



**26. MEDZINÁRODNÁ KONFERENCIA
„SÚČASNÉ PROBLÉMY V KOLEJOVÝCH
VOZIDLÁCH - PRORAIL 2023“
20. – 22. septembra 2023, Žilina, Slovensko**

<https://doi.org/10.26552/spkv.Z.2023.1.04>

EXPERIMENTÁLNÍ VÝZKUM MATERIÁLŮ KOL A KOLEJNIC NA STENDU VDP UNIVERZITY PARDUBICE

EXPERIMENTAL RESEARCH OF WHEEL AND RAIL MATERIALS ON VDP STAND OF THE UNIVERSITY OF PARDUBICE

Bohumil CULEK, Eva SCHMIDOVÁ, Jiří MALINSKÝ, Bohumil jr. CULEK, Jan PULDA^{*)}

1 ÚVOD

S vývojem nových konstrukcí kolejových vozidel a jejich provozem je spojena i otázka materiálů kol a kolejnic. Neustále se řeší životnosti obou kontaktních ploch ve styku kolo-kolejnice a to jak z pohledu kontaktní únavy, tak i opotřebení. Protože to je oblast, která bezprostředně souvisí z bezpečností provozu, věnuje se jí mimořádná pozornost v teoretické i experimentální rovině. Na Dopravní fakultě Jana Pernera, Univerzity Pardubice bylo ve spolupráci s VÚKV a.s. vyvinuto, postaveno a postupně zdokonalováno laboratorní zařízení na principu Van der Poolova modelu (VDP), na kterém je možné realizovat experimentální výzkum a zkušební činnosti spojené s vývojem a ověřováním materiálů kol a kolejnic. V příspěvku je podána informace o laboratorním zařízení VDP a experimentech, které se na něm realizují.

2 POPIS LABORATORNÍHO ZAŘÍZENÍ VDP

Laboratorní zařízení (VDP) (*obr. 1 a obr. 2*) umožňuje simulace provozních situací, odehrávajících se v kontaktu kolo-kolejnice, s tím, že se jedná o experimentální simulaci, která modelově odpovídá reálným podmínkám s danou úrovní nepřesnosti modelu (dotyková plocha je daná poloměry odvalujících se válců, zatímco v reálu se kolo odvaluje po kolejnici nekonečného poloměru). Uvedená disproporce je u testů prováděných na laboratorním zařízení kompenzována nastavením silových poměrů tak, aby v kombinaci s geometrií kontaktních ploch bylo vždy docíleno kontaktních tlaků a tedy i namáhání

^{*)}**prof. Ing. Bohumil CULEK, CSc.**, Katedra dopravních prostředků a diagnostiky, Dopravní fakulta Jana Pernera, Univerzita Pardubice, Studentská 95, 532 10 Pardubice, tel. ++420 466 038511, e-mail: bohumil.culek@upce.cz, věnuje se dynamické pevnosti a zkoušení kolejových vozidel,

prof. Ing. Eva SCHMIDOVÁ, Ph.D., Katedra mechaniky, materiálů a částí strojů, Dopravní fakulta Jana Pernera, Univerzita Pardubice, Studentská 95, 532 10 Pardubice, tel. ++420 466 038507, e-mail: eva.schmidova@upce.cz, věnuje se výzkumu a vývoji materiálů.

