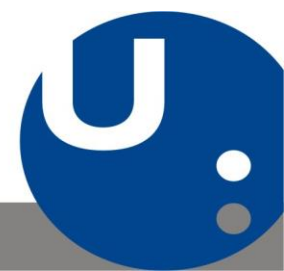




**Železnice jako
prostředek na cestě
k udržitelné mobilitě**

UNIVERZITA PARDUBICE
Dopravní fakulta Jana Pernera
Katedra elektrotechniky, elektroniky
a zabezpečovací techniky v dopravě



Proč železnice?

$$F_J = A + B \cdot v + C \cdot v^2$$

$$F_T = c_r \cdot F_N$$

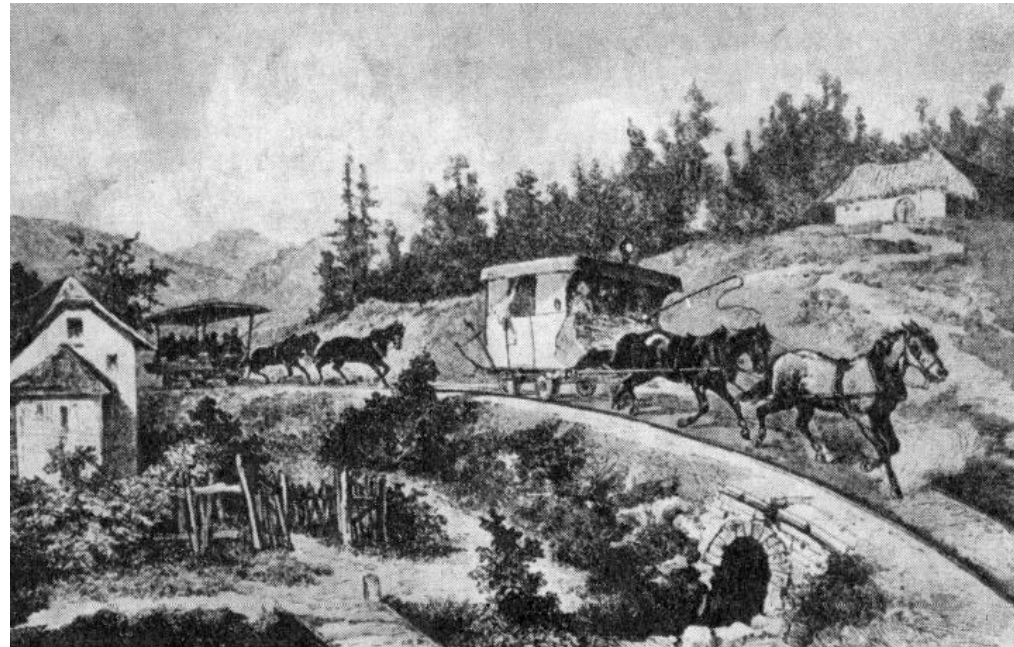
c_r – součinitel valivého odporu

$c_r = 0,001$ až $0,002$

pro ocelové kolo na kolejnici

$c_r = 0,01$ až $0,02$

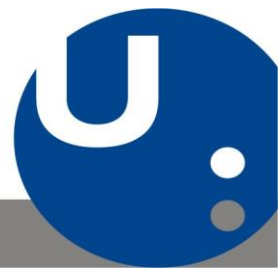
pro pneumatiku na asfaltu



Proč železnice?

Proč elektrický pohon drážních vozidel?

- Velký rozsah výkonů, momentů a otáček
- Jednoduchá konstrukce, obsluha a údržba, velká životnost
- Je proveditelný pro náročná prostředí
- Nízké ztráty naprázdno a vysoká účinnost
- Dobrá říditelnost, příznivý průběh momentu, snadná reverzace
- Možnost generátorického brzdění - rekuperace
- Příznivé ekologické ukazatele – nulové emise, nízká hlučnost



Proč železnice?

Měrná energetická spotřeba:

Osobní automobil 150 až 220 Wh/km/t

Autobus 80 až 120 Wh/km/t

Tramvaj 50 až 60 Wh/km/t

Příměstský elektrický osobní vlak 40 až 60 Wh/km/t

Dálkový elektrický osobní vlak 25 až 40 Wh/km/t



Proč železnice?

