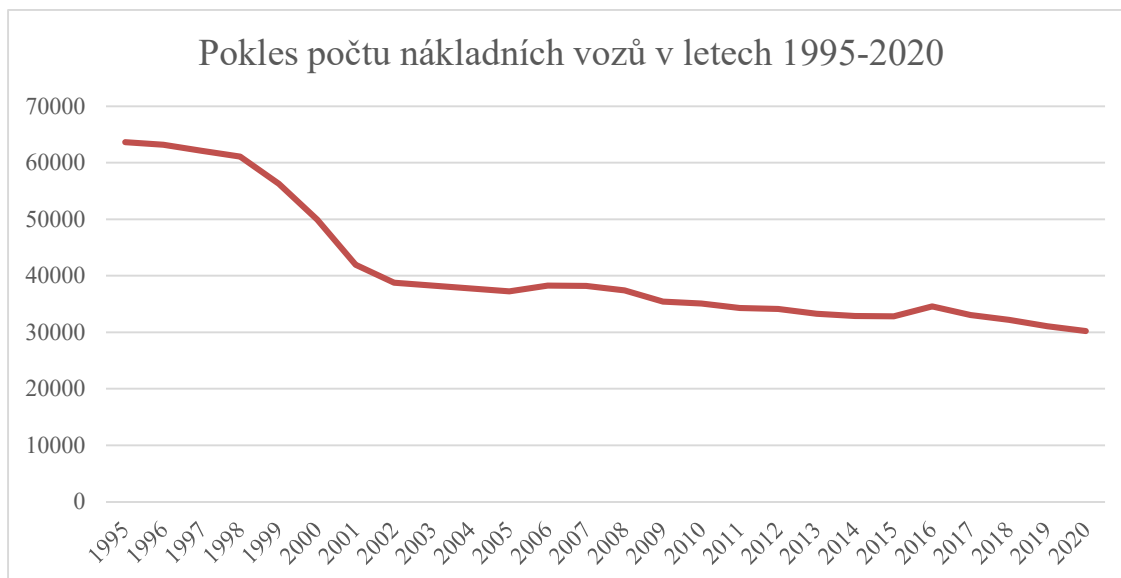
8.3 NÁKLADNÍ DOPRAVA

Železniční nákladní doprava je oproti silniční nákladní dopravě energeticky výhodnější. V České republice to však nákladní dopravci nemají moc jednoduché. Česká republika má sice rozsáhlou železniční síť, ale většina těchto tratí je pouze jednokolejná. To způsobuje, že se nákladní vlaky musí trefit do určitého časového okna. Když to nestihnou, tak musí vyčkat, než jim osobní doprava uvolní místo pro průjezd. Pokud se tedy nestihne včas naložit vlak nebo vznikne zpoždění, musí nákladní vlak dát přednost osobní dopravě. Tento systém ztěžuje nákladní dopravě doručovat v režimu Just-in-time. V posledních letech se snižuje počet věcí přepravených vnitrostátní dopravou, zatímco mezinárodní nákladní doprava po železnici se značně rozrostla, jak je vidět na grafu 4. Dalším problémem je tedy pouze jeden elektrifikovaný dvoukolejný přechod do Německa v Děčíně, kde při normálním provozu projede okolo 100 nákladních vlaků denně, což tvoří přibližně 95 % všech nákladních vlaků směřovaných tímto směrem. Tento problém by se dal vyřešit výstavbou nebo renovací dalšího přechodu. Na ten však budeme muset počkat až do roku 2030. [74] [75]



Graf 4 Přeprava věcí po železnici v České republice [76]

Z grafu 4 lze vypožorovat, že železniční nákladní doprava v České republice roste. Je tedy pozoruhodné, že dlouhodobě klesá počet nákladních vozů (graf 5). V posledních letech se však pokles zmírnil. Je možné, že tento pokles je způsoben vyřazením starých vozů a postupnou obměnou vozového parku.