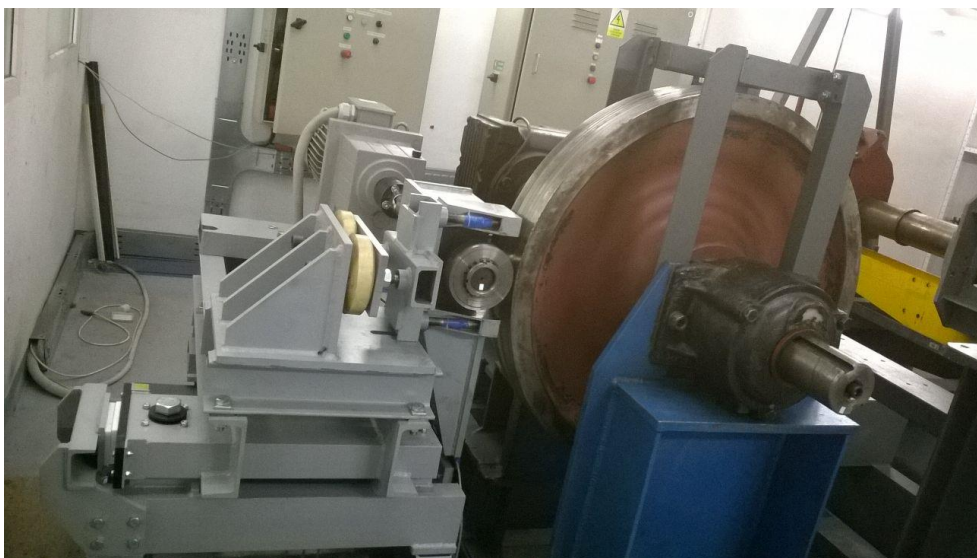
Ing. Jiří MALINSKÝ, VÚKV a.s., Bucharova 1314/8, 158 00 Praha 13 tel. ++420 251 113 401, e-mail: jim@vukv.cz, věnuje se konstrukci a zkoušení kolejových vozidel.

doc. Ing. Bohumil CULEK, Ph.D., Katedra dopravního stavitelství, Dopravní fakulta Jana Pernera, Univerzita Pardubice, Studentská 95, 532 10 Pardubice, tel. ++420 466 038514, e-mail: culek@upce.cz, věnuje se dynamické pevnosti a zkoušení ocelových konstrukcí,

Ing. Jan PULDA, VÚKV a.s., Bucharova 1314/8, 158 00 Praha 13 tel. ++420 251 113 953, e-mail: jan.pulda@student.upce.cz, věnuje se konstrukci a zkoušení kolejových vozidel.

testovaných materiálů odpovídajících reálnému provozu. Laboratorní zařízení VDP umožňuje vnášení následujících silových účinků a nastavení kinematických poloh v kontaktu rotujících kotoučů (kolo testovaného materiálu-hnací válec):

- radiální síla F_Q (0-25kN),
- tangenciální síla F_T (0-15kN) na obvodu testovaného kola (ϕ 130-160mm),
- nastavení polohy kontaktního bodu v šířce 120mm plochy hnacího kola (ϕ 1000mm),
- nastavení úhlu náběhu α ($\pm 10^\circ$) k vyvození smykových sil:
 - při "nabíhání testovaného kola na hnací válec",
 - při "odbíhání testovaného kola od hnacího válce",
- rozsah obvodové rychlosti je 0-40 km/h,
- přesnosti při vnášení silových účinků staticky i dynamicky je 5%,
- nastavení geometrických poloh při statických testech je s přesností $\pm 0,2$ mm,
- přesnost geometrických poloh při dynamických testech je $\pm 0,5$ mm.

