FAKULTA DOPRAVNÍ ČVUT V PRAZE

TECHNOLOGIE DOPRAVY

17TEDL – Technologie dopravy a logistika

Železniční osobní doprava

Ing. Vít Janoš, Ph.D.

Ústav logistiky a managementu dopravy
Fakulta dopravní
ČVUT v Praze

Osnova přednášky

- Úvod, charakteristiky systému, základní pojmy
- Infrastruktura železniční dopravní cesty
- Zabezpečení železničního provozu
- Základní typy SZZ a TZZ
- ETCS, AVV
- Typy trakcí, dynamika jízdy
- GVD a kapacita
- Koncepce železniční osobní dopravy
- Železniční kolejová vozidla pro osobní dopravu

FAKULTA DOPRAVNÍ ČVUT V PRAZE

Silné a slabé stránky systému

Kritérium	Silné stránky	Slabé stránky
Nabídka (N)	Síťová nabídka Lze pokrýt všechny stupně nabídky kromě plošné obsluhy a transoceánské přepravy	Mnoho provozních omezujících podmínek na tratích se smíšeným provozem Časovou polohu spoje není možné zvolit libovolně Často nízká četnost nabídky
Provoz (P)	Vysoká bezpečnost a dostupnost Velmi malé množství vnějších vlivů Vysoká schopnost plánování a úplného řízení systému	Výrazný přenos zpoždění mezi vlaky ve stejných oblastech sítě Těžkopádná realizace dispozičních zásahů
Vozidla (V)	Adaptabilní pro různé požadavky Lze vytvořit velmi vysoký komfort Pohodlná jízda, velký prostor Dlouhá životnost	Nutnost specifického přizpůsobení infrastruktuře a formě provozu Vysoká cena z důvodu malosériových zakázek Obtížnost realizace dodatečných změn
Infrastruktura (I)	Prakticky úplné oddělení od ostatních dopravních systémů Vhodná pro velké dopravní jednotky a vysoké rychlosti Velmi dobrá schopnost vytvářet sítě	Velmi nákladná ⇒ zpravidla jediná infrastruktura pro všechny stupně nabídky Malá hustota sítě Velkorysé parametry trasování ⇒ obtížná adaptabilita na místní poměry
Stav vývoje techniky	Osvědčený dopravní systém s vysokou dostupností (již 180 let) Ve světě v provozu 1,3 mil. km Zavedení a využití aktuálně dostupných technologií	Technická zlepšení systému možná pouze v malých krocích, velmi dlouhé cykly inovací Velmi slabá činnost v oblasti inovací (dráhy, železniční průmysl)

FAKULTA DOPRAVNÍ ČVUT V PRAZE

Parametry systému

	Kritérium	Měrná jednotka	Hodnota/rozpětí
N	Rychlost přepravy	[km/h]	35 – 270
	Vzdálenost mezi zastávkami	[km]	2 – 500
	Minimální četnost obsluhy	[spojů/h/směr]	4
	Maximální délka linek	[km]	1 500
P	Minimální následné mezidobí	[s]	90
	Kapacita tratě	[spojů/h/směr]	26
	Přepravní kapacita	[osob/h/směr]	11 700
	Měrné celkové náklady	[Kč/vlkm]	70 – 200
V	Technická rychlost	[km/h]	350 (komerčně) / 575
	Maximální délka vlaku	[m]	400
	Kapacita vlaku	[osob/jednotku]	1 200
	Měrné náklady vozidla	[Kč/místo]	700 000 – 1 000 000
I	Minimální poloměr oblouku	[m]	180
	Maximální sklon tratě	[‰]	50
	Zábor půdy/šířka „jízdního pruhu“	[m]	4,00 – 4,80
	Měrné náklady na infrastrukturu	[mil. Kč/km]	200 – 1 000 (s tunely)

Základní pojmy

- Vlastník dráhy
- Manažer infrastruktury
- Provozovatel dráhy
- Provozovatel drážní dopravy
- Organizování drážní dopravy
- Přidělování kapacity
- Open Access

Předpisy provozovatele dráhy

Zam	1	Předpis o odborné způsobilosti zaměstnanců Správy železniční dopravní cesty, státní organizace
D	1	Dopravní a návěstní předpis
D	2/1	Doplněk s technickými údaji k Dopravním předpisům
D	2/81	Doprava speciálních vozidel podle typů
D	17-1	Prováděcí opatření k předpisu pro hlášení a šetření mimořádných událostí
D	31	Mimořádné zásilky
Bp	1	Předpis o bezpečnosti a ochraně zdraví při práci
T	100	Provoz zabezpečovacích zařízení
T	108	Obsluha vlakového zabezpečovacího zařízení
Z	1	Předpis pro obsluhu staničních a traťových zabezpečovacích zařízení
Z	2	Předpis pro obsluhu přejezdových zabezpečovacích zařízení
Z	11	Předpis pro obsluhu rádiových zařízení

Podmínky pro žadatele o kapacitu dráhy a provozování drážní dopravy

- Omezená **kapacita dráhy** ⇒ **žádost o přidělení**
- Nutné podmínky pro žadatele:
  - osoba se sídlem v jiném členském státě EU s oprávněním provozovat nákladní či přeshraniční osobní dopravu, u vnitrostátní osobní dopravy nutné usazení v ČR

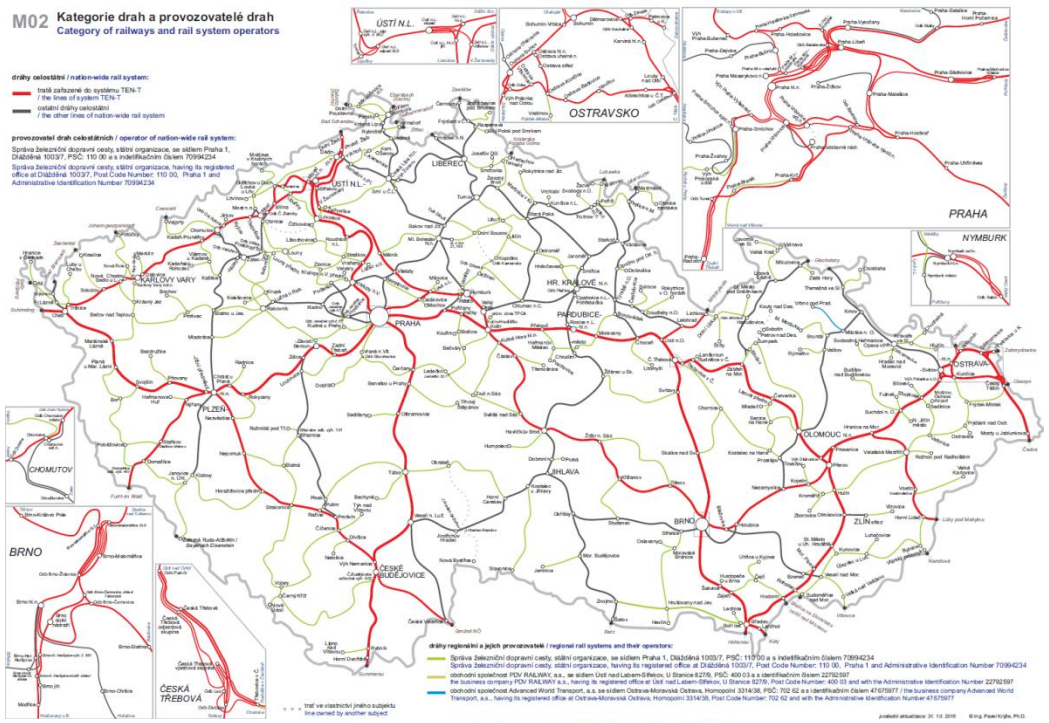
- **Provozovatel drážní dopravy:**
  - **Licence** (odborná způsobilost, finanční způsobilost - vydává Drážní úřad), **osvědčení dopravce, smlouva s provozovatelem dráhy**
  - finanční způsobilost pro provozování drážní dopravy po dobu alespoň jednoho roku, pojištění odpovědnosti za škodu způsobenou provozem, přidělena kapacita dopravní cesty, sjednaná cena za použití dopravní cesty podle cenových předpisů, uzavřena smlouva s provozovatelem dráhy

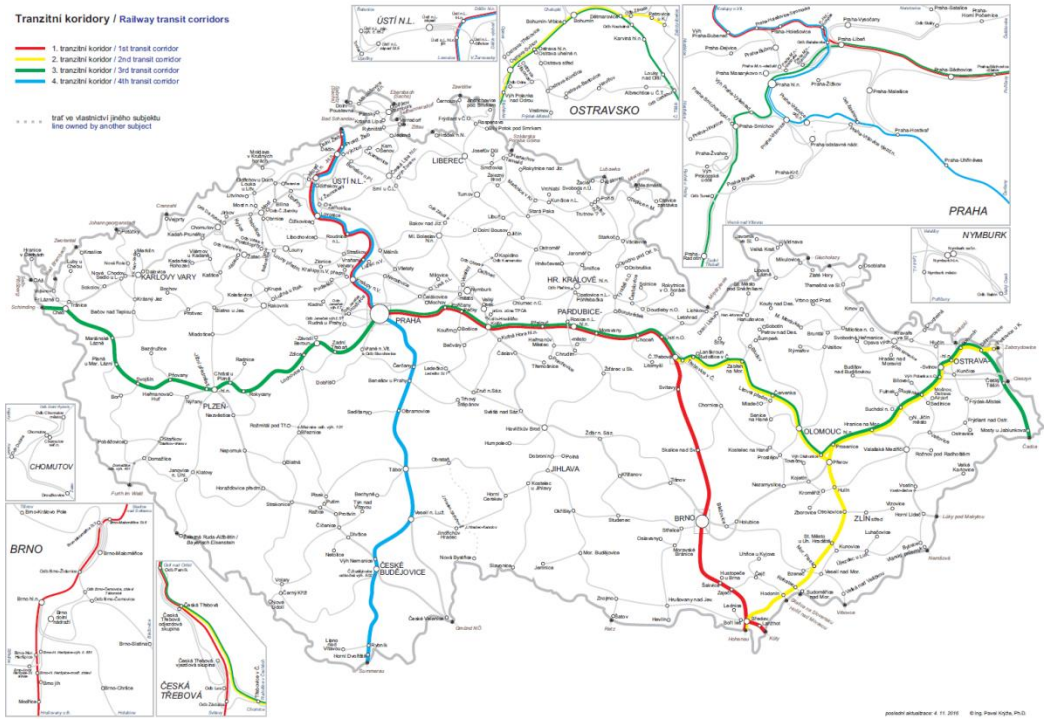
- **Mezinárodní spolupráce přídělců kapacity – RNE** (OneStopShop, RFC – nákladní koridory)

FAKULTA DOPRAVNÍ ČVUT V PRAZE

KATEGORIE DRAH

- Dráha celostátní
  - Součástí jsou železniční dráhy zařazené do evropského železničního systému
- Dráha regionální
  - místního nebo regionálního významu
- Dráha speciální
  - např. metro





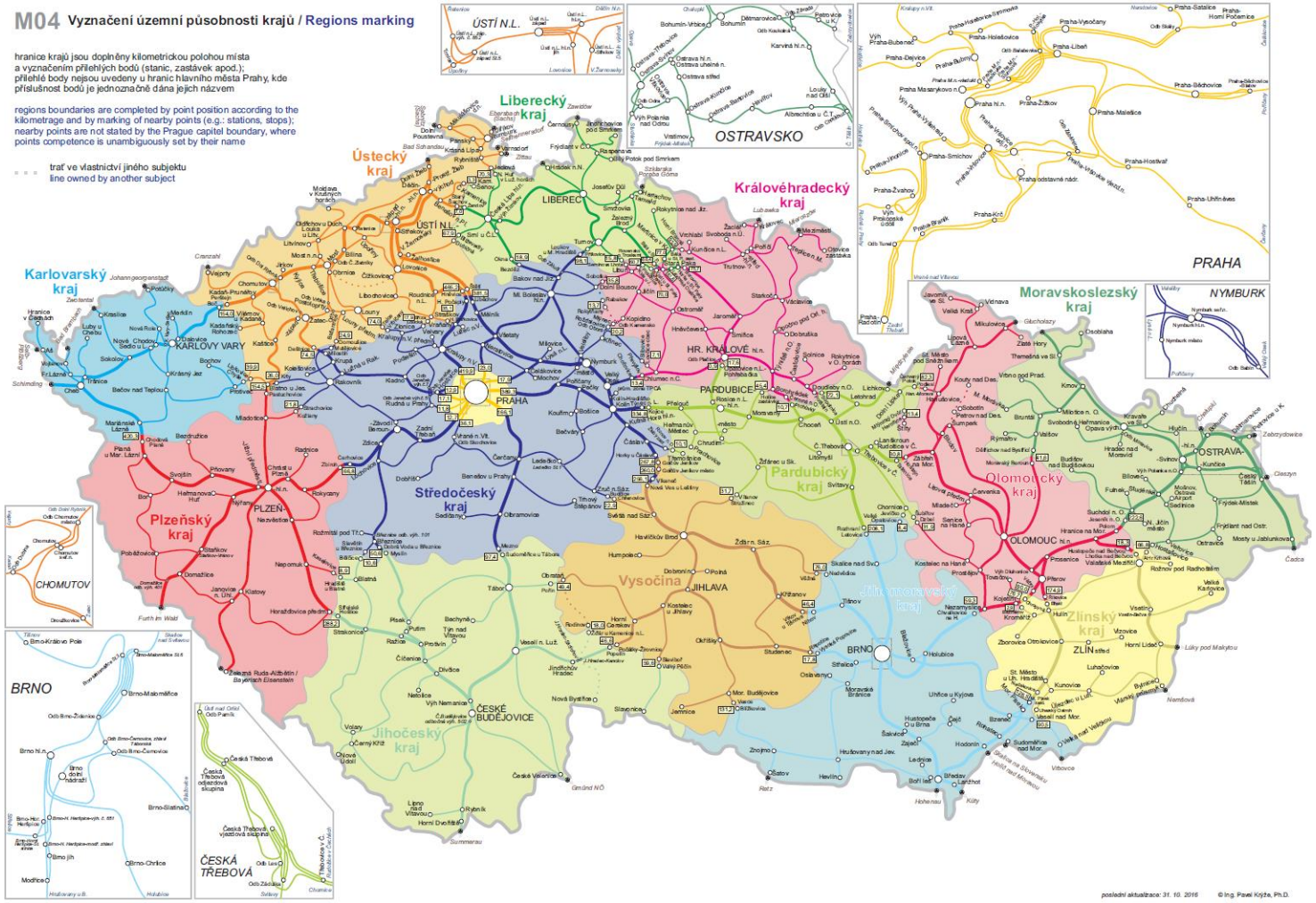
Použití železniční dopravní cesty v ČR

- Zpoplatněno na bázi marginálních nákladů
  - náklady na řízení provozu [Kč/vlkm]
  - náklady na zajištění provozuschopnosti železniční dopravní cesty [Kč/hrtkm]
  - dále náklady na přidělení kapacity [Kč/den, Kč/vlkm]
- Závislost na druhu vlaku, hmotnosti a ujeté vzdálenosti
- Regulovaná cena – cenový výměr Ministerstva financí, Prohlášení o dráze SŽDC pro příslušný rok

Vlaky osobní přepravy	**Koeficient S_1 [Kč/vlkm]**	**Koeficient S_2 [Kč/1000 hrtkm]**	**Výsledná cena [Kč/vlkm] Vlak o hmotnosti 300 t**
Vlak na regionální dráze (Sp, Os)	5,50	30,16	**14,55**
Vlak celostátní dopravy na celostátní dráze (R, Ex)	6,49	35,59	**17,17**
Vlak celostátní dopravy na dráze zařazené do evropského systému (R, Ex, EC, IC)	7,81	44,77	**21,24**

