

24-KANÁLOVÁ ZKOUŠKA RÁMU PODVOZKU PRO EMU

24-CHANNELS TEST OF BOGIE FRAME FOR EMU

Jiří SOUKUP¹, Radek STUHLÍK²

Abstrakt

Příspěvek přibližuje a popisuje realizaci statické a únavové zkoušky motorového rámu podvozku pro EMU (Elektrická vícevozová jednotka) na základě ČSN EN 13749:2011. Pro zkoušky bylo použito 24 hydraulických lineárních motorů (válců), které byly řízeny počítačem v reálném čase společně.

Klíčová slova

statické a únavové zkoušky, rám podvozku, hydraulický válec

Abstract

The article is approaching and describing the implementation of static and fatigue test of the bogie frame for motor bogie frame for EMU (Electric Multiple Unit) based on ČSN EN 13749:2011. 24 hydraulic linear actuators (cylinders) were used for tests and were controlled by computer in real time together.

Keywords

static and fatigue tests, bogie frame, hydraulic actuator

1 ÚVOD

Zkoušky rámu podvozků se provádí na základě evropské normy EN 13 749:2011 [1], která popisuje možné scénáře statických a únavových zkoušek pro jednotlivé typy podvozků. Je zde nastíněno jak a kam by se ty zkoušky měly ubírat a jaké výsledky by z nich měly vyjít. Nicméně je to minimum, které musí být při realizaci zkoušek splněno, a proto si již dnešní doba žádá i to nepovinné co by se teoreticky mělo zkoušet, nicméně to není dle normy zcela vyžadováno. Pro zkoušky hnacího rámu podvozku pro elektrickou jednotku byl sestaven test program [2], který měl ověřit únavovou životnost i těch částí rámu podvozku, u kterých standardně stačí statické ověření.

2 DEFINICE ZKOUŠKY

Statické zkoušky byly rozděleny do 2 etap. Výjimečné statické zatížení (tyto stavy zatížení simulovaly překročení standardního zatížení na rám podvozku, které v provozu může krátkodobě nastat) a normální provozní zatížení (tyto stavy zatížení simulovaly normální zatížení, které je v provozu standardní). Mimo jiné bylo na rám aplikováno i tzv. torzní zatížení, tedy simulace nájezdu

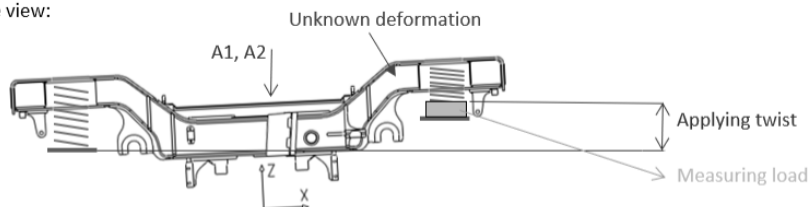
¹ Ing. Jiří Soukup, Výzkumný Ústav Železniční, a.s. Dynamický zkušební stav, Za Dráhou 373, 281 02 Cerhenice. Tel.: +420 602 551 851, e-mail: soukupji@cdvuz.cz

² Ing. Radek Stuhlík, Výzkumný Ústav Železniční, a.s. Dynamický zkušební stav, Za Dráhou 373, 281 02 Cerhenice. Tel.: +420 601 132 164, e-mail: stuchlikr@cdvuz.cz

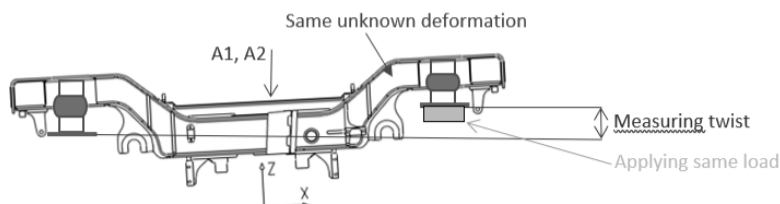
rámu podvozku na zborcenou kolej. V případě výjimečného zatížení byla hodnota převýšení 10 ‰ a v případě normálního zatížení byla hodnota 5 ‰. Vše bylo přepočítáno na vzdálenosti ložiskových skříní z důvodu uspořádání sestavy zkoušky viz kapitola 3. Před začátkem zkoušení, byla změřena torzní tuhost samotného rámu podvozku na bázi rozvoru a příčné vzdálenosti primárních pružin. Pro určení krutu (zborcení) během zkoušek bylo provedeno experimentální měření (nejdříve na originálním vypružení a následně byly hodnoty z tohoto měření použity při měření na tuhých náhradách primárního vypružení). Experimentální postup měření viz obr. 1.