Významně menší nároky na plochu a lidské zdroje ve srovnání se silniční dopravou:

- Vysoká přepravní kapacita ($1 \text{ m}^2 / \text{os.}$ vs. $10 \text{ m}^2 / \text{os.}$)
- Významně nižší nároky na „dopravu v klidu“ – významně vyšší využití vozidel v průběhu dne



Zdroj: Peter Bednár: Pražský okruh – vrchol autosocialismu



Proč železnice?

Specifika nákladní dopravy

Významně efektivní jen v elektrické trakci (92% výkonů, 70% nákl.)

Efektivní hospodaření s lidskými zdroji

Energetická hospodárnost

Malé nároky na plochu

Bezpečnost

Malé emise

Předpoklad převodu 75% nákladní dopravy ze silnice na železnici

= úspora 8,5 TWh/rok

= úspora zdroje 1,2GW



Kde železnice?

Nejsilnější přepravní proudy:

Systemy elektrické kolejové dopravy přednostně s liniovým napájením – železnice

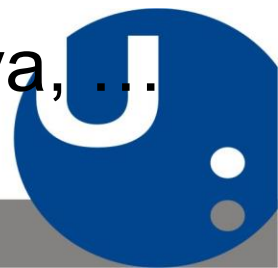
Investičně náročné (infrastruktura, vozidla)

Provozně efektivní po stránce přepravních výkonů, ekologie, komfortu a ekologie

Střední a nízké přepravní proudy

Silniční hromadná doprava, individuální automobilová doprava

Ale i další módy: MHD, cyklistická a pěší doprava, ...



Technické systémy železnice

- Infrastruktura
- Zabezpečovací systémy
- Energetické napájení
- Vozidla



Zabezpečovací systémy

- Konvenční vlakové zabezpečovače v ČR pracují na principu vyhodnocování obsazenosti traťového oddílu na principu kolejových obvodů (obsazenost oddílu = zkratování kolejnic nápravami vlaku)
- Mobilní část konvenčního zabezpečení – návěstní opakovač, kontrola bdělosti strojvedoucího, havarijní zastavení vlaku, vysoké kompetence strojvedoucího
- ETCS - Evropský vlakový zabezpečovač – komplexně řídí jízdu a zabezpečení vlaků v celkových souvislostech, kontrola adekvátních zásahů strojvedoucího a omezení jeho kompetencí (v ČR na vybraných tratích povinná výbava hnacích vozidel mobilní částí ETCS od roku 2025)
- Zabezpečovací zařízení jsou po technické stránce zařízení s extrémními nároky na bezpečný a spolehlivý provoz – velmi komplikuje a zdražuje technickou realizaci (podmínky bezpečných poruchových stavů, paralelní zpracování informací, ... - řeší odpovídající legislativa



Energetické napájení

V podmínkách ČR obecně připadají do budoucna v úvahu 3 systémy pro bezemisní železnici:

- Závislá trakce – liniové napájení
- Akumulátorové napájení
- Vodíkové pohony

Možné jsou hybridní varianty napájení:

- Vozidla s kombinovaným napájením z troleje a z akumulátoru
- Vozidla s vodíkovými palivovými články a s vyrovnávacími akumulátory



