

TRAKČNÍ PODVOZEK PRO ÚZKOROZCHODNOU TRAMVAJ

Petr Heller¹, Jiří Schön², Jan Beno³, Karel Ráž⁴

¹ZČU RTI, pheller@rti.zcu.cz

²ZČU RTI, schon.jiri@email.cz

³ZČU RTI, benojan@rti.zcu.cz

⁴ZČU RTI, kraz@rti.zcu.cz

TRACTION BOGIE FOR NARROW GAUGE TRAM

Abstract: *The article describes the research and development of a traction, rotating bogie for a low-floor tram. It draws attention to problems that had to be resolved during development.*

Key words: *Rotating bogie for a low-floor tram.*

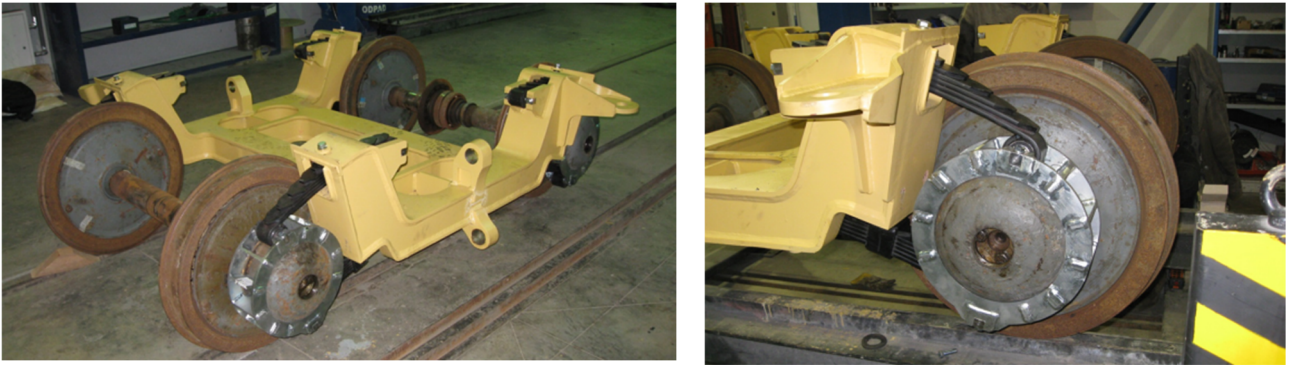
ÚVOD

Vývoj trakčního otočného podvozku s nestandardním primárním vypružením dvěma paralelními listovými pružnicemi ukazuje jednu z možností, jak dosáhnout příznivé vlastnosti podvozku pro průjezd obloukem. Pro úzký rozchod, ale nejen pro něj, je nutné uvolnit prostor mezi koly pro nízkou podlahu. Proto je pohon dvojkolí vyřešen podélným trakčním agregátem, vně rámu podvozku.

CESTA OD MYŠLENKY K REALITĚ

Nestandardní trakční, otočný podvozek pro úzkorozchodnou tramvaj je vyvíjen ve spolupráci Západočeské university v Plzni (ZČU), pracoviště RTI, s průmyslovými partnery Pragoimex a.s., a VKV s.r.o. Praha v rámci programu EPSILON Technologické agentury České republiky (TAČR), za významné podpory Krnovských oprav a strojírny a.s. Krnov (KOS).

Při ověřování funkce nestandardního primárního vypružení, dvěma paralelními listovými pružnicemi v rámci programu GAMA jsme zjistili příznivé vlastnosti tohoto uspořádání. Působením odstředivé síly při průjezdu obloukem se přitěžují kola na vnější straně podvozku a odlehčují se kola na vnitřní straně podvozku, zvětšuje rozvor kol na vnější a zmenšuje se na vnitřní kolejnici a dvojkolí zaujímá téměř radiální polohu, nebo alespoň se zmenší úhel náběhu. Následující obr. 1 připomíná funkční vzorek pro ověření primárního vypružení a vedení dvojkolí dvojicí listových pružnic a jejich upevnění na ložiskové skříni adaptovaného úzkorozchodného dvojkolí z DP Liberec-Jablonec.