Step 1: Simulating of twist on bogie with original primary springs:

Side view:



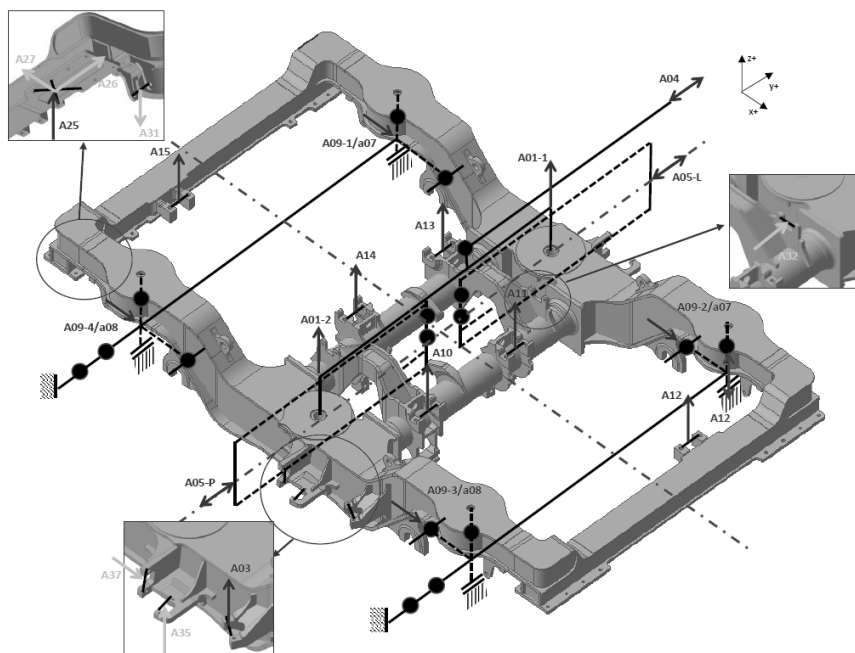
Step 2: Applying same load on bogie with suspension dummies:



Obr. 1 Experimentální zjišťování hodnoty krutu

Vzhledem ke kontrole mechanického napětí bylo vybráno (na základě FEM analýz) celkem 54 míst na rámu podvozku, na které byly nalepeny jednoosé tenzometrické snímače, nebo tenzometrické růžice. Celkový počet měřených kanálů byl 124.