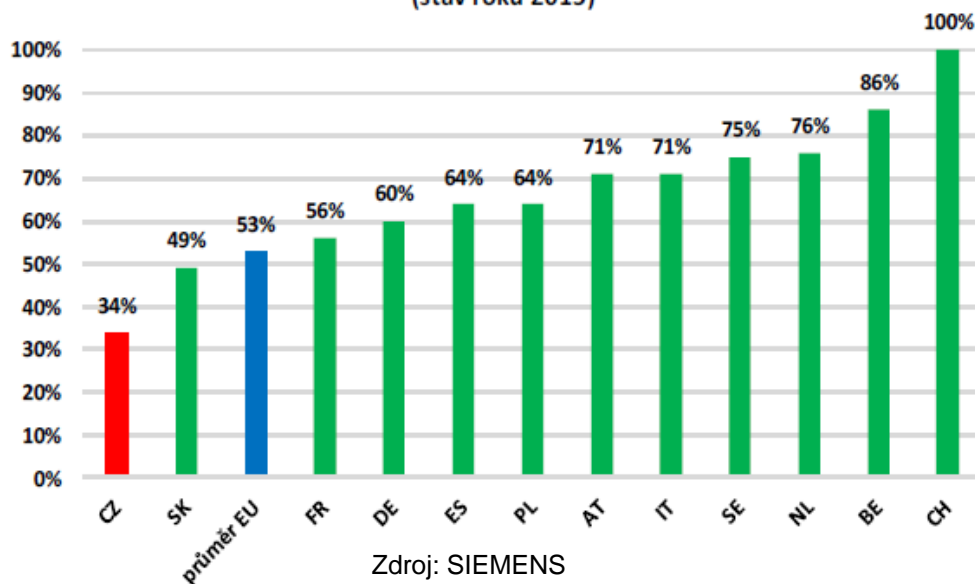
Energetické napájení – závislá trakce

V ČR počátky elektrifikace tratí ve 20. letech 20. století, velký rozvoj v 50. až 90. letech 20. století, nyní elektrifikace stagnuje.

železnice v ČR (rok 2017)	délka km	podíl %
elektrizace 1,5 kV	24	0,3
elektrizace 3 kV	1 818	19,0
elektrizace 15 kV	14	0,1
elektrizace 25 kV	1 381	14,4
elektrizace celkem	3 237	33,8
bez elektrizace	6 330	66,2
celkem	9 567	100,0

Zdroj: SIEMENS

Podíl liniově elektrizovaných železnic
(stav roku 2015)



Energetické napájení – závislá trakce

Trakční napájení 3 kV ss

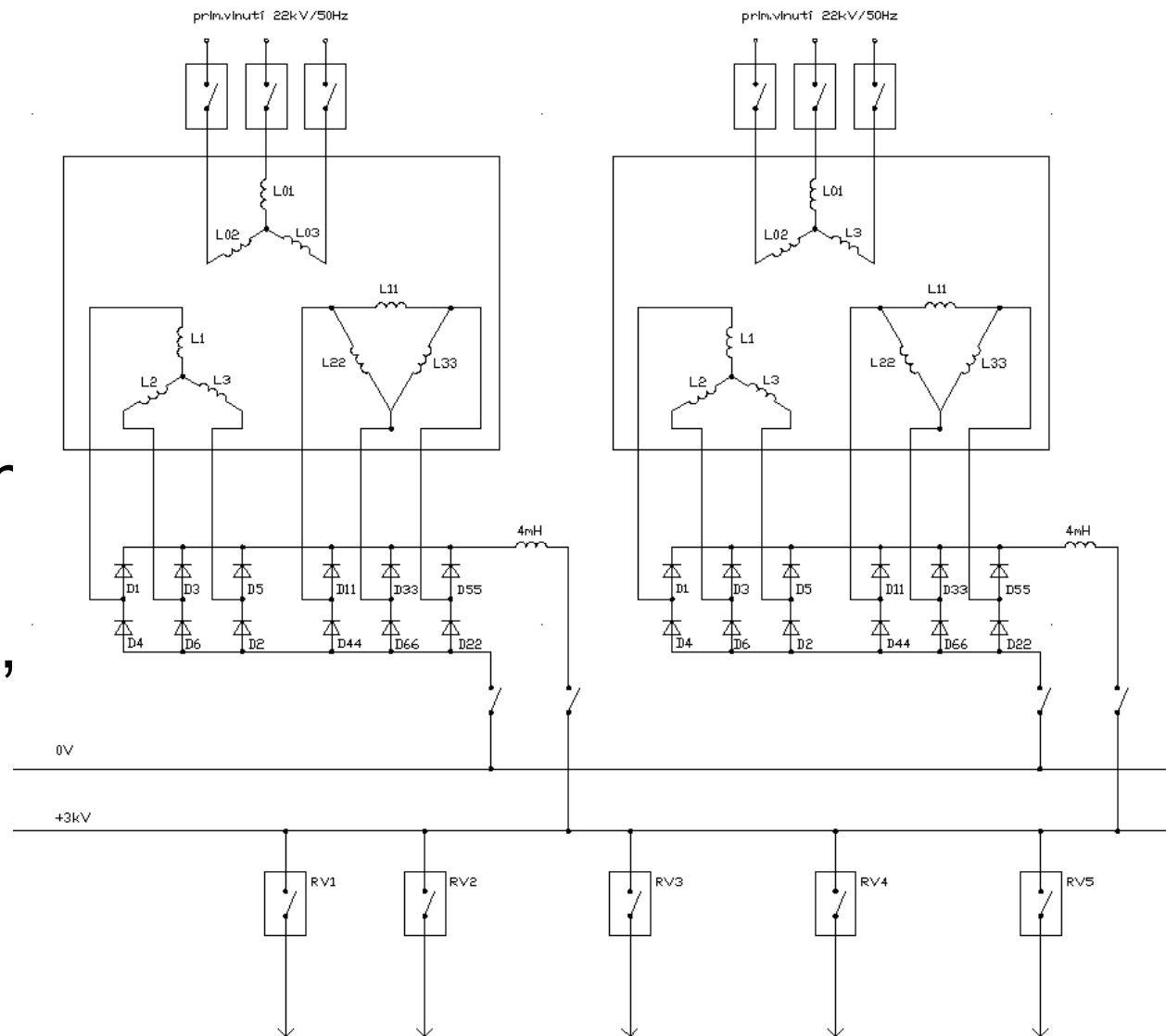
- Jednodušší konstrukce vozidel závislé trakce (absence transformátoru a vstupního měniče)
- Velké proudy, měkká síť, malá přenosová schopnost
- Velké ztráty při přenosu (až 30%), bludné proudy
- Malá vzdálenost měníren (cca. 20 km)



