

Metodika pro plošné měření únosnosti vozovek úpravou deflektometru FWD

Metodika vznikla v rámci řešení projektu TAČR TA04031709
Optimalizace návrhu údržby a oprav vozovek pro snížení jejich celoživotních nákladů

Autoři: Ing. Dušan Stehlík, Ph.D.
Ing. Robert Kaděrka, Ph.D.
Ing. Luděk Mališ
Ing. Petr Hýzl, Ph.D.
doc. Dr. Ing. Michal Varaus

V Brně, červenec 2017

OBSAH

1.	Cíl metodiky	3
2.	Vlastní popis metodiky	5
2.1.	Princip metody měření	5
2.2.	Okrajové podmínky	6
2.3.	Zkušební zařízení a pomůcky	6
2.4.	Pracovní postup	6
2.5.	Vyjádření výsledků	8
2.6.	Opakovatelnost výsledků	9
2.7.	Interpretace výsledků a obor použitelnosti metody	9
3.	Srovnání „novosti postupů“	10
3.1.	Základní popis inovace	14
3.2.	Synergie metody celoplošného měření FWD s liniovým měřením mezi jízdními stopami	16
4.	Popis uplatnění certifikované metodiky	17
5.	Ekonomické aspekty	18
6.	Seznam použité související literatury	18
7.	Seznam publikací, které předcházely metodice	20
8.	Dedikace na projekt	20
9.	Vypracování metodiky	20
10.	Jména oponentů a názvy jejich organizací	20

1. Cíl metodiky

V současné době je pro stanovení únosnosti při diagnostice vozovek v ČR velmi často používána nedestruktivní rázová zatěžovací zkouška deflektometrem (FWD). Zařízení používané pro tuto metodu stanovení únosnosti jsou schopné měřit v ose jízdního pruhu (vnější stopa kol). V některých případech poruch vozovek, zejména prostorových deformací okrajů vozovky, neodpovídají naměřené průhyby zjištěné liniovým směrem okrajovým částem vozovky. V těchto místech, zejména vlivem změny vlhkosti v podkladních vrstvách a podloží vozovky dochází k celkovému snížení nebo lokálnímu kolísání únosnosti konstrukčních vrstev a spodní stavby vozovky. Tento jev sebou přináší nehomogenitu vlastností podkladních vrstev vozovky, případně podloží vozovky, a to může přímo ovlivnit optimální posouzení údržby a oprav nebo rekonstrukcí celého úseku komunikace. Možností, jak se vyvarovat tomuto negativnímu jevu posouzení stavu konstrukce vozovky, je využívání dvousměrného stanovení průhybových čar nedestruktivní rázovou zatěžovací zkouškou (FWD) a vytvoření pravoúhlého systému výpočtu modulů pružnosti E_{vd} ve vrstevnatém poloprostoru vozovky. Tento případ se může týkat až 50% poruch silnic II. a III. třídy, místních komunikací, 10% poruch silnic I. třídy.

Hlavním cílem metodiky je popis vhodné úpravy měřícího zařízení FWD a stanovení postupu rozšířeného měření a vyhodnocení průhybů stanovených ve dvou na sobě kolmých osách. Použitím rozšířeného měření je možné získat optimálnější profil únosnosti vozovky v ploše jízdního pruhu, tedy i do šířky až 2,5 m.

Metodika zavádí doporučení pro sledování únosnosti vozovek poškozených především prostorovou deformací za účelem přesnějšího (plošného) stanovení stavu jednotlivých konstrukčních vrstev vozovky. Tím bude možné, z hlediska diagnostiky, volit technicky a ekonomicky optimálnější technologie oprav a rekonstrukcí vozovek.

