

# CERTIFIKOVANÁ METODIKA

## Dynamická tahová zkouška materiálů používaných při stavbě drážních vozidel

**Autoři:**

prof. Ing. Bohumil Culek, CSc.<sup>1)</sup>

prof. Ing. Eva Schmidová, Ph.D.<sup>1)</sup>



<sup>1)</sup> Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera

**Certifikovaná metodika je výstupem z řešení projektu TE01020038**

**„Centrum kompetence drážních vozidel“.**

Pardubice, 9/2015

## Obsah

1. Úvod.....	2
2. Cíl metodiky.....	2
3. Pojmy a zkratky .....	3
4. Popis metodiky.....	4
4.1 Postup zkoušky.....	7
4.2 Výstupy zkoušky .....	8
5. Novost postupů a zdůvodnění metodiky .....	10
6. Popis uplatnění certifikované metodiky.....	10
7. Ekonomické aspekty .....	11
8. Seznam použité literatury: .....	12
9. Seznam publikací, které předcházely metodice .....	13

## 1. Úvod

V současné době se výrazně aktualizuje řešení otázky crashové odolnosti konstrukcí drážních vozidel. Zejména u skříní kolejových vozidel a karoserií trolejbusů se při konstrukčním návrhu přistupuje k simulačním výpočtům odolnosti konstrukcí proti havarijním nárazům (např. střety kolejových a silničních vozidel na přejezdech). K tomu, aby tyto simulace měly použitelné – tedy kvalitní výsledky, je nezbytné dodat do těchto simulací relevantní materiálové charakteristiky, které je třeba zjistit při dynamických tahových zkouškách při odpovídajících vysokých rychlostech deformace, tj. při odpovídajících vysokých rychlostech při nárazech. V současném stavu techniky se používají k uvedeným zkouškám kyvadlová rázová kladiva. Z dlouhodobého sledování této problematiky a z provedené patentové rešerše vyplývá, že nejdokonalejší konstrukce těchto kyvadlových rázových kladiv, je konstrukce německé firmy ZWICK, která dosahuje rychlosti při nárazu maximálně 5,5m/s. To je ale z pohledu reálných havárií drážních vozidel velmi nízká rychlost nárazu a proto bylo v rámci Centra kompetence drážních vozidel vyvinuto Perkusní kyvadlové rázové kladivo (viz patent č. 305401), které má výrazně větší geometrické rozměry a je vybaveno speciálními konstrukčními celky včetně startovacího (odpalovacího) zařízení, které umožňuje urychlení kyvadla až do rychlosti nárazu na zkušební materiálový vzorek 30 m/s. Nově vyvinuté Perkusního kyvadlového rázového kladiva umožní provádění tzv. instrumentovaných zkoušek plochých materiálových vzorků tj. pořizování záznamu síly v čase v průběhu destrukce materiálového vzorku. Tento princip zkoušek, na rozdíl od kupř. elektrohydraulických systémů, umožňuje přímé měření spotřebované energie během destrukce, což je rozhodující materiálový parametr pro predikci bezpečnosti návrhu konstrukce skříní drážních vozidel.

Vzhledem ke specifikaci Perkusního kyvadlového rázového kladiva – viz informace výše, bylo nezbytné vypracovat speciální metodiku zkoušek na tomto zkušebním zařízení. Metodika je popsána v dalších částech tohoto podkladu.

Autorům metodiky není známo, že by obdobná metodika již někde na světě existovala.

## 2. Cíl metodiky

Cílem dále popsané metodiky je stanovení postupu dynamických tahových zkoušek materiálů konstrukcí skříní a karoserií drážních vozidel na Perkusním kyvadlovém rázovém kladivu. Metodika reflektuje na současné požadavky provozní praxe, kdy bohužel dochází

k haváriím drážních vozidel při relativně vysokých rychlostech nárazů a je nezbytné, aby nově vyráběná vozidla byla na crashové situace lépe konstrukčně a materiálově vybavena, než vozidla současná.

Metodika zahrnuje kromě dále popsaného vlastního specifického provedení zkoušky standardní kroky: přípravu vzorků testovaného materiálu, způsob upevnění zkušebních vzorků do upínacího zařízení, způsob kumulace energie a jejího následného uvolnění k urychlení kyvadla tak, aby byla docílena požadovaná rychlost nárazu (v maximu až 30 m/s), způsob časového záznamu síly v průběhu destrukce vzorku, postup vyhodnocení zkoušky.