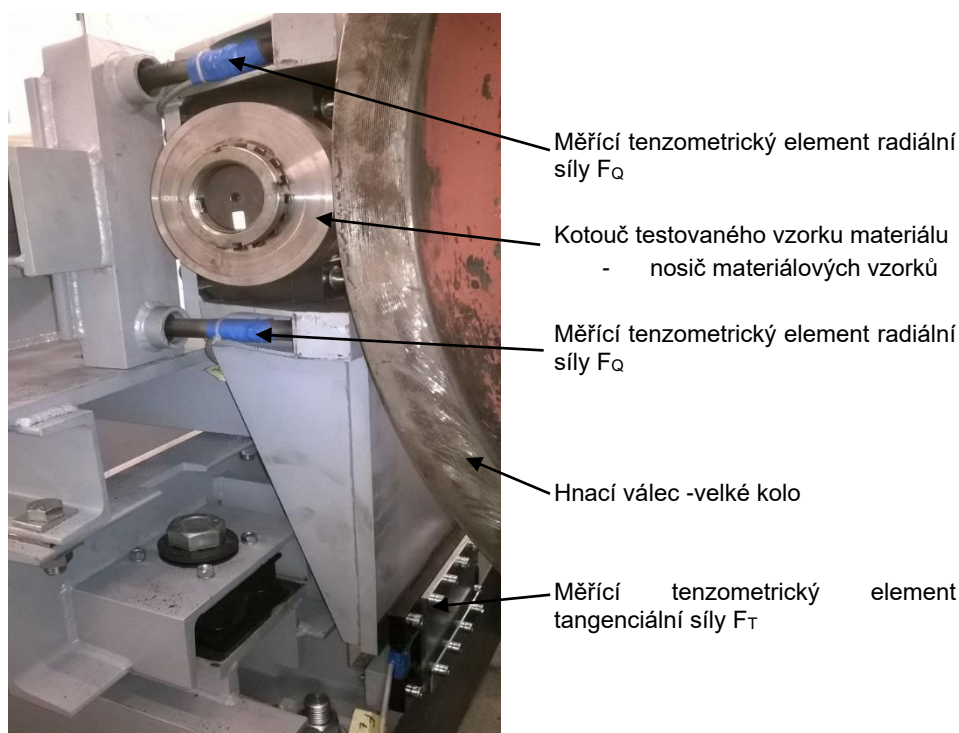


Obr. 1 Stend VDP

Fig. 1 VDP Stand

V současnosti existuje řada speciálních zkušebních testovacích zařízení pro simulaci kontaktně-únavového procesu v zatížení železniční kolo-kolejnice, které se liší měřítkem zkušebních vzorků vzhledem k reálným rozměrům kontaktní dvojice a možnostmi dosažení reálných parametrů zatížení v provozu. S požadavkem přiblížení se při testování materiálu k reálným provozním podmínkám vzniká i potřeba testovat různé materiály za zcela identických podmínek zatěžování. Tento požadavek je v současném stavu techniky zkušebních zařízení ne zcela dosažitelný. Všechny dosavadní konstrukce zkušebních zařízení v této oblasti vycházejí z toho, že materiálový vzorek ve tvaru kotouče je zkoušen za určitých nastavených zkušebních podmínek. Po skončení testu je tento materiálový vzorek ze zařízení demontován a nahrazen jiným vzorkem, který je pak pro porovnání obou vzorků testován, pokud možno za stejných podmínek. Následné materiálové analýzy obou vzorků vedou k posouzení, který ze vzorků je z hlediska kontaktní únavy odolnější. Uvedená

řešení a jejich aplikace mají zásadní nevýhodu v tom, že neumožňují porovnání různých materiálů za absolutně stejných podmínek, protože vždy při výměně jednotlivých vzorků (kotoučů) z daného materiálu, dojde při nastavování parametrů testu k nepřesnostem, kterými jsou zejména geometrické nejistoty v nastavení kontaktu, nejistota v nastavení zatěžující síly v kontaktu, nejistota v nastavení skluzu odvalujících se částí - tedy hnacího kola a zkušebního kotouče. To vše má za následek, že porovnání výsledků u jednotlivých materiálových vzorků je nepřesné, a tedy i určení nejhodnější varianty zkoušených materiálů je problematické.