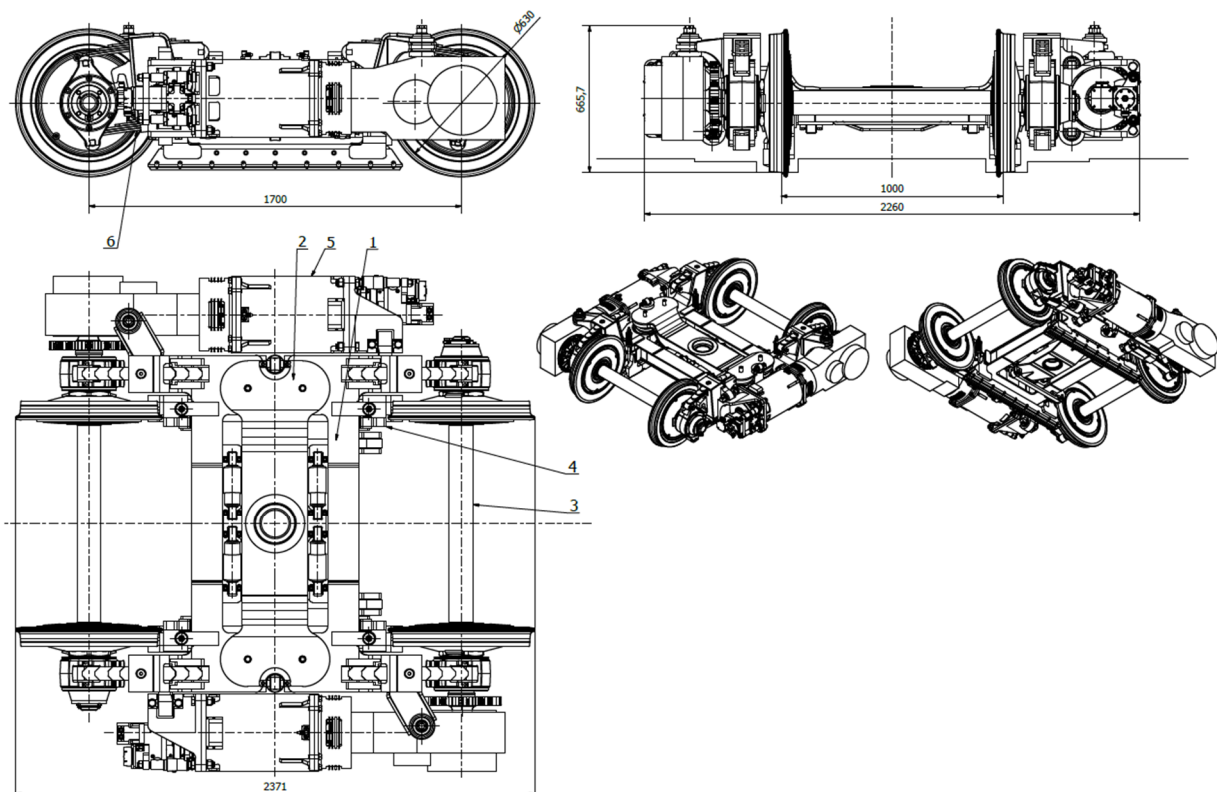
Obr. 1 - Funkční vzorek primárního vypružení dvojicí listových pružnic. Vpravo detail upevnění pružnic na ložiskové skříně

Zajímavé výsledky nás inspirovaly ke konstrukci celého otočného podvozku pro úzkorozchodnou tramvaj. ZČU společně s Pragoimexem a VKV získala podporu v programu Technologické agentury České republiky EPSILON, projekt TH02010553.