2. Vlastní popis metodiky

2.1 Princip úpravy měřícího zařízení

Konstrukčně se jedná o ocelový rám svařený z uzavřených obdélníkových profilů 65 x 85 mm. Na tento upravený díl, který je součástí celého měřícího rámu, jsou umístěny snímače průhybu typu „Geofon“, které jsou rozděleny po délce rámu přesně podle projektového (měřícího) schématu. V současném schématu je předpoklad využití 17 snímačů tohoto typu. Prvních 13 snímačů bude v hlavním směru jízdy a zbylé 4 snímače na nové úpravě zařízení (na obrázku 2 zvýrazněno oranžovou barvou). Délka příčného měřícího ramene je v základu 700 mm. Uspořádání geofonů na rámu je: podélný nosník 0-200-300-450-600-900-1200-1500-1800-2100 mm; příčný nosník 260-350-450 mm.

2.2 Okrajové podmínky použití úpravy měřícího zařízení deflektometru

2.2.1. Specifikace použití rozšířeného rámu deflektometru

- V případě podezření na změnu konstrukce v příčném profilu vozovky.

- Podezření na změnu ve vlastnostech materiálů v příčném profilu vozovkou (změna vlhkosti, podloží apod.)
- Další aplikace je měření na příčných překopech a krátkých výspravách, kde není možné obracet celé zařízení FWD do příčného směru kvůli omezení a zastavení provozu (riziko těžkých havárií)

2.2.2. Podmínky použití rozšířeného rámu deflektometru

Omezení je na výrazně příčně deformovaných površích, kde by nebylo možné umístit měřicí rám tak, aby všechny snímače mohly relevantně měřit průhyb.

2.3. Zkušební zařízení

- Měřicí zařízení – deflektometr FWD

2.4 Pracovní postup (příklad)

Snímače G16 a G17 jsou umístěny v příčném směru tak, aby jejich radiální vzdálenost (900/1100mm) a odečtené průhyby byly porovnatelné se snímači v podélném směru (900/1200mm). Dosažení radiální vzdálenosti 1200mm v příčném směru by přesahovalo šířku FWD, proto je zvoleno 1100mm.

Geofon	X-souřadnice	Y-souřadnice	R-radiální vzdálenost od středu zatížení
G1	0mm	0mm	0mm
G14	260	130	290
G15	260	230	350
G13	450	0	450
G16	820	370	900
G17	820	730	1100



Obrázek 2 Detail a pohled na upravené měřicí zařízení FWD

2.5. Vyjádření výsledků-příklad

Měření průhybů vozovky a výpočet únosnosti je provedeno ve dvou podélných profilech (vnější a vnitřní stopa kol vozidel):

- Profil 1: 1,0 m od kraje vozovky / 3,2m od osy
Profil 2: 2,7m od kraje vozovky / 1,5 m od osy

Metodika pro plošné měření únosnosti vozovek úpravou deflektometru FWD

Obvyklé zatížení 50 kN, případně 80 kN.

Výsledné tabulky obsahují průhyby v podélném směru a příčném směru, tabulky jsou samostatné. Současně jsou uvedeny v dalších tabulkách (viz. níže) výpočtové moduly **Evd** dle ČSN 73 6192, tj. **E0** tj. Surface Moduli tj. moduly pružnosti poloprostoru.

