
Porovnanie systémov prenosu výkonu koľajových vozidiel s nezávislou trakciou

Martin Bučko, Ing.*

Katedra dopravnej a manipulačnej techniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.
E-mail: martin.bucko@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2257

Vladimír Samaš, Ing.

Katedra dopravnej a manipulačnej techniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.
E-mail: vladimir.samas@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2257

Ján Dižo, doc. Ing., PhD.

Katedra dopravnej a manipulačnej techniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.
E-mail: jan.dizo@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2560

Miroslav Blatnický, doc. Ing., PhD.

Katedra dopravnej a manipulačnej techniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.
E-mail: miroslav.blatnický@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2659

Comparison of power transmission systems of rail vehicles with an independent traction

Abstract: The article deals with independent traction rail vehicles, mainly the power transmission type. The advantages and disadvantages of different types of power transmission for independent traction vehicles are compared, including the use of a particular type in each category of rail vehicles and a schematic illustration.

Keywords: independent traction, a power transmission, a rail vehicle.

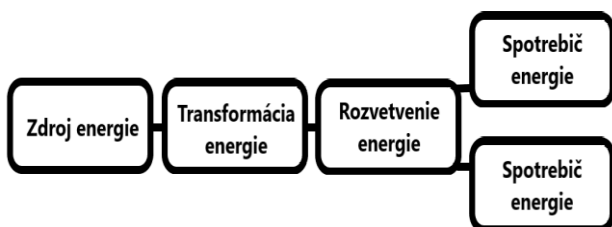
ÚVOD

Železničná osobná doprava je považovaná za lídra v oblasti udržateľnej mobility, najmä z hľadiska environmentálnej šetrnosti. V súčasnej ére rýchleho technologického rozvoja a neustálych zmien v dopravnom priemysle je kľúčové hľadať inovatívne riešenia, ktoré zvýšia efektivitu, spoľahlivosť a ekologickú udržateľnosť dopravných prostriedkov. Napriek tomu, že železničná doprava je vnímaná ako ekologická alternatíva, jej popularita medzi cestujúcimi je primárne ovplyvnená inými faktormi, ako sú vysoká úroveň komfortu, bezpečnosť, relatívne hustá dopravná sieť a rýchlosť prepravy. Jedným z hlavných cieľov súčasného vývoja v železničnej doprave je konštrukcia vozidiel, ktoré spĺňajú neustále prísnejšie požiadavky na výkon, komfort cestujúcich a environmentálnu udržateľnosť. Veľkou

výzvou je obmeniť zastaraný vozový park, ktorý v mnohých krajinách prekračuje svoju plánovanú životnosť za nové moderné koľajové vozidlá. Dopravcovia sa v snahe minimalizovať náklady často uchylujú k modernizácii existujúcich vozidiel s cieľom predĺžiť ich životnosť, avšak tieto riešenia málokedy vedú k požadovaným ekologickým a technologickým štandardom. Pri vozidlách nezávislej trakcie, ktoré nepotrebuju energiu z trakčného vedenia, sa tieto požiadavky sprisňujú rapidným tempom, preto sú výrobcovia nútení zlepšovať účinnosť komponentov, ktoré sa podieľajú pri prenose výkonu. Aj napriek prosperujúcemu vývoju jednotlivých typov prenosu výkonu nezávislej trakcie sa dopravcovia snažia nahradiť tento typ trakcie vozidlami so závislou trakciou z ekonomických a environmentálnych dôvodov.

1 PRENOS VÝKONU

Prenos výkonu predstavuje kľúčový prvok trakčných systémov koľajových vozidiel nezávislej trakcie, pričom jeho hlavnou úlohou je sprostredkovať prenos energie zo zdroja na hnacie dvojkolesie. Vo všeobecnosti sa pod pojmom prenos výkonu rozumie prenos energie zo zdroja do spotrebiča, pričom môže dochádzať k transformácii jedného druhu energie na iný alebo k rozvetveniu energie. V prípade koľajových vozidiel ide o proces prenosu točivého momentu z kľukového hriadeľa spaľovacieho motora na hnacie dvojkolesie. Keďže momentová charakteristika spaľovacieho motora nie je vhodná na priamy pohon dvojkolesia, prenos výkonu musí zabezpečiť transformáciu tejto charakteristiky na optimálnu trakčnú charakteristiku vozidla. Okrem toho je nevyhnutné, aby zabezpečoval plynulý rozjazd vozidla z nulovej rýchlosti a optimálny prenos energie počas celého prevádzkového režimu.