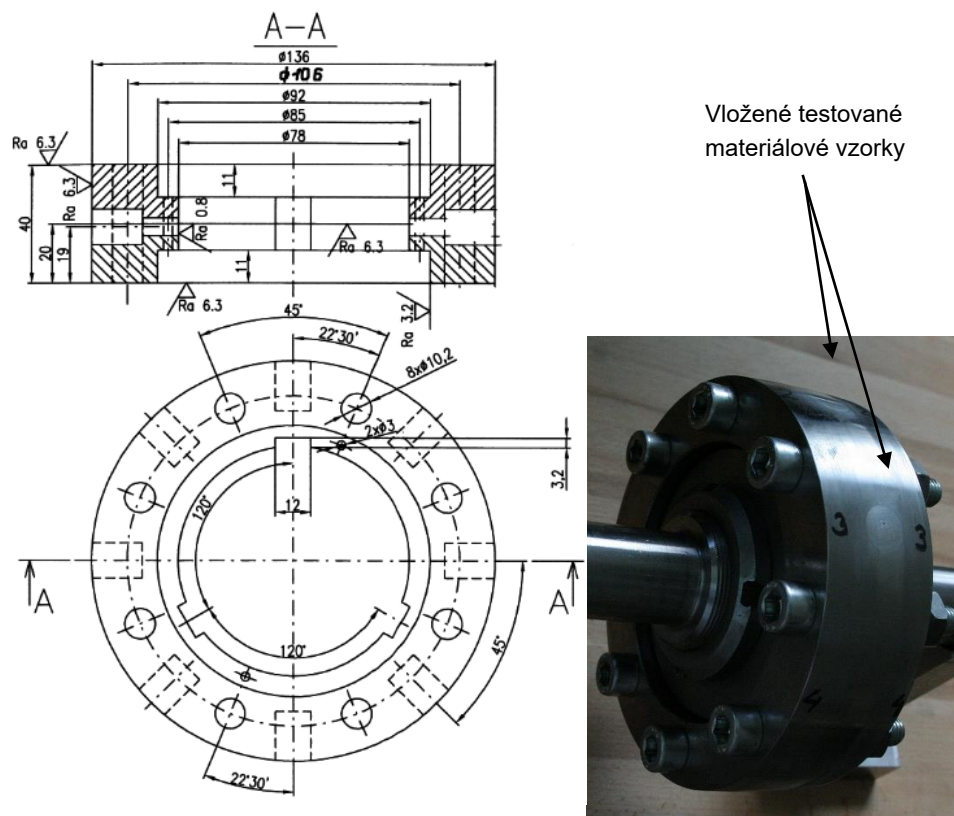


Obr. 2 Měřící elementy stendu VDP

Fig. 2 Measuring elements of the VDP stand

Na laboratorním zařízení VDP, které umožňuje i toto popsané testování, tj. celistvých kotoučů materiálových vzorků (využívá se hlavně při testech odolnosti materiálů proti opotřebení), lze testovat také jednotlivé materiálové vzorky, které jsou vloženy do zkušebního kotouče – nosiče vzorků (**Obr. 3**), umožňujícího upevnění až osmi materiálových vzorků po obvodu kotouče. To zaručuje provádění přesných srovnávacích testů několika variantních materiálů, popřípadě testování povrchových úprav těchto materiálů, za zcela identických podmínek. Rozměry zkušebního kotouče i vkládaných materiálových vzorků jsou navrženy tak, aby vkládané materiálové vzorky bylo možné "odebrat" z vrstev z železničních kol nebo kolejnic, které jsou rozhodující z hlediska kontaktní únavy a tedy životnosti a bezpečnosti železničních kol i kolejnic.

Výhoda stendu VDP je v možnostech realizace testů a experimentálního výzkumu při aplikaci provozních podmínek v laboratoři, při zajištění vysoké přesnosti nastavovaných parametrů zkoušek a experimentů.



Obr. 3 Testované vzorky materiálů vložené do nosiče vzorku
Fig. 3 Tested material samples inserted into the sample carrier

3 PŘÍKLADY EXPERIMENTÁLNÍHO VÝZKUMU NA LABORATORNÍM ZAŘÍZENÍ VDP

3.1 Výzkum kontaktní únavy materiálu kolejnic

Testovaný materiál je zatěžován v řízeném poměru normálového zatížení a relativního podélného skluzu. Normálové zatížení ve valivé dvojici je vyvozeno radiálním přítlakem nosiče vzorků, do kterého jsou po obvodu osazeny testované vzorky materiálu. Metodika experimentu je založena na postupném vyjímání jednotlivých vzorků ve zvolené etapě zatěžování a materiálových analýzách rozsahu a mechanismu odpovídajícího stavu poškození kontaktní plochy vzorků. Parametry zatěžování jsou upřesňovány v jednotlivých etapách hodnocení (dle etap měření povrchové tvrdosti, popř. výměny testovaných vzorků) podle rozsahu opotřebení kontaktní plochy.