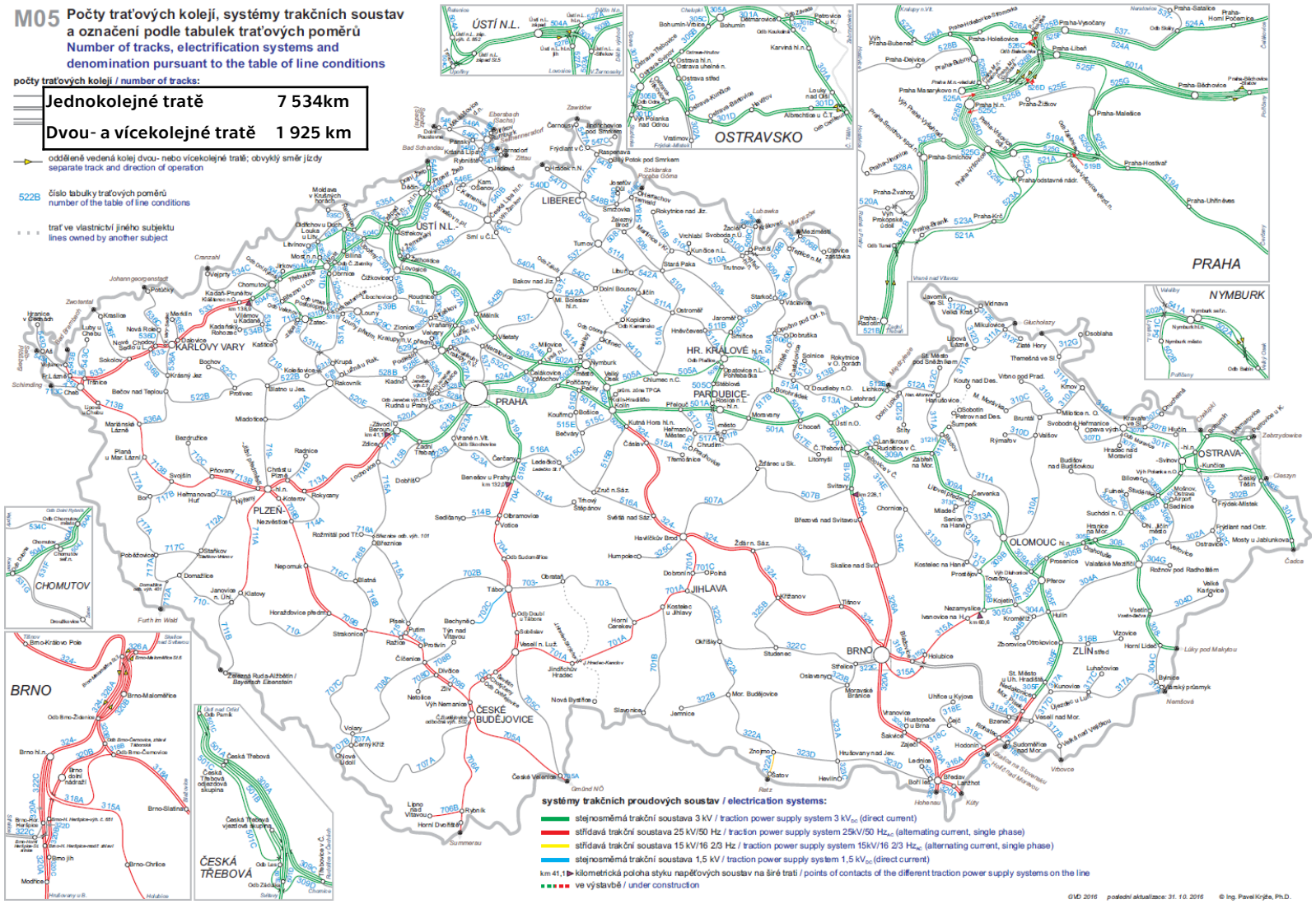
Železniční síť ČR

Sídelní struktura ČR	polycentrická mimo aglomerace rozptýlená
Počet obyvatel	10 564 900
Rozloha	78 866 km²
Hustota osídlení	134 ob./km²
Délka sítě (normální rozchod) Úzkorozchodná	9 459 km 102 km
Hustota sítě	0,12 km/km²



FAKULTA DOPRAVNÍ ČVUT V PRAZE

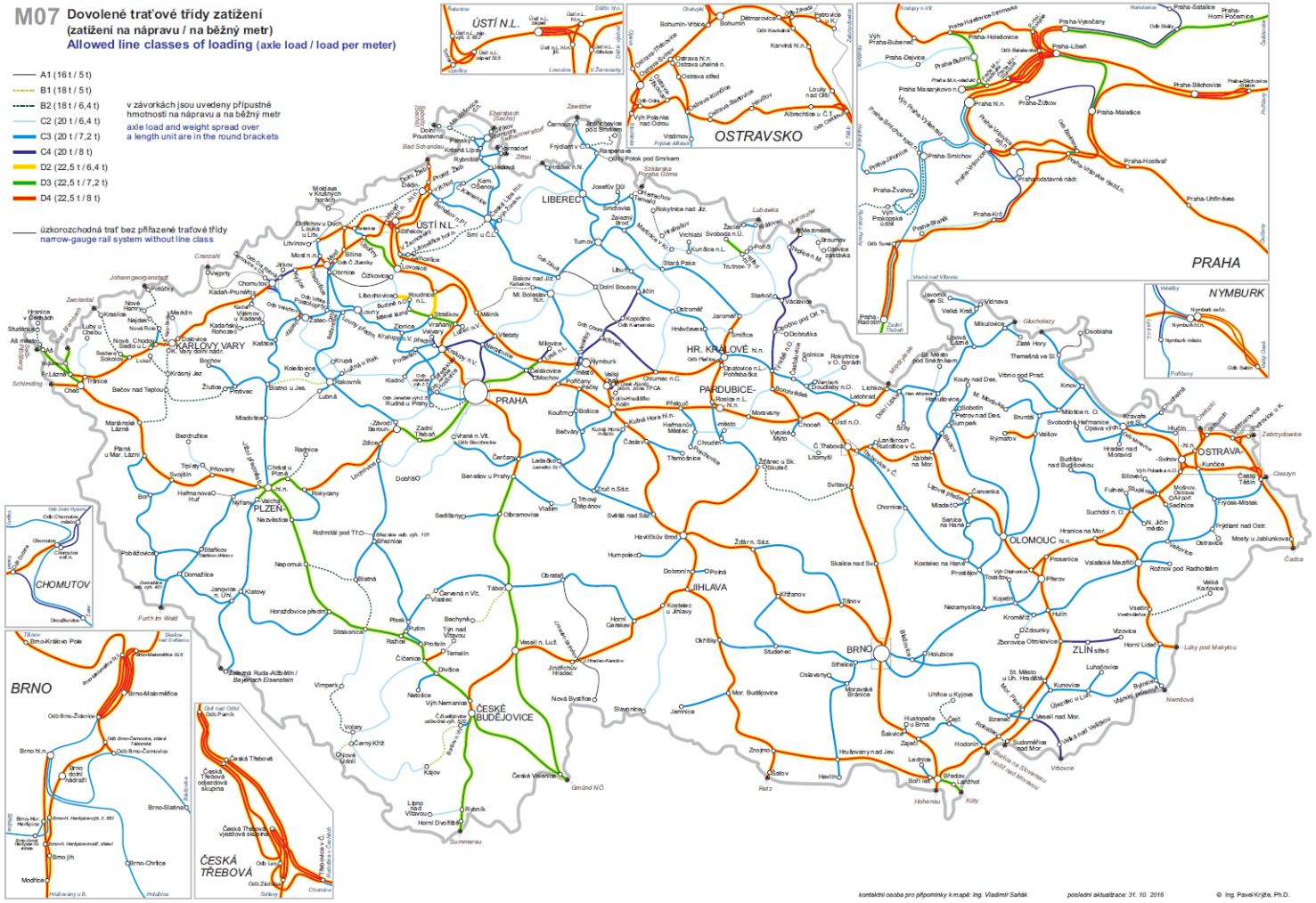
ŽELEZNIČNÍ SÍŤ ČR



FAKULTA DOPRAVNÍ ČVUT V PRAZE

TRAŤOVÉ TŘÍDY ZATÍŽENÍ

Smluvní dělící meze		Hmotnost na nápravu (P)				
Hmotnost na běžný metr délky vozu (p)		A	B	C	D	E
		16 t	18 t	20 t	22,5 t	25 t
1	5,0 t/m‘	A	B1			
2	6,4 t/m‘		B2	C2	D2	
3	7,2 t/m‘			C3	D3	
4	8,0 t/m‘			C4	D4	E4
5	8,8 t/m‘					E5



Zabezpečení železničního provozu

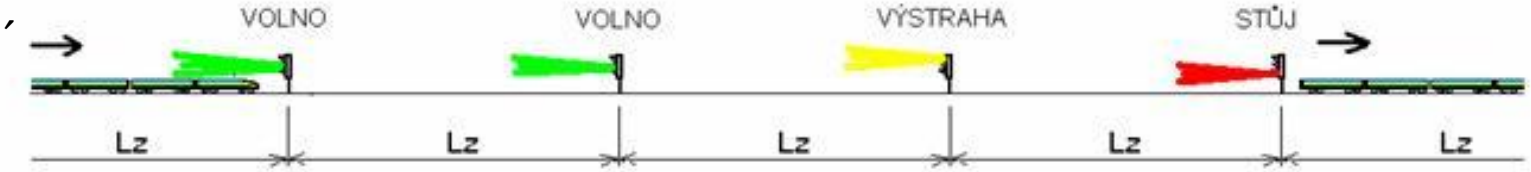
- Potřeba dodržení **bezpečné vzdálenosti mezi vlaky**
- **Dlouhá brzdná dráha** způsobená velkou hmotností vlaku a nízkým koeficientem adheze
- Princip dodržení bezpečné vzdálenosti záleží na tom,
  - Jak se z tratě na vlak předává povolení k jízdě
  - Jak dochází k uvolnění oddílu (koleje) za vlakem

1. jízda podle rozhledových poměrů – ve výjimečných případech
2. jízda v časových intervalech – pouze v raných dobách železnice
3. **jízda vlaku v prostorových oddílech**
   - v pevných prostorových oddílech (klasický způsob)
   - na absolutní zábrzdnou vzdálenost (moving block)
   - na relativní zábrzdnou vzdálenost

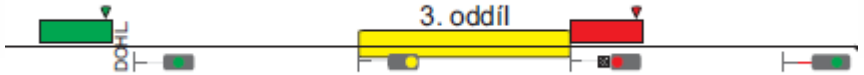
Jízda vlaku v pevných prostorových oddílech

- <u>nejrozšířenější způsob zabezpečení jízdy vlaku ve světě</u>
- volnost oddílů je zajišťována prvky infrastruktury
- Postupné uvolňování diskrétních oddílů
- **Délka oddílu** závislá na nejvyšší traťové rychlosti
- Hodnoty **zábrzdných vzdáleností** pro ČR:
  - do 60 km/h 400 m
  - do 100 km/h 700 m
  - do 160 km/h 1000 m (s přenosem návěstního znaku na vozidlo)

Princip tříznakého automatického bloku (pro rychlost nad 120 km/h)



(pro rychlost do 120 km/h)

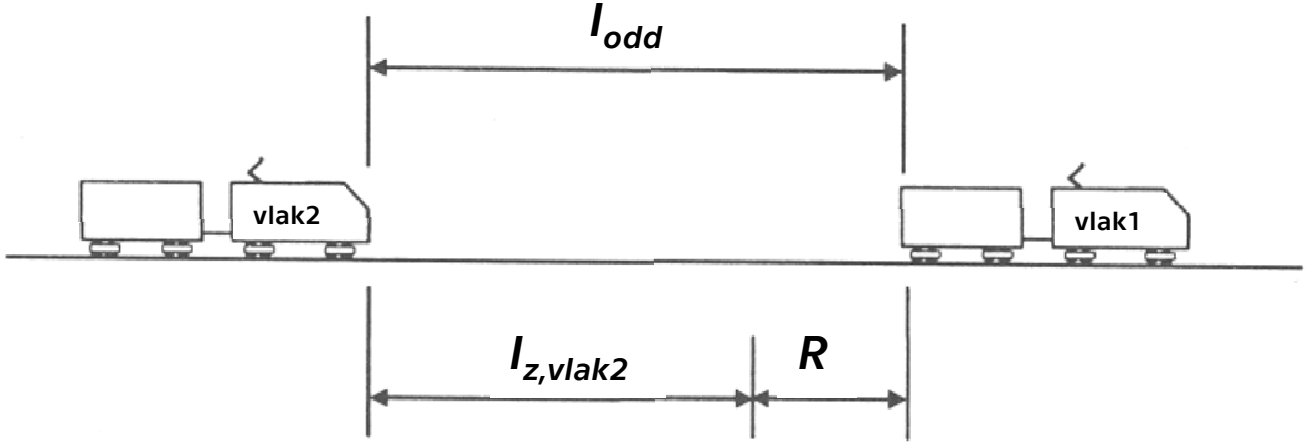


Jízda vlaku v pevných prostorových oddílech

- Každý prostorový oddíl smí být současně obsazen nejvýše jedním vlakem
- Klasický způsob spočívá v krytí každého prostorového oddílu pevným návěstidlem, které musí dovolit vjezd do příslušného oddílu
- Pro postavení vlakové cesty a rozsvícení návěsti dovolující vjezd vlaku do oddílu, musí být splněny tyto podmínky:
  - Předchozí vlak musí uvolnit prostorový oddíl
  - Za předchozím vlakem musí svítit návěst „Stůj“
  - Vlaková cesta musí být zabezpečena tak, aby se vyloučila veškeré kolizní jízda či posun

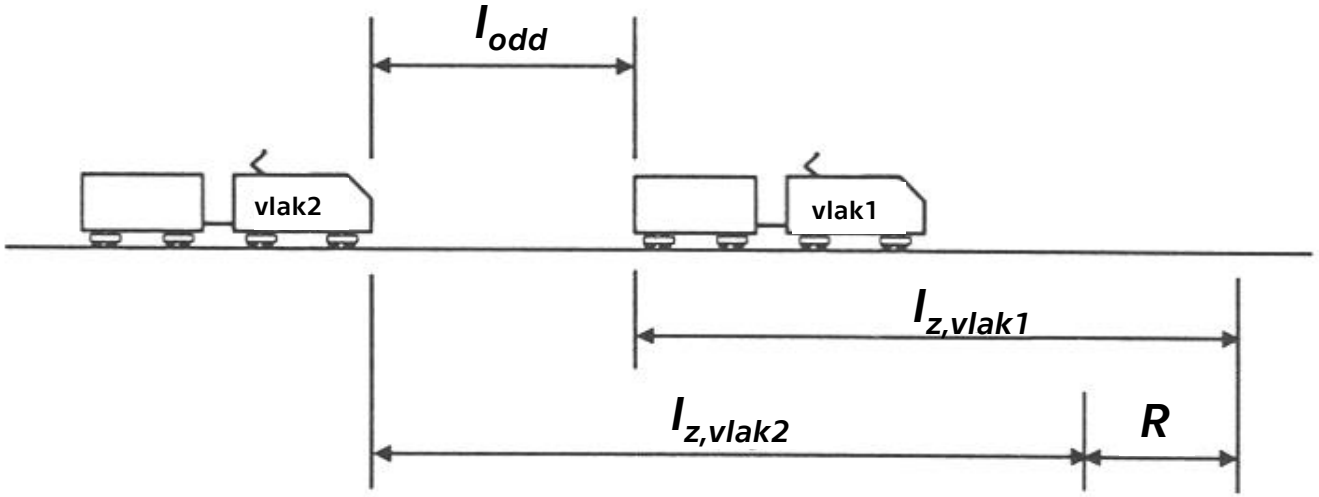
Jízda na absolutní zábrzdnou vzdálenost

- <u>Místo ohrožení</u> = konec vlaku, v případě přestavení výhybky mezi dvěma vlaky příslušná výhybka
- Předpoklad – kontinuální (souvislý, nepřetržitý) přenos informace o poloze vlaku a zjišťování celistvosti vlaku na vozidle
- **Moving block** – zvýšení propustné výkonnosti
- Problém kontroly celistvosti vlaku na vlaku samém stále není vyřešen