Graf 5 Pokles počtu nákladních vozů [77]

V České republice se tedy o koleje „přetahuje“ nákladní a osobní doprava, a proto v roce 2016 vzniklo sdružení ŽESNAD, které sdružuje železniční nákladní dopravce České republiky za účelem prosazování požadavků nákladních dopravců. V budoucnu by se s vybudováním VRT a dalšího elektrifikovaného dvoukolejného přechodu do Německa mohla situace na kolejích zlepšit. [78]

ZÁVĚR

Vlaková doprava se neustále vyvíjí a jsou na ni kladeny stále náročnější požadavky, které jsou výzvou pro výrobce. Tlak vyvíjený ze strany přepraveců nutí výrobce konstruovat modernější a lepší vlakové soupravy. Tato práce se zabývá rešerší vlakové dopravy, přehledem jednotlivých vlakových souprav a vyvození současných trendů v této oblasti.

Práce se zabývá více druhy rozdělení. Vlakové soupravy lze rozdělit dle schopnosti vyvinout tažnou sílu a dle rozchodu koleje. Z tohotobyla zjištěno, že nejčastěji vyskytující jsou vozidla normálního rozchodu. Neméně podstatné je také rozdělení dle typu pohonu. S parním pohonem se dnes již nesetkáme a vozidla nezávislé vozby, tedy se spalovacím motorem, jsou postupně nahrazována preferovanou elektrickou trakcí. Pro tento typ trakce se ukazuje jako nejvýhodnější a dnes často používaný střídavý napájecí systém 25 kV 50 Hz, který je vhodný pro vysoké výkony. Na trati se setkáme s dvěma druhy vlakových souprav, a to pro osobní a nákladní dopravu. Vlaky pro nákladní dopravu jsou tvořeny většinou 1–2 lokomotivami, které táhnou nákladní vozy dle požadavků na přepravu materiálu. Vlakové soupravy osobní dopravy se dále dělí podle délky jejich trasy na příměstskou, regionální a dálkovou dopravu. Z důvodu neustálého zrychlování vlakové dopravy byl v práci dán větší prostor pro vysokorychlostní soupravy. Zde byly soupravy rozděleny dle jednotlivých vysokorychlostních rodin. Každý výrobce přistupuje ke konstrukci trochu jiným způsobem, ale nalezneme zde společné znaky, kam konstrukce vlakových souprav směřuje.

Z přehledu vlakových souprav jsou patrné určité trendy. Jelikož je snaha o konkurenci letecké dopravy, vlakové soupravy musí zrychlovat. Moderní vysokorychlostní soupravy jsou aerodynamicky optimalizovány. Jen díky úpravě hlavového vozidla, lze snížit součinitel aerodynamického odporu čtyřikrát až pětkrát. Jednou z dalších možností se ukazuje konstrukce vozidel lehké stavby. Jako materiál jsou používány slitiny hliníku, které se dnes využívají i při konstrukci převodového ústrojí. Použití hliníkových slitin dokáže výrazně snížit hmotnost. U moderních souprav je snaha o snížení energetické náročnosti. S energetickou náročností souvisí vybavení vozidel elektrodynamickou brzdou s možností rekuperace. Dále byla zjištěna snaha o minimální neodpružené hmoty, díky kvalitnímu vypružení soupravy. Nejen vypružení, ale také snižování hluku vlakové dopravy má příznivý vliv na komfort cestujících. Moderní soupravy jsou také často alespoň částečně nízkopodlažní, díky čemuž mohou cestovat i osoby s omezenou mobilitou.

Z důvodu poměrně rozvinuté železniční sítě v České republice, bylo provedeno kritické zhodnocení budoucího vývoje. Česká republika se snaží vyrovnat vyspělejším státům v tomto odvětví. Kvůli zvýšení rychlosti je potřeba výstavba nových vysokorychlostních koridorů a rekonstruovat stávající tratě, což způsobí výluky. V konečném důsledku to však přinese pozitivní efekt na zvýšení přepravní rychlosti. S tím také souvisí přechod na jednotný napájecí systém 25 kV 50 Hz, který již započal. Problémem je však nákladní doprava, která se musí přizpůsobit dopravě osobní, a tak není snadné doručit zásilku v režimu Just-in-time.