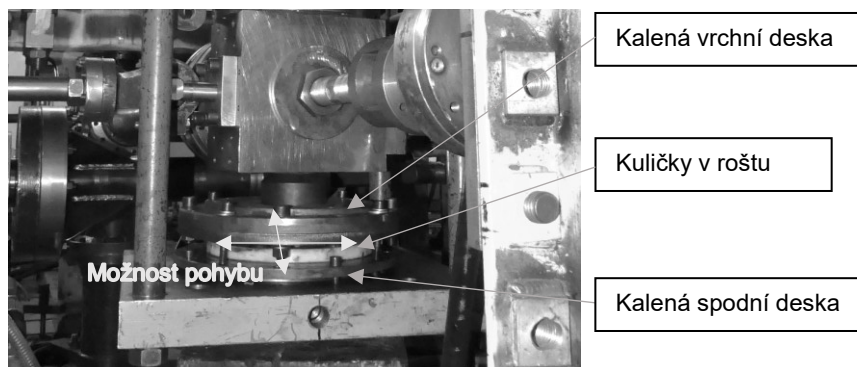
Během únavových zkoušek bylo aplikováno celkem 22 jednotlivých zatížení (hlavní svislé, příčné a podélné zatížení, torzní kroucení, svislé zatížení od motorů a brzdových jednotek) pomocí 22 elektronicky řízených hydraulických válců (plus 2 válce na kontrolu reakčních sil). Požadavek byl vykonat 10 mil. cyklů hlavního zatížení rozdělených do 3 etap (6, 2, 2 mil. cyklů), ve kterých se postupně měnila velikost dynamických a kvazistatických sil (při 1. etapě s koeficientem 1, při 2. etapě s koeficientem 1,2 a při 3. etapě s koeficientem 1,4). Během statických zkoušek bylo navíc zaváděno dalších 18 zatížení pomocí statických, ručně řízených, hydraulických válců. Převážně to bylo zatížení, které svojí velikostí nemají velký vliv na měřené napětí v rámu podvozku (příčné a podélné zatížení brzdových jednotek, uchycení tlumičů, ...). Kompletní přehled zaváděných sil viz obr. 2. Pro všechny statické zkoušky bylo definováno celkem 70 stavů zatížení. Výsledky statických zkoušek byly vyjádřeny pomocí grafů a hodnot předepisující DVS 1612:2014 [3]. Výsledkem únavových zkoušek bylo kompletní NDT všech svarů a tepelně ovlivněných oblastí metodou MT po jednotlivých etapách únavové zkoušky.



Obr. 2 Schéma zavádění sil do rámu podvozku

3 SESTAVA A PROVEDENÍ ZKOUŠKY

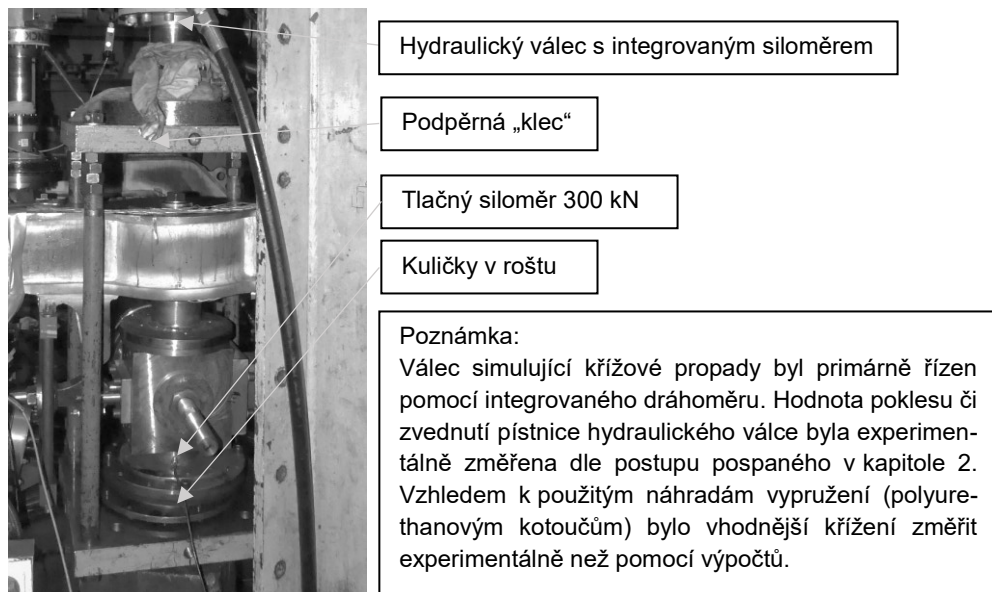
Vzhledem k zavádění sil ve všech směrech bylo přesně definováno zachytávání reakčních sil, které byly všechny měřeny a zaznamenávány. Jednalo se o 2 podélné, 2 příčné a 4 svislé reakce. Standardní podmínkou a kontrolou správného nastavení zkušebního stendu je kontrola akčních a reakčních sil a zajištění kontroly toku všech sil přes rám podvozku tak jak je navrženo. Tzn. celý rám byl podložen ve 4 bodech (v místě ložiskových skříní) na kuličkové dráze, která umožňovala volný pohyb rámu podvozku v podélném a příčném směru (viz obr. 3). Z hlediska velikosti měřených sil byl odpor valení kuliček zanedbáván. Jako valivý člen, bylo použito několika desítek ložiskových kuliček, které dokázaly roznést tlak na větší plochu. Rošt s těmito kuličkami byl umístěn mezi dvě kalené desky, po kterých byl pohyb realizován. Tak se sice odpor valení částečně zvýšil, ale nedocházelo k „zarývání“ jednotlivých kuliček do mezidísek.