Jízda na relativní zábrzdnou vzdálenost

- <u>teoretická možnost</u>
  - Obdoba silničního provozu – vzdálenost mezi vlaky musí být větší nebo rovna rozdílu vzájemně se překrývajících zábrzdných vzdáleností – v praxi dosud nerealizované řešení!
  - Za předpokladu naprosto shodného způsobu jízdy, vč. brzdného zpomalení obou vlaků se délka oddílu teoreticky může blížit nule
  - **Problém** – nehody, přestavované výhybky



Zabezpečení železničního provozu

- Řízení provozu prostřednictvím zabezpečovacího zařízení, hlavních návěstidel
- Zajištění **podmínek pro bezpečnou jízdu vlaku**
  - volnost pojížděných kolejí a výhybek
  - kontrola správné polohy pojížděných výhybek
  - zajištění pojížděných i odvratných výhybek
  - vyloučení současně zakázaných (kolizních) vlakových cest

Photo © Jan Mitlöhner

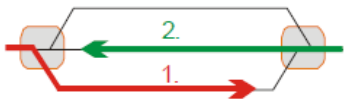
Provozní intervaly

= **základní normy grafikonu vlakové dopravy** – stanovení polohy tras vlaků

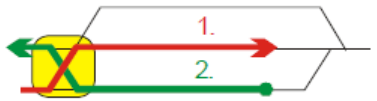
- Minimální doba potřebná pro splnění všech úkonů předepsaných pro zajištění plynulé jízdy vlaků a bezpečnosti
- **Nejkratší doba mezi jízdami dvou po sobě jedoucích vlaků** se zřetelem k jejich nemožným nebo nedovoleným současným jízdám, tj. nejkratší doba mezi příjezdem nebo odjezdem, resp. průjezdem prvního vlaku a příjezdem nebo odjezdem, resp. průjezdem druhého vlaku
- Snaha o co nejpřesnější stanovení – příliš **krátké normy** ⇒ **nestabilita jízdního řádu** a narušení plynulosti vlakové dopravy; **dlouhé normy** nedovolí plné využití technických zařízení a **snižují propustnost**
- Dodržování správně stanovených provozních intervalů **zaručuje eliminaci vzájemného narušování jízd vlaků**; při dodržování předpokládané technologie jízdy vlaky **nejsou zastavovány či zpomalovány u návěstidel** a pobyty vlaků nejsou prodlužovány nad úroveň své stanovené hodnoty
- Znalost a dodržování provozních intervalů a následných mezidobí patří mezi **základní předpoklady pro efektivní řízení jízd vlaků** a pro zajištění bezpečnosti při vjezdech, odjezdech a průjezdech vlaků

Provozní intervaly

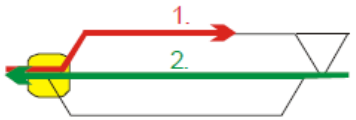
- **Staniční**
  - interval postupných vjezdů



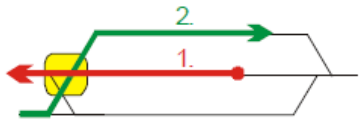
  - interval postupného vjezdu a odjezdu



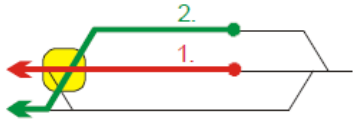
  - interval postupného vjezdu a průjezdu



  - interval postupného odjezdu a vjezdu



  - interval postupných odjezdů

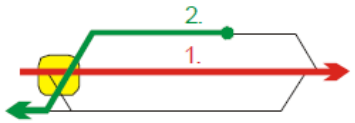


  - interval postupného odjezdu a průjezdu

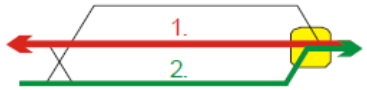
Provozní intervaly

- **Staniční**
  - interval postupného průjezdu a vjezdu

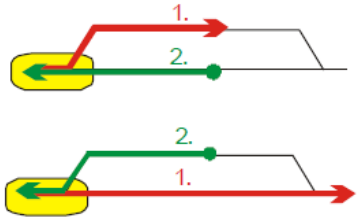
  - interval postupného průjezdu a odjezdu



  - interval postupných průjezdů

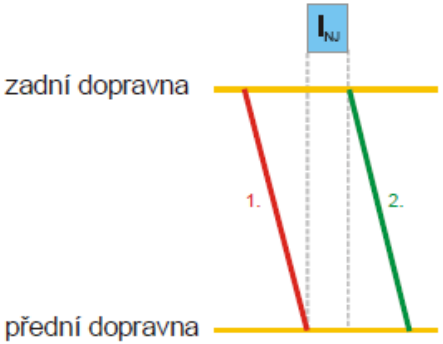


- **Interval křižování** – specifický případ
  - Místem ohrožení je kromě zhlaví i traťová kolej – vlaky jsou opačného směru, druhý vlak odjíždí na tutéž traťovou kolej, ze které přijel první vlak

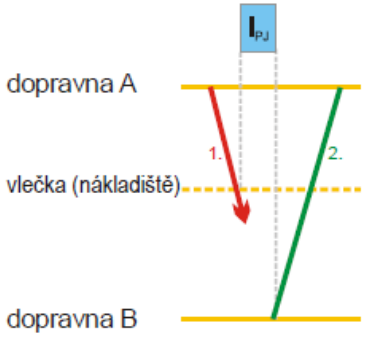


Provozní intervaly

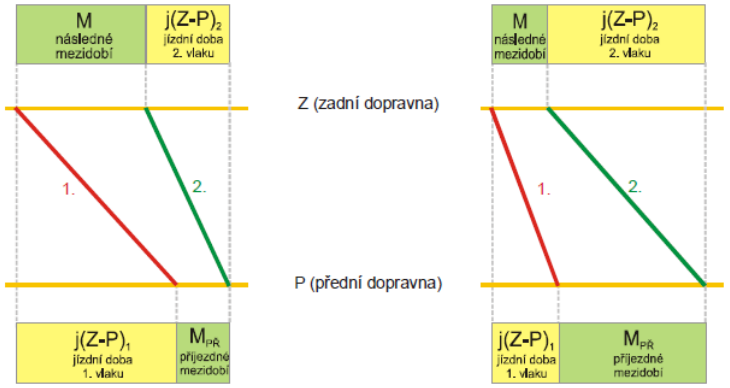
- **Traťové**
  - interval následné jízdy



interval protisměrné jízdy



- **Následná mezidobí**



Typy zabezpečovacích zařízení

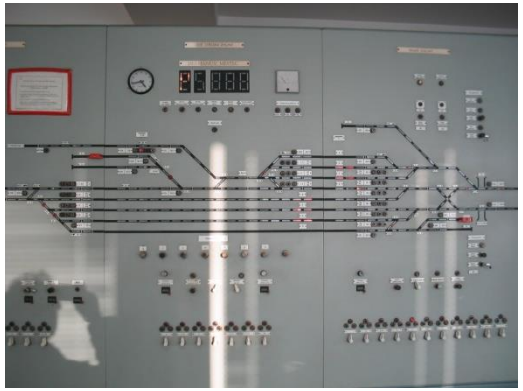
Podle účelu

- staniční
- traťové
- vlakové
- přejezdové
- spádovištní

Typy zabezpečovacích zařízení

Podle principu fungování

- mechanická
- elektromechanická
- elektrodynamická
- reléová
- hybridní
- elektronická



Staniční zabezpečovací zařízení

- **1. kategorie**
  - návěstidla <u>nezávislá na poloze výměn</u>

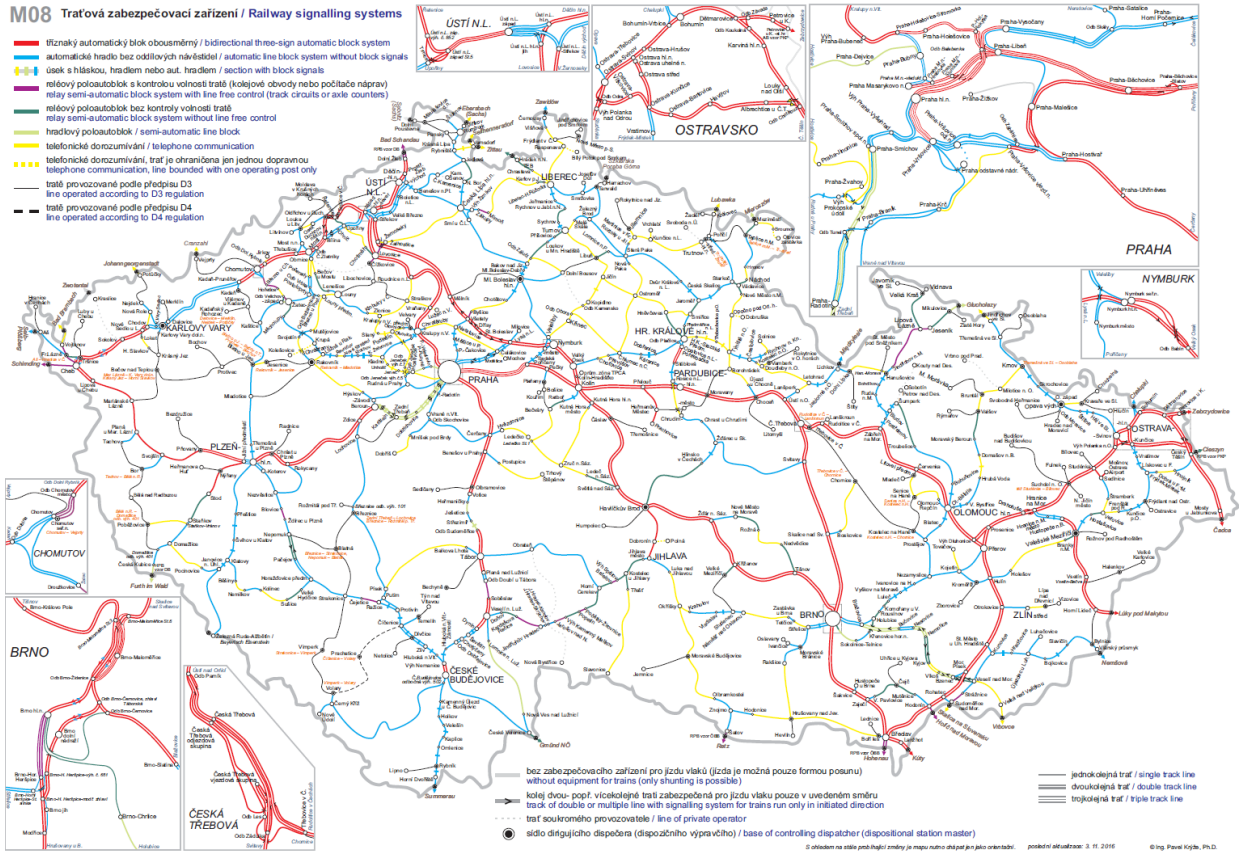
- **2. kategorie**
  - ústřední zámek, mechanické, elektromechanické stavědlo
  - <u>částečná závislost</u>

- **3. kategorie**
  - reléová, elektronická stavědla – <u>plná závislost, zjištění volnosti koleje</u>

TRAŤOVÉ ZABEZPEČOVACÍ ZAŘÍZENÍ

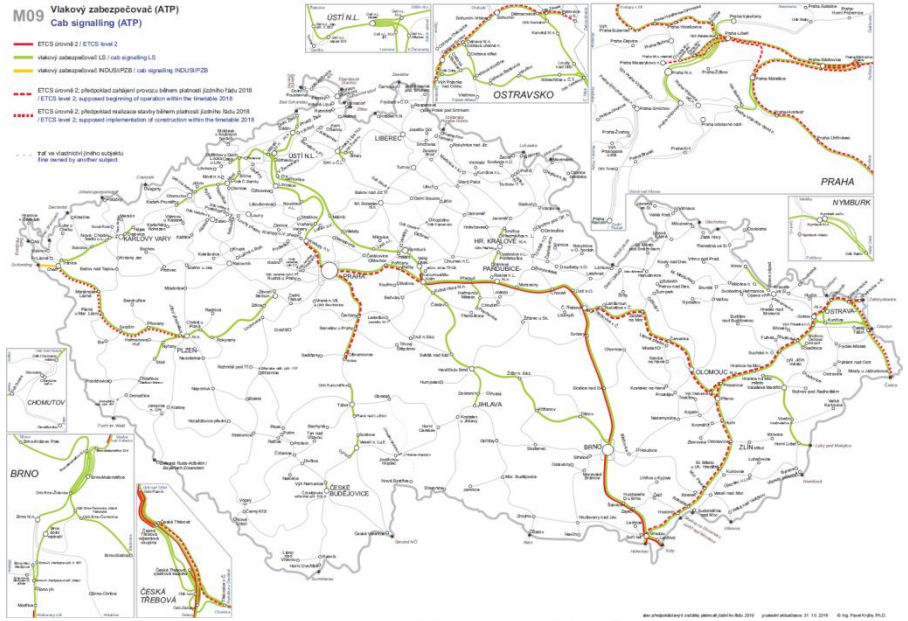
- zabezpečení následných jízd vlaků, vyloučení jízd protisměrných vlaků po jedné traťové koleji

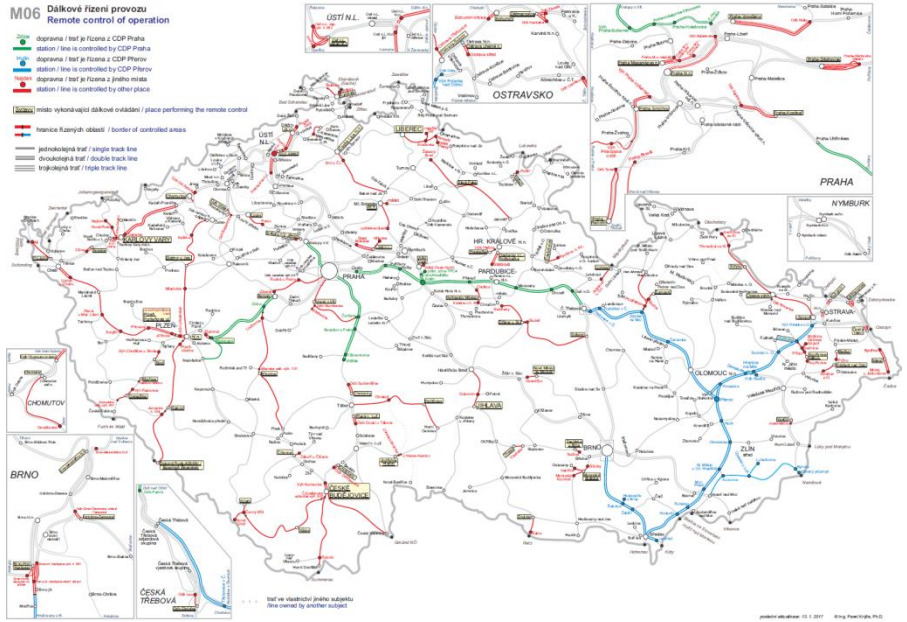
- **1. kategorie**
  - nezávislá návěstidla, telefonické dorozumívání
- **2. kategorie**
  - hradlo, poloautoblok
- **3. kategorie**
  - automatické hradlo, automatický blok



Zabezpečovací zařízení železniční sítě ČR

Liniový vlakový zabezpečovač LS 90 (ATP/ATC) s kontinuálním přenosem návěstního znaku	viz mapa
Zkušební úsek ETCS Kolín – Břeclav st. hr.	viz mapa
Dálkově ovládané tratě	viz mapa
Elektronická stavědla Reléová stavědla (Elektro-)mechanická stavědla Z toho dálkově řízeno a ovládáno	viz mapa