Obr. 1. Jednoduché schéma prenosu výkonu

Prenos výkonu sa delí do nasledujúcich skupín:

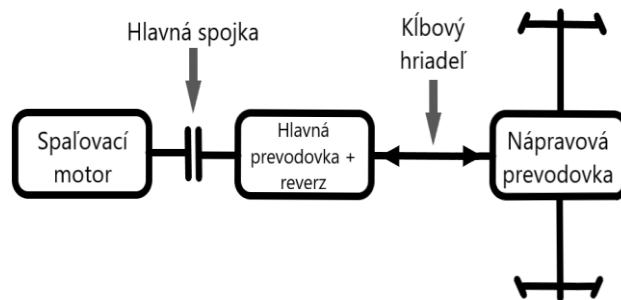
- mechanický,
- hydraulický.

Existuje ešte elektrický prenos výkonu, avšak tento typ sa používa pri vozidlách závislej trakcie.

1.1 Mechanický prenos výkonu

Mechanický prenos výkonu koľajových vozidiel je principiálne podobný ako v automobiloch. Pri automobiloch sa používa spiatka, avšak pri koľajových vozidlách, ktoré by mali mať rovnaké trakčné vlastnosti pre oba smery sa používa reverz. Tento prenos je relatívne jednoduchý a pozostáva z hlavných častí, ktoré zahŕňajú spaľovací motor, hlavnú spojku, hlavnú, reverzačnú a nápravovú prevodovku, kľbové hriadele. Spaľovací motor býva zvyčajne vznetrový. Hlavná spojka zabezpečuje v pohonom reťazci rozjazd z nulovej rýchlosti pomocou preklzovania a na následné radenie prevodových stupňov. Nakoľko koľajové vozidlá majú podstatne vyššiu hmotnosť ako cestné vozidlá, čas preklzu je vyšší a tepelná záťaž na hlavnú spojku je výrazne vyššia, ktorej musí odolať. Hlavná prevodovka je často 4-stupňová a má vysokú účinnosť, teda umožňuje použitie spaľovacích motorov z nákladných vozidiel. Nevýhodou je nekonštantný prenos výkonu a obmedzenie použitia pre ľahké a malé vozidlá. Bežne sa používajú dvoj-

alebo trojhriadeľové prevodovky s účinnosťou v rozsahu 96 % až 98 %. Taktiež sa používajú planétové prevodovky. Ovládanie prevodoviek je zvyčajne ručné, alebo automatické. Nápravová prevodovka je posledný člen v hnacom ústrojenstve, ktorá prenáša výkon na dvojkolesie. Výhodou mechanického prenosu výkonu je vysoká účinnosť, nenáročnosť údržby, nízka hmotnosť a priaznivá cena. Avšak má nekonštantný prenos výkonu a je určená na prenosi malých výkonov. Príkladom aplikácie tohto prenosu výkonu je motorový univerzálny vozík *MUV-69*, zhutňovač štrku *ZŠ-72*, alebo pluh na úpravu štrkového lôžka *PUŠL-71*.