Současné vlakové soupravy jsou konstruovány tak, aby byly šetrné k životnímu prostředí, rychlé, komfortní a dostupné pro každého.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] Souhrnné statistiky všech druhů dopravy. *mdcr.cz*. [online]. [cit. 2022-02-02] Dostupné z: <https://www.mdcz.cz/Media/Media-a-tiskove-zpravy/Souhrnné-statistiky-vsech-modu-dopravy>
- [2] JOZEF, Gašparík a Jiří KOLÁŘ. *Železniční doprava: technologie, řízení, grafiky a dalších 100 zajímavostí*. Praha: Grada Publishing, 2017. ISBN 978-80-271-0058-3.
- [3] ŠTĚPÁN, Miloslav. *Přehledné dějiny československých železnic 1824-1948*. [Praha]: Dopravní nakladatelství, 1958. Dostupné také z: <http://www.digitalniknihovna.cz/mzk/uuid/uuid:495ffd50-d811-11e6-8a71-005056827e52>
- [4] SCHRÖTTER, Josef a Bohuslav FULTNER. *Svět lokomotiv*. Brno: CPress, 2014. ISBN 978-80-264-0562-7.
- [5] Historie v datech. *České dráhy*. [online]. [cit. 2021-11-02], c 2008. Dostupné z: <http://www.ceskedrahy.cz/skupina-cd/historie/fistorie-v-datech/-702/>.
- [6] Koněspřežná dráha. *Encyklopedie Český Krumlov*. [online]. [cit. 2021-11-02] Dostupné z: https://encyklopedie.ckrumlov.cz/cz/region_histor_kondra/.
- [7] HELLER, Petr. *Kolejová vozidla*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2021. ISBN 978-80-261-0693-7.
- [8] Nejrychlejší lokomotiva světa. *Stream.cz*. [online]. [cit. 2021-11-30] Dostupné z: <https://www.stream.cz/svetoverekordy/nejrychlejsi-parni-lokomotiva-sveta-168892>
- [9] PALÁT, Hynek. *Parní lokomotivy ČSD: konstrukce, systém označování a atlas hlavních lokomotivních řad*. Brno: Computer Press, 2011. ISBN 978-80-251-3641-6.
- [10] Stoupovo parní povídání. *Želpage*. [online]. [cit. 2021-11-07] Dostupné z: <https://www.zelpage.cz/clanky/stoupovo-parni-povidani?oddil=3>
- [11] Funkce parní lokomotivy. *Steamer.cz*. [online]. [cit. 2021-11-07] Dostupné z: http://www.steamer.cz/par_lok.html
- [12] KOLÁŘ, Josef. *Teoretické základy konstrukce kolejových vozidel*. Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2009. ISBN 978-80-01-04262-5.
- [13] Spalovací motory, přenosy výkonu. *AtlasLokomotiv.net*. [online]. [cit. 2021-11-14] Dostupné z: <http://www.atlaslokomotiv.net/page-prenosy.html>
- [14] LATA, Michael. *Konstrukce kolejových vozidel II*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2004. ISBN 80-7194-696-6.
- [15] Elektrifikace českých železnic. *oenergetice.cz*. [online]. [cit. 2022-01-20] Dostupné z: <https://oenergetice.cz/slug/elektrifikace-ceskych-zeleznic>