POROVNÁNÍ KONCEPCÍ

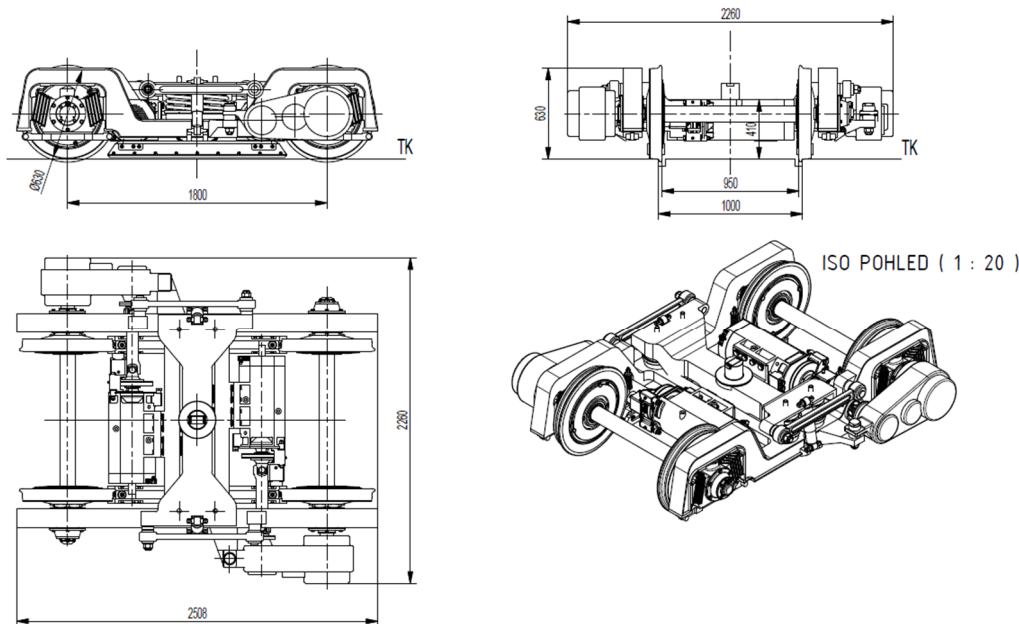
Jedním z prvních kroků bylo porovnání této nestandardní koncepce podvozku s podvozkem standardním, s vypružením pryžovými silentbloky Megi. Rozpracovali jsme dvě varianty:

Varianta I. (obr. 2) Pohon dvojkolí podélně orientovaným [1], plně odpruženým trakčním soustrojím, s asynchronním motorem a kuželočelní převodovkou. Celý agregát je uložen pevně na rámu podvozku, vně dvojkolí.



Obr. 2 - Varianta I. Trakční podvozek s podélným trakčním agregátem

Varianta II. (obr. 3) Trakční motor, jehož osa je rovnoběžná s osou dvojkolí. Motor je uložen na příčniku. Kroticí moment je přenášen krátkým kloubovým hřídelem na dvoustupňovou převodovku s čelními koly, převodovka je částečně odpružená.



Obr. 3 - Varianta II. Trakční podvozek s motorem rovnoběžným s nápravou

Porovnání variant je v tabulce 1. Vyplývají z ní poměrně jednoznačně přednosti varianty I, tedy s podélným trakčním motorem a s primárním vpružením a vedením dvojkolí listovou pružnicí. Výhodou varianty I, kromě informací v tab. 1 je také možnost demontáže celého dvojkolí bez vyvázání podvozku z tramvaje. Nevýhodou varianty II byl větší rozvor podvozku, trakční motor se nachází v prostoru pod nízkou podlahou. Varianta I byla rozpracována až do konstrukčních výkresů. Proběhla výroba téměř všech stavebních struktur v Krnovských opravárnách a strojárnách a.s..

Varianta I, podélný motor		Varianta II, motor rovnoběžný s nápravou	
Zavěšení motoru odpruženými závěsy podélně vně rámu	1	Zavěšení motoru na příčniku rámu, rovnoběžně s nápravou	3
Převodovka – vně rámu, na pružných závěsech, kuželočelní	2	Převodovka – vně rámu, neodpružená, čelní ozubená kola	4
Spojení motoru a převodovky – pružná spojka	2	Spojení motoru a převodovky – kloubový hřídel	4
Spojení převodovky a nápravy – výkyvná spojka	3	Spojení převodovky a nápravy – nalisovaný spoj	3
Prim. vypružení - Listové pružnice	2	Prim. vypružení – šikmé pryžokovové pružiny megi	3
Sekundární vypružení šroubovitě pružiny, pákový tlumič	1	Sekundární vypružení šroubovitě pružiny, hydraulický tlumič	1
Přenos podélných sil – táhla pod kolébkou	2	Přenos podélných sil – táhla vně rámu podvozku	2
Rám podvozku svařovaný	2	Rám podvozku svařovaný	2
Rozvor podvozku 1700 mm	1	Rozvor podvozku 1800 mm	5
Hmotnost rámu podvozku 460 kg	1	Hmotnost rámu podvozku 590 kg	4
Součet	17	Součet	31