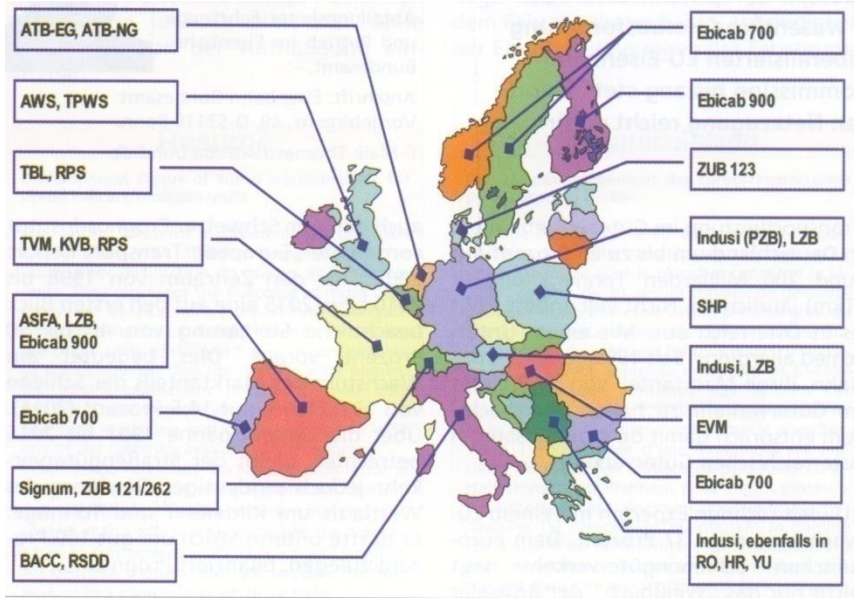


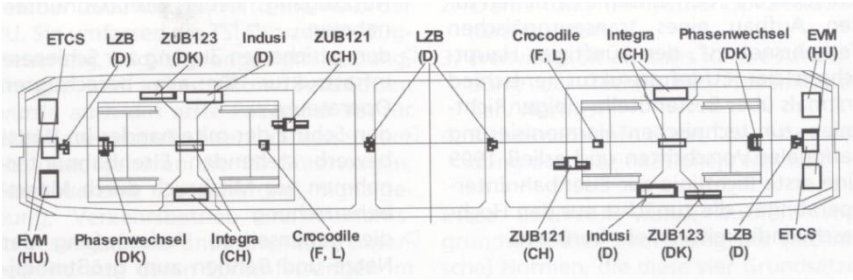
Přejezdové zabezpečovací zařízení

- **zajištění bezpečnosti** v místě úrovňového křížení ŽDC s pozemní komunikací
- **varování** účastníků silničního provozu **před železničním vozidlem**, které má přednost a které se blíží k přejezdu
  - výstražný kříž
  - mechanická přejezdová zabezpečovací zařízení PZM
  - světelná přejezdová zabezpečovací zařízení PZS (příp. doplněna závorami)
- ČR – celkem zabezpečeno 7 969 železničních přejezdů, z toho:
  - 4 097 výstražnými kříži
  - 1 245 světelnou výstrahou se závorami
  - 2 246 světelnou výstrahou bez závor
  - 356 mechanickými závorami

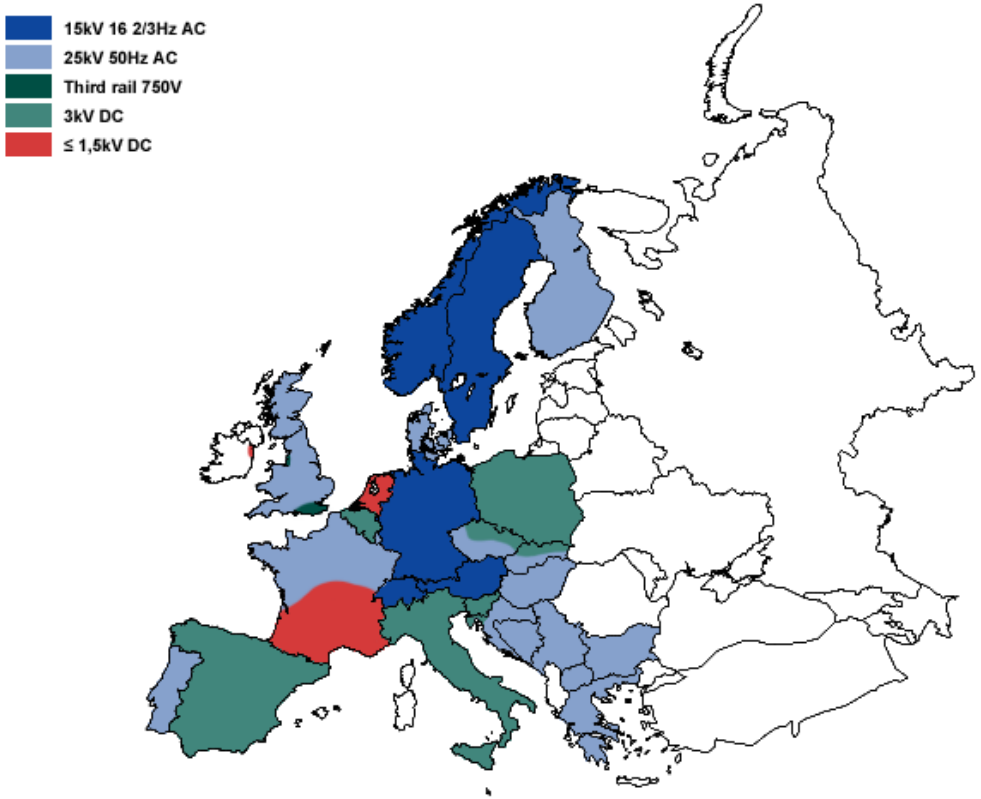
Vlakové zabezpečovací zařízení

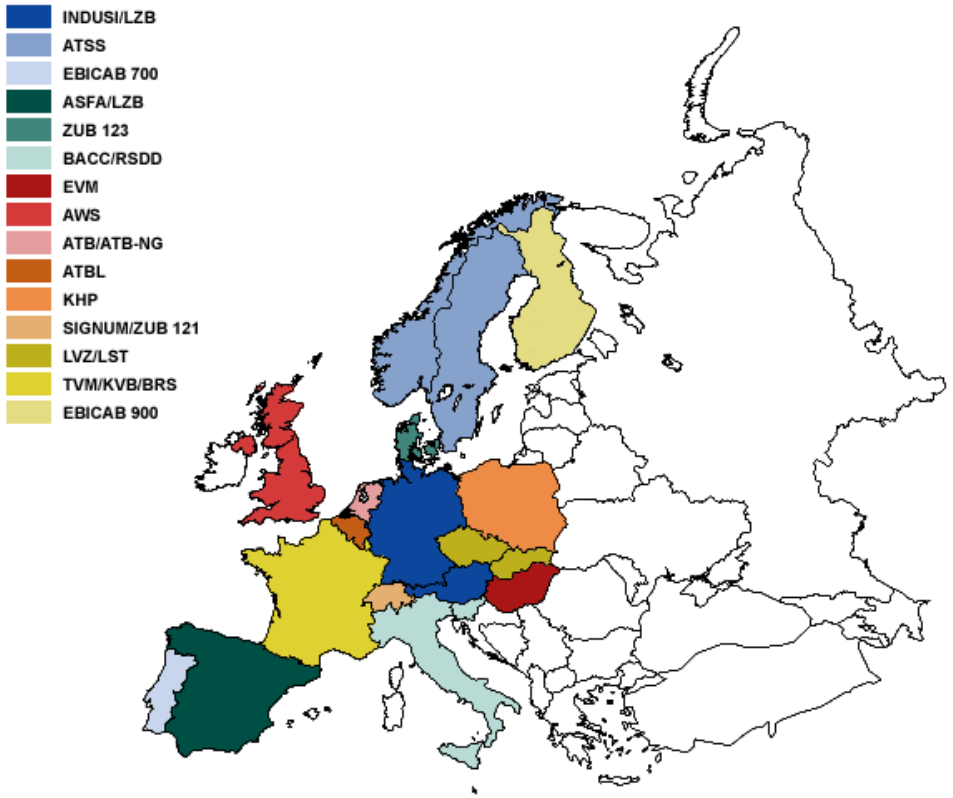
- Eliminace chyb strojvedoucího (pravděpodobnost 10^{-3} za optimálních podmínek)
- **ČR:**
  - Přenos mezi ústřednou SZZ, TZZ a VZZ zajišťuje nízkokapacitní liniový vlakový zabezpečovač s frekvenčně impulsním kódem
  - Kontrola bdělosti strojvedoucího („živák“)
- **Bodová VZ**
  - SRN (PZB 90), Rakousko, Švýcarsko (ZUB 121), Francie, Belgie, Lucembursko (Crocodile)
- **Liniová**
  - ČR (LS90), SR (MIREL), SRN při rychlostech nad 160 km/h (LZB), Nizozemí (ATB), Maďarsko (EVM 120), Francie na VRT (TVM 300, TVM 430)
- **ATC-systémy**
  - ETCS – jednotný celoevropský systém pro zabezpečení jízdy vlaku



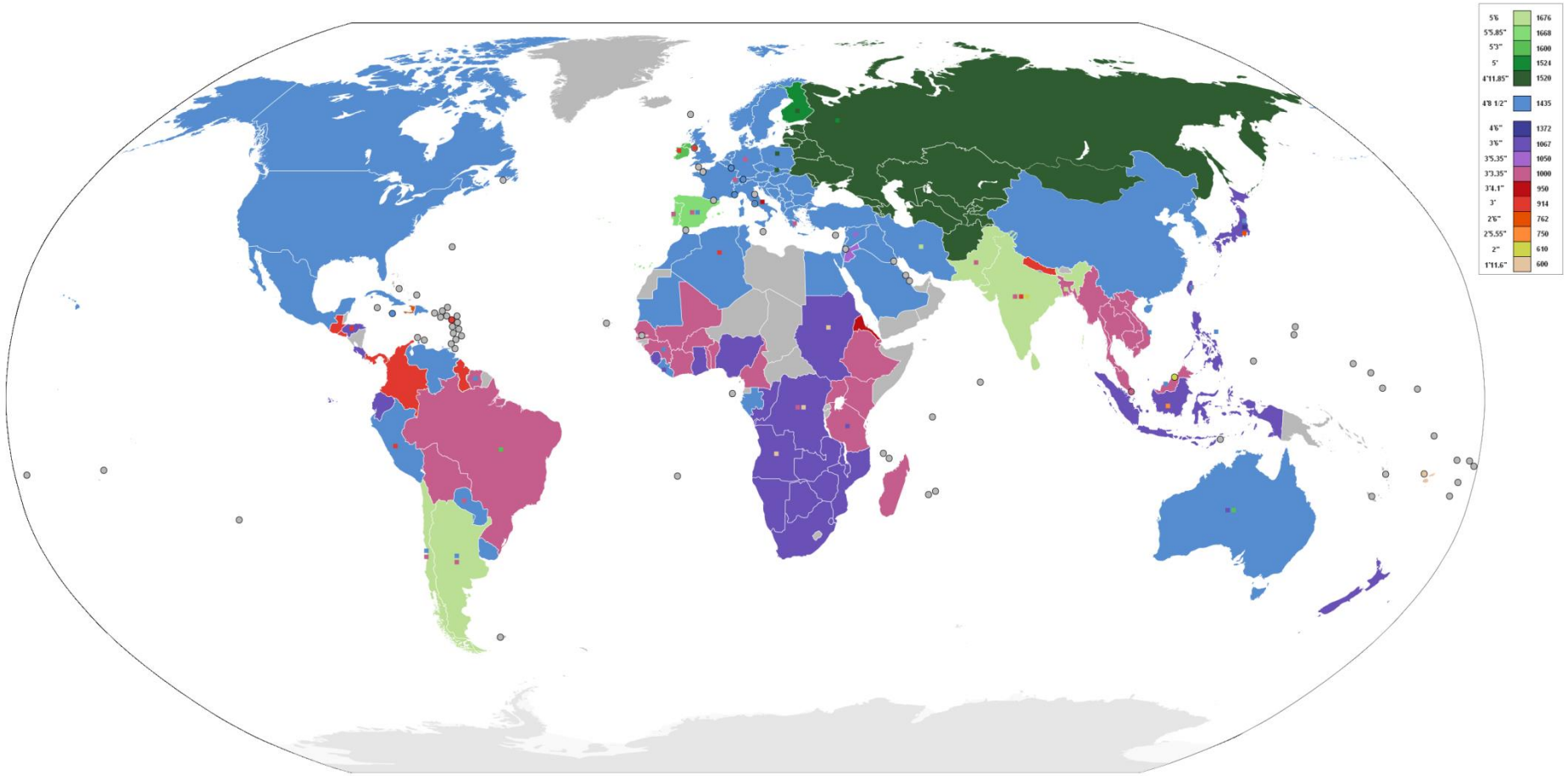


Elektrizační soustavy, vlakový zabezpečovač



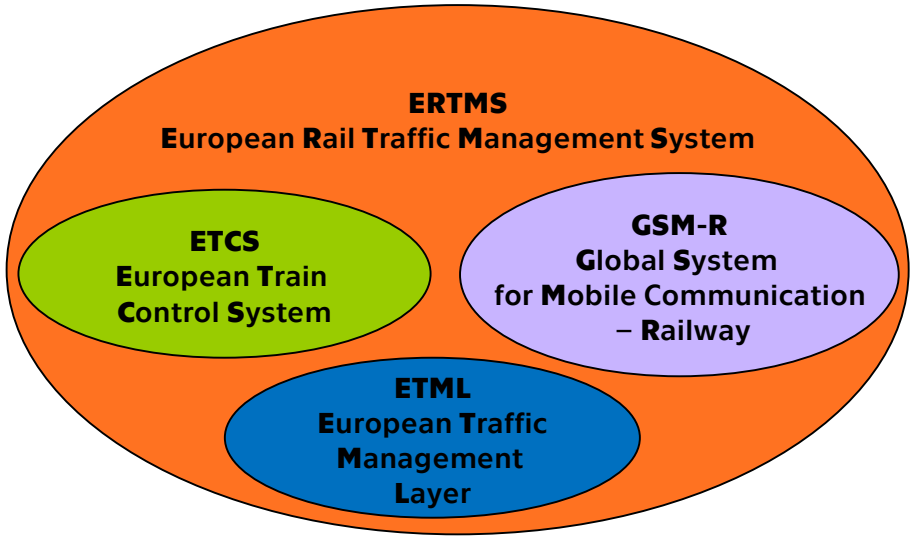


Rozchod ve světě



Interoperabilita – současná situace

- Obecně - schopnost různých systémů vzájemně spolupracovat, poskytovat si služby, dosáhnout vzájemné součinnosti – tj. **propojenost**
- Strategie EU: Open Access + TSI (technická specifikace interoperability)
- Ve smyslu směrnice EU označuje <u>schopnost transevropského železničního systému zajistit bezpečnou a rychlou železniční dopravu (bez technologických prodlev – většina z nich však vzniká organizací a řízením)</u>



Interoperabilita – současná situace

- Nízký stupeň interoperability v oblastech zásobování trakční energií, zabezpečení jízdy vlaku a telekomunikací
- Interoperabilitu přenosu trakčního proudu lze řešit pomocí úprav vozidel
- Telekomunikace – GSM-R
- Zabezpečení jízdy vlaku vyžaduje vybudování architektury nových systémů na straně vozidel i infrastruktury

Kolejová síť Nesení Vedení Tah / brzdění	**Elektrická síť** Zásobování energií
Telekomunikační síť Přenos informací (zabezpečení)	**Řídící síť** Řízení provozu / zabezpečení