- [16] Sběrače, odpojovače, uzemňovače. *AtlasLokomotiv.net*. [online]. [cit. 2022-01-21]
Dostupné z: <http://www.atlaslokomotiv.net/page-sberace.html>
- [17] HRUZLÍK, Jaroslav. *Stejnoseměrné stroje* [online prezentace]. 2019 [cit. 2022-01-31]
Dostupné z: https://moodle-archiv-2019-2020.ro.vutbr.cz/pluginfile.php/283523/mod_resource/content/0/Prezentace.pdf
- [18] HRUZLÍK, Jaroslav. *Asynchronní stroje* [online prezentace]. 2019 [cit. 2022-01-31]
Dostupné z: https://moodle-archiv-2019-2020.ro.vutbr.cz/pluginfile.php/283522/mod_resource/content/0/Prezentace.pdf
- [19] DRDLA, Pavel. *Osobní doprava regionálního a nadregionálního významu*. Vydání: 3. upravené. Pardubice: Univerzita Pardubice, Doprávní fakulta Jana Pernera, 2021. ISBN 978-80-7560-361-6.
- [20] POHL, Jiří. *Vozidla pro příměstskou a regionální dopravu*. 2009. [online]. [cit. 2022-03-12]. Dostupné z: <https://www.czech-raildays.cz/2009/seminare/reg09a.pdf>
- [21] Products. *talgo.com*. [online]. [cit. 2022-03-03]. Dostupné z: <https://www.talgo.com/products>
- [22] Commuter and regional trains from Siemens. *siemens.com*. [online]. [cit. 2022-03-13]. Dostupné z: <https://www.mobility.siemens.com/global/en/portfolio/rail/rolling-stock/commuter-and-regional-trains.html>
- [23] Jednotka 814+914. *regionovy.cz*. [online]. [cit. 2022-03-13]. Dostupné z: <http://www.regionovy.cz/>
- [24] ELEKTRICKÁ JEDNOTKA CITYELEFANT ČESKO – ŘADA 471. *škoda.cz*. [online]. [cit. 2022-03-13]. Dostupné z: <https://www.skoda.cz/reference/elektricka-jednotka-rady-471-cityelefant>
- [25] 844. *atlaslokomotiv.net*. [online]. [cit. 2022-03-13]. Dostupné z: <http://www.atlaslokomotiv.net/loko-844.html>
- [26] RegioPanter Česko. *škoda.cz*. [online]. [cit. 2022-03-13]. Dostupné z: <https://www.skoda.cz/reference/regiopanter-cesko>
- [27] DBAG Class 425. *en-academic.com*. [online]. [cit. 2022-03-13]. Dostupné z: <https://en-academic.com/dic.nsf/enwiki/2247639>
- [28] POHL, Jiří. *Moderní kolejová vozidla pro železniční osobní dopravu*. 2008. [online]. [cit. 2022-03-17]. Dostupné z: https://www.czech-raildays.cz/2008/seminare/kv_01.pdf
- [29] POHL, Jiří. *Nové trendy v oblasti vozidel pro regionální a dálkovou dopravu osob*. 2010. [online]. [cit. 2022-03-17]. Dostupné z: https://www.czech-raildays.cz/2010/seminare/trendy_pohl_a.pdf
- [30] DB Class 101. *eisenbahnfreunde-berlin.net*. [online]. [cit. 2022-04-03]. Dostupné z: <https://www.eisenbahnfreunde-berlin.net/en/db-class-101/>