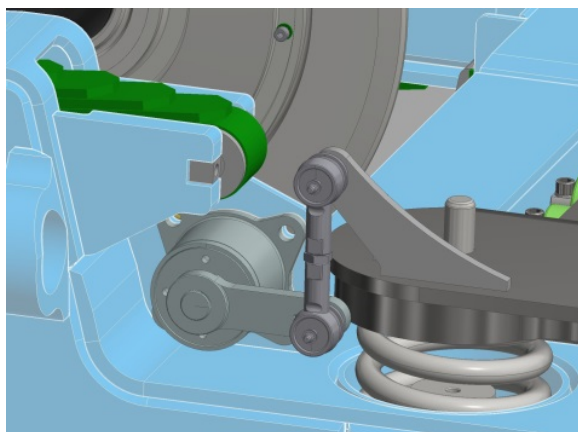
Bodové hodnocení: 1- nejlepší, 5 - nejhorší

Tab. 1 - Porovnání variant podvozku

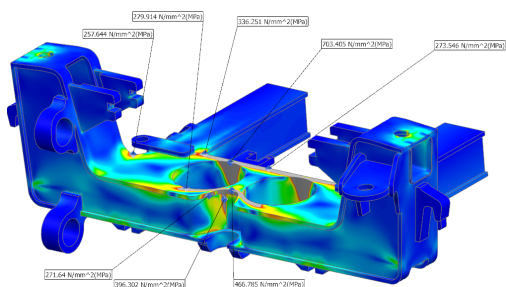
Rám podvozku (obr. 5) je tvořen příčnicí a podélníky, které přecházejí v konzoly pružnic. Na základě simulačních výpočtů jízdy bylo nutné doplnit příčné a svislé tlumiče sekundárního vypružení. Největší komplikace přinesla zástavba svislého tlumiče. Standardní tlumič narušoval podélníky rámu tak, že jej nebylo možné použít a musel být použit rotační tlumič (obr.6). Ukázaly to výsledky analýzy MKP [2] (obr. 7 a 8). Další významnou změnu přineslo konkrétní řešení hnacího agregátu. Celé soustrojí je poměrně dlouhé, proto bylo nutné tomuto stavu přizpůsobit konzoly. Zvážená hmotnost rámu je 454 kg.