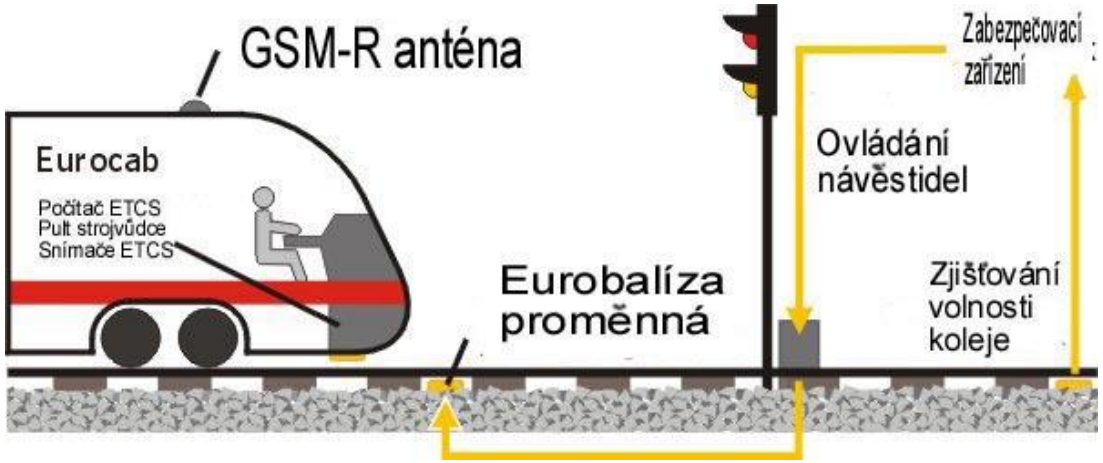
Interoperabilita

European Train Control System (ETCS)

- Bezpečnost žel. dopravy a aktivní zásah v případě selhání strojvedoucího
- Komponenty:
  - **EURO-Balise** – bodový přenos informace z pevné balízy (elektronického kilometrovníku) nebo z přepínatelné balízy (informace o návěsti) na vozidlo (princip transponderu)
  - **EURO-Loop** – systém liniového přenosu informací na omezenou vzdálenost
  - **EURO-Radio** – standardizovaný způsob přenosu na bázi GSM-R mezi vozidlem a centrálou
  - **GSM Railway** - GSM s dodatečnými funkcemi
  - **EURO-Cab** – zařízení ve vozidle, jehož prvky jsou propojeny s bezpečným počítačem ve vozidle (European Vital Computer – EVC)
  - **RBC – centrála** – jádro traťové části ERTMS/ETCS – kontroluje vjezd do oddílu ETCS, přiřazuje vlaky k jednotlivým kolejím, zjišťuje pozici vlaku, rychlost a směr, uděluje povolení k jízdě

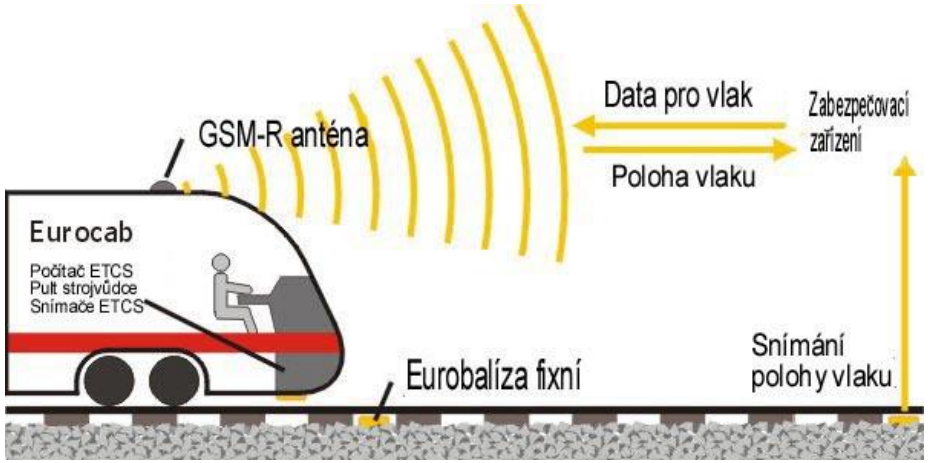
European Train Control System (ETCS) 1. úrovně

- ETCS 1. úrovně – je kombinováno se standardním konvenčním (národním) zabezpečovacím zařízením s klasickým zjišťováním celistvosti (integrity) vlaku
  - **bodový přenos informací** z přepínatelné balízy (řízené návěstmi návěstidla) prostřednictvím standardizovaného „telegramu“
  - dodatečně může být prostřednictvím smyčky v omezené vzdálenosti před hlavním návěstidlem přenášen návěstní znak liniově (využití pro kontrolu a přizpůsobení rychlosti při změně návěstního znaku)



European Train Control System (ETCS) 2. úrovně

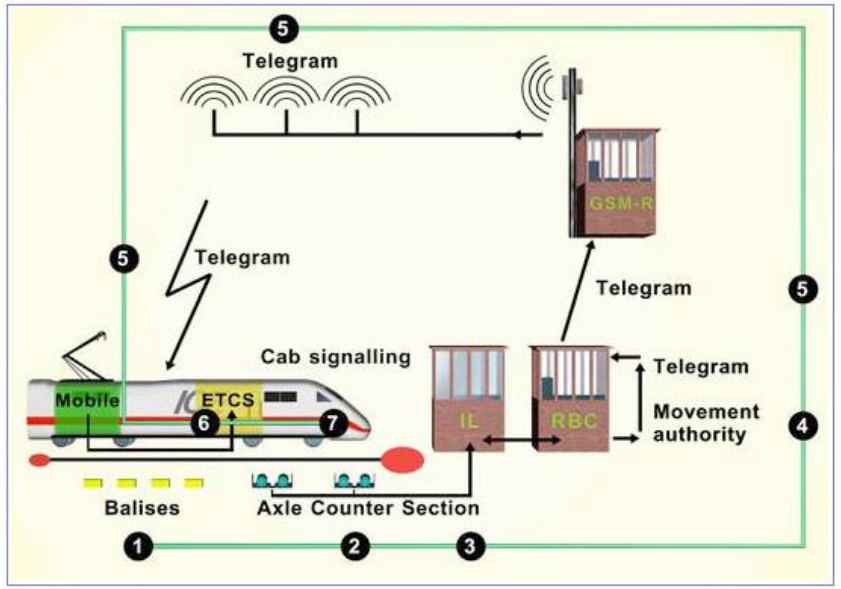
- ETCS 2. úrovně
  - VZ s úplnou souvislou kontrolou rychlosti, se **smíšeným bodově-liniovým přenosem informací** na vozidlo a se zpětným přenosem informací z vozidla do centrály
  - Zachování pevných prostorových oddílů, kontroly celistvosti vlaku a obsazení oddílů pomocí kolejových obvodů nebo počítačů náprav
  - Kombinace s konvenčními návěstidly není podmínkou
  - Rádiové VZZ umožňuje komunikaci s centrálou, která přenáší informace o pojížděné trati na vlak
  - Pevně programované (pasivní) balízy slouží jako referenční místa

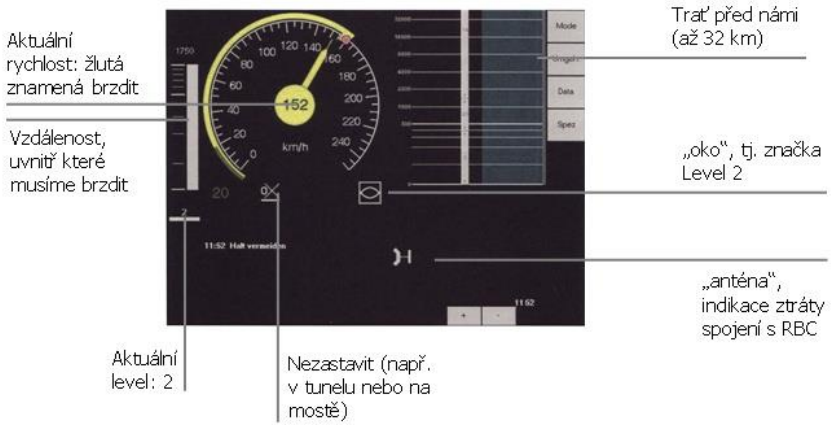


European Train Control System (ETCS) 2. úrovně

1. Balízy se prostřednictvím projíždějícího vlaku používají k přesné informaci o jeho poloze
2. Počítače náprav poskytují informace o obsazení/uvolnění oddílu a předávají informace o svém stavu následujícímu elektronickému stavědlu (Interlocking – IL)
3. Na stavědle jsou provedeny úkoly relevantní z pohledu zabezpečení (přestavení výhybek a návěstidel) a tyto informace jsou předávány na centrálu (Radio Block Center – RBC)
4. RBC počítá na základě informací ze stavědla a dat o trati povolené jízdy vlaků (Movement Authority – MA)
5. Přenos statického rychlostního profilu tratě a MA z centrály na vozidlo pomocí GSM-R – <u>souřadnice bodu, do něhož má vlak oprávnění k jízdě</u>
6. Počítač ve vozidle (European Vital Computer - EVC) dostává MA a průběžně kontroluje rychlost díky <u>dynamickému rychlostnímu profilu, nastaveným brzdným křivkám a poloze vlaku</u>

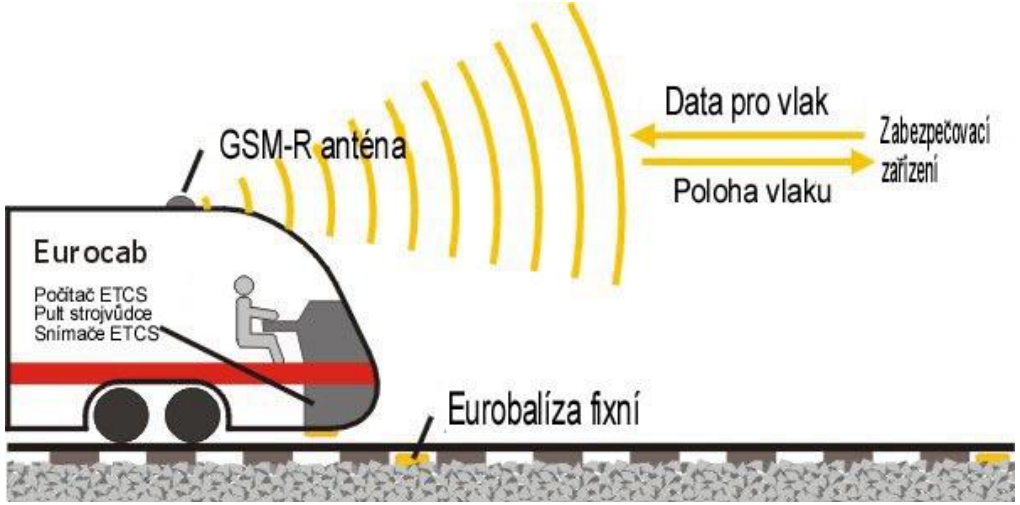
- Překročení brzdné křivky vyvolává výstrahu, provozní brzdění nebo rychločinné brzdění





European Train Control System (ETCS) 3. úrovně

- ETCS 3. úrovně
  - Rádiové zabezpečovací zařízení bez pevných návěstidel
  - **Kontrola celistvosti (integrity) vlaku** na palubním počítači ve vozidle – odpadají kolejové obvody, resp. počítače náprav
  - Centrála zaznamenává polohu vlaku a ve spolupráci se stavědly uděluje jednotlivým vlakům povolení k jízdě
  - Předpoklad pro jízdu v pohyblivých oddílech – **optimalizované využití kapacity**

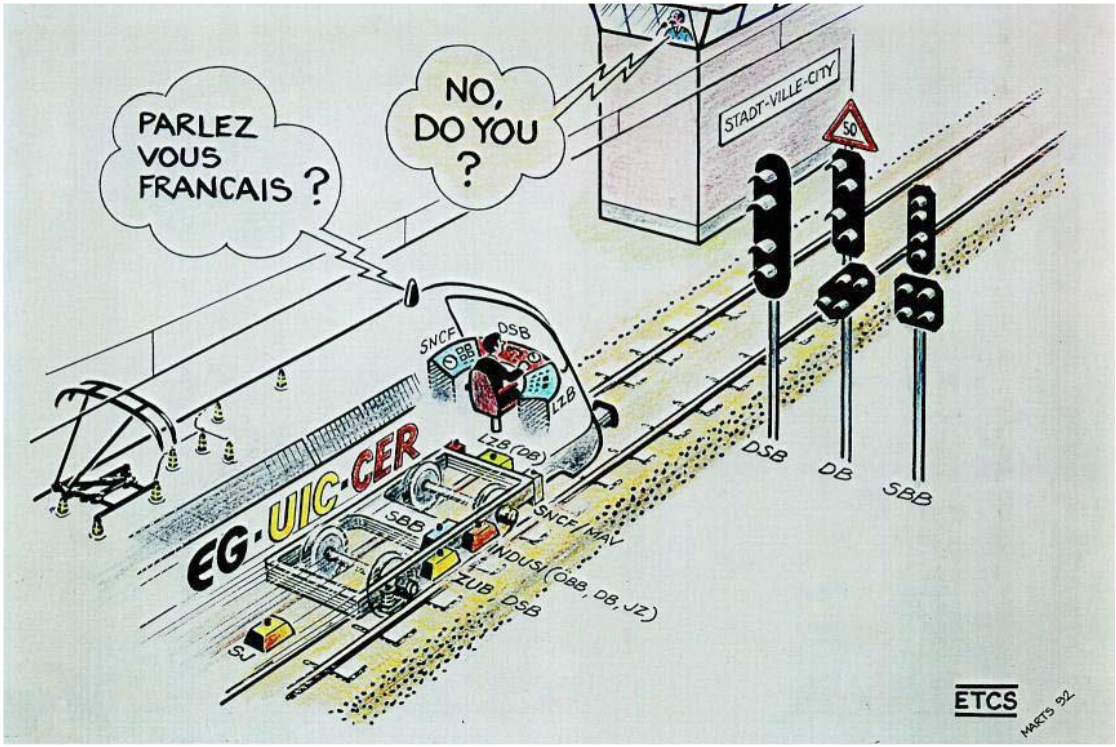


Přehled úrovní ETCS

	1. úroveň	2. úroveň	3. úroveň
Oddíly	pevné	pevné	variabilní
Přenos informací	*bodový* (balízy) nebo úsekově liniový (smyčka)	***plynulý*** (GSM-R)	***plynulý*** (GSM-R)
Balízy	*aktivní* (detekce vlaku a přenos informace)	***pasivní*** (elektronický kilometrovník/určení polohy vlaku)	***pasivní*** (elektronický kilometrovník/určení polohy vlaku)
Kontrola celistvosti vlaku	*na trati*	*na trati*	***na vlaku***
Kapacita	*klasická*	***vyšší*** (podle délky oddílů)	***vyšší*** díky jízdě na absolutní zábrzdnou vzdálenost

Důvod zavádění ETCS, ERTMS, TSI

- Obtížný přechod vlaků a vlakového personálu z jedné železniční sítě do druhé
- K výhledové harmonizaci: **provozní procesy**



Porovnání spotřeby trakční energie

Concorde
- průměrná spotřeba paliva: 0,133 l/místokm

SOR 9.5
- průměrná spotřeba paliva: 0,005 l/místokm

ČD 810
- průměrná spotřeba paliva: 0,007 l/místokm

2005 ČR	mil. oskm	tera joule	kWh/oskm
železniční	6 667	12 222,2	0,509
silniční	8 608	26 579,3	0,858
letecká	9 736	18 654,0	0,532