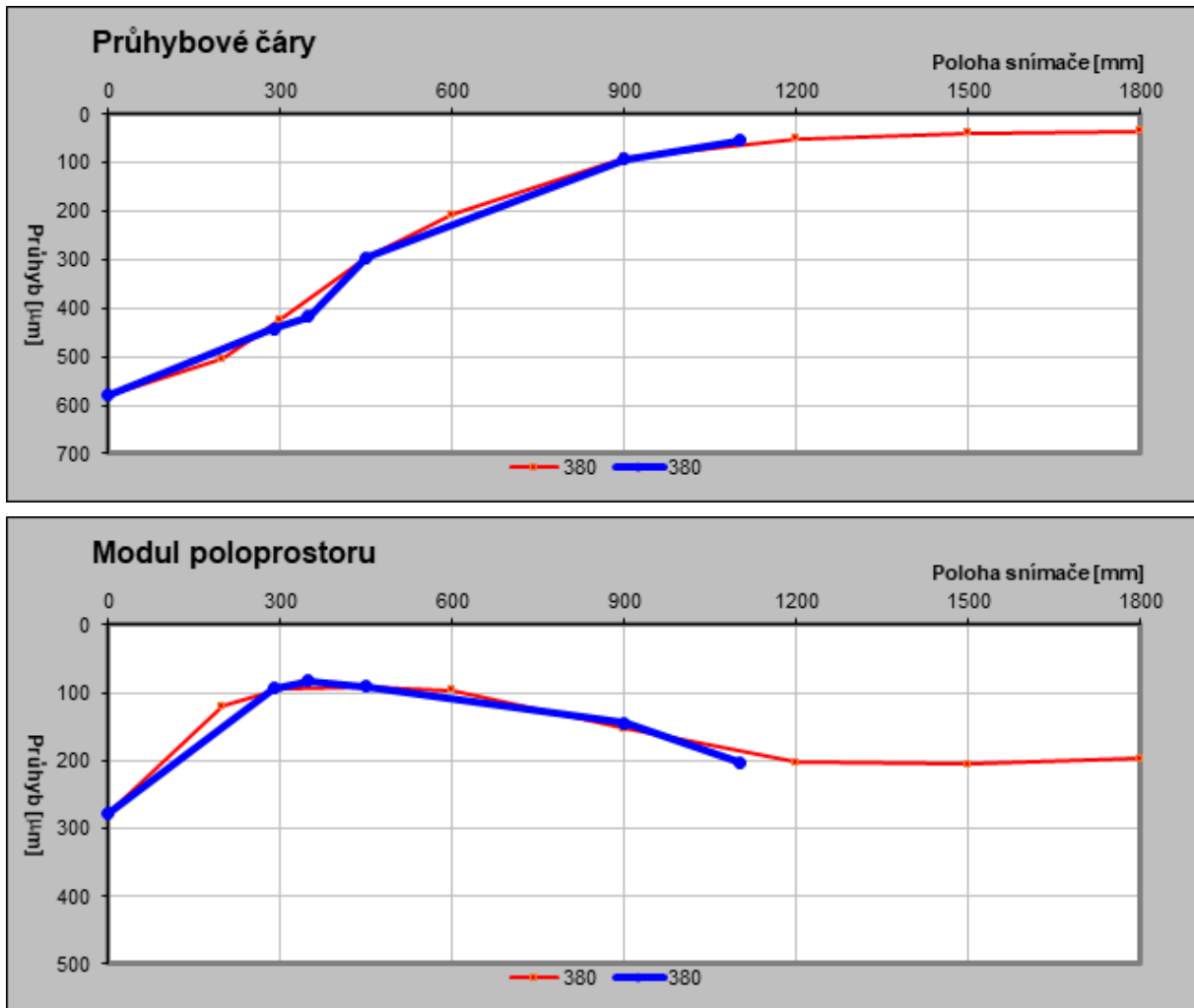
Interpretace výsledků a obor použitelnosti metody