Energetické napájení – závislá trakce

Trakční napájení 3 kV ss – trakční měnárna

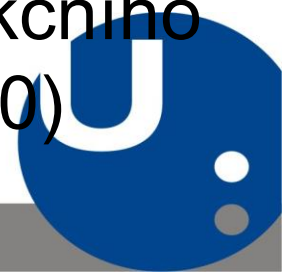
- Typické je použití dvanáctipulsních usměrňovačů (eliminace 5., 7., 17., 19. harmonické, nejnižší je 11. harmonická)



Energetické napájení – závislá trakce

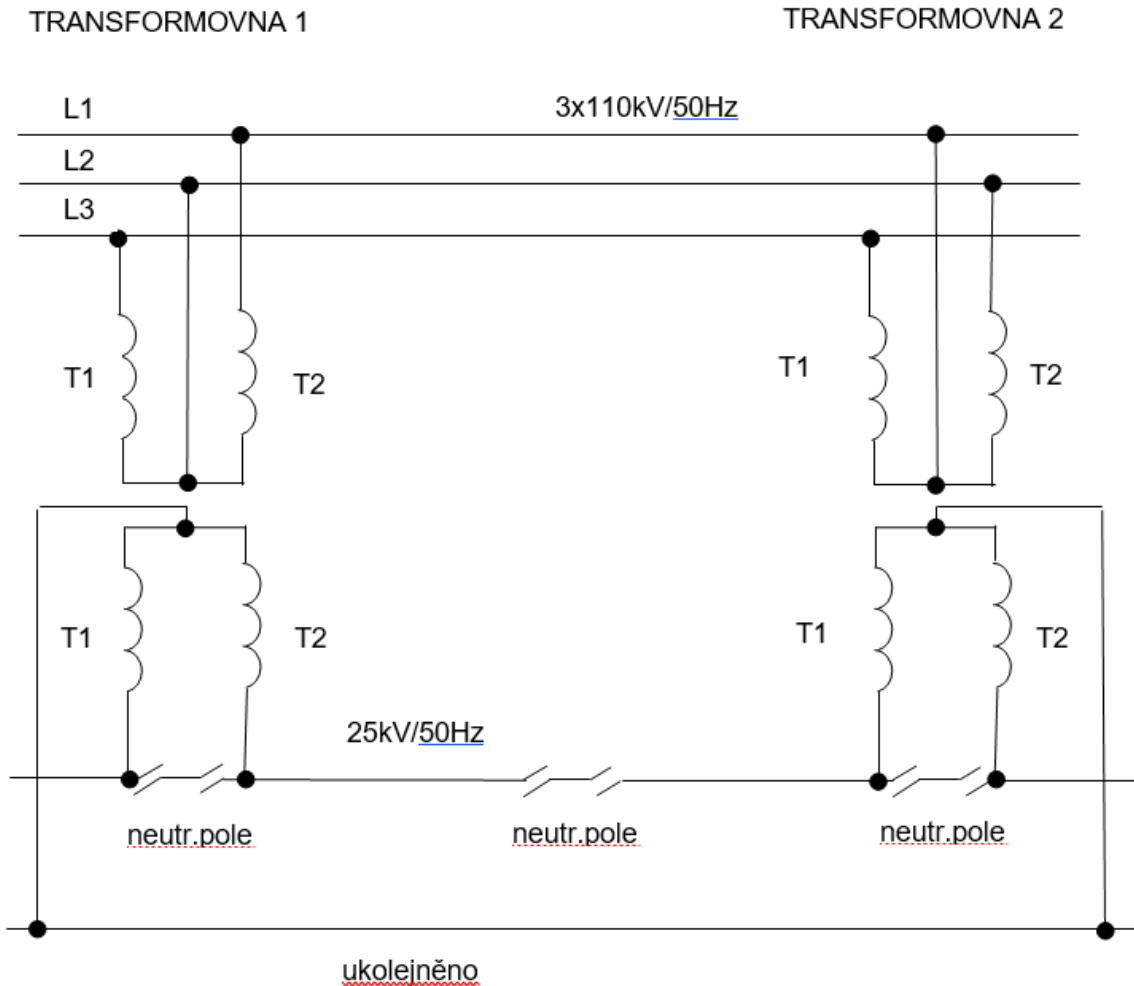
Trakční napájení 25 kV 50 Hz - konvenční koncepce