Obr. 3 Plovoucí uložení rámu podvozku

3.1 Svislé reakční síly

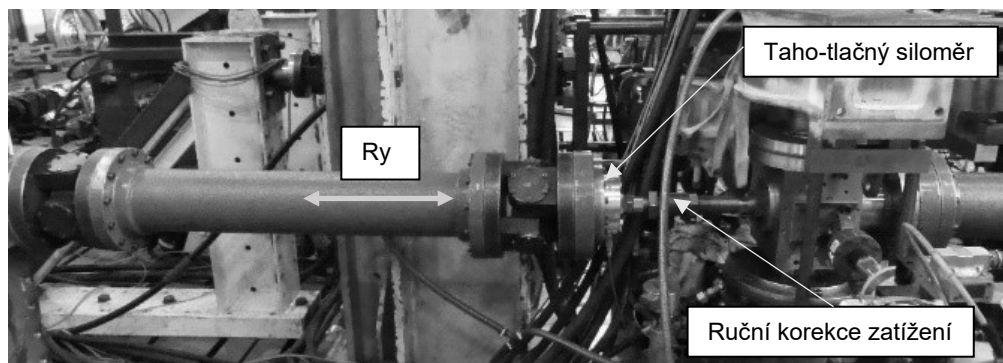
Vzhledem k jednosměrnému charakteru součtu svislých sil, byly pro měření reakčních sil ve svislém směru použity tlačné siloměry, jež tvořily zároveň i třísý kloub pod ložiskovou skříní. V místě simulace křížového propadu byl siloměr ještě pro ověření duplikován integrovaným siloměrem na hydraulickém válci.



Obr. 4 Svislé reakční síly plus křížový propad

3.2 Příčné reakční síly

Protože byl při zkoušce aplikován křížový propad, a tedy byla nutnost jeden kvadrant rámu podvozku zvedat a spouštět byly příčné reakce měřeny pouze na jedné straně rámu podvozku, tzn. v ose obou náhrad náprav a na té vzdálenější straně od křížového propadu. Měření těchto reakcí bylo tedy prováděno tahu-tlačně s možností ruční korekce zatížení (viz obr. 5). Stejným způsobem byla reakce realizována i na druhé nápravě.

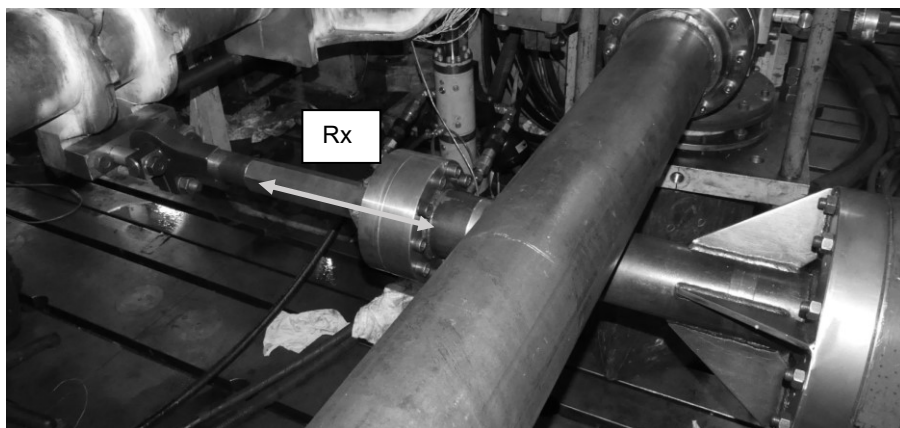


Obr. 5 Příčné reakční síly

3.3 Podélné reakční síly

Během statických zkoušek při svislém zatížení byl rám poměrně dost prohýbán což přenášelo parazitní zatížení do držáků přenosných ojnic. Tedy do míst, kde byla zachytávána podélná reakční