### 3. Pojmy, zkratky, použité přístroje a software

**Pojmy a zkratky:** jsou vysvětleny v textu metodiky, základní pojmy jsou následující:

- Perkusnost kyvadlového rázového kladiva: je podmínka dána dodržěním vztahu (1)

$$i^2 = J_A/m = k \cdot r \quad (1)$$

kde  $J_A$  – je hmotový moment setrvačnosti kyvadla k jeho bodu závěsu, (resp. k ose rotace); do výpočtu  $J_A$  se zahrne: samotné těleso kyvadla se všemi jeho částmi i součástmi - např. polohovací mechanismus

$k$  – vzdálenost těžiště kyvadla od osy rotace

$r$  – vzdálenost nárazového bodu (středu perkuse) od osy rotace

$m$  – hmotnost kyvadla.

- Instrumentovaná zkouška: význam tohoto pojmu spočívá v tom, že při zkoušce je v průběhu času  $t$  zaznamenávána síla  $F$ , potřebná na přetržení zkušebního vzorku včetně deformace  $\Delta l$  (uložení dat a grafický záznam  $F=f(t)$ ,  $\Delta l =f(t)$ ).

#### **Použité přístroje a software:**

Perkusní kyvadlové rázové kladivo (vlastní provedení), tenzometrická měřicí aparatura (vlastní provedení, komponenty od firmy Hottinger Baldwin Messtechnik), měřicí převodník se vzorkovací frekvencí 2 MHz (typ TZA 3, firmy Radomír Matulík-ERM ), měřicí počítač DELL (typ Latitude, Intel® Core(TM)i7-3740QM CPU, 2,7 GHz, RAM 8 GB) s řídicím software (vlastní provedení).

#### 4. Popis metodiky

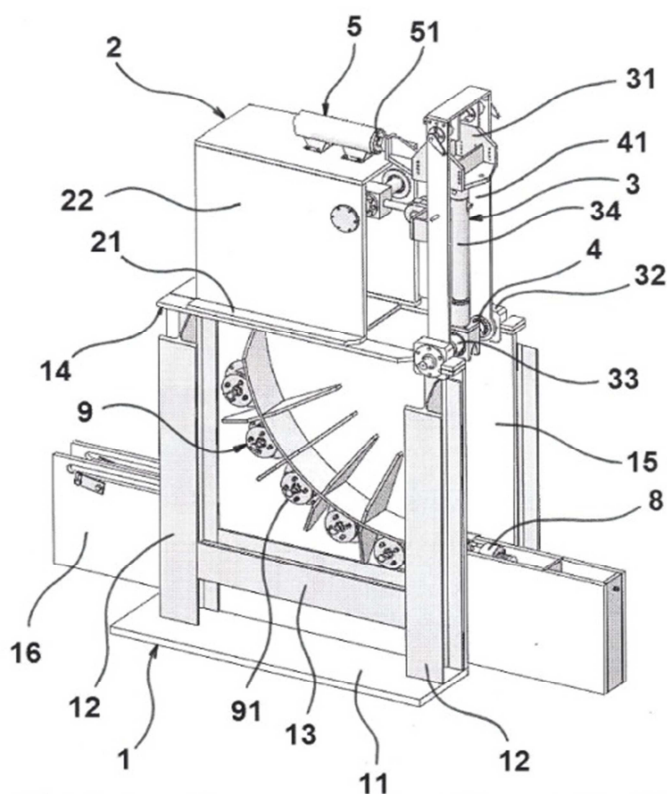
Zkouška je prováděna na Perkusním kyvadlovém rázovém kladivu - schematické zobrazení viz **obr. 1, 2**. Jedná se modulově stavěnou konstrukcí sestávající z rozebíratelně spojitelných spodního rámu 1 a horního rámu 2, v nichž jsou nainstalovány a upevněny konstrukční a funkční uzly, kterými jsou: kyvadlo 3 s nárazovou hlavice 31, aretační zařízení 4 pro ustavení kyvadla 3 ve výchozí poloze, startovací (odpalovací) zařízení 5, upínací mechanismus 6 zkušební vzorku 7, propojeného s měřícím systémem 8 a brzdící zařízení 9 pro zajištění zastavení kyvadla 3 po nárazu na zkušební vzorek 7. Všechny tyto konstrukční uzly jsou elektronicky spojeny s řídicím a vyhodnocovacím blokem 20, realizovaným formou PC vybaveného speciálním software, jak je patrné z **obr.2**. Řídicí a vyhodnocovací blok 20 pak zejména zajišťuje řízení velikosti tlaku ve startovacím zařízení 5, kontrolu a řízení polohy kyvadla 3, ovládání aretačního zařízení 4, řízení tlaku v brzdícím zařízení 9, záznam rychlosti kyvadla 3 při nárazu na zkušební vzorek 7, záznam síly v průběhu destrukce zkušební vzorku 7, kontrolu předpětí v upnutí zkušební vzorku 7 a záznam deformace zkušební vzorku 7 v průběhu jeho destrukce.

