

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

BEZPEČNOST V KOLEJOVÉ DOPRAVĚ

Tomáš MICHÁLEK
Dislokované pracoviště DFJP Česká Třebová
Katedra dopravních prostředků a diagnostiky
Oddělení kolejových vozidel



Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

OBSAH

1. Základní principy kolejové dopravy
2. Bezpečnost v kolejové dopravě
3. Zabezpečení a automatizace jízdy vlaku



Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

ZÁKLADNÍ PRINCIPY KOLEJOVÉ DOPRAVY

- **odvalování ocelového kola po ocelové kolejnici**
 - velmi malá deformace povrchu kola a kolejnice
 - velmi **nízká hodnota valivého odporu**
(kolo–kolejnice: 10 N/t, pneumatika–vozovka: 80 N/t)
 - adhezní přenos tečných sil
- **schopnost vozidel (hnacích vozidel a vozů) tvořit vlak**
 - **nízká hodnota aerodynamického odporu**
(jížda vozidel v zákrytu, aerodynamický tvar vozidel)
 - efektivní využití vozidel i personálu
- **možnost elektrické vozby vlaků**
 - **vysoká účinnost** vozidel elektrické trakce
 - vozidla mohou být velmi výkonná a velmi rychlá

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

ZÁKLADNÍ PRINCIPY KOLEJOVÉ DOPRAVY


- **spotřeba energie** závisí na několika faktorech, zejména na:
 - překonaných jízdních (vozidlových a traťových) odporech
 - účinnosti trakčních vozidel
- železnice má velkou výhodu oproti jiným druhům dopravy...
 - velmi nízká hodnota valivého a aerodynamického odporu
 - elektrická trakce umožňuje **rekuperační brzdění**
 - spotřeba energie v nákladní dopravě – přeprava 20^o kontejneru (1 TEU):
 - silnice: **2,4 kWh/km** (0,24 l nafty/km) – 2 TEU na automobil, 90 km/h
 - železnice: **0,3 kWh/km** – 92 TEU na vlak, 100 km/h
 - spotřeba energie ve vysokorychlostní osobní dopravě:
 - letadlo: **40 kWh/100 os.km** (4 l kerosinu/100 os.km) – rychlost cca 900 km/h
 - HS vlak: **4 kWh/100 os.km** – rychlost cca 300 km/h
- se spotřebou energie úzce souvisí i **produkce emisí**

4

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

BUDOUCNOST ŽELEZNICE

- aby fungovala efektivně, musí být železnice náležitě využívána
- prostředky pro **dosázení vyšší atraktivitu** železniční dopravy:
 - rychlost
 - spolehlivost
 - bezpečnost
 - vysoký komfort služeb
- EU → **Bílá kniha o dopravě** – cíl přesunout nákladní přepravy na vzdálenost nad 300 km a lety nad pevninou na železnici...
- i v ČR se jeví jako nutnost **výstavba nových tratí** (koncepte tzv. rychlých spojení) a **zvyšování kapacity nákladních koridorů**
- pro rozvoj železnice bude třeba technicky zdatných odborníků...



5

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

BEZPEČNOST V KOLEJOVÉ DOPRAVĚ

- **bezpečnost** = jedna z podmínek pro zvýšení atraktivitu železnice
- v porovnání se silniční dopravou existuje **riziko vzniku velmi rozsáhlých následků mimořádných událostí**
- požadavky na bezpečnost zakotveny v **TSI**
- **prostředky k zajištění bezpečnosti:**
 - **konstrukční opatření na straně vozidel:**
 - aktivní bezpečnost → **dobré brzdicí schopnosti**
 - pasivní bezpečnost → tzv. „**crashová**“ odolnost
 - **pravidla pro provoz vozidel v železničních tunelech** (použití nehořlavých materiálů, NBÜ, redundance trakčního pohonu,...)
 - **zabezpečovací a automatizační zařízení a systémy** (eliminace následků lidských chyb)



6

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

PROČ MUSÍ BÝT JÍZDA VLAKU ZABEZPEČENA?