BMW 330i Touring
- průměrná spotřeba paliva: 0,023 l/místokm

DB 610
- průměrná spotřeba paliva: 0,014 l/místokm

Typy trakcí

- **Motorová**
  - motorové lokomotivy
  - motorové vozy

  - <u>přenos výkonu</u> – mechanický, hydrodynamický, elektrický

- **Elektrická**
  - elektrické lokomotivy
  - elektrické motorové jednotky

  - <u>regulace</u> – odporová, pulsní měniče, asynchronní trakční motory

Elektrická vs. motorová trakce

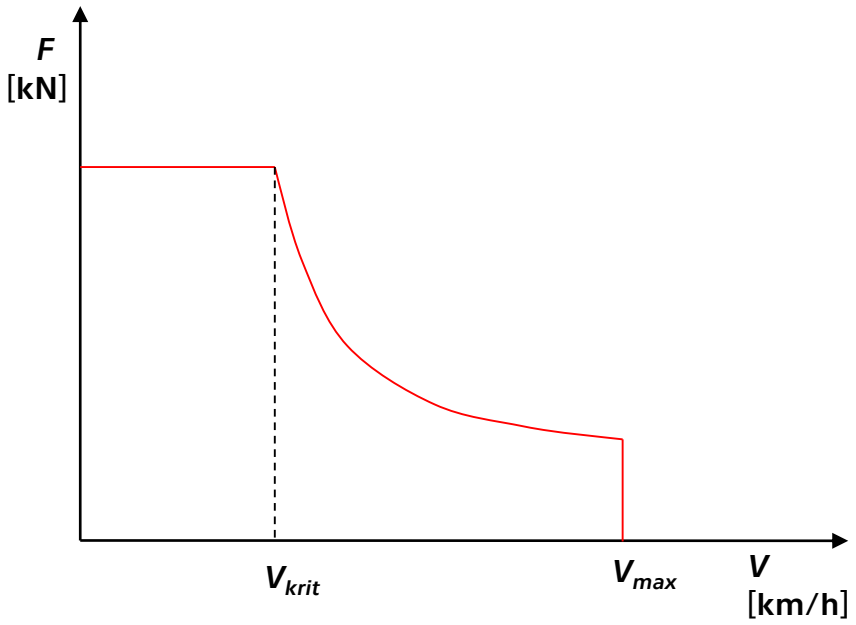
- Při srovnatelné vykonané trakční práci je cena za trakční energii cca 3 x nižší v případě elektrické trakce
- Hypotetický příklad – vlak Os Chomutov – Karlovy Vary:
  - 844 – 194 kWh – cca 63 l nafty – cca 2150 Kč
  - 650 – 247 kWh – cca 700 Kč

Dynamika jízdy kolejových vozidel

- Přenesení hnací síly z kola na kolejnici

- Rozhodující je **součinitel adheze**
  - <u>nižší než u silniční dopravy</u>
  - klesá s rostoucí rychlostí, nepříznivými povětrnostními podmínkami a při nerovnoměrném přenosu hnací síly

Závislost tažné síly na rychlosti



Jízdní doby, metody výpočtu

Pro plán provozu, různé výchozí situace

1. dáno: trať se svými vlastnostmi, poloha zastávek, vozidla s trakčními vlastnostmi – hledáme jízdní dobu mezi zastávkami
2. dáno: trať, poloha zastávek, maximálně přípustná jízdní doba – hledáme trakční vlastnosti vozidla
3. dáno: vozidla s trakčními vlastnostmi, poloha zastávek a maximálně přípustná jízdní doba – hledáme vlastnosti tratě
4. dáno: poloha zastávek a maximální délka jízdních dob – hledáme parametry tratě a trakční parametry vozidel, přičemž cílovým kritériem je minimalizace nákladů

1. typ úlohy – linka s nejvýše jednou přípojovou vazbou
4. typ úlohy – systém taktových uzlů (např. Bahn 2000 ve Švýcarsku) s pevně danými jízdními dobami mezi uzly

Metody výpočtu

- Měřící jízdy
- Kvalifikované odhady
- Přibližné výpočty (lichoběžníková metoda)

$$t = \frac{L}{v} + \frac{v}{a}$$ při jízdě konstantní rychlostí mezi zastávkami

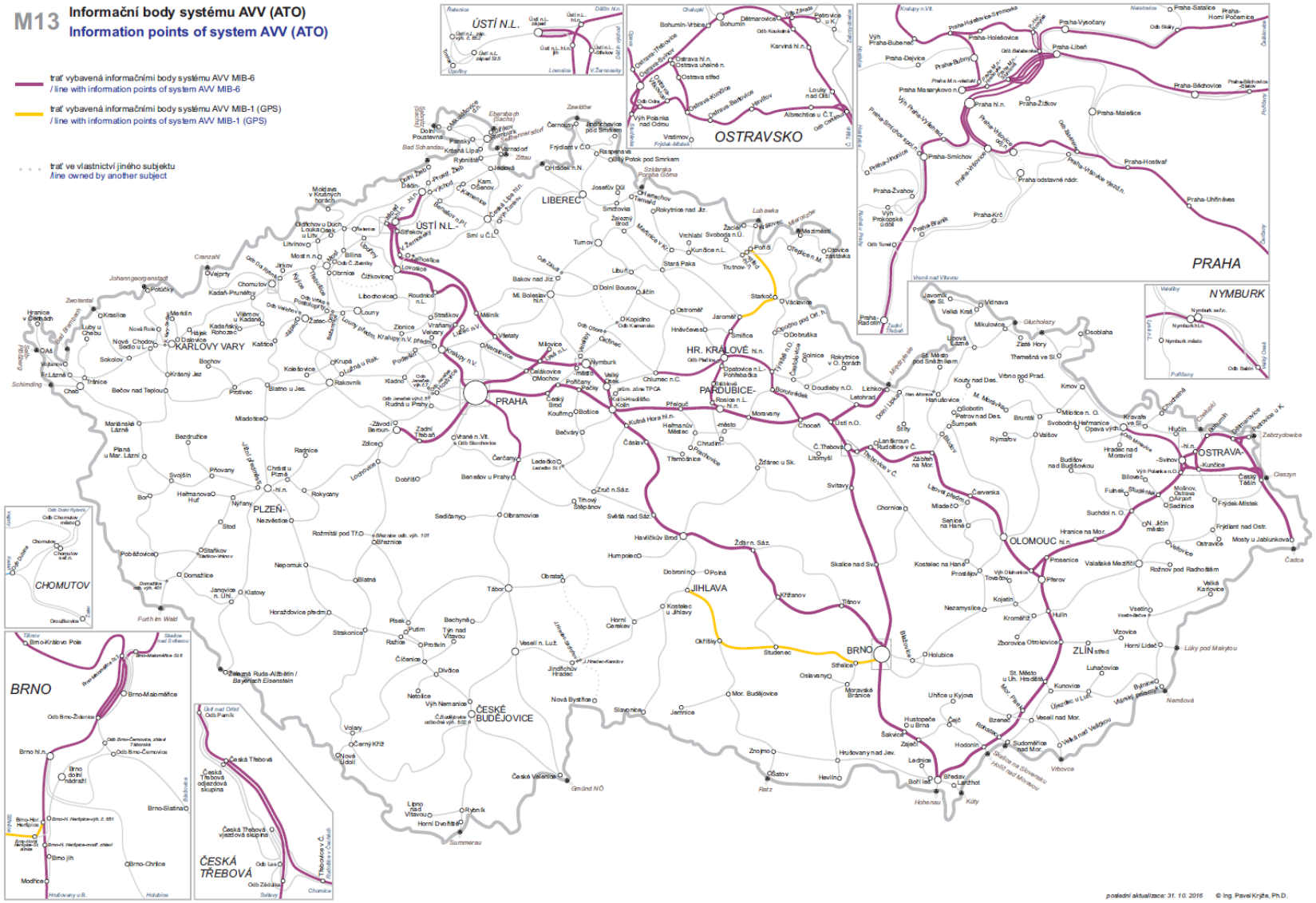
- Trakční výpočty
  - Přesné zobrazení rozjezdu a brzdění při zohlednění jízdních odporů (pohybová rovnice = nelineární diferenciální rovnice druhého řádu)

Automatické vedení vlaku (AVV)

- Systém ATO – automatizace řízení vozidel
- **CRV** – automatická regulace rychlosti, součinnost brzd, vícenásobné řízení hnacího vozidla
- **AVV** – automatické cílové brzdění a energetická optimalizace jízdy vlaku
- Využití magnetických informačních bodů (**MIB**)
- Aperiodické navedení vlaku na zadanou rychlost, **udržování rychlosti s přesností do 1 km/h**
- **Cílové brzdění** do určeného místa (s nulovou i nenulovou rychlostí) **s přesností do 1 m** s nulovým brzdným zpomalením
- Řízení vlaku tak, aby dojel do následující stanice **právě včas a s minimem spotřeby energie**
- **Přenos informací na vozidlo** (poloha vlaku, informace o kódu VZ),
- **Ostatní informace uloženy v paměti systému** (mapa tratě – rychlostní a výškový profil tratě, poloha návěstidel a nástupišť)
- Před jízdou vlaku potřeba zadání dat: číslo a délka vlaku, brzdící procenta, počáteční rychlost
- Vytvářené <u>brzdné křivky</u> slouží pro provozní brzdění

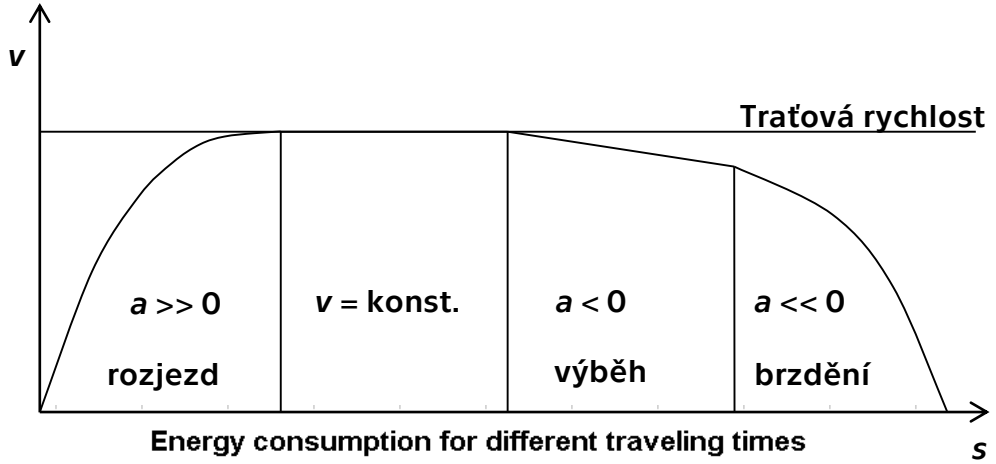
FAKULTA DOPRAVNÍ ČVUT V PRAZE

AUTOMATICKÉ VEDENÍ VLAKU (AVV)

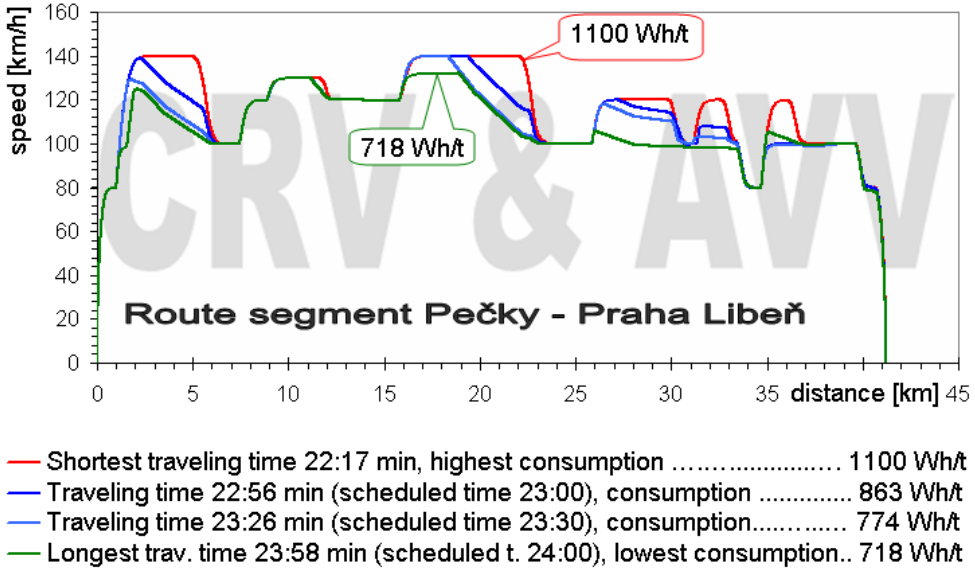


Energeticky optimální jízda

- Odstranění lokálních omezení
- Rekuperace
- Osazení tratí MIB, balízami v případě ETCS nebo vozidel GPS
- Novostavby – homogenní rychlostní profil
- Dostatečné rezervy v jízdních dobách
- Dodržení provozních intervalů a včasné stavění vlakových cest ⇒ dálkové řízení železničního provozu
- Doplnění IS ŘP o moduly energetické spotřeby



Energy consumption for different traveling times
(RJD for seldom-stopping train; speed / distance diagram)



Součinnost AVV a ETCS

Činnost	ETCS bez AVV		ETCS s AVV		
	člověk	ETCS	člověk	AVV	ETCS
pokyn k rozjezdu			x		
řízení rozjezdu	x	BK		x	BK
dosažení a jízda V_{max}	x	BK		x	BK
brzdění k omezení rychlosti	x	BK		x	BK
navedení a jízda omez. rychlostí	x	BK		x	BK
pokyn ke zvýšení rychlosti		BK	x		BK
řízení rozjezdu	x	BK		x	BK
výběh před zastavením (s ohledem na dojezd "právě včas")	x			x	
vjezd omezenou rychlostí	x	BK		x	BK
včasné zahájení brzdění před zastavením ve stanici	x			x	
brzdění do stanice	x			x	
zastavení ve stanici	x			x	

x – provádí, BK – bezpečně kontroluje

GVD A KAPACITA

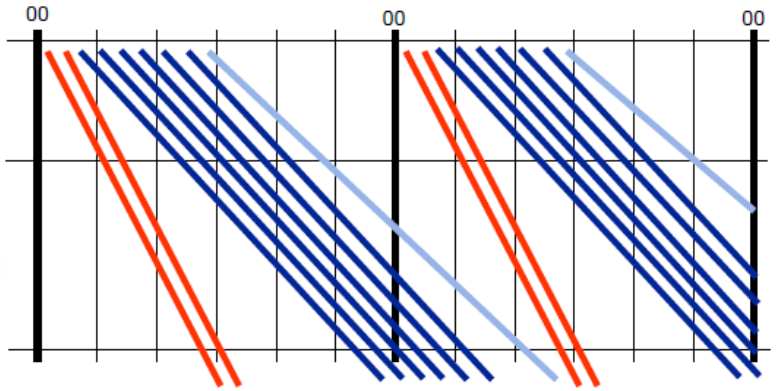
Nákladnost infrastruktury ⇒ snaha o její maximální využití

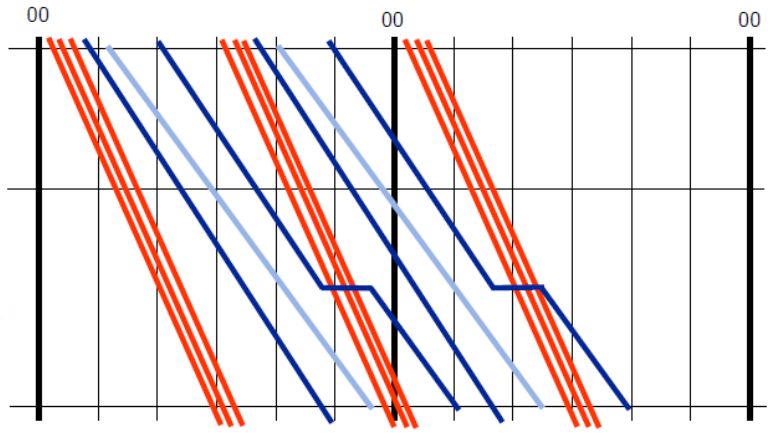
Vliv infrastruktury

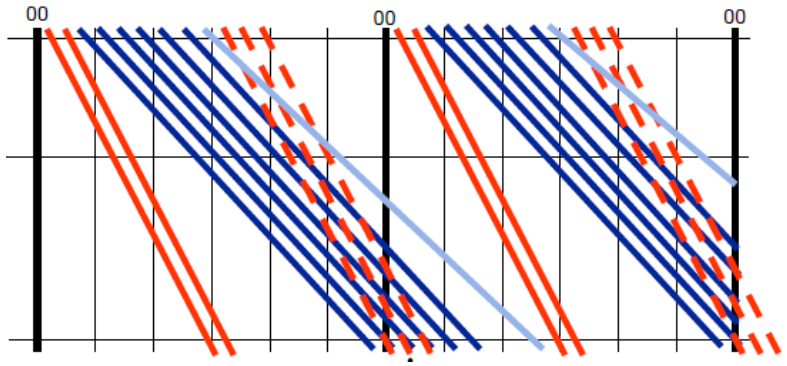
1. Počet kolejí
2. Délka prostorových oddílů
3. Volnost a flexibilita při využívání kolejí
4. Možnost jízdy proti správnému směru
5. Koncepce údržby