Po přetržení materiálového vzorku vstupuje do činnosti brzdící zařízení 9, jehož činnost je založena na funkci soustavy brzdících vzduchových válců 91 umístěných podél trajektorie pohybu hlavice 31 kyvadla 3 po nárazu na zkušební vzorek 7. Mezi vnějšími bočnicemi 15 spodního rámu 1 jsou v jejich spodní části upevněny vnitřní bočnice 16, v nichž jsou ukotveny upínací mechanismus 6 zkušební vzorku 7 propojeného s měřícím systémem 8. Ustavení výchozí polohy hlavice 31 kyvadla 3 nejen v základní vertikální poloze, ale podle druhu a velikosti zkušební vzorku 7 a požadovaného typu zkoušky v různých pozicích s možností volby úhlového intervalu o velikosti  $0,5^\circ$  umožňuje polohovací mechanismus, který je umístěn v horní části rámu 1 na úrovni jeho horní příruby 14, kde je upevněn nosný kozlík 32 středové otočné hřídele 33 kyvadla 3 opatřený aretačním zařízením 4.

Spodní rám 1 je vybaven standardním zvedacím zařízením, pomocí něhož je hlavice 31 kyvadla 3 zvedána po ukončení zkoušky do výchozí polohy. Fixace kyvadla 3 ve výchozí, tedy startovací poloze je na začátku zkoušky zajištěna aretačním mechanismem 4 připevněným v horním rámu 2. Pro zajištění ustavení kyvadla 3 do výchozí polohy je aretační zařízení 4 propojeno s třmenem 41, jehož boční ramena jsou vedena podél nosného ramena 34 kyvadla 3, přičemž aretační zařízení 4 je dále vybaveno standardním odjišťovacím mechanismem 42, který zabezpečuje uvolnění hlavice 31 kyvadla 3 po spuštění zkoušky. Na horní stěně krytu 22 je upevněno hydro-pneumatické startovací zařízení 5 ustavené tak, že

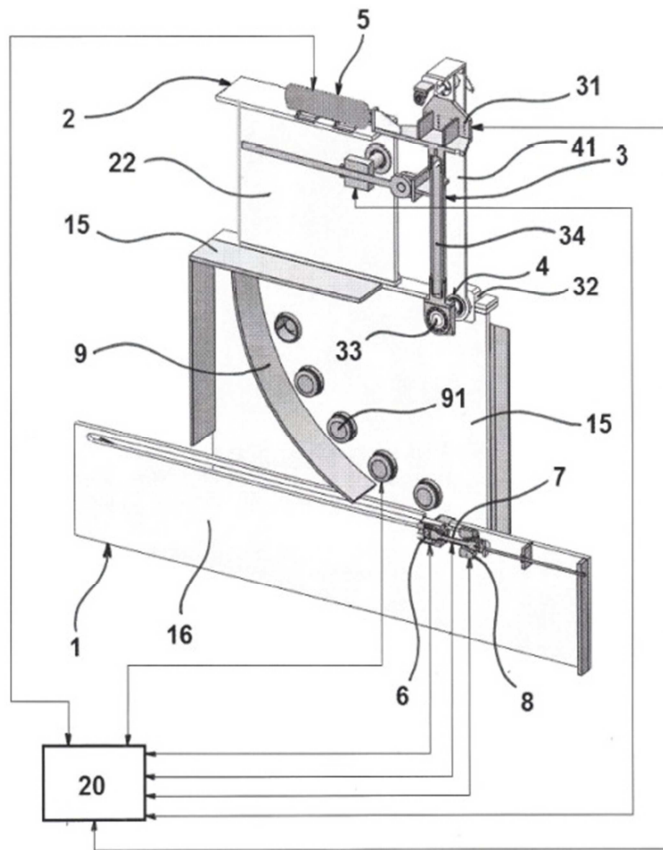
jeho výstupní nárazníkový člen 51 pro dodání prvotního pohybového impulsu kyvadlu 3 je umístěn na úrovni hlavice 31 kyvadla 3, pokud je kyvadlo 3 ustaveno v horní úvrati, tedy ve výchozí spouštěcí poloze. Při zkoušce se dle známých parametrů zkušební vzorku 7 nastaví pomocí aretačního zařízení 4 a dle výpočtů provedených řídicím a vyhodnocovacím blokem 20 výchozí poloha kyvadla 3 a ve startovacím zařízení 5 a v brzdícím zařízení 9 se nastaví a seřídí tlaky provozních médií. Poté se ustaví zkušební vzorek 7 v upínacím mechanismu 6, čímž je zkouška připravena k odstartování.