Bod	Lokalizace		Profil	Tlak [kPa]	Teplota povrchu [°C]	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	Y9	E0Y1	E0							Síla [kN]	ISM [kN/mm]	
	Projektu [m]	Poznámky				[µm]	[µm]	[µm]	[µm]	[µm]	[µm]	[µm]	[µm]	[µm]		[µm]	[µm]	[µm]	0	200	300	450			600
1	0	ZU	1	580	19.5	383	345	302	237	180	93	52	37	28	398	166	126	107	106	137	183	204	224	40.97	107
2	20	A,D	1	577	19.6	339	301	259	202	158	88	54	37	27	448	190	147	125	121	144	175	206	233	40.78	120
3	40	D	1	567	19.7	257	226	196	158	125	72	45	32	22	582	247	191	158	149	173	205	234	282	40.09	156
4	60	D	1	571	19.8	239	214	187	153	123	74	49	35	24	628	263	201	164	152	168	190	216	265	40.33	169
5	80	D	1	574	19.6	238	208	178	143	113	64	42	30	21	634	272	213	176	168	197	224	255	295	40.59	170
6	100	D	1	585	19.8	232	206	178	141	113	65	44	29	22	664	281	216	183	171	197	220	270	298	41.38	178
7	120	D	1	580	19.7	268	243	214	176	143	85	54	34	24	570	236	178	144	134	150	176	222	264	41.01	153
8	140	D	1	603	20.0	228	202	175	142	111	64	40	25	19	696	294	227	187	178	206	245	313	353	42.65	187
9	160	D	1	604	19.8	239	209	178	137	107	56	34	22	17	664	285	223	193	186	235	292	368	390	42.66	178
10	180	D	1	583	19.9	170	146	123	98	72	37	27	20	15	900	395	313	262	267	341	354	387	418	41.21	242
11	200	D	1	605	20.1	204	179	152	119	92	49	31	23	18	779	334	262	223	217	274	319	354	363	42.76	209
12	220	D	1	583	20.1	189	163	137	106	80	43	32	26	21	813	352	280	242	241	295	303	299	310	41.20	218
13	240	D	1	592	20.2	213	188	160	127	100	56	39	30	24	731	311	244	205	196	232	250	264	270	41.85	196
14	260	D	1	595	20.3	235	205	174	136	104	57	40	30	25	667	287	225	193	189	229	247	259	263	42.06	179
15	280	D	1	595	20.3	220	195	167	132	103	59	40	30	22	711	301	235	197	190	220	244	259	294	42.07	191
16	300	D	1	586	20.1	250	223	193	157	125	71	46	32	25	617	259	198	163	155	180	208	241	258	41.45	166
17	321	D	1	600	20.1	280	251	218	172	133	73	47	33	27	594	236	181	153	149	180	209	239	245	42.39	151
18	340	D	1	610	20.2	307	268	232	181	140	76	45	31	24	523	225	173	148	144	176	221	257	282	43.15	140
19	360	D	1	621	20.2	334	282	235	174	129	63	38	27	23	489	217	174	156	159	215	267	304	299	43.87	131
20	380	D	1	611	20.4	579	504	423	296	208	88	50	39	34	278	120	95	90	97	153	202	205	197	43.19	75
21	400	A,D,EI1	1	575	20.4	460	415	357	272	201	102	60	40	31	329	137	106	93	94	124	159	191	204	40.62	88
22	402	A,D,EI1	1	588	20.4	540	451	375	276	203	98	57	39	31	287	129	103	94	95	132	169	197	205	41.57	77
23	420	A,D	1	613	20.3	278	240	206	158	121	63	38	26	21	582	253	196	170	166	212	264	306	319	43.36	156
24	440	D	1	614	20.4	228	181	142	98	67	34	27	22	19	709	334	265	275	300	392	368	360	358	43.39	190
25	460	D	1	611	20.3	242	196	161	131	99	58	38	27	20	666	307	249	205	204	231	263	298	331	43.19	179
26	480	KU,Z,KO	1	590	20.7	290	253	215	170	133	76	49	34	24	535	230	180	152	146	169	196	231	267	41.67	144