- [31] LOKOMOTIVA EMIL ZÁTOPEK ČESKO. *skoda.cz*. [online]. [cit. 2022-04-03]. Dostupné z: <https://www.skoda.cz/reference/lokomotiva-emil-zatopek-cesko>
- [32] INTERPANTER ČESKO. *skoda.cz*. [online]. [cit. 2022-04-03]. Dostupné z: <https://www.skoda.cz/reference/elektricka-jednotka-interpanter>
- [33] PALÍK, František, Jiří KOŘÍNEK a Antonín BLAŽEK. *Vysokorychlostní železnice & nekonvenční dopravní systémy*. Praha: pro Výzkumný ústav železniční, a.s. vydalo nakladatelství Růžolící chrochtík spol. s r.o., [2015]. ISBN 978-80-906229-0-6.
- [34] Bogies. *railway-technical.com*. [online]. [cit. 2022-02-04] Dostupné z: <http://www.railway-technical.com/trains/rolling-stock-index-l/bogies.html>
- [35] CHARVÁT, Jaroslav. *AGV*. [online]. [cit. 2022-02-06] Dostupné z: <https://www.zelpage.cz/fotogalerie/big/sncf008.jpg>
- [36] World High Speed Rolling Stock. *Uic.org*. [online]. [cit. 2022-02-26] Dostupné z: https://uic.org/IMG/pdf/202100801_high_speed_rolling_stock.pdf
- [37] Technological Principles. *talgo.com*. [online]. [cit. 2022-03-03]. Dostupné z: <https://www.talgo.com/technological-principles>
- [38] Talgo Avril. *talgo.com*. [online]. [cit. 2022-03-03]. Dostupné z: <https://www.talgo.com/avril>
- [39] High speed tilting train technology. *irjet.net*. [online]. [cit. 2022-02-22] Dostupné z: <https://www.irjet.net/archives/V4/i12/IRJET-V4I1296.pdf>
- [40] PARNIGONI, Andrea M. *Vlak s naklápačící skříní "PENDOLINO" zavedený za účelem zrychlení provozu na stávajících tratích* [online]. Torino: ALSTOM, 2002 [cit. 2022-05-07] Dostupné z: <https://vts.cd.cz/documents/168518/195408/1302.pdf/2dcb1b8c-8f76-4a2a-8f81-2d0eaf06a7ef>
- [41] VR Sm6 Allegro. *Railturkey.org*. [online]. [cit. 2022-02-25] Dostupné z: <https://railturkey.org/sm67153swisstrip110423/>
- [42] Pendolino. *atlaslokomotiv.net*. [online]. [cit. 2022-02-22] Dostupné z: <http://www.atlaslokomotiv.net/loko-680.html>
- [43] KTX: high-speed trains for the next decade. *railjournal.com*. [online]. Cit. [2022-03-04]. Dostupné z: https://www.railjournal.com/in_depth/ktx-high-speed-trains-for-the-next-decade
- [44] Hyundai Rotem's Eco-friendly Electric High-speed Trains Put into Service. *businesskorea.co.kr*. [online]. [cit. 2022-03-04]. Dostupné z: <http://www.businesskorea.co.kr/news/articleView.html?idxno=57995>
- [45] KTX-Sancheon. *hyundai-rotem.co.kr*. [online]. [cit. 2022-03-04]. Dostupné z: https://www.hyundai-rotem.co.kr/Eng/Business/Rail/Business_Record_View.asp?brid=59