Po vydání pokynu z řídicího a vyhodnocovacího bloku 20 se pomocí odjišťovacího mechanismu 42 uvolní kyvadlo 3, kterému je současně dodán nárazníkovým členem 51 startovacího zařízení 5 rychlostní pohybový impuls, a tím dojde k jeho uvedení do činnosti nikoliv pouze gravitačním efektem, čímž je dosaženo jeho řádově vyšších rychlostí při dopadu na zkušební vzorek 7. Po nárazu na zkušební vzorek 7 je pohyb kyvadla 3 zastaven pomocí brzdícího zařízení 9, čímž je zkouška ukončena a v řídicím a vyhodnocovacím bloku 20 je možno prověřit veškeré hodnoty získané měřícím systémem 8. Poté je možné přistoupit k přípravě další zkoušky.



obr. 1

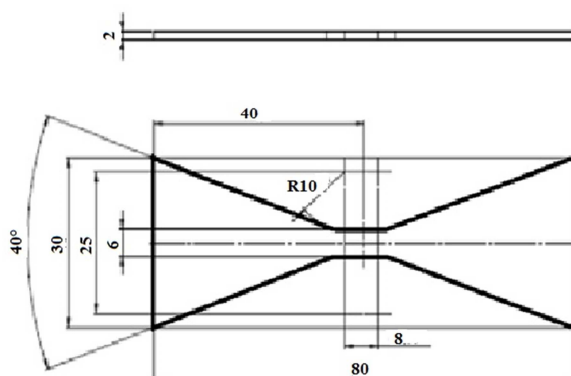
Schematický axonometrický pohled na Perkusní kyvadlové rázové kladivo



*obr. 2*

Schématický řez Perkusního kyvadlového rázového kladiva

Metodika zkoušky spočívá v tom, že upnutý plochý materiálový vzorek např. ve tvaru dle *obr. 3* s definovanou délkou deformační zóny je nárazníkovou hlavicí kyvadla přetržen nastavenou rychlostí při nárazu. V časové závislosti je zaznamenávána síla  $F$ , respektive mechanické napětí  $\sigma$  v průběhu destrukce materiálového vzorku až do jeho přetržení. Síla, respektive mechanické napětí je zaznamenávána při vzorkovací frekvenci 2 MHz. Zaznamenaná data jsou On-line převedena do grafického zobrazení  $F=f(t)$ , respektive  $\sigma=f(t)$  a uložena v měřicím PC k možnosti následných analýz, např. pro výzkum vlivu rychlosti destrukce zkušebních materiálových vzorků na dynamickou pevnost zkoušeného materiálu.



*obr. 3* – plochý materiálový vzorek

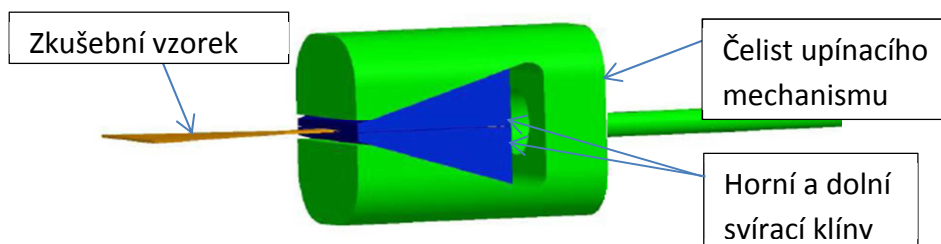
#### 4.1 Postup zkoušky

Provedení zkoušky obsahuje následující kroky:

- a) Dle známých parametrů zkušební materiálového vzorku 7 a dle výpočtů provedených řídicím a vyhodnocovacím blokem 20 se nastaví pomocí aretačního zařízení 4 výchozí poloha kyvadla 3.
- b) V upínacím mechanismu 6 – viz *obr. 4* se ustaví zkušební vzorek 7.
- c) V případě požadavku větší nárazové rychlosti než 7 m/s (což je maximální nárazová rychlost kyvadla, daná konstrukčními parametry kyvadla a účinností gravitačního zrychlení) se nastaví a seřídí tlaky provozních medií ve startovacím zařízení 5 a v brzdícím zařízení 9.

Tím je rázové kladivo připraveno k provedení zkoušky.

