

Ondřej Černý¹, Radovan Doleček², Jaroslav Novák³, Petr Sýkora⁴, Václav Lenoč⁵

Experimentální vozidlo s volně otáčivými koly pro rozchod 600 mm

Klíčová slova: *experimentální kolejové vozidlo, řízení, PMSM (synchronní motor s permanentními magnety), nezávisle otáčivá kola, bateriový pohon*

Úvod

Dnešní požadavky kladené na moderní prostředky hromadné dopravy, vedou výrobce těchto vozidel ke speciálním konstrukcím a způsobům řešení pohonů takovýchto vozidel. Významnou měrou je to zapříčiněno stále více se měnícími požadavky a standardy v osobní i nákladní dopravě, a to jak kolejové, tak i silniční. Nejvíce se tyto změny projevují u prostředků hromadné dopravy, kde kromě velkého množství elektroniky, sloužící například pro zvýšení bezpečnosti osob nebo týkající se informačních systémů pasažérů, dochází i k úpravám v konstrukci do současnosti používaných vozů. U nových vozů hromadné dopravy je provozovateli vyžadována minimální časová náročnost pro nástup a výstup a pohyb pasažérů uvnitř vozidla.

¹ Ing. Ondřej ČERNÝ, Ph.D.; narozen 1980; Univerzita Pardubice, DFJP, obor Dopravní prostředky a infrastruktura, specializace elektrotechnika, se sídlem v Pardubicích; současné zaměření: Elektrické pohony, regulační technika, výkonová elektrotechnika; pracoviště: Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, Katedra elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací techniky v dopravě, Studentská 95, 532 10 Pardubice, e-mail: ondrej.cerny@upce.cz

² Doc. Ing. Radovan DOLEČEK, Ph.D.; narozen 1971; Univerzita Pardubice, DFJP, obor Dopravní prostředky a infrastruktura, specializace elektrotechnika, se sídlem v Pardubicích; současné zaměření: EMC, trakční systémy, elektrické pohony; pracoviště: Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, Katedra elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací techniky v dopravě, Studentská 95, 532 10 Pardubice, e-mail: radovan.dolecek@upce.cz

³ Prof. Ing. Jaroslav NOVÁK, CSc.; narozen 1966; Univerzita Pardubice, DFJP, obor Dopravní prostředky a infrastruktura, specializace elektrotechnika, se sídlem v Pardubicích; současné zaměření: Elektrické pohony, řídicí a regulační technika; pracoviště: Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, Katedra elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací techniky v dopravě, Studentská 95, 532 10 Pardubice, e-mail: jaroslav.novak@upce.cz

⁴ Ing. Petr SÝKORA; narozen 1983; České vysoké učení technické v Praze, obor Silnoproudá elektrotechnika, specializace Elektrické stroje, přístroje a pohony; současné zaměření: elektrické pohony, elektrická trakce; pracoviště Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, Katedra elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací techniky v dopravě; Studentská 95, 532 10 Pardubice; e-mail: petr.sykora@upce.cz

⁵ Ing. Václav LENOCH; narozen 1984; Univerzita Pardubice, DFJP, obor Dopravní prostředky a infrastruktura, specializace elektrotechnika, se sídlem v Pardubicích; současné zaměření: Řídicí systémy kolejových vozidel, programování v Labview; pracoviště: Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, Katedra elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací techniky v dopravě, Studentská 95, 532 10 Pardubice, e-mail: vaclav.lenoch@upce.cz

Usnadnění nástupu a výstupu je dosahováno, kromě zvýšeného počtu dveří, pomocí konstrukce nízkopodlažních nástupních míst, usnadněný pohyb pasažérů po vozidle je dosažen pomocí podlahy ve stejné výšce, pokud možno bez schodových hran.

Velká skupina těchto úprav je spojena se zkvalitňováním jízdních vlastností vozidla, ale i poměrně významná skupina se zabývá zvýšením dostupnosti této dopravní techniky pro osoby se sníženou pohybovou schopností. Jak se postupně mění společenské pohledy, tak mezi tyto méně pohyblivé osoby patří kromě seniorů již i děti předškolního věku a část mladistvých, pro které například nástup nebo výstup z vozidla hromadné dopravy je mnohdy komplikovaný.