Parametry zatěžování:

- relativní podélný skluz (vzhledem k otáčkám nosiče vzorků) ... 1%
- normálové zatížení: 9kN (při šířce stopy 8 mm, kont. tlak 1200MPa)
- volné odvalování - výchozí stav:
 - otáčky na motoru - velké kolo 3000 ot./min.,
 - převod. poměr - velké kolo/nosič 1: 6,77.

Vlivem postupně se rozvíjejícího poškození kontaktních ploch testovaných vzorků dochází při odvalování k nárůstu dynamické složky zatížení. Odvalování je proto ukončeno

a zařazena dalř  doplňující série bez výměny vzorků ař do pořadovan ho pořtu 1 mil cyklů. Parametry zatěřov n  jsou upřesňovány v jednotlivých etapách hodnocení (dle etap měření povrchov  tvrdosti, popř. výměny testovaných vzorků) podle rozsahu opotřebení kontaktn  plochy:

- norm lov  zatěřen  je přizpůsobeno podle aktu ln  šířky kontaktn  stopy na definovan  kontaktn  tlak
- relativn  skluz je propořit n vzhledem k aktuálním „voln m“ otáčkám nosiře vzorků.

Stabilita zatěřovac ch parametrů v závislosti na době zatěřov n  je evidována záznamem časového přub hu zatěřuj c  síly v intervalech měření tvrdosti vzorků.

Poměr valivých přum rů hnacího kola vs. nosiře vzorků („kolejnice vs kolo“) je 6,8, př  přum ru nosiře vzorků ve výchozím stavu 136 mm a meridi nov m profilu kontaktu se zaoblen m $R = 300$ mm (kontaktn  plocha je upravována soustružen m na fin ln  profil po osazen  vzorků). Pod ln  skluz je vyvozován samostatn  řízen m EM s plynulou regulací brzdného výkonu.

Metodika hodnocení experimentu m  tří stupně:

a) Hodnocen  tvrdosti

- hodnocení časových změn tvrdosti kontaktn  plochy - povrchov  měření tvrdosti jednotlivých vzorků v daném  asov m intervalu pomocí dynamick  metody měření,
- hodnocení dosahu zpevn n  - měření mikrotvrdosti HV 0,05 v liniích kolmo na zatěřovanou plochu.

b) Strukturn  analýzy

- hodnocení povrchových změn struktury – dosahu plastick  deformace

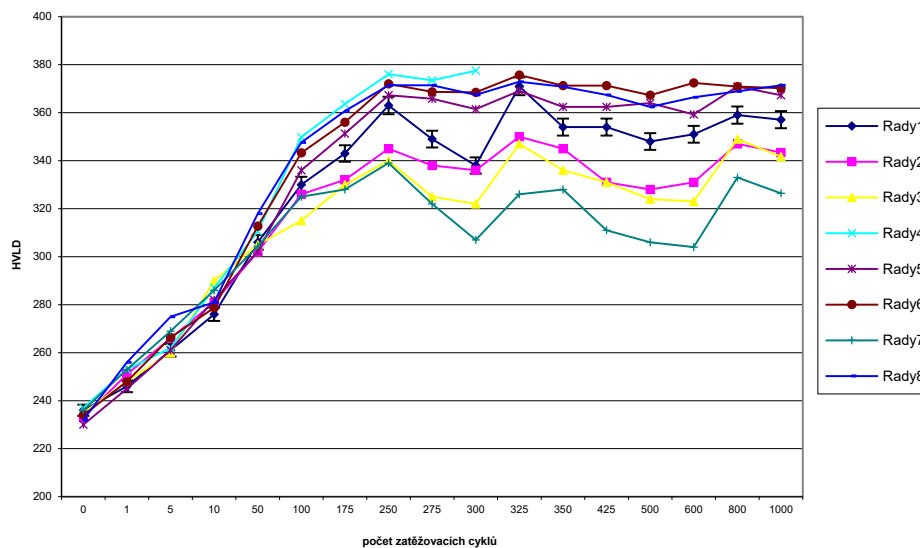
c) Hodnocen  pořkozen  povrchu

- vyhodnocen  povrchov  iniciovaných vad obrazovou analýzou – hloubka, tendence rozvoje
- vyhodnocen  mechanismu pořkozen  v závislosti na době experimentálního zatěřov n .