- d) Po vydání pokynu z řídicího a vyhodnocovacího bloku 20 se pomocí odjišťovacího mechanismu 42 uvolní kyvadlo 3, kterému je současně dodán nárazníkovým členem 51 startovacího zařízení 5 rychlostní pohybový impuls. Tím dojde k uvedení kyvadla do činnosti buď pouze gravitačním efektem, nebo v kombinaci gravitačního efektu s urychlením od startovacího (odpalovacího) zařízení (čímž je dosaženo jeho řádově vyšších rychlostí při dopadu na zkušební vzorek 7).
- e) Po nárazu nárazové hlavice 31 kyvadla na zkušební vzorek 7 a jeho přetržení je pohyb kyvadla 3 zastaven pomocí brzdícího zařízení 9. V průběhu celého tohoto kroku je On-line měřena se vzorkovací frekvencí 2 MHz síla  $F$  (respektive mechanické napětí  $\sigma$ ) potřebná k přetržení zkušební vzorku a zaznamenáván průběh deformace  $\Delta l$  v průběhu destrukce zkušební vzorku. Tím je zkouška ukončena a v řídicím a vyhodnocovacím bloku 20 je možno prověřit veškeré hodnoty získané měřicím systémem 8.
- f) Poté je kyvadlo 3 vyzdvihnuto do výchozí polohy, do upínacího mechanismu 6 se ustaví nový zkušební vzorek 7 a zkoušku je možno opakovat s případnou změnou parametrů nastavených v řídicím a vyhodnocovacím bloku 20.