- výhody železniční dopravy** v porovnání s dopravou silniční:
 - vedení vozidla kolejí → **pevně definovaná jízdní dráha**
 - systém kolo–kolejnice → **velmi nízký odpor z valení**
- související nevýhody:**
 - nemožnost vyhnout se** při jízdě po jedné kolejí
 - relativně nízký součinitel adheze** → nižší dosažitelné odrychlení
- další faktory ovlivňující bezpečnost:**
 - zavedený **princip samočinné pneumatické brzdy**
 - možnost provozu **velmi vysokými rychlostmi**
 - velké škody při případných mimořádných událostech

→ potřeba kvalitativně vyššího způsobu **zabezpečení jízdy vlaků...**

7

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

NOUZOVÉ ZASTAVENÍ VOZIDLA


- osobní automobil:**
 - jízda podle rozhledu
 - součinitel adheze **za sucha**: až 0,9 → odrychlení: až 9 m/s²
 - prodleva: řidič **ve střehu** + reakce brzdového systému: cca 1 s
→ **zábrzdňá dráha z rychlosti 100 km/h: cca 70 m**
- běžný osobní vlak:**
 - součinitel adheze: 0,15 (bezpečnost) → odrychlení: max. 1,5 m/s²
 - prodleva: samočinná brzda v režimu „P“ nebo „R“: cca 3 s
→ **zábrzdňá dráha z rychlosti 100 km/h: min. cca 350 m**
- tramvaje:**
 - pohyb v městském provozu → jízda podle rozhledu
 - kombinace adhezních a neadhezních brzd → odrychlení: až 3 m/s²

8

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

NOUZOVÉ ZASTAVENÍ VOZIDLA

- možnosti zkrácení zábrzdňých drah kolejových vozidel:**
 - prostředky pro zlepšení adheze
 - neadhezni brzdy
- specifika provozu vysokými rychlostmi:**
 - výrazné prodloužení zábrzdňých drah
 - pokles dosažitelného součinitele adheze
 - při konstantní brzdě síle přibližně platí: $L_z \sim E_k \sim V^2$
 - požadavek TSI HS RST: $V = 300 \text{ km/h} \rightarrow L_z \leq 3650 \text{ m}$
 - nepoužitelnost třecích brzd ve vysokých rychlostech (riziko přehřátí)
→ elektrodynamická rekuperační brzda + neadhezni brzdy (nouzově)
- specifika provozu v železničních tunelech (TSI SRT):**
 - bezpečný stav = dojezd na bezpečné místo, nikoliv zastavení → **vývoj:**
záchranná brzda → NBÚ (kat.A) → **redundance pohonu** (kat.B)



9

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

PASIVNÍ BEZPEČNOST

- cíl: **minimalizace následků**, pokud k mimořádné události dojde
- prostředky k dosažení vysoké míry pasivní bezpečnosti:
 - **statická pevnost vozidel** (EN 12 663)
 - např. lokomotivy → dimenzování rámu na tlakovou sílu 2000 kN
 - **dynamická pevnost vozidel** – „crashová“ odolnost (EN 15 227)
 - omezení zpomalení a zachování prostoru pro přežití
 - 4 kolizní scénáře – např. náraz do 15 t těžké cisterny ve 110 km/h
 - používání deformačních prvků a deformačních zón
 - používání nehořlavých, netoxických materiálů a materiálů, které při deformaci neprodukuje třísky; návrh interiéru bez ostrých hran, ...



10

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

ŽELEZNIČNÍ ZABEZPEČOVACÍ ZAŘÍZENÍ

- soubor technických prostředků a vazeb mezi nimi, které přispívají ke zvýšení bezpečnosti železničního provozu
- stručný historický vývoj zabezpečení jízdy vlaků:
 - jízda v časovém odstupu (podle jízdního řádu)
 - oddělení obvodů stanic a traťových úseků → vjezdová návěstidla
 - zvyšování rychlostí a propustnosti → doplnění předvěstí a hradel/hlásek
 - zavedení automatického bloku („autobloku“)
- rozdělení zabezpečovacích zařízení:
 - staniční zabezpečovací zařízení (SZZ)
 - traťová zabezpečovací zařízení (TZZ)
 - přejezdová zabezpečovací zařízení (PZZ)
 - vlaková zabezpečovací zařízení – vlakové zabezpečovače (VZ)



11

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

VÝVOJ ZABEZPEČOVACÍCH SYSTÉMŮ

- traťová a staniční zab. zař. přispívají ke zvýšení bezpečnosti pouze tehdy, jsou-li **respektována strojvedoucím**
- vývoj kontrolních systémů umožňujících samočinné zastavení vlaku v případě nebezpečí:
 - zařízení pro kontrolu bdělosti strojvedoucího (KBS)
 - zařízení pro kontrolu činnosti strojvedoucího (VZ, ATP, ATC)
- zařízení pro KBS využívají dva různé principy:
 - „živý muž“ – vyžadována periodická obsluha tlačítka/pedálu
 - „mrtvý muž“ – vyžadováno trvalé stisknutí tlačítka/pedálu
 - případně kombinace obou principů – např. německá **Sifa**
- zařízení pro KBS reaguje, pokud strojvedoucí ztratí kontrolu nad vozidlem, nedokáže zasáhnout, když nerespektuje návěstí → **VZ...**