Vybran  výsledky experimentu - viz **obr. 4** ař **obr. 6**.

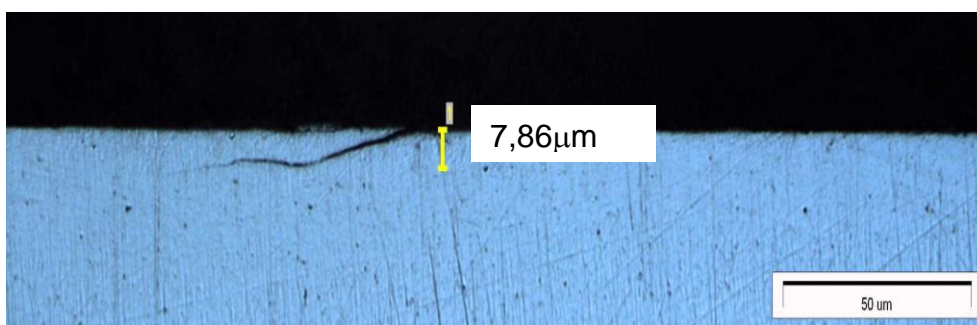


Obr. 4 Rozvoj degradace kontaktn  plochy s dobou zatěřov n 
Fig. 4 Development of contact surface degradation with loading time



Obr. 5 Stabilizace tvrdosti povrchové vrstvy s počty cyklů

Fig. 5 Stabilization of the hardness of the surface layer with the number of cycles



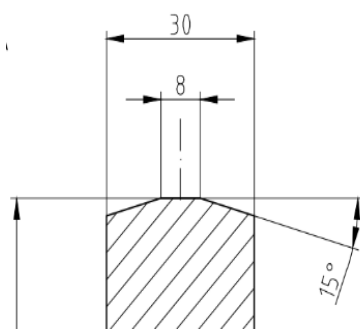
Obr. 6 Mikroskopické zjištění povrchových trhlin

Fig. 6 Microscopic detection of surface cracks

3.2 Testy opotreben ı materi l  kol a kolejnic p ri kontaktn e-  navov em nam ah n ı

Testy jsou založeny na voliteln e kombinac ı jednotliv ych složek provozn ıho kontaktn e- navov eho zat ıen ı. Kontaktn ı dvojice je vytvořena  elezni n ım kolem o p r m eru 920 mm s upraven ym v lcov ym profilem a zku ebn ım tělesem (kotoučem) s p r m erem min 136 mm.  ıřka kontaktn ı stopy zku ebn ıch kotoučů, kter  je ovlivn ena v p r b hu testů opotreben ım, je upravov ana soustru en ım vždy po ka d e etapě testů na v ychoz ı hodnotu p ri zachov n ı p vodn ı geometrie kotoučů (**obr. 7**).

- kontaktn ı zat ıen ı (norm lov  síla) je nastavov ano plynule mechanick ym p ıtla n ym zař zen ım;
- pod eln  skluz je vyvozen samostatn e ř zen ym elektromotorem s plynulou regulac ı brzdn eho v ykonu;
- p r chn  skluz je vyvozen úhlem náběhu zku ebn ıho kotouče.



Obr. 7 P r chn ı profil kotouče

Fig. 7 Transverse disc profile

Hodnotic ım krit erium testů opotreben ı je jednoduch e sledov n ı hmotnostn ıch úbytků jednotliv ych vzorků v závislosti na po tu cyklů. Výsledky testů jsou b ı n e uv ad eny ve formě v vojov ych grafů opotreben ı a tabulky opotreben ı, p r klad - viz **TAB. 1**.