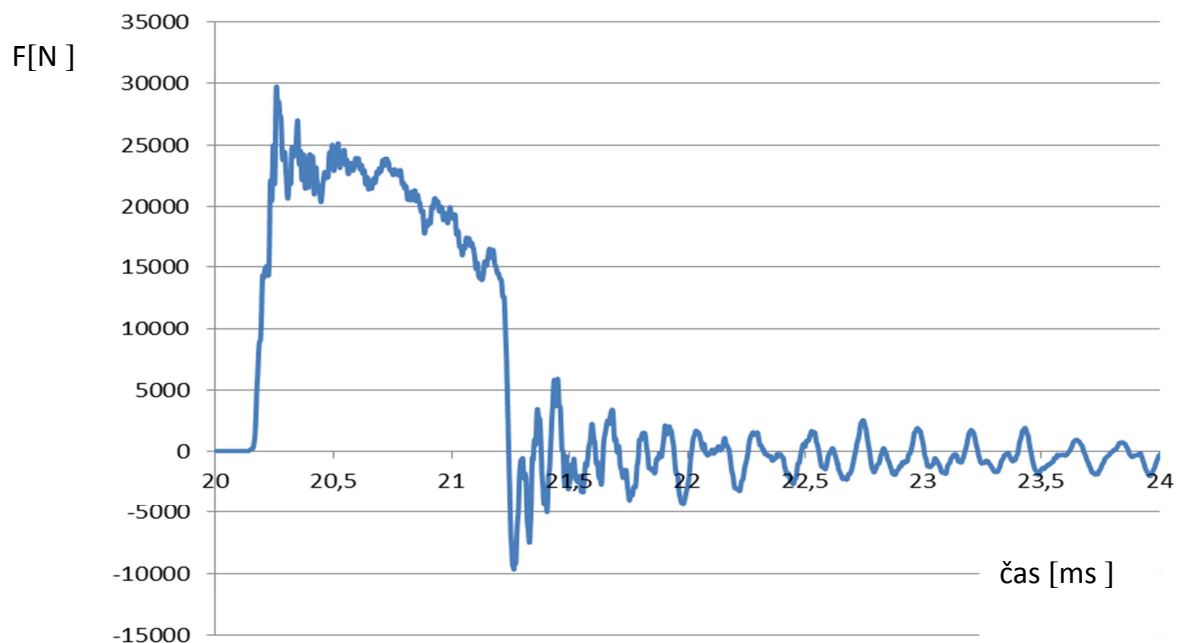


*obr. 4* – Schéma jedné čelisti upínacího mechanismu



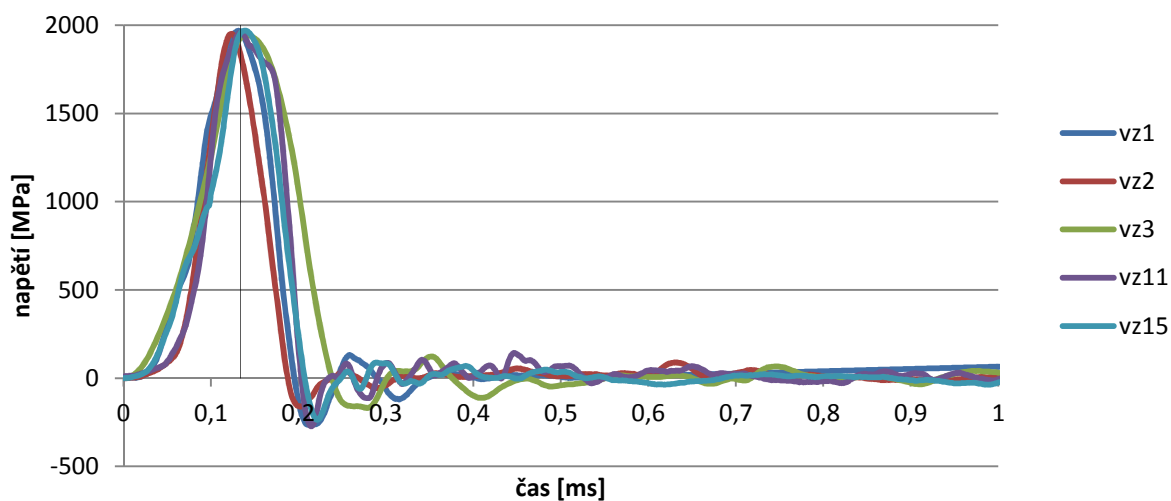
## 4.2 Výstupy zkoušky

Metodika zkoušky je zaměřena na získávání materiálových charakteristik při rychlých dynamických testech materiálů používaných při stavbě drážních vozidel. Výstupy zkoušky jsou On-line časové záznam síly  $F$ , respektive mechanické napětí  $\sigma$  a deformace  $\Delta l$  v průběhu destrukce zkoušených vzorků materiálů a jejich spojů. Pro ilustraci je dále uvedeno několik ukázek záznamů síly v čase pro různé materiály: jedná se o záznamy, které jsou názorným příkladem tzv. instrumentované zkoušky podle předkládané metodiky. V grafickém zobrazení jsou dobře rozlišitelné jednotlivé fáze průběhu destrukce trhaného zkušební vzorku: okamžik nárazu, deformace vzorku až do maximálního nárustu síly (odpovídající dynamické pevnosti materiálu), deformační oblast až do přetržení vzorku, okamžik finálního přetržení vzorku. Ukázky záznamu zkoušky - viz **obr. 5,6**. Ukázka vlivu rychlosti poměrné deformace  $\dot{\epsilon}$  [ $s^{-1}$ ] (derivace poměrné deformace v čase) na velikost maximálního napětí v průběhu zkoušky – viz **obr. 7**.



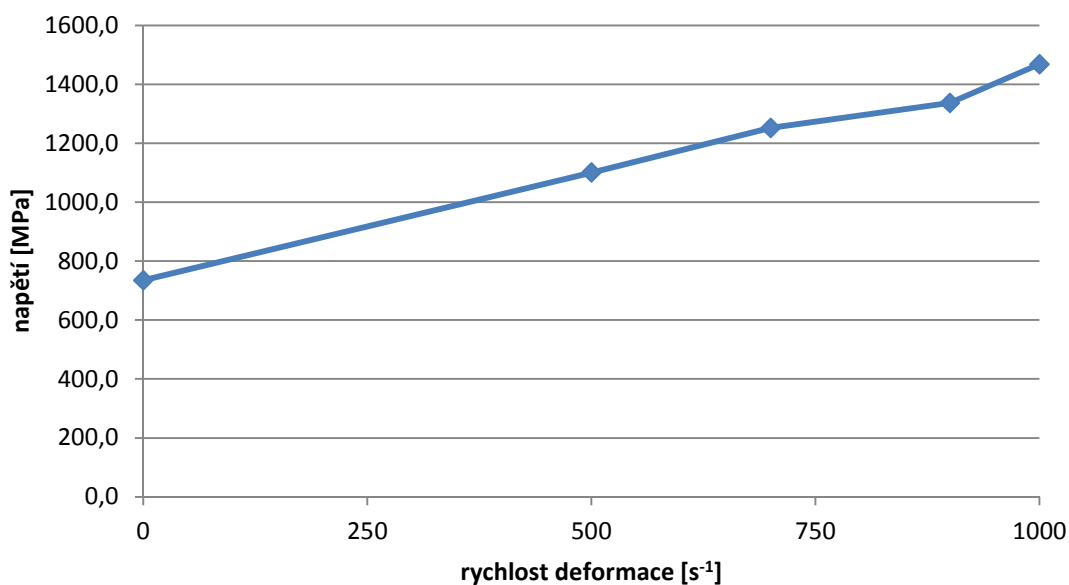
**obr. 5**

Ukázka záznamu síly v čase (materiál s vysokou plasticitou - kvazistatická pevnost  $R_m=350$  MPa, relativně velká deformační oblast cca 1ms)



**obr. 6**

Ukázka záznamu napětí v čase (vysocepevný materiál - kvazistatická pevnost  $R_m=800$  MPa ,  
relativně malá deformační oblast cca 0,2 ms)...převzato z lit. č. 3