12

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

VLAPOVÉ ZABEZPEČOVAČE

- VZ umožňují zasáhnout, pokud strojvedoucí nerespektuje návěsti
- **rozdělení VZ** podle přenosu informací z tratě na vozidlo:
 - **bodové vlakové zabezpečovače**
 - přenos informací (zejména návěstních znaků) v definovaném místě
 - přesné určení polohy vozidla (+), necitlivost na pozdější změny (-)
 - **liniové vlakové zabezpečovače**
 - průběžný přenos informací z tratě na vozidlo
 - nemusí být zcela přesně známá vzdálenost k místu zastavení
- **LS 90** – český LVZ pro tratě do rychlosti 160 km/h s autoblokem
 - přenáší návěstní znak na vedoucí vozidlo → **návěstní opakováč**
 - k přenosu dat využívá kolejové obvody
 - **nekontroluje rychlost vlaku**
 - na „nekódovaných“ tratích zajišťuje mobilní část funkce KBS

13

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

VLAPOVÉ ZABEZPEČOVAČE V EVROPĚ

- v minulosti probíhal vývoj prakticky v každém státě odděleně...
- důsledek → **technická nejednotnost** v oblasti zabezpečení
- dnes existuje v Evropě 24 různých (vzájemně nekompatibilních) vlakových zabezpečovačů:
 - CZ+SK: LS/MIREL,
 - DE+AT: PZB/LZB,
 - PL: SHP,
 - FR: TVM/KVB,
 - IT: BACC/RSDD,
 - ES: ASFA,...
- spolu s různými napájecími systémy překážka pro **interoperabilitu**
- cíl → zavedení jednotného evropského vlakového zabezpečovače

14

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

EUROPEAN TRAIN CONTROL SYSTEM

- součást evropského systému řízení železniční dopravy **ERTMS**
- cíl → **poslušný vlak** → jede jen tak rychle, jak je mu dovoleno, a zastaví tam, kde to má nařízeno
- **struktura ETCS:**
 - **stacionární (traťová) část:**
 - vlakové zabezpečovací zařízení
 - rádiová komunikace
 - systém detekce vlaků
 - **mobilní (vozidlová) část:**
 - vlakové zabezpečovací zařízení
 - rádiová komunikace
- pro komunikaci využívá ETCS rádiový systém **GSM-R...**



15

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

EUROPEAN TRAIN CONTROL SYSTEM

- **obecný princip funkce ETCS:**
 - vlaku je povolena jízda na základě tzv. oprávnění k jízdě – **MA (Movement Authority)** – vazba ETCS na SZZ/TZZ
 - traťová část vytvoří na základě dat o trati a oprávnění k jízdě tzv. **aktuální statický rychlostní profil (ASRP)**
 - ASRP je přenášen z traťové části na vozidlo
 - vozidlová část na základě ASRP a brzdících schopností vlaku vytvoří tzv. **dynamický rychlostní profil (DRP)** → brzděné křivky
 - vozidlová část ETCS průběžně porovnává skutečnou rychlost s DRP a při jeho překročení vydá povel k brzdění
- na vozidlo jsou přenášeny i další informace pro strojvedoucího
- existují tři různé **aplikační úrovně ETCS...**

16

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

ETCS LEVEL I

- bodový VZ s pevnou polohou prostorových oddílů (a s návěstidly)
- využívá **neproměnné** (přesná poloha) a **proměnné** (MA, static. rychlostní profil) **balízy**, příp. i dodatečné přenosové prvky...

17

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

ETCS LEVEL 2

- liniový VZ s pevnou polohou prostorových oddílů bez návěstidel
- využívá **neproměnné balízy** (přesná poloha) a datové spojení pomocí **GSM-R** (MA, statický rychlostní profil)
- bude/je instalováno na tratích v ČR...

18

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

ETCS LEVEL 3

- liniový VZ s pohyblivými prostor. oddíly prom. délky bez návěstidel
- obdobná funkce jako ETCS level 2, avšak vlak sám kontroluje svoji celistvost a údaje o poloze a délce průběžně hlásí zpět RBC
→ nejsou potřeba zařízení pro detekci vlaku (KO/PN)...

19

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

DMI ETCS L2 na lokomotivě 362.166
Zdroj: AŽD Praha, s. r. o.