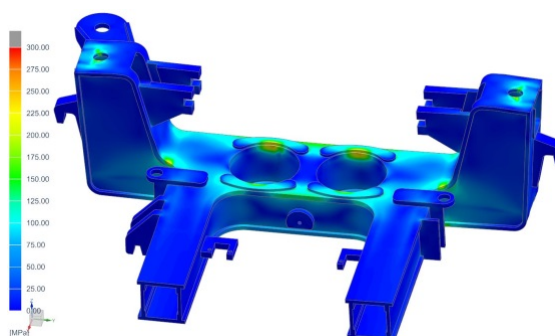
Obr. 5 - Rám podvozku



Obr. 6 - Uložení rotačního tlumiče



Obr. 7 – Analýza MKP rámu podvozku s vybráním pro svislý hydraulický tlumič

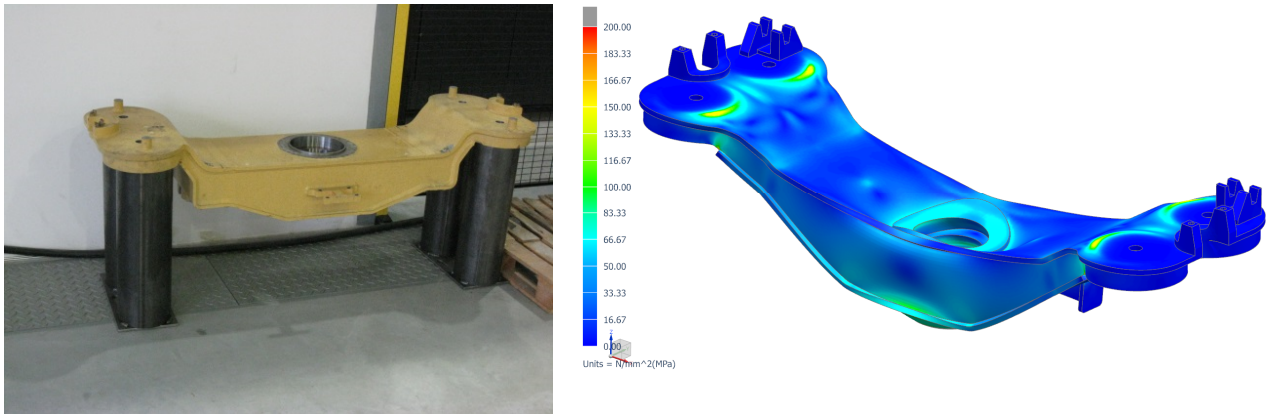


Obr. 8 – Analýza MKP rámu podvozku bez vybrání pro tlumič

Kolébka (obr. 9) je z hlediska zástavby a namáhání poněkud jednodušší a její analýza MKP [3] ukazuje příznivé rozložení napětí i deformací. Statické zkoušky potvrdily výsledky výpočtů MKP.

Kolébka, jejíž hmotnost je 140 kg, je uložena na sekundárním vypružení. Podélné síly mezi rámem a kolébkou přenášejí táhla pod kolébkou a rámem..

Pružnice (obr. 16) primárního vypružení jsou upevněny na ložiskové skříně i v rámu pomocí čepů a pryžových silentbloků v okách pružnice. Opasek pružnice je uložen v lůžku na rámu podvozku. Pružnice vyráběla firma Grewis. Horní a dolní pružnice mají každá své opěrné místo. Listová pružnice má vnitřní útlum, nepotřebuje tlumič.



Obr. 9 – Vlevo kolébka připravená na zkoušky, vpravo analýza MKP

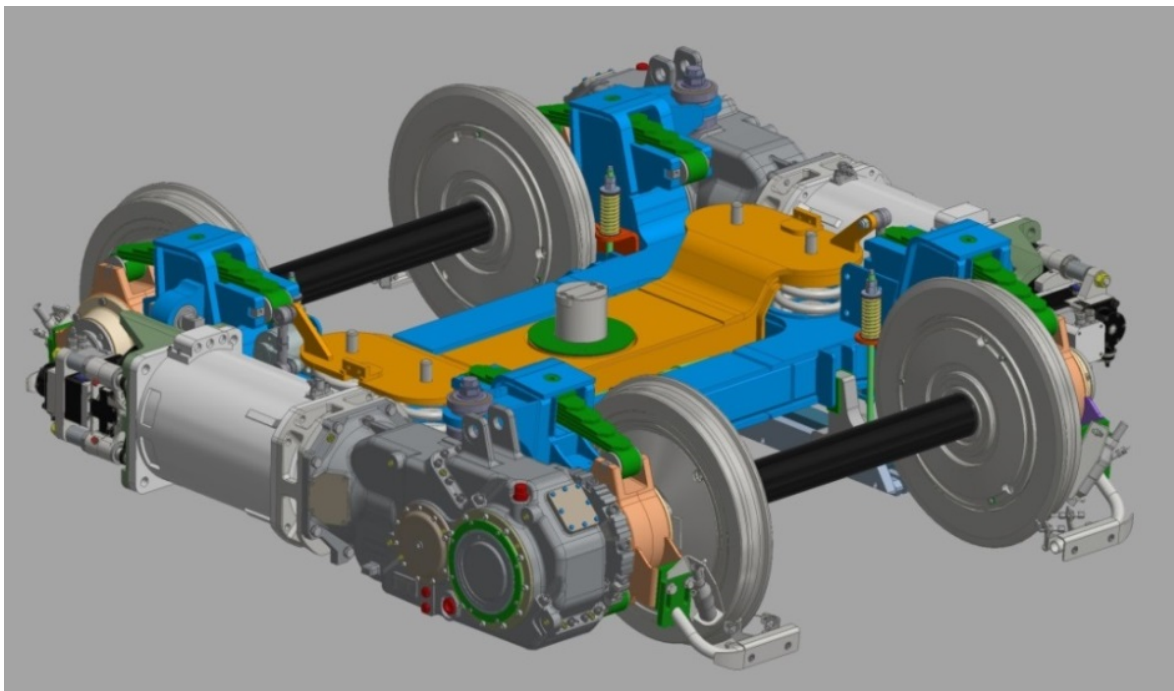
Sekundární vypružení je vytvořeno šroubovitými pružinami, je vloženo mezi rám podvozku a kolébku. Svislé tlumení obstarávají pákové (trotáční) tlumiče ze STOSu Oslavany.