**obr. 7**

Ukázka vlivu rychlosti poměrné deformace  $\dot{\epsilon}$  [ $s^{-1}$ ] na velikost maximálního napětí  
vysocepevného materiálu v průběhu zkoušky...převzato z lit. č. 3

## 5. Novost postupů a zdůvodnění metodiky

Na světě neexistuje zkušební zařízení kyvadlového typu a tedy ani metodika zkoušky, která by umožňovala dynamické tahové zkoušení plochých materiálových vzorků (plechů) používaných ve stavbě drážních vozidel (a obecně dopravních prostředků i jiných strojírenských výrobků) při rychlosti nárazu vyšší než 5,5 m/s s časovým záznamem síly  $E$ , respektive deformace  $\Delta l$  v průběhu trhání vzorku (tzv. instrumentovaná zkouška). To dokládá celosvětová patentová rešerše – viz literatura č.1 a udělení patentu Perkusního kyvadlového rázového kladiva v rámci řešení Centra kompetence drážních vozidel–viz literatura č. 2. Vzhledem k tomu, že se jedná o nové zkušební zařízení, mající speciální komponenty (např. startovací - odpalovací zařízení, speciální upínací zařízení materiálových vzorků), vyžadující speciální postup ovládání při realizaci zkoušky, bylo nezbytné sestavit předkládanou metodiku. Její novost spočívá zejména v tom, že dává možnost dynamického zkoušení plochých materiálových vzorků až do rychlosti nárazu 30 m/s. To je unikátní záležitost, která nemá v současném stavu techniky obdobu. Zjištění reálné intenzity dynamického zpevnění v závislosti na rychlosti deformace je podmínkou správné volby materiálů pro stavbu vozidel. Výstupy zkoušky dle této nové metodiky mohou posloužit konstruktérům drážních vozidel stavět z pohledu crashových - havarijních situací, které se v provozu nezdídky vyskytují, bezpečnější vozidla s vyšší odolností proti nárazům.

## 6. Popis uplatnění certifikované metodiky

Předkládaná metodika je předurčena pro zjišťování materiálových charakteristik materiálů a jejich spojů používaných při stavbě drážních vozidel (případně i ostatních dopravních prostředků). V současné době je aktuálně v řešení otázka crashové odolnosti zejména skříní a karoserií vozidel. Konstrukteři u výrobců i oborových výzkumných organizací v ČR i v zahraničí se snaží simulačními výpočty optimalizovat konstrukce vozidel tak, aby při minimalizaci hmotnosti zabezpečovaly požadovanou odolnost v podmínkách zatěžování odpovídajících havarijním situacím. Je ale všeobecně známo, že výsledky simulace bez relevantních vstupních parametrů, a v tomto případě se jedná především o chování materiálů při vysokých rychlostech deformace, jsou nespolehlivé. Proto předpokládáme, že nová metodika přinese výrazný pokrok v dané problematice a její výsledky (výsledky zkoušek podle této metodiky) v nejbližší době výrazně zpřesní pevnostní výpočetní postupy při

návrzích konstrukcí nových drážních vozidel, což ve svém důsledku povede ke zvýšení bezpečnosti jejich provozu.

Druhou, stejně významnou oblastí pro uplatnění předložené metodiky zkoušení, bude možnost kontrolovat kvalitu materiálů dodávaných výrobcům vozidel od subdodavatelů. Dnes se různé subdodavatelské subjekty prezentují kvalitou dodávaných materiálů, ale stále velmi četné poruchy v provozu konstrukcí vozidel, které často ohrožují i životy cestujících a přivozují velké hmotné ztráty provozovatelům vozidel, svědčí o tom, že deklarovaná kvalita dodaných materiálů nebývá dodržena. V současnosti je databáze výrobců, resp. dodavatelů materiálů pro konstrukce drážních vozidel velice široká. To přináší zvýšenou potřebu kontroly kvality nejenom podle již zavedených kritérií, která často nedostatečným způsobem hodnotí odolnost materiálu v extrémních provozních podmínkách, ale i novými způsoby, mezi které se navrhaná metodika řadí.