Obr. 2. Hlavné komponenty mechanického prenosu výkonu

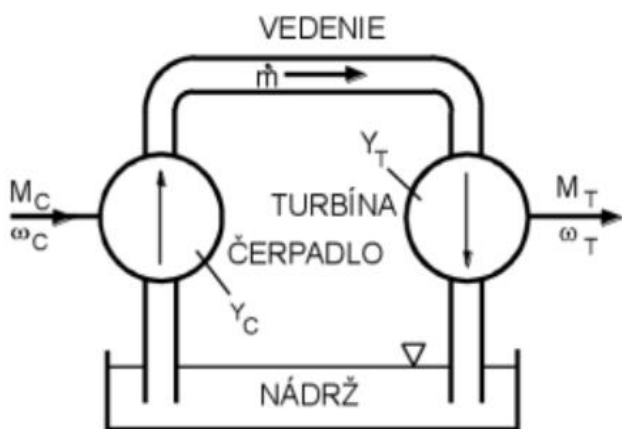
1.2 Hydraulický prenos výkonu

Hydraulický prenos výkonu predstavuje mechanizmus sprostredkovania prenosu krútiaceho momentu z primárneho zdroja na výstupný člen, pričom ako prenosové médium využíva prúdiacu kvapalinu. Tento typ prenosu môže, ale nemusí meniť krútiaci moment v závislosti od konkrétneho systému a jeho prevedenia. Hydraulické prenosi výkonu sa delia na dve hlavné skupiny: hydrodynamické a hydrostatické prenosi výkonu. Hydrodynamické systémy využívajú pohyb kvapaliny na prenos energie prostredníctvom hydrodynamických meničov, zatiaľ čo hydrostatické systémy prenášajú výkon prostredníctvom tlaku kvapaliny a menia ho na mechanickú energiu.

1.2.1 Hydrodynamický prenos výkonu

Hydrodynamický prenos výkonu je proces sprostredkovania prenosu energie, pri ktorom sa využíva kinetická energia prúdiacej kvapaliny, zatiaľ čo hydrostatický tlak v systéme zostáva pomerne nízky a stabilný. Základnými prvkami hydrodynamického prenosu výkonu sú hydrodynamické meniče (čerpadlá, turbíny a statory-reaktory). Hydrodynamické čerpadlá sú rotačné hydraulické zariadenia, ktoré premieňajú mechanickú energiu privádzanú vstupným hriadeľom na kinetickú energiu kvapaliny. Táto kvapalina následne vstupuje do turbíny, kde prebieha opačný proces premeny energie. Voľnobežný reaktor, umiestnený medzi čerpadlom a turbínou, zvyšuje účinnosť systému tým, že usmerňuje prúd kvapaliny a teda násobí krútiaci

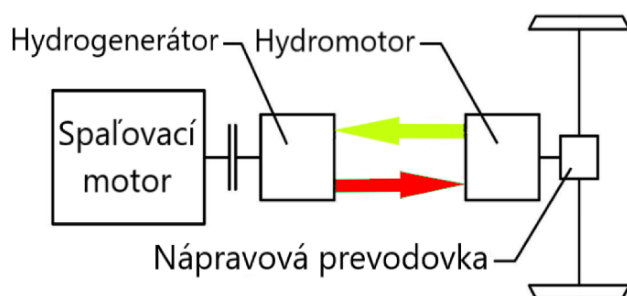
moment. Prepínanie meničov zabezpečujú olejové posúvače, pričom meniče v podstate fungujú ako prevodové stupne mechanickej prevodovky. Vďaka tomu je hydrodynamický prenos výkonu schopný zabezpečiť plynulú a efektívnu transformáciu energie v trakčných sústavách s účinnosťou až do 90%. Niekedy sa dodatočne používajú hydrodynamické spojky, ktoré majú podobnú konštrukciu ako hydrodynamické vodiče, avšak nedisponujú reaktorom a teda nenásobia krútiaci moment. Výhodami hydrodynamického prenosu výkonu sú napríklad plynulý rozjazd, vysoká odolnosť voči prehratiu, s tým spojená vysoká životnosť, alebo výrazné násobenie krútiaceho momentu, vhodnosť použitia pre vysoké výkony. Nevýhodami sú napríklad premenlivá účinnosť, zložitý prevodový pomer, vysoké nároky na tesnosť systému, problémy udržať konštantnú rýchlosť.