U kolejových vozidel lehké trakce je vytvoření plně nízkopodlažního vozidla velmi obtížně technicky realizovatelné. Zde převládá standardní použití pevné nápravy spojující pravé a levé kolo, která není ovšem vhodná z hlediska výšky podlahy pro plně nízkopodlažní provedení jednotky. Právě díky pevné nápravě a vhodnému profilu železničního kola je u standardních provedení zajištěno optimální vedení dvojkolí v kolejovém kanálu.

Z těchto velmi stručně nastíněných důvodů jsou provozovateli systémů hromadné dopravy požadovány od výrobců nové vozy buď částečně nízkopodlažní nebo spíše vozy plně nízkopodlažní. Vozidel, která splní tento požadavek, není v současné době dostatečně velký výběr, a proto tato problematika stojí v popředí vývoje hlavních světových výrobců. Mnohdy se navíc tyto konstrukce potýkají ještě s dalšími požadavky provozovatele, kterými jsou vysoká spolehlivost a energetická i provozní úspornost po celý životní cyklus vozidla.

V současné době se jako jedna z velmi progresivních možností konstrukce naskytá využití individuálního pohonu volně otáčivými koly a kola místo pevné nápravy spojit pouze „softwarově“. Tato konstrukce díky dnešním pohonům umožní vytvořit plně nízkopodlažní vozidlo s velkým trakčním výkonem, který je již mnohdy spíše limitován adhezními silami mezi kolem a kolejnicí. Popisovaná aplikace samozřejmě má i výhody a nevýhody, kde výhody převyšují. Například tato konstrukce umožňuje zoptimalizovat tažné síly, aby bylo maximálně využito možných adhezních sil každého kola.

Kolejové vozidlo uvedené konstrukce bylo již v České republice vyrobeno firmou Škoda Plzeň a.s. a nasazeno například jako tramvaj 15T pro Hlavní město Praha – ForCity. Během provozu tohoto vozidla, i přes rozsáhlou přípravnou vývojovou část vozidla, vznikly nové poznatky pro řešení a podmínky k optimalizaci, které je vhodné nejen simulačními, ale i experimentálními metodami dále zkoumat a analyzovat. Ze zmíněných důvodů je v současnosti na DFJP Univerzity Pardubice ve spolupráci s VÚKV Praha a.s. a ŠKODA ELECTRIC a.s. stavěno experimentální kolejové vozidlo, které bude sloužit pro nezávislé zkoumání dané problematiky.

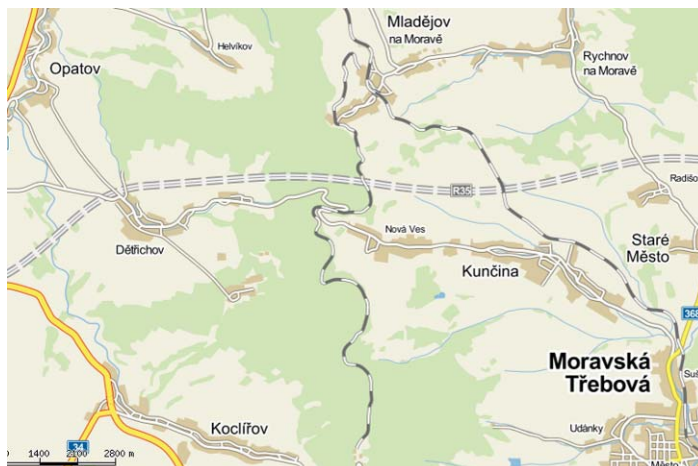
Záměr

Jak již bylo uvedeno, vznikly provozem plně nízkopodlažní tramvaje firmy ŠKODA Plzeň a.s. nové výzkumné a vývojové úkoly. Za tímto účelem byla pracovníky VÚKV navržena speciální konstrukce experimentálního kolejového vozidla, která je poměrovou zmenšeninou trakčního podvozku vozidla tramvaje 15T.

Vytyčeným cílem prováděného výzkumu je najít ještě vhodnější strukturu řízení, která by vylepšila stávající vlastnosti existujícího vozidla firmy Škoda. Tato struktura

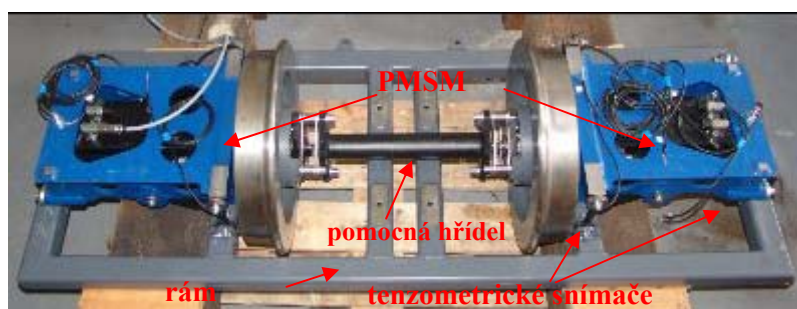
řízení by měla přinést další zlepšení jízdních a provozních vlastností, které by mohly být aplikovány do nových řešení řízení nebo i zpětně do stávajících struktur řízení existujících tramvají tohoto typu firmy Škoda.