- Menší proudy, větší přenosová schopnost, menší úbytky napětí, menší spotřeba mědi
- Vysoká účinnost přenosu (nad 95%)
- Větší vzdálenost napájecích stanic (40 až 60 km)
- Nesymetrické zatížení energetické distribuční soustavy
- Nutnost vkládání izolovaných neutrálních polí – přerušování trakčního napájení vozidel
- Plánována a zahájena postupná konverze trakčního napájení 3 kV na 25 kV 50 Hz v ČR (do r. 2050)

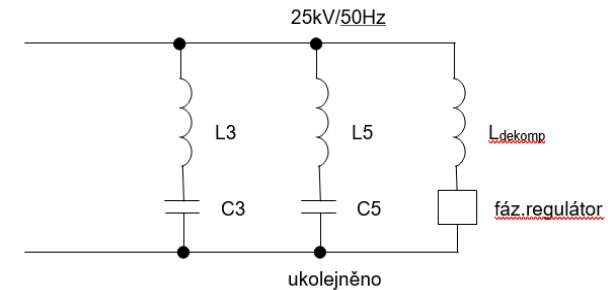


Energetické napájení – závislá trakce

Trakční napájení 25 kV 50 Hz - konvenční koncepce



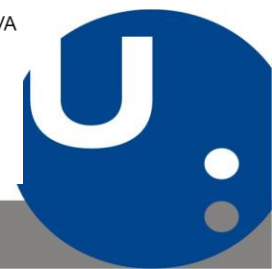
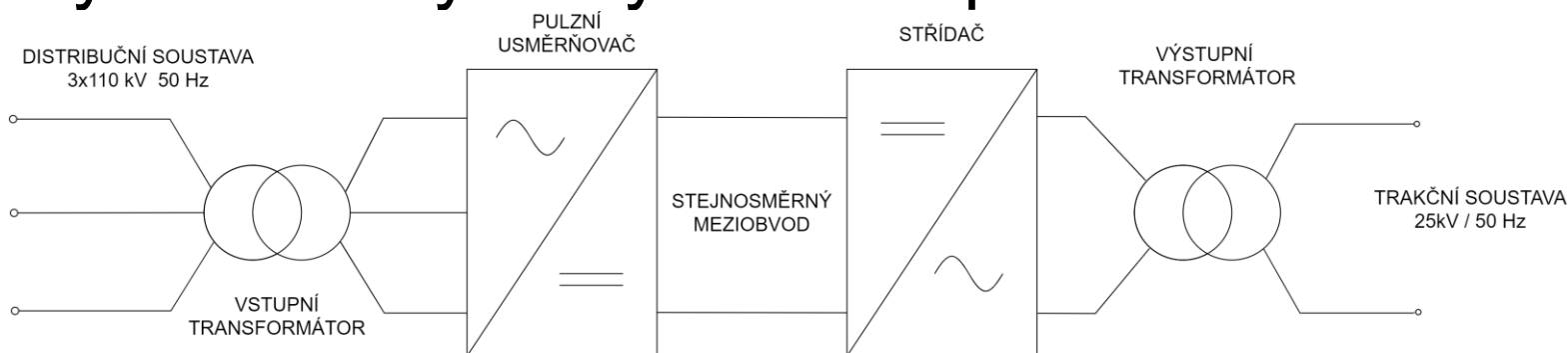
Filtračně
kompenzační
zařízení