## 7. Ekonomické aspekty

Ekonomické aspekty lze posuzovat ze dvou hledisek:

- a) Vlastní náklady na provedení zkoušky – kalkulace zkoušky např. 30 ks  
materiálových vzorků - viz **Tab 1**

<b>Položka</b>	<b>Věcná náplň položky</b>	<b>Kalkulace v tis (Kč)</b>
a	Náklady na přípravu zkušebních vzorků (30 ks)	20
b	Osobní náklady na přípravu a realizaci zkoušek (2 lidé 3 dny)	48
c	Osobní náklady na zpracování výsledků zkoušek (2 lidé 2 dny)	32
d	Náklady na energie a krytí opotřebení zkušebního zařízení	50
e	<u>Celkem</u>	150
f	Finanční rezerva 10% na řešení mimořádných okolností	15
<b>g</b>	<b>Celkové předpokládané náklady zkoušky sady 30 vzorků</b>	<b>165</b>

**Tab 1-** Kalkulace nákladů provedení zkoušky dle předkládané metodiky

- b) Konkrétní úspory při zavedení metodiky jsou v této chvíli těžko vyčíslitelné, ale lze předpokládat, že dojde k výraznému snížení nákladů v těchto oblastech:
- a. Snížení nároků na počty provádění crashových zkoušek v případě obdobných konstrukcí vozidel  
např. jedna crashová zkouška čela kolejových vozidel  
lehké stavby stojí cca.....2100 tis Kč
  - b. Snížení nákladů na provádění provozních zkoušek  
např. jedna jízdní pevnostní zkouška kolejového vozidla  
dle ČSN EN 12 663-2 stojí cca..... 450 tis Kč
  - c. Snížení nákladů na provádění dalších statických a dynamických zkoušek na dynamickém zkušebním stavu  
např. jedna pevnostní dynamická zkouška rámu podvozku  
kolejového vozidla stojí cca.....1900 tis Kč
  - d. Další významná úspora spočívá v tom, že tato metodika zkoušky svými výsledky přispěje k lepšímu poznání vlastností materiálů používaných pro stavbu drážních vozidel a tím k možnosti přesnějšího odhadu jejich technické životnosti a provozní spolehlivosti při návrhu konstrukce. Tím lze významně snížit náklady na údržbu, opravy a vlastní provoz vozidel.

## 8. Seznam použité literatury:

1. Soukup Petr: Rešerše RP 346/14, Olomouc, únor 2014
2. Culek Bohumil a kol.: Patent „Perkusního kyvadlového rázového kladiva“ č. 305401, Úřad průmyslového vlastnictví Praha, srpen 2015
3. Konečný Michal: Dynamická pevnost svarů martenzitické oceli bezpečnostních prvků automobilů, disertační práce, Dopravní fakulta Jana Pernera Univerzita Pardubice, 2015
4. ČSN EN 12 663-1: Železniční aplikace – Pevnostní požadavky na konstrukce skříní kolejových vozidel, část 1. Lokomotivy a osobní vozy, říjen 2010
5. ČSN EN 12 663-1: Železniční aplikace – Pevnostní požadavky na konstrukce skříní kolejových vozidel, část 2. Nákladní vozy, říjen 2010
6. ČSN EN ISO 26203-1: Metoda zkoušení tahem při vysokých rychlostech deformace-část 1: Systémy typu pružné tyče, červenec 2010

7. ČSN EN ISO 26203-2: Metoda zkoušení tahem při vysokých rychlostech deformace-  
část 2: Servohydraulické a další zkušební systémy, únor 2012
8. ČSN EN 13260 Železniční aplikace – Dvojkolí a podvozky – Požadavky na výrobky,  
říjen 2009.

## **9. Seznam publikací, které předcházely metodice**

1. Culek Bohumil, Culek Bohumil ml., Schmidová Eva: Zkušební zařízení pro dynamické tahové testy materiálů kolejových vozidel, 22. mezinárodní konference „SúčasnÉ problémy v kolájevých vozidlách – PRORAIL 2015, Žilina, Slovensko
2. Schmidová Eva, Culek Bohumil, Hanus Petr: Dynamic fracture behavior of the martensitic high strength steel after spot welding, 32<sup>nd</sup> Danubia-Adria Symposium on Advances in Experimental Mechanics, 2015, Starý Smokovec, Slovensko
3. Konečný Michal: Dynamická pevnost svarů martenzitické oceli bezpečnostních prvků automobilů, disertační práce 2015, Dopravní fakulta Univerzita Pardubice
4. Schmidova Eva, Culek Bohumil, Kaya Utku: Effect of Rolling Contact Fatigue on the Elastic-Plastic Response of Hadfield steel, Metal 2015, Brno
5. Schmidová Eva, Culek Bohumil: Study of Specific Parameters Determining the Fracture Resistance of Autobody Welded Joints, VI. mezinárodní vědecká konference s podtitulem „Principy udržitelné dopravy“ 2015, Pardubice
6. Hanus Petr., Schmidová Eva, Hojka Přemysl, Vágner Jakub: Influence of the welding proces on the dynamic loading of the martensitic high strength steel, Technologické fórum 2014, Kouty, ČR, ISBN 978-80-87583-10-4