Experimentální kolejové vozidlo v daném provedení bylo navrženo z důvodu snížení finančních nákladů na stavbu takového vozidla a usnadnění přístupu na experimentální dráhu. Jako experimentální dráha byla vytipována trať Mladějovské průmyslové dráhy, která není zatížena pravidelným provozem s velkou hustotou a nabízí široké spektrum jízdních profilů, poloměrů oblouků a stoupání přes 30‰.



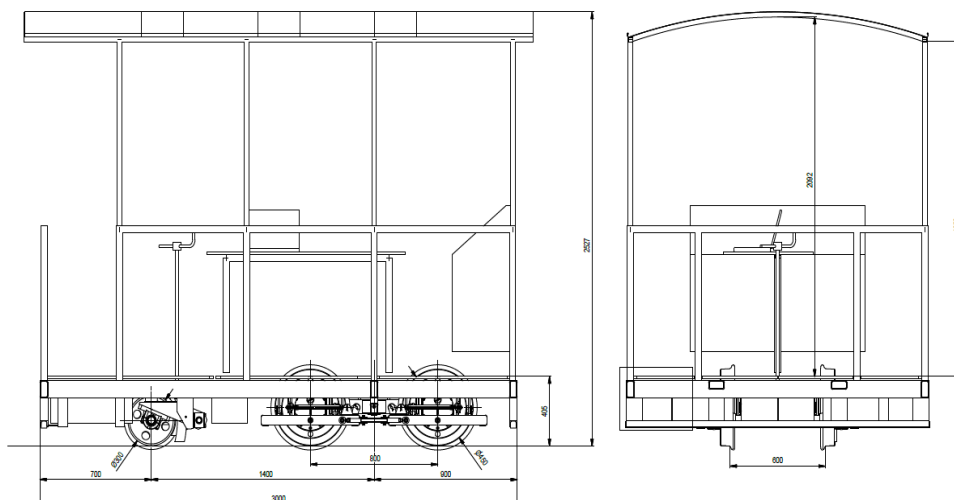
Obr. 1. Mladějovská průmyslová dráha

Experimentální kolejové vozidlo je navrženo pro jízdu včetně personálu zajišťujícího měření a obsluhu. Navržená mechanická konstrukce se od stávajícího schváleného vozidla liší mechanickou konstrukcí uchycení jednotlivých kol (včetně motorů), která je navržena pro měření působících sil ve všech osách, a to na každé kolo.



Obr. 2. Část otočného podvozku během testování v laboratoři

Vozidlo obsahuje otočný podvozek a jedno pevné dvojkolí umístěné na hlavním nosném rámu vozidla, které nahrazuje druhý otočný podvozek. Toto dvojkolí je vloženo s cílem usnadnění modelování mechanických jízdních vlastností vozidla a není poháněno. Celkové rozměry vozidla jsou 3400 x 1900 x 2527 mm (d x š x v) a celková hmotnost vozidla bez osádky je téměř 2 t.