Obr. 3. Hydrodynamický okruh [4]

2.2.2 Hydrostatický prenos výkonu

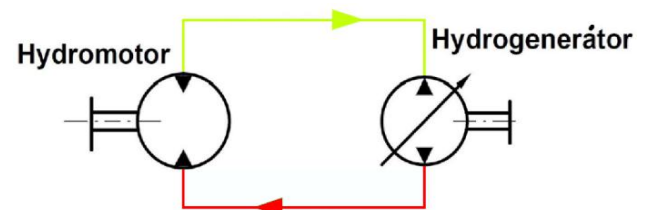
Pri hydrostatickom prenose výkonu premeňa hydrogenerátor, ktorý je často piestikový, mechanickú energiu od spaľovacieho motora na tlakovú energiu kvapaliny. Natlakovaná kvapalina je ďalej vedená sústavou trubiek a hadíc k hydromotoru, kde je jej energia premenená naspäť na mechanickú energiu. Výstupný hriadeľ hydromotora je spojený s nápravovou prevodovkou, cez ktorú je poháňané dvojkoľesie. Po odovzdaní energie prúdi kvapalina naspäť do hydrogenerátora a takto sa cyklus opakuje.



Obr. 4. Princíp činnosti hydrostatického pohonu

Pre pohon koľajovej techniky sa využívajú uzavreté hydrostatické obvody. V takomto obvode kvapalina

vytlačená hydrogenerátorom prúdi vysokotlakovou vetvou (až 450 bar), odovzdá tlakovú energiu hydromotoru a vracia sa nízkotlakovou vetvou priamo späť do sania hydrogenerátora. Tlak na saní je vždy vyšší ako 0,1 MPa. To zabezpečí, že sa na rozvodových doskách prevodníkov nevyskytuje kavitácia, a otáčky hydrogenerátora tak môžu byť podstatne vyššie ako v otvorenom obvode.



Obr. 5. Uzavretý hydrostatický obvod

Nevýhodou sú vysoké nároky na kvalitu oleja, ktorý priamo ovplyvňuje životnosť komponentov. Hydrostatický prenos výkonu motorových vozňov ponúka niekoľko výhod, medzi ktoré patrí nízka hmotnosť komponentov, priaznivá cena, nižšie rozmerové požiadavky na inštaláciu, možnosť intenzívneho brzdenia pohonom a flexibilita v konštrukčnom usporiadaní, jednoduchá zmena smeru. Významným prínosom je aj charakteristika výstupného krútiaceho momentu. Pri konštantných otáčkach spaľovacieho motora je riadený prietok kvapaliny k hydromotoru pomocou naklápania dosky hydrogenerátora, čo predstavuje primárnu reguláciu. Ak však nie je dosiahnutá požadovaná rýchlosť vozidla, použijú sa regulačné hydromotory. Znižovanie ich geometrického objemu vedie k nárastu otáčok, pričom prietok a tlak v systéme zostávajú nezmenené. Krútiaci moment na výstupnom hriadeľ hydromotora má takto plynulý hyperbolický priebeh, čo je ideálne pre efektívne využitie výkonu spaľovacieho motora. Jednou z nevýhod hydrostatického prenosu výkonu je relatívne nižšia účinnosť a životnosť v porovnaní s mechanickými systémami prenosu výkonu. Ďalším problémom je nižšia tepelná kapacita uzavretého hydrostatického okruhu, ktorá vyžaduje chladenie a občasnú výmenu prevádzkovej kvapaliny, alebo zložitost' olejového hospodárstva. Tento systém nie je ideálny pre vozidlá, ktoré vyžadujú vysoké prevádzkové rýchlosti, pretože na dosiahnutie požadovaného regulačného rozsahu by bolo potrebné nasadiť veľké hydrostatické prevodníky. Z týchto dôvodov sa hydrostatický pohon využíva najmä pre vozidlá s nízkou rýchlosťou, ako sú menšie motorové vozne a úzkorozchodné lokomotívy v banskom priemysle.