Energetické napájení – závislá trakce

Trakční napájení 25 kV 50 Hz - měničová koncepce

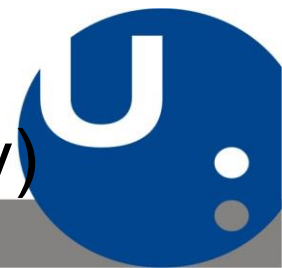
- Symetrické zatížení distribuční sítě se sinusovým odběrem proudu a říditelným účinníkem
- Možnost spojitého napájení trakční sítě, tj. absence neutrálních polí, menší úbytky napětí
- Možnost řízeného dělení činných a jalových výkonů mezi paralelně pracujícími napájecími stanicemi
- Významně vyšší využití rekuperace



Energetické napájení – závislá trakce

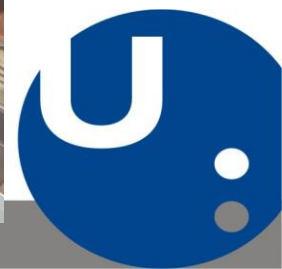
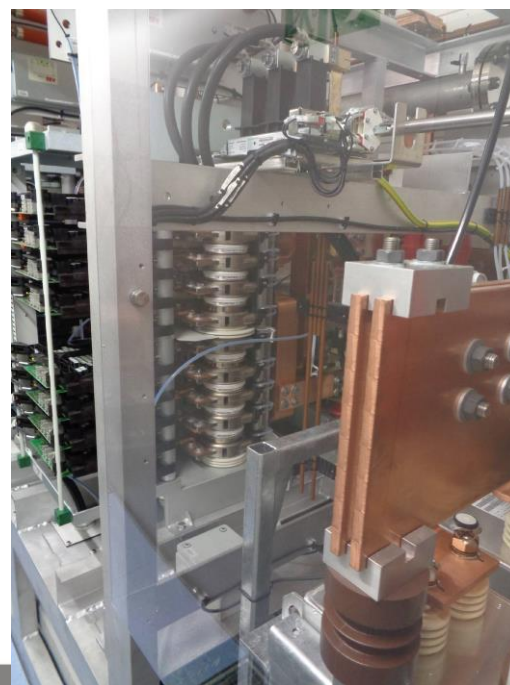
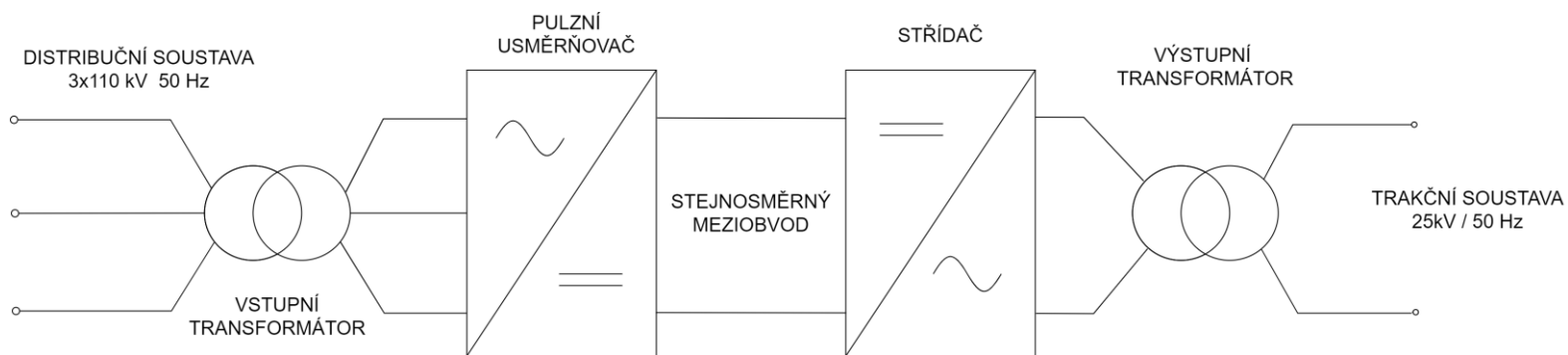
Trakční napájení 25 kV 50 Hz - měničová koncepce