- [46] KTX-Eum. *worddisk.com*. [online]. [cit. 2022-03-04]. Dostupné z: <https://worddisk.com/wiki/KTX-Eum/>
- [47] Velaro. *mobility.siemens.com*. [online]. [cit. 2022-03-29]. Dostupné z: <https://www.mobility.siemens.com/global/en/portfolio/rail/rolling-stock/high-speed-and-intercity-trains/velaro.html>
- [48] Expertise for the Eurotunnel. *mobility.siemens.com*. [online]. [cit. 2022-03-29]. Dostupné z: <https://www.mobility.siemens.com/global/en/portfolio/references/velaro-eurostar-e320.html>
- [49] The Shinkansen E6 Series, Brilliance of "Japan Red". *tokyorailwaylabyrinth.blogspot.com*. [online]. [cit. 2022-05-03]. Dostupné z: <https://tokyorailwaylabyrinth.blogspot.com/2013/04/the-shinkansen-e6-series-of-japan-red.html>
- [50] LEE, Hyung-Woo, Ki-Chan KIM a Ju LEE. Review of maglev train technologies. *IEEE Transactions on Magnetics* [online]. 2006, 2006(42), 1917-1925 [cit. 2022-05-07]. Dostupné z: doi:10.1109/TMAG.2006.875842
- [51] 超電導リニアの原理. *rtri.or.jp*. [online]. [cit. 2022-03-29]. Dostupné z: <https://www.rtri.or.jp/rd/maglev/principle.html>
- [52] POHL, J. Trakční mechanika [přednáška]. Praha: Fakulta strojní ČVUT. únor 2022
- [53] JANOŠ, Vít. Technologie dopravy a logistika [přednáška]. Praha. Fakulta dopravní ČVUT. 2017.[cit. 2022-04-03] Dostupné z: <http://docplayer.cz/105130151-17tedl-technologie-dopravy-a-logistika.html>
- [54] Katalog železničních nákladních vozů ČD Cargo, a.s. *cdcargo.cz*. [online]. [cit. 2022-04-03]. Dostupné z: <https://www.cdcargo.cz/katalog-nakladnich-vozu>
- [55] DOBRZAŃSKI, Leszek A. Applications of Aluminum Alloys in Rail Transportation. *Advanced Aluminium Composites and Alloys* [online]. 2021. London: IntechOpen, 2021 [cit. 2022-05-07]. ISBN 978-1-83880-456-5. Dostupné z: <https://www.intechopen.com/chapters/75650#B3>
- [56] Talgo 230. *talgo.com*. [online]. [cit. 2022-04-10]. Dostupné z: <https://www.talgo.com/passenger-cars>
- [57] XINNA, Ma, Shi WENRUI a Liu JINGWEI. Research on Preview-Fuzzy Control Strategy Based on MR Damper in Railway Vehicle. *Journal of Physics: Conference Series* [online]. 2019, 2019(1237) [cit. 2022-05-07]. Dostupné z: doi:10.1088/1742-6596/1237/4/042012
- [58] Podvozky, pojezdy. *atlaslokomotiv.net*. [online]. [cit. 2022-04-24]. Dostupné z: <http://www.atlaslokomotiv.net/page-podvozky.html>

- [59] WISHWAKARMA, Prem N., Pankaj MISHRA a Sumil K. SHARMA. Characterization of a magnetorheological fluid damper a review. *Materials Today: Proceedings* [online]. 2022, 2022(56), 2988-2994 [cit. 2022-05-07]. ISSN 2214-7853. Dostupné z: doi:10.1016/j.matpr.2021.11.143
- [60] FÄRM, Janne. Evaluation of wheel dampers on an intercity train. *Journal of Sound and Vibration* [online]. 2003, 2003(267), 739-747 [cit. 2022-05-07]. ISSN 0022-460X. Dostupné z: doi:10.1016/S0022-460X(03)00737-5
- [61] Tlumiče hluku. *ghh-bonatrans.com*. [online]. [cit. 2022-04-28]. Dostupné z: <https://www.ghh-bonatrans.com/cs/vyrobky-a-sluzby/tlumice-hluku/>
- [62] TOMPSON, David J., Eduardo L. IGLESIAS, Xiaowan LIU a Zhiwei HU. Recent developments in the prediction and control of aerodynamic noise from high-speed trains. *International Journal of Rail Transportation* [online]. 2015, 2015(3:3), 119-150 [cit. 2022-05-07]. Dostupné z: doi:10.1080/23248378.2015.1052996
- [63] MELLET, Ciril, Fabien LÉTOURNEAUX, Franck POISSON a Corinne TALOTE. High speed train noise emission: Latest investigation of the aerodynamic/rolling noise contribution. *Journal of Sound and Vibration* [online]. 2006, 2006(293), 535-546 [cit. 2022-05-07]. ISSN 0022-460X. Dostupné z: doi:10.1016/j.jsv.2005.08.069
- [64] THE EVOLVING SHINKANSEN. *web-japan.org*. [online]. 2017. [cit. 2022-04-29]. Dostupné z: https://web-japan.org/trends/09_sci-tech/sci101209.html
- [65] Koncepce přechodu na jednotnou napájecí soustavu na české železniční síti. *Mdcr.cz* [online]. 2017 [cit. 2022-05-07]. Dostupné z: <https://www.mdcr.cz/Dokumenty/Drazni-doprava/Zeleznicni-infrastruktura/Koncepce-prechodu-na-jednotnou-napajeci-soustavu-n>
- [66] Technická konference CZ LOKO. *Czloko.cz* [online]. 2021 [cit. 2022-05-07]. Dostupné z: <https://www.czloko.cz/online-konference-2021>
- [67] LAPÁČEK, Petr, Michal Satori. *Příprava rychlých spojení ve vztahu k napájení a konstrukci*. [online prezentace]. [cit.2022-05-07]. Dostupné z: http://www.top-expo.cz/domain/top-expo/files/smart-city/smart-city-2018/ted-2018/prezentace/lapacek_petr.pdf
- [68] Základní charakteristika železniční sítě. *spravazeleznice.cz*. [online]. [cit. 2022-04-30]. Dostupné z: <https://www.spravazeleznice.cz/o-nas/vse-o-sprave-zeleznice/zeleznice-cr/zeleznicni-sit-v-cr>
- [69] European Commission. (2021). *Percentage of the railway lines in use in Europe in 2019 which were electrified, by country*. Statista. Statista. [cit. 2022-04-30]. Dostupné z: <https://www.statista.com/statistics/451522/share-of-the-rail-network-which-is-electrified-in-europe/>
- [70] Správa železnic, 2021, Aktuální stav přípravy vysokorychlostních tratí v ČR, Youtube video. [cit. 2022-05-03]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=EU0V75UC5DE>