ZÁVER

Koľajové vozidlá nezávislej trakcie predstavujú dôležitú súčasť dopravného systému, najmä v oblastiach s nedostatočnou elektrifikáciou a v

špecifických segmentoch dopravy, ako je regionálna osobná doprava a manipulačné práce. Efektívnosť a ekologická udržateľnosť týchto vozidiel je výrazne ovplyvnená voľbou prenosu výkonu, ktorý zohráva kľúčovú úlohu pri optimalizácii trakčných vlastností, prevádzkovej spoľahlivosti a celkovej účinnosti pohonných systémov. Analýza jednotlivých typov prenosu výkonu preukázala, že mechanický prenos výkonu je vhodný pre vozidlá s nižšími výkonovými požiadavkami, kde je rozhodujúce vysoká účinnosť a nízke prevádzkové náklady. Naproti tomu hydrodynamický prenos výkonu vyniká schopnosťou zabezpečiť plynulý rozjazd a vysokú odolnosť voči prehrievaniu, čo ho predurčuje na použitie vo výkonnejších trakčných systémoch. Hydrostatický prenos výkonu sa vyznačuje kompaktným konštrukčným riešením a možnosťou presnej regulácie výstupného momentu, avšak jeho uplatnenie je obmedzené na vozidlá s nižšou prevádzkovou rýchlosťou. Budúci výskum a vývoj v oblasti trakčných pohonov nezávislej trakcie by sa mal zamerať na integráciu hybridných riešení a alternatívnych zdrojov energie s cieľom zvyšovať ich ekologickú udržateľnosť a energetickú efektívnosť. Kombinácia moderných systémov a inovatívnych prenosových mechanizmov môže viesť k výraznému zníženiu emisií a prevádzkových nákladov. Vzhľadom na rastúcu potrebu udržateľných dopravných riešení bude dôležité naďalej rozvíjať a optimalizovať technológie prenosu výkonu tak, aby boli schopné spĺňať náročné požiadavky moderného železničného sektora.

Pod'akovanie

Táto práca vznikla vďaka podpore projektu KEGA 024ŽU-4/2024: „Prehlbovanie vedomostí študentov univerzitného štúdia v oblasti konštrukcie dopravných prostriedkov realizáciou odborných a vedeckovýskumných aktivít v odbore“ a projektu KEGA 031ŽU-4/2023: „Rozvoj kľúčových kompetencií absolventa študijného programu Vozidlá a motory.“

LITERATÚRA

- [1] BUČKO, M. (2024): *Štúdia motorového vozňa pre regionálnu prevádzku s jednonápravovými podvozkami*. ŽU v Žiline, SjF, KDMT, č.: 2823092024003, 83 s.
- [2] KALINČÁK, D. (2008): *Koľajové vozidlá I. 1.* vyd. - Žilina: Žilinská univerzita, 292 s., ISBN 978-80-8070-864-1.
- [3] HELLER, P. (2017): *Kolejová vozidla I.* Západočeská univerzita v Plzni, 186 s., ISBN 978-8026-1069-37.
- [4] STRÁŽOVEC, P. (2014): *Hydrostatické pohony koľajových vozidiel*. ŽU v Žiline, SjF, KDMT, č.: 28230920141032, 71 s.
- [5] HELLER, P. (2019): *Kolejová vozidla II.* Západočeská univerzita v Plzni, 381 s., ISBN 978-8026-1077-36.
- [6] HORVÁTH, M. (2014): *Trakčné charakteristiky vybraných koľajových vozidiel nezávislej trakcie*. ŽU v Žiline, SjF, KDMT, č.: 28230920141012, 54 s.
- [7] BUČKO, M. - BARTA, D. - DIŽO, J. - BLATNICKÝ, M. - LOVSKA, A. - KOWALSKI S. (2025): *Analysis of the current state of motor units with single-axle bogies*. In: *Transportation Research Procedia* (to be published).
- [8] Baek, B. - Lim, O. (2022): *Performance improvement of independent high pressure pump for DME engine*. In: *International Journal of Automotive Technology*, Vol. 23, No. 5, pp. 1365-1371, ISSN 1229-9138.
- [9] SPIRYAGIN, M. - WOLFS, P. - WU, Q. - COLE, C. - MCSWEENEY, T. (2022): *What is the right way to model traction power distribution in complex heavy haul locomotive models?* In: *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, pp. 342-351, ISSN 2195-4356.