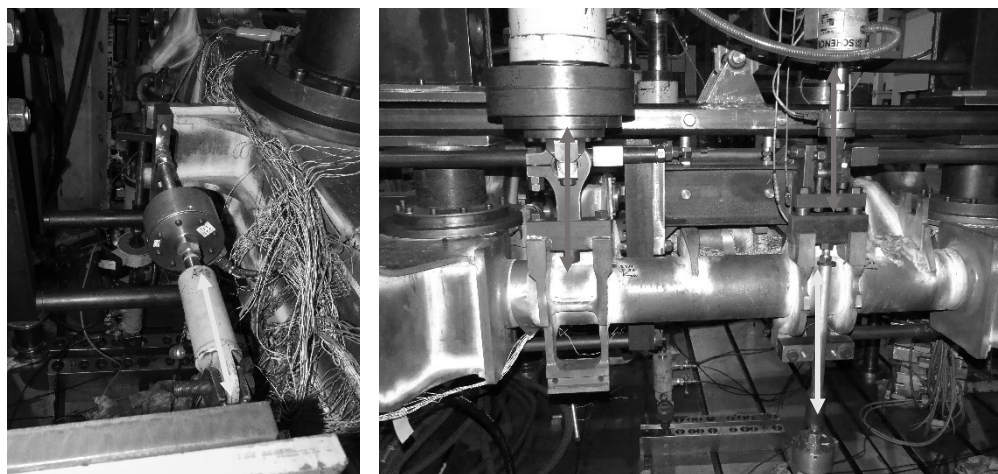
síla. Vyvstal tedy požadavek i tuto reakční sílu řídit. Použity tedy byly dva elektronicky řízené hydraulické válce, jejichž řízení bylo kombinováno v dráze i v síle a bylo tak zajištěno, že část svislých reakcí (vzhledem k prohýbání rámu) nebude přeneseno, přes tyto držáky. Stejný způsob uchycení (viz obr. 4) byl použit na přední i zadní straně rámu podvozku.



Obr. 6 Podélné reakční síly

3.4 Statické zkoušky

Statické zkoušky s výjimečným a normálním provozním zatížením byly, stejně jako únavové zkoušky, provedeny na náhradách vypružení. Vzhledem k množství zaváděných sil a k tomu, že některá zatížení byla plánována provádět pouze staticky, bylo použito kombinace elektrohydraulických válců (s PC řízením) a statických hydro-válců s ručním řízením. Zatížení se během statických zkoušek provádělo na dvě etapy. Nejdříve počítač nastavil hodnoty sil na všech elektrohydraulických válcích a po zatížení těmito válci se postupně vnášelo zatížení statickými hydraulickými válci. Veškeré hodnoty mechanického napětí, zatížení, polohy atd. byly svedeny do jednoho centrálního měřicího počítače, který zaznamenával všechny hodnoty v reálném čase.



Obr. 7 Realizace statického zatížení

- ↔ Ruční korekce zatížení
- ↔ Počítačem řízené hydraulické válce
- ↔ Kombinace zatížení

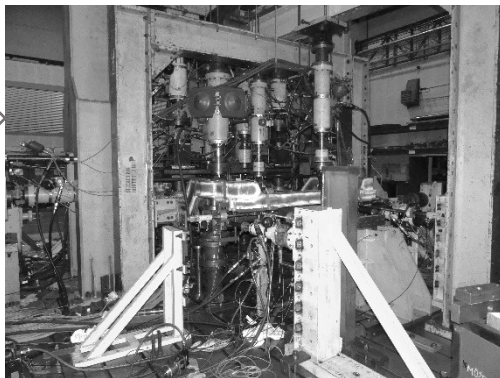
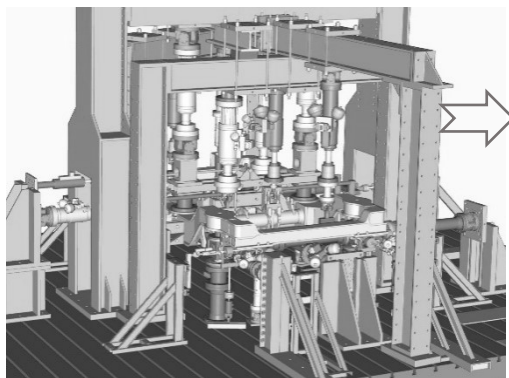
Všech 70 statických stavů zatížení bylo provedeno minimálně dvakrát. Při všech stavech byly zaznamenávány kontinuálně síly, polohy pístnic hydraulických válců, reakční síly a mechanické napětí na tenzometrech.