- [71] ZOBAL, Petr. Zrychlujeme na 200 km/h. *Silnice-zeleznice.cz* [online]. Ostrava: KONSTRUKCE Media, 2022 [cit. 2022-05-03]. Dostupné z: <https://silnice-zeleznice.cz/zeleznicni-infrastruktura/zrychlujeme-na-200-km-h-283>
- [72] Přes 200 km tratí se upraví na vyšší rychlost. Moderní železnice [online]. 2020, 1 [cit. 2022-05-03]. Dostupné z: <https://www.spravazeleznice.cz/documents/50004227/87039601/Modern%C3%AD+%C5%BEEleznice+-+listopad+2020/c491a540-023a-4e01-a73a-4a67991c3537>
- [73] Vysokorychlostní železnice v ČR. *Spravazeleznice.cz* [online]. [cit. 2022-05-03]. Dostupné z: <https://www.spravazeleznice.cz/vrt/co-je-vrt/vrt-v-cr>
- [74] Česko potřebuje další dvoukolejný elektrifikovaný přechod do Německa. *Zesnad.cz* [online]. [cit. 2022-05-07]. Dostupné z: <https://www.zesnad.cz/zprava/cesko-potrebuje-dalsi-dvoukolejny-elektrifikovany-prechod-do-nemecka>
- [75] Druhý kapacitní přechod do Německa bude nejdříve v roce 2030. *Zdopravy.cz* [online]. [cit. 2022-05-07]. Dostupné z: <https://zdopravy.cz/boj-o-koleje-v-praze-nakladni-dopravci-chceji-zamezit-planum-na-nove-osobni-vlaky-98072/>
- [76] Čtvrtletní přehledy základních ukazatelů. *sydos.cz*. [online]. [cit. 2022-05-07]. Dostupné z: <https://www.sydos.cz/cs/ctvletpr.htm>
- [77] Dopravní park - časové řady. *Czso.cz* [online]. [cit. 2022-05-07]. Dostupné z: https://www.czso.cz/csu/czso/dopravni_park_casove_rady
- [78] Vzniká Železniční sdružení nákladních dopravců (ŽESNAD). *Zesnad.cz* [online]. [cit. 2022-05-07]. Dostupné z: <https://www.zesnad.cz/zprava/vznika-zeleznicni-sdruzeni-nakladnich-dopravcu-zesnad>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

ČD		České dráhy
VRT		Vysokorychlostní trať
C_x	[-]	Součinitel odporu vzduchu
p_{dyn}	[Pa]	Dynamický tlak
S	[m ²]	Čelní plocha vozidla
v	[m/s]	Relativní rychlost vozidla
ρ	[kg/m ³]	Hustota vzduchu

SEZNAM PŘÍLOH