Hnací agregát je uložen vně dvojkolím, tvoří jej trakční motor 70 kW (obr. 10), kuželočelní převodovka, spojka mezi převodovkou a dvojkolím. Z trakčního motoru vystupuje hřídel na obě strany. Na jednom konci je spojen spojkou s převodovkou, na druhém konci je nasazena kotoučová brzda. Trakční motor má na obou koncích příruby, jedna je spojena přes mezikus s převodovkou, na druhé je konzola pro upevnění na rám podvozku. Hnací agregát je tedy upevněn na rámu podvozku ve 3 bodech, jeden je na převodovce, další dva body na konzole u brzdy. Zkoušky trakčního motoru proběhly úspěšně.



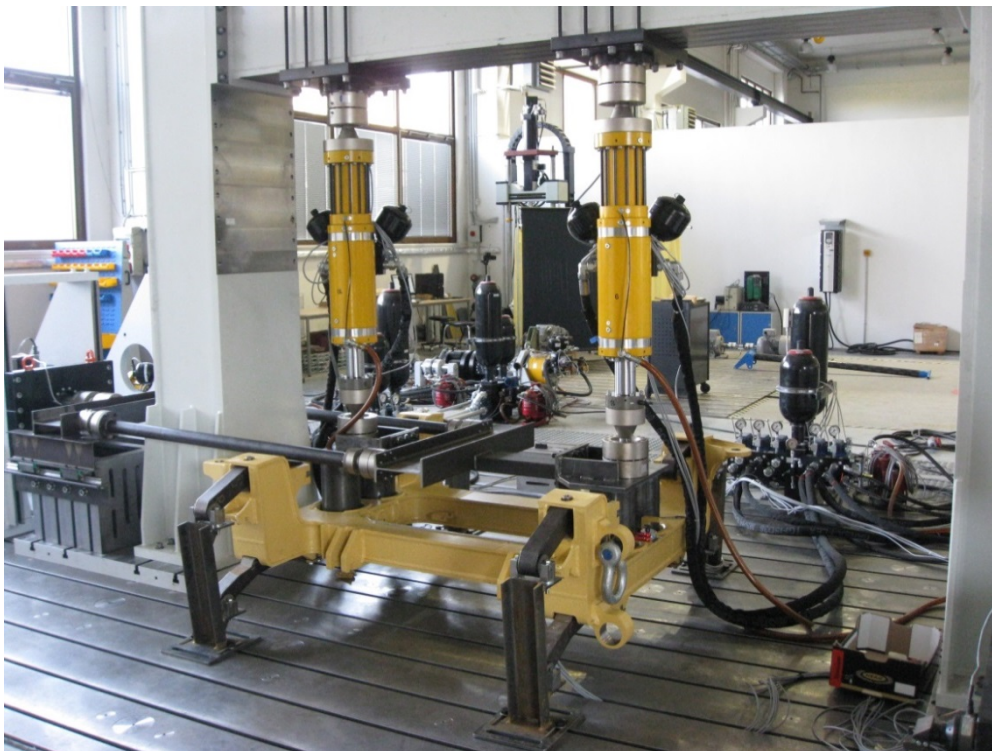
Obr. 10 - Zkouška trakčního motoru na zkušebně.

Následující obr. 11 ukazuje celkový pohled na podvozek se všemi stvebními strukturami.



Obr. 11 - Celkový pohled na podvozek ze strany převodovky

Pro zkoušky jsme nahradili listové pružnice tuhými nosníky a dvojkolí s ložiskovými domky podpěrným přípravkem



Obr. 12 – Rám podvozku na zkušebním stavu pro zkoušení únavové pevnosti

Svislé síly se zavádějí dvěma hydraulickými válci. Příčné síly jedním válcem vodorovným. Zkouška se provádí podle ČSN EN 13 749.