Vliv provozu

1. Homogenita / heterogenita vlaků (rychlost, zrychlení, brzdné zpomalení, délky vlaků)
2. Struktura nabídky (jízdní řád „podle potřeby“ nebo systematický GVD)







Sestava JŘ, přidělování kapacity, kapacita tratí

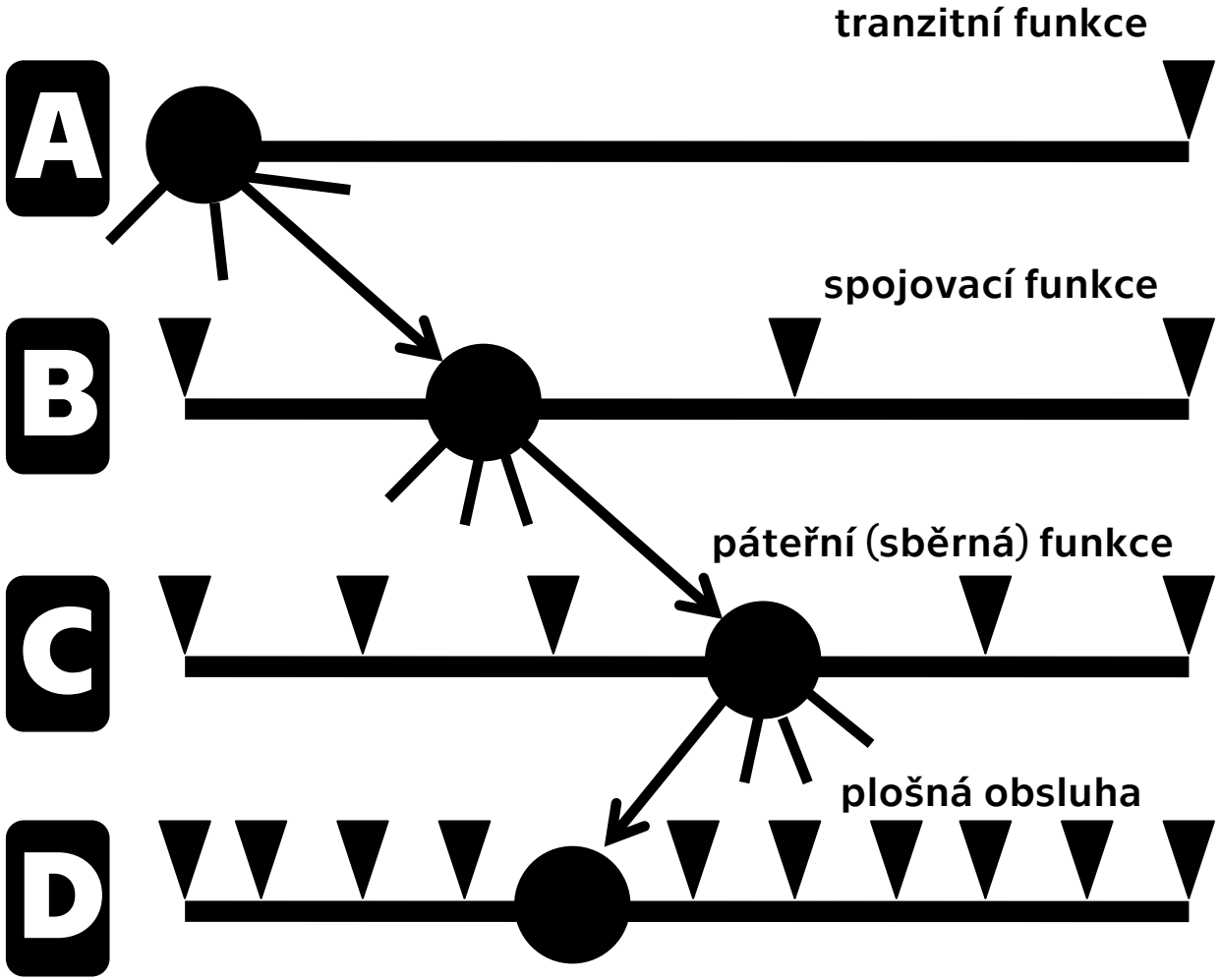
- **Kapacita** = celkový počet možných tras vlaků v definovaném časovém rámci při zohlednění současné skladby tras

- Předložení žádostí o přidělení kapacity
  - Řádná žádost – 240 dní před platností JŘ
  - Pozdní žádost – 90 dní před platností JŘ
  - Žádost do změny ročního JŘ (přibližně 2 měsíce před platností změny)
  - Ad-hoc přidělení kapacity („nad a pod 3“ pracovní dny před realizací)

Počet traťových kolejí	Počet vlaků za den v obou směrech (maximální hodnoty v evropských podmínkách)
1	80 - 100
2	250 - 300
3	330 - 400
4	500 - 600

FAKULTA DOPRAVNÍ ČVUT V PRAZE

Koncepce v železniční osobní dopravě



Koncepce v železniční osobní dopravě

- Dálková železniční doprava (segment A, B)
  - Spojení dvou a více metropolí
  - Spojení středních center a aglomerací
  - Vykazuje většinou delší cestovní doby než běžná denní dojížďka
- Z pohledu potenciálu je třeba rozlišovat
  - Mezinárodní dopravní koridory
  - Národní dopravní prostor
- Vysokorychlostní
  - Dlouhé a střední vzdálenosti
  - Konkurence letecké a částečně individuální automobilové dopravy

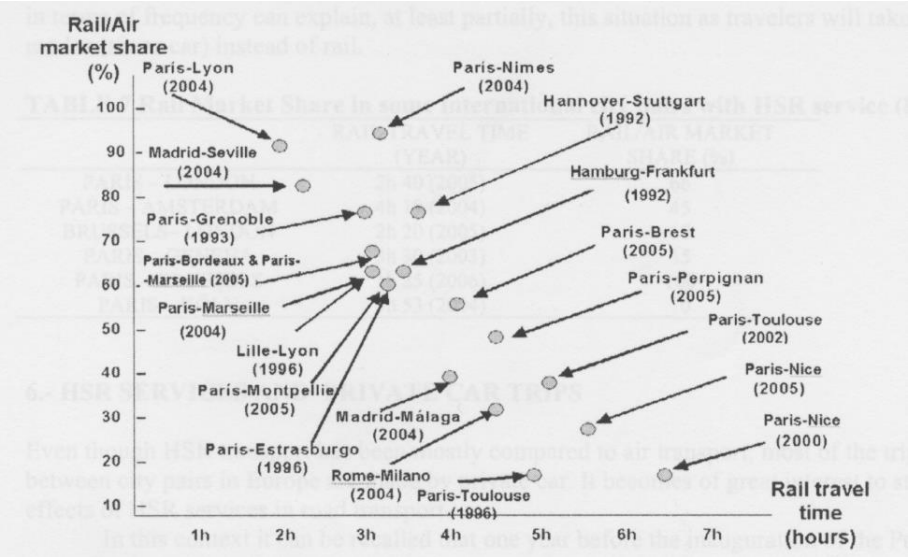
Koncepce vysokorychlostní dopravy (A)

- Evropské pojetí
  - Vysokorychlostní doprava na modernizovaných tratích $V \geq 200\ km/h$
  - Vysokorychlostní doprava na nových VRT $V \geq 250\ km/h$
- ČR
  - Dosud konvenční systém při $V \leq 160\ km/h$

Varianta	Charakteristika	Příklady
1	VR vlaky na VRT a modernizovaných tratích Konvenční vlaky na původních tratích (***oddělení systémů***)	Japonsko
2	VR vlaky na VRT, modernizovaných tratích i původních tratích Konvenční vlaky na původních tratích	Francie
3	VR vlaky na VRT a modernizovaných tratích Konvenční vlaky na VRT, modernizovaných tratích i původních tratích	Španělsko
4	VR a konvenční vlaky na VRT, modernizovaných i původních tratích (***úplná kompatibilita***)	SRN, Švýcarsko výhledově ČR

VR ŽELEZNIČNÍ DOPRAVA VERSUS LETECKÁ DOPRAVA

- Zákonitosti v evropském prostoru
  - Při cestovní době dálkové železniční osobní dopravy < 3 hodiny je podíl v porovnání s leteckou dopravou ≥ 75%
  - Je-li cestovní doba dálkové železniční dopravy 3 – 5 hodin, potenciál klesá na nejvýše 30%
  - Při cestovní době delší než 5 hodin je podíl osobní železniční dopravy marginální
- Letecká doprava není pouze konkurenčním dopravním systémem – potřeba napojení dálkové železniční dopravy na významná letiště



Relace	Cestovní doba VRT	Podíl železniční dopravy [%]	Referenční rok
Paris – London	2 h 40 min	66	2005
Paris – Amsterdam	4 h 10 min	45	2004
Bruxelles – London	2 h 20 min	60	2005
Paris – Genève	3 h 30 min	35	2003
Paris – Bruxelles	1 h 25 min	100	2006
Paris – Köln	3 h 53 min	70	2004

Požadavky na vozidla a infrastrukturu

- Vozidla
  - **distribuovaný** přenos hnací síly – až **10 MW**, snaha o **vozidla lehké stavby**
  - cena vozidla o 350 sedadlech přibližně 500 mil. Kč
- Infrastruktura
  - **výhradně VR provoz** – sklon 20 až 40‰
    - \+ flexibilnější trasování ⇒ kratší umělé stavby ⇒ nižší investiční náročnost
    - \- potřeba velké poptávky (shlukování) pro efektivní využití infrastruktury (vlaky od 200-230 km/h)
  - **aglomerační VR provoz** – GPK i pro vlaky na 160 km/h
    - \+ lepší využití kapacity, i pro zrychlené regionální vlaky ⇒ vyšší efektivita
    - \- vyšší opotřebení železničního svršku
  - **smíšený provoz** (dnes se již nestaví) – sklon max. 12,5‰
    - \+ efektivní využití kapacity
    - \- vysoká investiční náročnost
  - náklady na stavbu VRT (dle UIC) **300 – 800 mil. Kč/km**, údržba **1,89 mil. Kč/km** za rok

Konvenční dálková železniční doprava (A, B)

- Využití na střední i kratší vzdálenosti (zejména segment s funkcí spojovací – B1), neboť 70 % všech cest se odehrává na vzdálenost do 100 km
- V ČR s rychlostí do 160 km/h, v Evropě do 200 km/h
- Úsekové využití pro denní dojížďku při cestách kratších než 60 minut
- Nejčastěji provozovaná na principu **ITJŘ**
- Z větší části **otevřený systém** a předmět **veřejné služby** – ČR, Rakousko, Nizozemí, Švýcarsko (ve formě koncese)

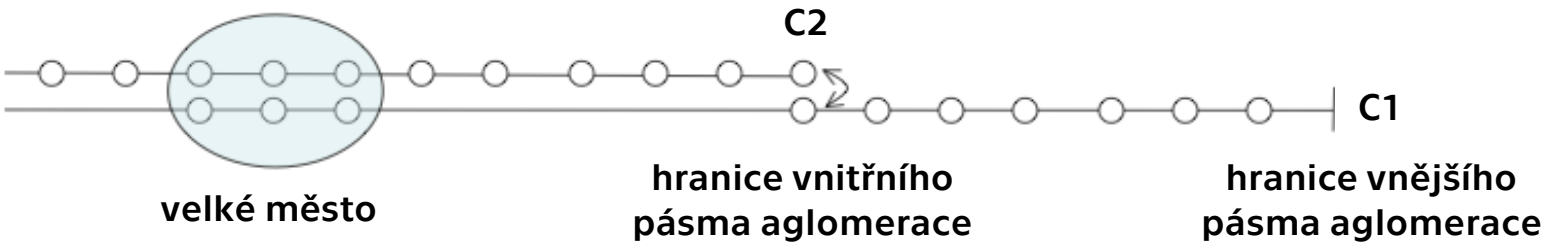
Příměstská železniční doprava (C1, C2)

Zásady pro plánování systému

- Přípojové skupiny v centrálním přestupním uzlu posunuty o 15 minut oproti dálkové dopravě (taktové uzly 15, 45)
- Optimalizace přestupních vazeb „za roh“ mezi linkami
- U větších sítí může být vhodný **pásmový provoz**:
  - Pomalé linky (s obsluhou všech zastávek) pouze na hranici vnitřního pásma aglomerace
  - Zrychlené linky ve vnitřním pásmu, s obsluhou všech zastávek ve vnějším pásmu aglomerace, zajištění vazby mezi oběma systémy na hranici vnitřního a vnějšího pásma

- Ve vnějším pásmu větší vzdálenost mezi zastávkami
- Vytvoření vazeb mezi příměstskou a dálkovou dopravou i na vnější hranici aglomeračního pásma

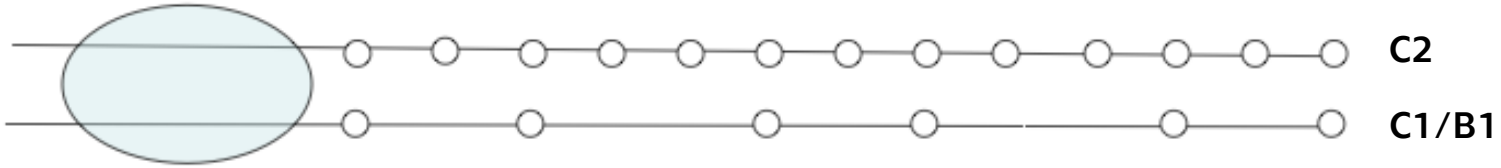
Varianta 1 – pásmový provoz: C1 se sběrnou funkcí ve vnějším pásmu a tranzitní funkcí ve vnitřním pásmu, C2 se sběrnou funkcí ve vnitřním pásmu



Příměstská železniční doprava (C1, C2)

- Vysoká výkonnost (počet míst/h), produktivita systému (až 85%)
- Krátké cestovní doby, vysoká rychlost přepravy, minimalizace přestupních procesů
- Vysoká časová dostupnost
- Vysoká spolehlivost (přesnost a pravidelnost)
- Atraktivní jízdní řád (s vysokou četností spojů – interval 15 nebo 30 minut) na průběžných (diametrálních) linkách
- Optimální vazby mezi linkami v přestupních uzlech s krátkými přestupními vzdálenostmi a kvalitními přípoji
- Existence provozní centrály se stálým přehledem o provozní situaci a možností aktivního zásahu v případě mimořádností (dispozice, navádění do bezkonfliktních tras)

Varianta 2 – „Os/Sp“: C1/B1 zrychlen v celém úseku, C2 se sběrnou funkcí v celém úseku



Regionální železniční doprava (C3)

Souběžná nabídka s dálkovou dopravou – 2 vrstvy (B1, C3)

- **Provázaný systém** s dálkovou dopravou, odjezd vlaku regionální dopravy v následném mezidobí za vlakem dálkové dopravy, do dalšího uzlu dálkové dopravy přijede regionální vlak těsně před následujícím vlakem dálkové dopravy (v příjezdném mezidobí).
- **Funkce rozvozu od předchozího** vlaku dálkové dopravy a následného **svozu pro následující** vlak dálkové dopravy