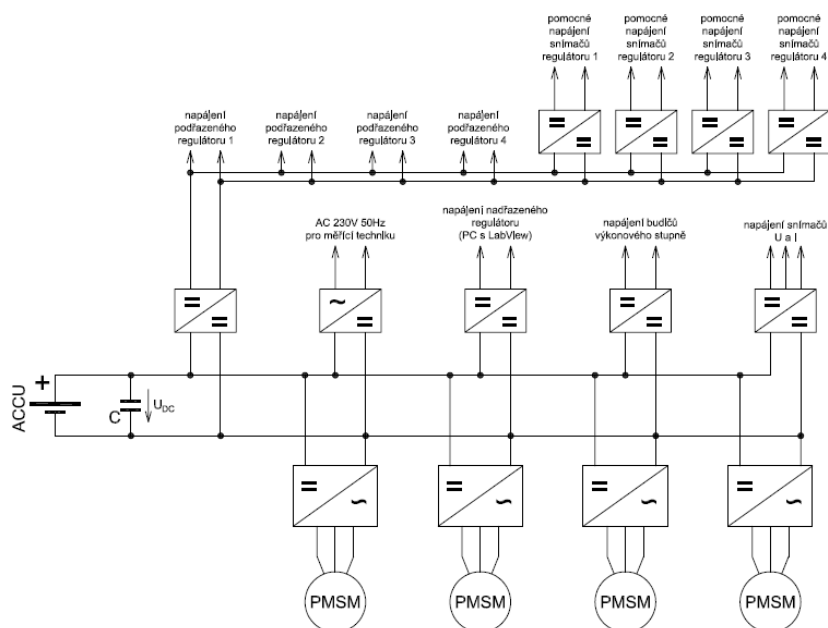
Obr. 3. Experimentální kolejové vozidlo

Elektrická výzbroj

Po konstrukční stránce byl součástí návrhu stavěného experimentálního kolejového vozidla proveden i návrh elektrické výzbroje pro potřeby zajištění jízdních vlastností a možností vyplývajících z takového typu vozidla.

Vozidlo kromě unikátní mechanické konstrukce, která umožňuje měření reakcí a sil na jednotlivých poháněných kolech a umožňující měnit vzájemnou polohu jednotlivých kol v podvozku, je netypické samotným typem a topologií pohonu. K pohonu vozidla je použita čtveřice nezávislých měničů a motorů, které jsou napájeny ze společné trakční baterie o jmenovitém napětí 96 V, ze které jsou i napájeny zbylé systémy včetně citlivé měřicí techniky osazené na vozidle. Díky společnému napájení je tak možné úsporně zacházet během jízdy s dostupnou energií, neboť vozidlo umožňuje během jízdy ve sklonu rekuperovat, případně uměle zvyšovat zátěž vozidla, kdy jedna dvojice kol je poháněná a druhá brzděná. Tuto strukturu lze využít i při testování vlivu řízení.

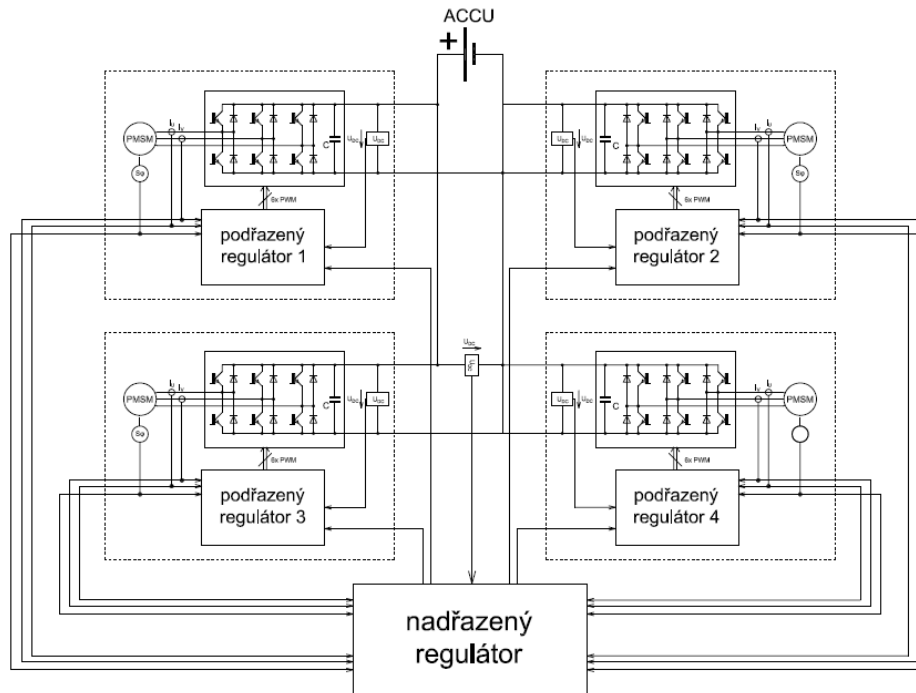
Díky širokému spektru přístrojů a systémů na vozidle je elektrická výzbroj navržena s řadou DC/DC měničů přímo napájených z trakční baterie, které zajišťují jednotlivé požadované napěťové hladiny. Na vozidle je tak instalována dvojice DC/DC měničů ($P_{\max} = 100 \text{ W}$ a 200 W) zajišťující napájení nadřazeného regulátoru a čtveřice regulátorů jednotlivých pohonů, dvojice DC/DC měničů ($P_{\max} = 2 \times 30 \text{ W}$) vytvářejících symetrické napětí pro snímače proudu a napětí, DC/DC měnič pro napájení budičů výkonových tranzistorů IGBT ($P_{\max} = 100 \text{ W}$) a jeden měničový systém, který mění napětí trakční baterie 96 V na AC 230 V 50 Hz s průběhem napětí blízcím se sinusoidě. Tento měnič je zvolen o výkonu 500 W pro potřeby napájení měřicí techniky a aparatury.