3.5 Únavové zkoušky

Všechny hydraulické válce (kromě válce simulujícího křížový propad) byly řízeny pomocí siloměru. Signál se skládal z 8 úseků, které simulovaly jízdu oblouky a k tomu trakci a brzdění. V jednom úseku bylo provedeno 20 cyklů. Těchto 8 úseků se dále opakovalo, dokud nedošlo k provedení předepsaného počtu cyklů. Řídicí signál byl neustále monitorován a korigován tzv. obálkovým regulátorem s krokem korekce po jednom cyklu. Zatěžovací frekvence byla určena experimentálně na $f=4$ Hz s ohledem na měřené mechanické napětí na vybraných tenzometrech a na možnostech hydraulického systému. V průběhu únavových zkoušek se provádělo kompletní NDT, a to vždy metodou magnetickou práškovou (MT) na výskyt únavových trhlin. Po 6, 8 a 10 mil. cyklech byl rám vždy demontován ze sestavy zkoušky a všechny adaptéry, které by mohli bránit přístupu ke kontrolovanému svaru či místu metodou MT byly demontovány.

4 SUMÁŘ ZKOUŠKY

Celková délka projektování zkoušky	1 měsíc
Celková délka stavby zkušebního stendu	3 týdny
Celková délka statických zkoušek	1 měsíc
Celková délka únavových zkoušek	3 měsíce
Celkový počet použitých hydraulických válců	24 (včetně válců na reakce v podélném směru)
Celkový počet statických sil	37
Celkový počet měřených kanálů (tenzometry)	124 (22 jednoosých a 34 tenzometr. růžic)



Obr. 6 3D návrh vs realizace

5 ZÁVĚR

Komplexní statické a únavové zkoušky rámu podvozků jsou co do požadavků stále komplikovanější a náročnější jak na návrh, tak i na provedení. Klade se stále větší důraz na porovnatelnost simulačních výpočtů a naměřených veličin z reálně prováděných zkoušek. Dále je přistupováno k co nejrealističtějšímu provedení zkoušek vzhledem k zamýšlenému použití podvozku v provozu. Do budoucna si dovoluji tvrdit, že číslo 24 (počet použitých hydraulických válců) není konečné. Nicméně zvyšování počtu automatických hydraulických válců s sebou nese i jisté omezení. Nejenom technologické (nutné hydraulické průtoky tedy technologie), ale hlavně nutnost precizního

a správného návrhu sestavy zkoušky, protože při takovémto počtu použitých zatěžovacích válců je jisté, že se většina z nich bude vzájemně ovlivňovat, a výsledný zátěžný „dynamický stav“ na rám podvozku, bude nakonec méně vypovídající než při použití menšího počtu hydraulických válců.



Literatura

- [1] ČSN EN 13749. *Železniční aplikace – Dvojkolí a podvozky – Metoda specifikování konstrukčních požadavků na rámy podvozků*. Praha: ÚNMZ, 2011.
- [2] PENG AILIN, J.-B., LI, G., CHEN, X. *Test specification for ZUC160-Bo-A bogie frame*. Zhuzhou, Čína: CRRC Zhuzhou Locomotive Co., Ltd., 2019.
- [3] DVS 1612. *Gestaltung und Dauerfestigkeitsbewertung von Schweißverbindungen mit Stählen im Schienenfahrzeugbau*. Düsseldorf: DVS Media GmbH, 2014.