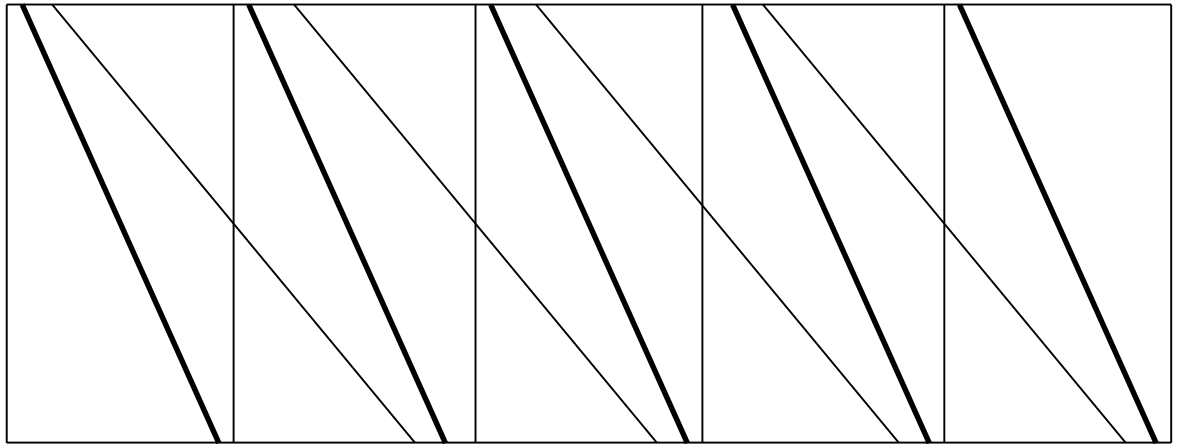
Zahuštění (proklad) nabídky dálkové dopravy

- Odlišné pojetí nabídky – vlaky regionální dopravy přibližně **půlí interval vlaků dálkové dopravy**
- *Výhoda* – velmi **atraktivní nabídka** pro sídla obsluhovaná dálkovou dopravou
- *Nevýhoda* – **ztráta přestupujících cestujících** z vlaků dálkové dopravy
- Předpoklad: **malý počet přestupujících** cestujících, vysoká poptávka v rámci daného dopravního koridoru, **nevýrazný rozdíl v jízdních dobách** mezi vlaky dálkové a regionální dopravy

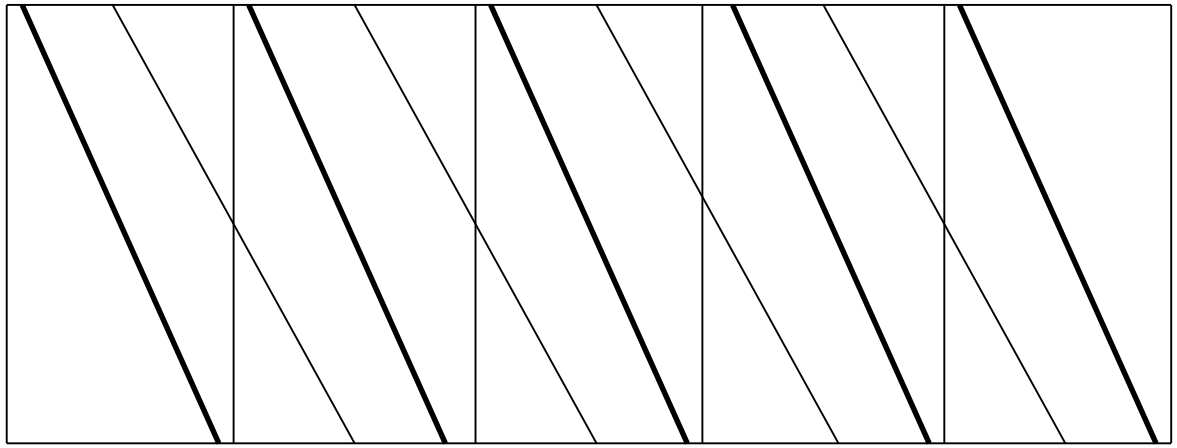
FAKULTA DOPRAVNÍ ČVUT V PRAZE

Regionální železniční doprava

Souběžná nabídka s dálkovou dopravou



Zahuštění nabídky dálkové dopravy



Požadavky na vozidla železniční osobní dopravy

Z pohledu provozu

- Typ vlaku: souprava vozů klasické stavby s lokomotivou nebo ucelená jednotka
- Možnosti zesílení, zeslabení soupravy, požadovaná modularita
- Možnost vícenásobného řízení většího počtu jednotek
- Přípustné délky souprav a modularita délky jednotek
- Trakční výkon a rozjezdové zrychlení
- Dosažitelná maximální rychlost
- Systém spřahování, potřebné úkony a rychlost svěšení a rozvěšení jednotek

Z pohledu cestujících

- Klimatizace
- Počet nabízených tříd
- Počet a uspořádání míst k sezení (velikost oddílu, vzdálenost sedadel)
- Doplňková zařízení (automaty s občerstvením, možnost vedení minibaru, dostupnost jídelního vozu)
- Orientace na různé produkty osobní dopravy

Vozidla pro železniční osobní dopravu

- Unifikace kontra specializace
- Různé požadavky v dálkové, příměstské a regionální dopravě
  - Zrychlení, komfort, uspořádání sedadel, nástup do vozidla
- Klasické vlaky tažené lokomotivou
- Vratné soupravy
  - Hnací vozidlo na obou koncích soupravy
  - Hnací vozidlo na jednom konci soupravy, řídící vůz na druhém konci vlaku
- Motorové vozy
- Elektrické a motorové jednotky
- Hybridní vozidla
- Jednotky s naklápěním vozové skříně
- Dvoupodlažní vozidla s částečnou kompenzací nevyrovnaného příčného zrychlení z důvodu naklopení vozidla ven z oblouku

Vozidla pro příměstskou železniční dopravu

- V závislosti na poptávce
  - dvoupodlažní
  - jednopodlažní
- Rychlá výměna cestujících – šířka dveří 1300 mm
- Vysoké rozjezdové zrychlení (až 1,2 $m.s^{-2}$)
- Separovaná infrastruktura (S-Bahn Berlín, Hamburg)
- Úrovňový nástup
  - výška nástupní hrany **550 mm (ČR)**
  - 760 mm (S-Bahn Hannover, dříve Mnichov)
  - nebo 960 mm (S-Bahn Mnichov, S-Bahn Berlín)

Vozidla s naklápěcí technikou

- Zmenšení nevyrovnaného příčného zrychlení působícího na cestujícího při rychlém průjezdu obloukem
- Naklopení vozové skříně dovnitř oblouku
- Aktivní naklápěcí technika
  - Cíl: zvýšení rychlosti při průjezdu obloukem oproti konvenčním vlakům – v ITJŘ za účelem dosažení SJD
- Pasivní naklápěcí technika
  - Cíl: zvýšení komfortu cestujícího při průjezdu obloukem

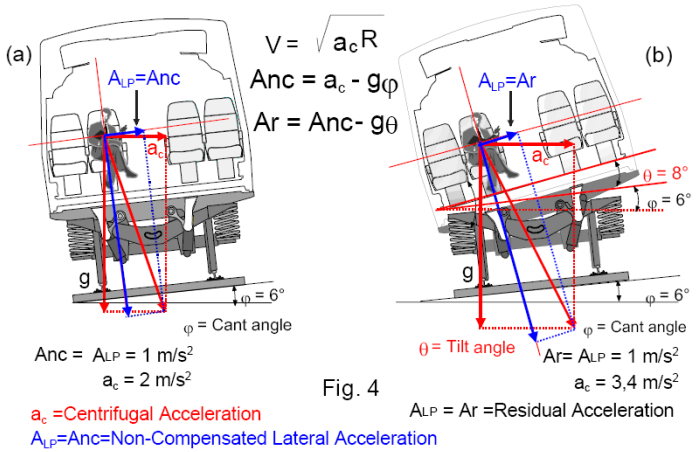
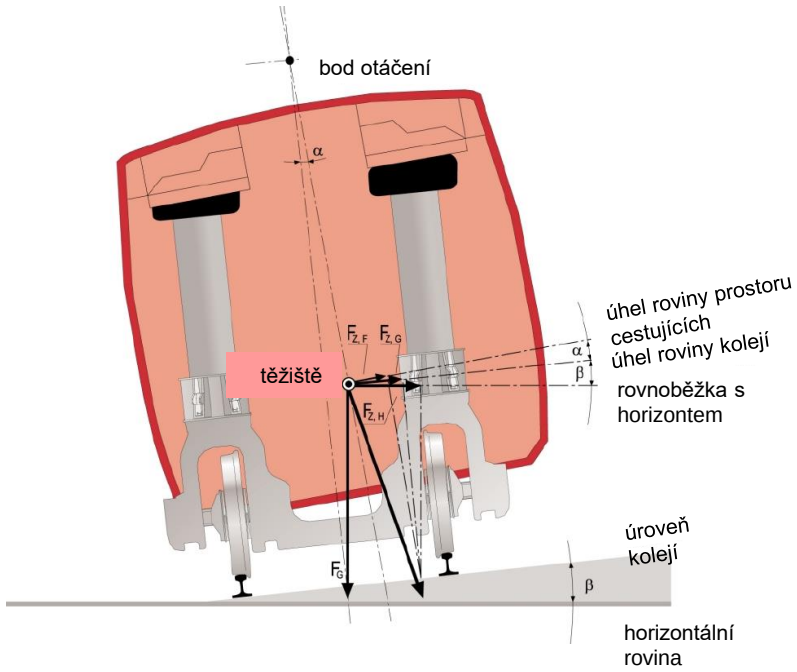


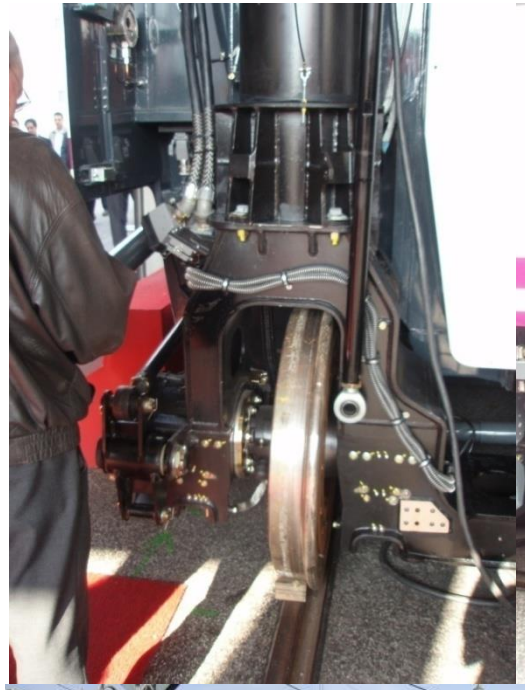
Fig. 4

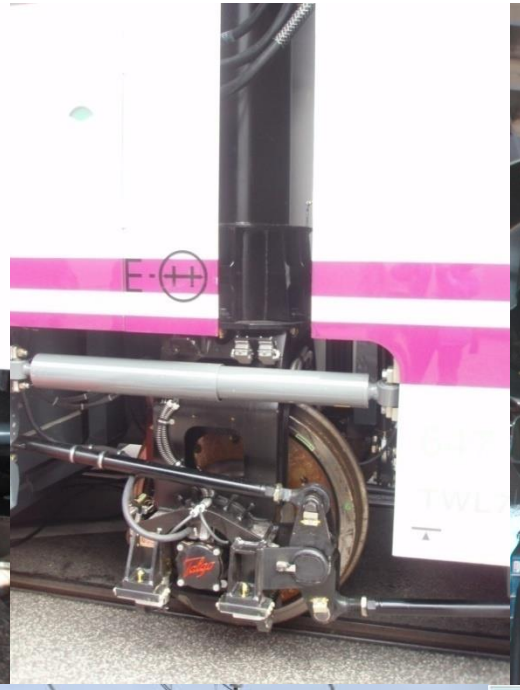


Pasivní naklápěcí technika

- Bez naklápěcích mechanismů a senzorů
- Vozové skříně zavěšeny na vzduchových pružinách
- Úhel naklopení max. 3,5°
- Využití:
  - Španělsko v denní dopravě – Talgo vč. VR dopravy
  - SRN – v minulosti noční dálková doprava bez nutnosti zkracování jízdních dob („hotelové vlaky“)

FAKULTA
DOPRAVNÍ
ČVUT V PRAZE





Aktivní naklápěcí technika

- Využití technologie: rychlá meziregionální a dálková doprava
- Naklápěcí systém – hydraulické, pneumatické válce, resp. elektrické servomotory
- Systém účinný od 70 km/h výše při převýšení aspoň 20 mm
  - využitelný zejména pro rychlosti do 160 km/h
- Úhel naklopení skříně až 8°
  - je určen – rychlostí, převýšením kolejnic, délkou přechodnic
- Naklopení je řízeno na základě údajů o nevyrovnaném příčném zrychlení přenášených z prvního podvozku

Výhody naklápěcí techniky

- Zvýšení komfortu při průjezdu oblouky
- Snížení, popř. úplná eliminace nevyrovnaného příčného zrychlení
- Zkrácení jízdních dob na tratích s četnými oblouky – až o 20%, v průměru však pouze o 8 – 12 % bez nutnosti výstavby nových tratí a přeložek
- Zvýšení rychlosti v obloucích až o 40 km/h
- Efekt při vzdálenostech mezi zastaveními 30 km a v obloucích o menších poloměrech $R < 1000$m za současné existence nižších rychlostí pro konvenční kolejová vozidla

Nevýhody naklápěcí techniky

- Dražší vozidla (pořízení i údržba), úpravy infrastruktury – minimálním požadavkem je normový stav geometrické polohy koleje, 300 mil. Kč na 100 km tratě
- Potřeba zajištění konstantního rychlostního profilu (úprava přechodnic)
- Úprava přejezdů ⇒ prodloužení kolejových obvodů
- Zahraničí: potřeba vybavení tratě balízami – kontrola rychlosti
- Spolehlivost některých typů vozidel vedoucí k dlouhodobému odstavení z provozu
- Citlivost některých cestujících na časté naklápění
- Zúžený prostor pro cestující v horní části vozové skříně

Inovativní přístup – technologie WAKO

- Potřeba nasazení dvoupodlažních vozidel v dálkové dopravě (s rychlostí až 200 km/h) z důvodu vysoké poptávky
- Zamezení naklopení dvoupodlažního vozidla ven z oblouku – nevhodnost použití klasické aktivní naklápěcí techniky
- Bez kompenzace působí na cestujícího v horním podlaží nevyrovnané příčné zrychlení až 1,3 $m.s^{-2}$
- Na rozdíl od naklápěcí techniky umožňuje naklopení pouze o 0,65 – 1°
- Možnost průjezdu některými oblouky až o 15 % vyšší rychlostí bez výrazného snížení komfortu pro cestujícího
- Technologie je v současné době testována na jednom zkušebním vozu SBB
- Doplněno aktivním řízením dvojkolí

FAKULTA DOPRAVNÍ ČVUT V PRAZE

TECHNOLOGIE DOPRAVY

DĚKUJI ZA POZORNOST

ⓘ HTTP://ZOLOTAREV.FD.CVUT.CZ/TEDL

TECHNOLOGIE@FD.CVUT.CZ

KONZULTACE MÍSTNOST A-262, HTTPS://KONZULTACE.FD.CVUT.CZ/

Použité zdroje

- BAV, SBB AG: ZEB, Bahn 2000 snímky
- Lieskovský A., Myslivec I., Špaček P.: ETCS a AVV – spolupráce, nikoliv konkurence, Vědeckotechnický sborník ČD č.21/2006
- Pachl J.: Systemtechnik des Schienenverkehrs - Bahnbetrieb planen, steuern und sichern, Wiesbaden 2008
- Směrnice SŽDC č. 104 – Provozní intervaly a následná mezidobí
- SŽDC: Prohlášení o dráze celostátní a regionální
- Weidmann U.: Netzplanung und Systemauslegung, ETH Zürich 2007
- Weidmann U.: Verkehr II, ETH Zürich

- Zdroje fotografií:
  - Archiv Ing. Karla Baudyše, Ph.D.
  - Archiv Ing. Jiřího Pospíšila, Ph.D.
  - www.zelpage.cz
  - AŽD
  - RENFE
  - Bombardier
  - Wikipedie, otevřená encyklopedie