NĚKTERÉ ZAJÍMAVÉ VÝSLEDKY

Zkoušky listových pružnic (obr. 13) byly zajímavé, zejména při srovnání se zkouškou pryžového silentbloku pro stejný účel.

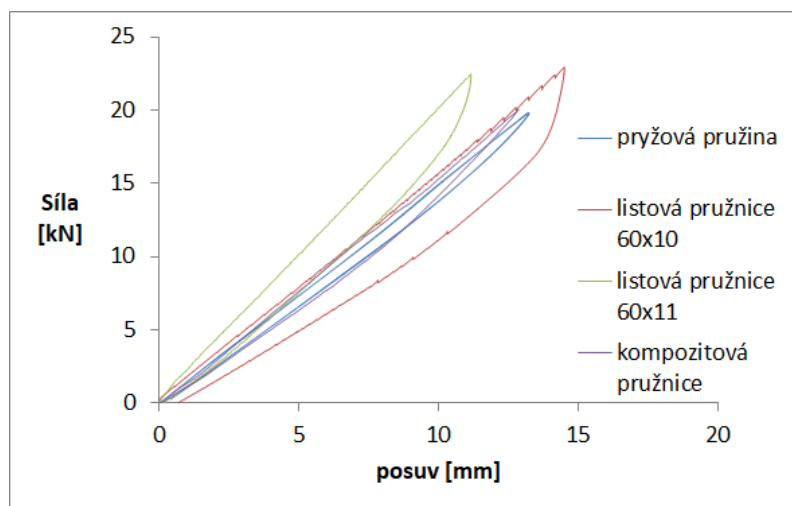


Obr. 13 - Listová pružnice



Obr. 14 - Zkouška kolébky

Listová pružnice rozměru 60x10 byla na předchozím funkčním vzorku. Pro současný podvozek jsme museli zvýšit tuhost, zvětšením rozměrů listu na 60x11 mm, aby se zmenšily svislé pohyby rámu vůči dvojkolí, kvůli spojce mezi motorem a dvojkolím. Tato spojka potřebuje pohyby menší než 15mm, aby prošla otvorem v ozubeném kole a převodovce.



Obr. 15 – Změřené charakteristiky pružnic a pryžové pružiny

Graf (obr 15) ukazuje tuhost listových pružnic a srovnání s pryžovou pružinou použitou u tramvají Astra. Teorie říká, že pryžová pružina pruží a tlumí. Graf ukazuje že pruží, ale netlumí. Zato listové pružnice tlumí. Také kompozitní pružnice obdobných rozměrů jako listová pružina, ale také netlumí.

ZÁVĚR

Příspěvek ukazuje postup řešení a dílčí výsledky nestandardního otočného podvozku pro úzkorozchodné tramvajové vozidlo. Využívá dřívé získané zkušenosti s vypružením listovými pružnicemi, které umožňují částečně radiální stavění dvojkolí v oblouku při působení odstředivé síly.

Předností podvozku bude menší rozvor a s ním spojená menší hmotnost o cca 300 kg.

Optimistický předpoklad, že podvozek bude zkompletován do 8/2019 se nepotvrdil, ale ještě v tomto roce zkompletován bude, budou s ním provedeny standové zkoušky, které ověří vlastnosti pohonu a funkce vypružení.

LITERATURA

- [1] HELLER P.: Kolejová vozidla II, kniha, Vydavatelství ZČU v Plzni, 2019, ISBN 978-80-261-0773-6 , S.116-120
- [2] RÁŽ K.: Pevnostní výpočet tramvajového podvozku, výzkumná zpráva RTI-VZ-018-V06, projekt TH02010553, ZČU v Plzni
- [3] RÁŽ K.: Pevnostní výpočet kolébky tramvajového podvozku, výzkumná zpráva RTI-VZ-2018-V05, projekt TH02010553, ZČU v Plzni

Poděkování

Tento příspěvek vznikl za podpory Technologické agentury České republiky, programu EPSILON, projekt TH02010553. Řešitelé ZČU v Plzni, společně s Pragoimexem a.s. a VKV s.r.o..