TAB. 1 Výsledky opotreben ı jednotliv ych materiálů

TABLE 1 Wear results of individual materials

�. měření	Počet cyklů (tis.)		Hmotnostn�ı �bytky (g)			Suma opotreben�ı (g)		
	Δn	Σn	Materiál 1	Materi�l2	Materi�l3	Materiál 1	Materi�l2	Materi�l3
I	10	10	0.19	0.7	0.16	0.19	0.7	0.19
II	30	40	0.77	1.51	0.3	0.96	2.21	0.46
III	15	55	3.12	3.22	2.02	4.08	5.43	2.48
IV	15	70	2.92	2.34	1.54	7.02	7.77	4.02
V	30	100	5.76	5.82	0.84	12.76	13.59	4.86
VI	30	130	3.37	3.27	0.98	16.13	16.86	5.84
VII	30	160	5.27	4.06	0.76	21.4	20.92	6.6
VIII	15	175	1.38	1.74	0.6	22.78	22.66	7.2
IX	15	190	0.93	1.26	0.66	23.71	23.92	7.86
X	30	220	1.46	1.95	0.84	25.17	25.87	8.7

5 ZÁVĚR

Popsané laboratorní zařízení VDP a uvedené příklady experimentálního výzkumu, které jsou na něm realizovány a v současné době se další připravují, dávají poměrně rychlé praktické výsledky v oblasti vývoje a zejména renovace (např. navařování materiálů) kol a kolejnic. Testy materiálů, které VDP umožňuje, mohou přispět v oblasti experimentálního aplikovaného výzkumu k celkovému řešení problematiky kontaktu kolo-kolejnice, kterážto problematika má stále k řešení některé otázky, např. únavovou pevnost, která úzce souvisí s bezpečností provozu.

Příspěvek vznikl v souvislosti s řešením projektu TAČR č. CK02000177 Prediktivní údržba kolejové dopravní cesty.

Literatura

[1] Schmidová E., Culek B., Tlustoš J.: Patent 307036, Přípravek k upevnění vzorků v testovacím zařízení pro kontaktně únavové zkoušky materiálů, 2017. [2] Voltr P., Culek B.: Příprava experimentů na zkušebních stavech DFJP, technická zpráva DFJP, 2017. [3] Culek B., Malinský J.: Rekalibrace měřicího systému VDP, Technická zpráva DFJP č.VVCD-8/2020, 2020. [4] Schmidová E., Culek B., Tlustoš J.: Evropský patent EP 3465137B1 Jig for mounting samples in a test device for material contact fatigue tests, 2021.



Resumé

V příspěvku je popsáno laboratorní zařízení VDP, které slouží k testům materiálů kol a kolejnic. Lze na něm realizovat kontaktně únavové zkoušky dvou odvalujících se kotoučů, které modelově nahrazují kolo a kolejnici. V součinnosti s materiálovými analýzami testovaných materiálů v průběhu zkoušek je pak možné posoudit únavovou odolnost těchto materiálů proti vzniku trhlin. Druhým typem testů, které lze na VDP realizovat, jsou testy odolnosti materiálů kol a kolejnic proti opotřebení. Oba způsoby popsaného testování materiálů kol a kolejnic spadají do oblasti experimentálního výzkumu v problematice kontaktu kolo - kolejnice.

Summary

The article describes VDP laboratory equipment, which is used for testing wheel and rail materials. It can be used to carry out contact fatigue tests of two rolling rollers, which replace the wheel and rail in the model. In cooperation with the material analyzes of the tested materials during the tests, it is then possible to assess the fatigue resistance of those materials against the formation of cracks. The second type of tests that can be carried out at VDP are tests of the wear resistance of wheel and rail materials. Both methods of described testing of wheel and rail materials fall into the field of experimental research in the issue of wheel-rail contact.