Obr. 4. Blokové schéma hlavní elektrické výzbroje

Instalované velké množství střídačů ovšem zvyšuje i problém vzájemného ovlivňování. Touto problematikou bylo nutné se během návrhu vozidla také zabývat, neboť jenom pro vyhodnocování sil na trakčním podvozku je umístěno 80 ks odporových tenzometrů, jejichž měrné signály jsou v řádech jednotek mV. Každé rušení, které by nebylo dobře utlumené, by způsobovalo významné ovlivnění výsledků měření. Z tohoto důvodu je v samotné elektroinstalaci zařazeno větší množství filtračních členů (LC filtry, ferity atd.).

Ze stejných důvodů bylo nutné při návrhu trakčních měničů, využívajících tranzistorů IGBT a modulových budičů, neřešit pouze problematiku samotné trakce, ale i rušení a ovlivňování všech vedení, které jsou na vozidle umístěny. S tímto vzájemným ovlivňováním bylo nutné vyřešit i problém zemnicího uzlu pro analogovou část, kterou díky složitosti provázání jednotlivých regulátorů a nadřazeného systému měřící aparatury nebylo snadné vyřešit pouze dle doporučených postupů známých z problematiky EMC.



Obr. 5. Blokové schéma řídicího systému

Závěr

V současné době je problematika kolejových vozidel s nezávisle otáčivými koly v popředí zájmů mnohých světových výrobců. Zároveň vznikají nová kolejová vozidla lehké trakce takovéto konstrukce, na kterých jsou využity jak nové konstrukční metody, tak i moderní koncepční struktury řízení jednotlivých pohonů. Díky tomuto nasazování do provozu vznikají nové poznatky a problémy, které je nutné dále řešit.

Za tímto účelem je navrženo experimentální kolejové vozidlo speciální konstrukce s nezávisle otáčivými koly, které jsou bezpřevodkově poháněny synchronními motory s permanentními magnety. Toto vozidlo je v současné době ve fázi finalizace.

Během této projektové - konstrukční činnosti jsou navrhovány a studovány řídicí algoritmy, které budou ověřovány na zkušební dráze s rozchodem 600mm. Na základě získaných dat bude proveden rozbor nově získaných poznatků o jednotlivých vlivech a odlišnostech koncepcí řízení, které mají vliv na vedení vozidla v kolejové dráze a ovlivňování trakčních vlastností.

Poděkování

Příspěvek vznikl za podpory Technologické agentury České republiky (TAČR) pod názvem Výzkum jízdních vlastností a řízení pohonů trakčních kolejových vozidel s nezávisle otáčivými koly, číslo: TA01030391.

Literatura

- [1] Youn Hee Lee, Nasiri A., “Analysis and modeling of conductive EMI noise of power electronics converters in electric and hybrid electric vehicles“, in: *Applied Power Electronics Conference and Exposition*, 2008, pp. 1952-1957, Austin, 2008, ISSN 1048-2334.
- [2] Keiichiro Kondo, Anti-slip control technologies for the railway vehicle traction in: *Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC)*, 2012, pp. 1306-1311, ISBN 978-1-4673-0953-0
- [3] Kubín J., Richter A., Efficiency of Mechanical Energy Recovery from a Tram by Different Input Conditions, in: *Power Electronics and Motion Control Conference (EPE/PEMC)*, 2012, Page(s): DS1c.6-1 - DS1c.6-5, ISBN: 978-1-4673-1970-6
- [4] Doleček R., Černý O., Lenoč V., Schejbal V., Disturbing effects in rail vehicle traction drives, in: *Radioelektronika*, 2012, Page(s): 1 – 4, ISBN: 978-1-4673-0659-1

Praha, březen 2013

Lektoroval: doc. Ing. Karel Hlava, CSc.