- Použití techniky vícehladinových měničů, minimální harmonické zkreslení napětí a proudů
- Použité prvky IGCT nebo IGBT, vodní chlazení
- Účinnost měničových napájecích stanic cca. 97%
- Nastavitelné výstupní charakteristiky – řízení jalového výkonu velikostí napětí, řízení činného výkonu fázovým posunem napájecího napětí
- Zkratová ochrana měniče – přechod na mód proudového omezení
- Měničové moduly 15 MVA
- První dvě aplikace v ČR (trať Přerov – Břeclav)



Energetické napájení – závislá trakce

Trakční napájení 25 kV 50 Hz - měničová koncepce



Vozidla

Elektrické lokomotivy pro vozbu klasických souprav – střední Evropa

- Uspořádání Bo´Bo´ (čtyřnápravová)
- Univerzální použití (osobní i nákladní doprava)
- Trakční systémy 3 kV ss, 25 kV 50 Hz, 15V 16,7 Hz
- Střídavé trakční a pomocné pohony (ASM, PMSM)
- Výkon cca. 6 MW
- Měničová technika IGBT
- Max. rychlost 200 – 230 km/h
- ETCS
- TSI



Vozidla

Elektrické jednotky

- Individuální pohon dvojkolí, řazeny hnací a běžné podvozky, dvou až šestivozové soupravy
- Verze pro příměstskou a meziregionální dopravu
- Trakční systémy 3 kV ss, 25 kV 50 Hz (v ČR)
- Střídavé trakční a pomocné pohony (ASM, PMSM)
- Měničová výzbroj IGBT, měničová výzbroj na střeše
- Výkon cca. 0,5 až 0,8 MW/vůz
- ETCS
- TSI



Vozidla

Vozidla s kombinovaným napájením z troleje a z akumulátoru pro osobní dopravu

- Optimální využití v případě části trasy po elektrifikované a části po neelektrifikované trati
- Eliminace jízd dieselových vozidel po elektrifikovaných tratích
- Je vyřešena nabíjecí infrastruktura = trakční vedení
- Tato vozidla neblokují elektrifikaci tratí, umožňují plnohodnotný provoz na elektrifikovaných tratích
- Analogická řešení jsou využívána v trolejbusové dopravě
- Optimální řešení pro bezemisní provoz v ČR



Vozidla

Vozidla s kombinovaným napájením z troleje a z akumulátoru pro osobní dopravu

- Dvou až třívozové soupravy
- Kapacita akumulátoru cca. 500 až 700 kWh (LTO)
- Dojezd s akumulátorovým napájením 70 – 100 km
- Měničová a akumulátorová výzbroj na střeše
- Výkon cca. 0,5 až 0,8 MW/vůz, při akumulátorovém napájení výkon někdy snížen
- ETCS
- TSI

https://en.wikipedia.org/wiki/EV-E301_series#/media/File:JR_East_EV-E301_Series_BEMU_101.JPG



Vozidla

Vozidla s kombinovaným napájením z troleje a z akumulátoru pro osobní dopravu - realizace



<https://www.electrive.com/wp-content/uploads/2019/06/stadler-flirt-akku-batterie-zug-battery-train-min.png>



<https://zdopravy.cz/bombardier-a-rakouske-obb-ukazaly-prvni-jednotky-talent-3-skrine-se-vyrabi-v-cesku-9740/>



<https://zdopravy.cz/v-sasku-budou-jezdit-vlaky-na-baterie-na-prvni-trat-jsou-objednane-35771/>



<https://www.railjournal.com/fleet/mireo-emu-unveiled-by-siemens/>



Vozidla

Alternativní pohony na železnici v ČR

- Do 100 km trasy po neelektrifikované trati je v osobní dopravě optimálním řešením vozidlo s napájením z troleje a z akumulátoru (vysoká účinnost uložení energie, neblokuje elektrifikaci, elektrifikace = nabíjecí infrastruktura)
- Nad 100 km trasy je nutno posoudit alternativy liniová elektrifikace/vodík, avšak realita v ČR je taková, že po elektrifikaci několika vybraných tratí by byl reálný zcela bezemisní provoz vozidly závislé trakce v kombinaci s vozidly s napájením z troleje a z akumulátoru



Další výhledy

- **Vysokorychlostní tratě**
- **Zvyšování rychlosti na dálkových trasách na 200 km/h**
- **Vozidla s bezemisním pohonem**
- **Jednotná napájecí soustava 25 kV 50 Hz**
- **Další elektrifikace**
- **ETCS**
- **Nové tratě?**