20

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

PŘÍNOSY ETCS

- **interoperabilita** – jednotný VZ pro celou Evropu, pro konvenční i vysokorychlostní železniční systém
- **úspornost** – jediný systém s možností smíšeného provozu (STM)
- **bezpečnost** – vyšší míra bezpečnosti než u většiny stávajících VZ, eliminace nehod zaviněných lidským faktorem
- **efektivní využití dopravní cesty** a zvýšení propustnosti tratí díky možnosti zkrácení odstupu mezi vlaky apod.
- **možnost úspory energie** díky řízení vlaku na základě znalosti provozní situace daleko před vlakem
- **možnost zvýšení rychlosti** na vybraných tratích...

21

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

SYSTÉMY PRO AUTOMATIZACI JÍZDY VLAKU

- **stupně automatizace jízdy vlaku** („Grade of Automation“):
 - **GoA0** – bez automatizace (strojvedoucí se řídí návěstími)
 - **GoA1 – ATP** – vlakové zabezpečovače bez kontroly rychlosti,
– **ATC** – vlakové zabezpečovače s kontrolou rychlosti
 - **GoA2 – ATO** – systémy automatického vedení vlaku
 - **GoA3 – DTO** – provoz bez strojvedoucího, ale s doprovodem
 - **GoA4 – UTO** – provoz zcela bez vlakového personálu
- systémy ATO se používají pro **automatické řízení jízdy vlaku** (automatická regulace rychlosti, řízení trakce a brzdy)
- vyšší **bezpečnostní požadavky** jsou kladeny na ATP/ATC...
 - strojvedoucí nebo ATO řídí samotnou jízdu vlaku
 - ATP/ATC kontroluje činnost strojvedoucího, resp. ATO

22

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

SYSTÉMY PRO AUTOMATIZACI JÍZDY VLAKU

- dnes jsou systémy typu **ATO** („Automatic Train Operation“) používány zejména v systémech metra (požadavky na přesnost, ale i na železnici (přesnost, úspory energie,...))
- **příklady dnes používaných systémů:**
 - **ARR** – systém automat. regulace rychlosti používaný již od 80. let na vozidlech v ČR
 - **AFB** („Automatische Fahr- und Bremssteuerung“) – systém automat. regulace rychlosti používaný na vozidlech zejména v Německu
 - **CRV&AVV** – systém automatického vedení vlaku používaný v ČR
 - systémy metra – **CBTC** („Communications-Based Train Control“) → CBTC obvykle plní funkci ATP (vlakového zabezpečovače) i ATO...
 - př.: Praha – Metro A → systém **LZA** (soupravy 81-71M)



23

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

CRV&AVV – AUTOMATICKÉ VEDENÍ VLAKU

- **Centrální regulátor vozidla & Automatické vedení vlaku**
- **automatizač. systém pro řízení jízdy vozidel** na tratích v ČR
- vývojové pokračování systému **ARR**; výrobce: AŽD Praha, s. r. o.
- **schopnosti systému CRV&AVV:**
 - **navedení vlaku na určenou rychlost** (vyšší či nižší než rychlost okamžitá) a **udržování rychlosti – RR**
→ *přesnost udržované rychlosti do 1 km/h*
 - **cílové zabrzdění do určeného místa** (na nulovou i nenulovou rychlost) – **RCB** → *přesnost zastavení do 1 m (v metru cca 0,1 m – LZA)*
 - řízení vlaku takovým způsobem, aby do následující stanice či zastávky přijel **včas a s minimální spotřebou energie – RJD**
→ *přesnost zastavení cca 10 s, úspora energie cca 10 až 30 %*

24

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

CRV&AVV – AUTOMATICKÉ VEDENÍ VLAKU

- AVV ovládá prostřednictvím CRV:
 - trakční výkon hnacího vozidla
 - brzdu (samočinnou i (elektro)dynamickou)
- AVV čerpá informace:
 - z trati – poloha a směr jízdy (MIB-6, balízy ETCS, příp. GPS), kód VZ
 - z paměti – traťová mapa, jízdní řád, parametry vlaku (hmotnost, délka, brzdicí procenta) a číslo vlaku
- AVV spolupracuje se stávajícími VZ (LS90, ale např. i LZB...)
- AVV umí spolupracovat s ETCS (přebírá ASRP, vytváří DSP a řídí jízdu)
- AVV umí spolupracovat s DPV (Diagnostický počítač vozidla)



25

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera




26

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

DĚKUJI VÁM ZA POZORNOST!

Ing. Tomáš Michálek, Ph.D.
Katedra dopravních prostředků a diagnostiky
Oddělení kolejových vozidel
Dislokované pracoviště DFJP
Nádražní 547, 56002 Česká Třebová
E-mail: tomas.michalek@upce.cz
Telefon: +420 466 037 428
Web: <http://www.uni-pardubice.cz>



27