Bod	Lokalizace		Profil	Tlak [kPa]	Teplota povrchu [°C]	Y1	Y4	Y5	Y13	Y16	Y17	E0Y1	E0					Síla [kN]	ISM [kN/mm]						
	Projektu [m]	Poznámky				[µm]	[µm]	[µm]	[µm]	[µm]	[µm]		[µm]	[µm]	0	290	350			450	900	1100			
1	0	ZU	2	612	20.6	277	226	213	174	81	58	583	185	163	155	166	190							43.29	156
2	20	D	2	603	20.1	333	264	246	198	91	65	476	156	138	133	146	165							42.59	128
3	40	D	2	604	20.6	293	229	215	175	80	56	542	179	159	151	166	194							42.71	146
4	60	D	2	605	20.8	252	199	186	152	70	50	631	207	183	174	188	215							42.76	169
5	80	D	2	613	20.8	258	197	182	145	62	43	625	212	190	185	216	253							43.33	168
6	100	D	2	606	20.8	255	198	185	149	63	43	626	209	185	178	212	251							42.81	168
7	120	D	2	620	20.8	256	200	186	151	68	48	639	212	188	181	200	230							43.83	171
8	140	D	2	607	20.8	218	167	156	125	55	39	733	248	220	213	244	283							42.91	197
9	160	D	2	598	20.9	224	168	155	123	49	34	702	242	218	213	266	316							42.30	189
10	180	D	2	623	20.8	159	116	106	82	31	24	1030	365	330	335	438	458							44.06	276
11	200	D	2	625	20.9	196	145	134	106	44	32	839	293	262	260	309	355							44.14	225
12	220	D	2	619	20.9	175	126	116	90	37	30	932	334	301	302	367	376							43.79	250
13	240	D	2	608	21.1	184	136	125	98	44	36	868	305	275	272	303	299							42.99	233
14	260	D	2	637	21.1	188	142	132	105	50	40	892	306	273	265	280	290							45.05	239
15	280	D	2	628	21.1	197	152	141	114	51	39	838	262	252	242	268	288							44.40	225
16	300	D	2	610	21.3	204	157	145	117	54	42	786	285	236	229	249	252							43.10	211
17	320	D	2	635	21.1	246	182	167	130	54	42	679	238	214	214	257	271							44.90	182
18	340	D	2	618	21.2	287	214	198	157	60	41	567	196	176	172	227	268							43.66	152
19	360	D	2	633	21.2	238	186	172	134	55	39	699	232	208	207	252	289							44.76	188
20	380	D	2	614	21.2	278	204	189	145	56	40	580	205	184	186	242	279							43.38	156
21	400	D	2	597	21.2	242	184	171	136	61	46	648	221	197	193	214	233							42.17	174
22	420	D	2	607	21.4	228	167	155	121	52	37	701	248	221	220	258	293							42.90	168
23	440	D	2	639	21.4	259	178	161	120	43	31	649	245	224	234	327	368							45.15	174
24	460	D	2	623	21.5	223	167	155	127	58	42	735	254	227	215	238	265							44.06	197
25	480	KU,Z,KO	2	637	21.9	283	152	134	97	109	38	593	285	268	288	129	302							45.04	159

Pozn. Zatížení experimentálně 40kN (je to méně než požadovaných 50kN), ale i tak jsou průhyby dostatečné.

Poznámka: Zpracování v současné době je časově poměrně náročné, exportovaná data z FWD je potřeba pro příčný směr ručně doladit, při velkoobjemových sběrech by nastala komplikace s nepřehledností výstupů, je tam stále hodně manuální práce v MS Excelu. Pokračují práce na výpočtovém programu pro zrychlení a zpřehlednění výsledků měření FWD.



Obrázek 3 Vyhodnocení průhybů a modulů pružnosti v podélném směru – červená větev, příčném směru – modrá větev

3. Srovnání „novosti postupů“

V České republice ani zahraničí se v silničním stavitelství doposud tato úprava zařízení pro stanovení Evd měřícím zařízením FWD standardně nepoužívá.

3.1. Základní popis inovace

Při tvorbě metodiky se vycházelo především z těchto předpokladů:

- V České republice je podle dostupných informací převládajícím typem zřízení pro nedestruktivní rázové zatěžovací zkoušky vozovek (FWD).
- Zvolený postup stanovení únosnosti rozšířeným zařízením FWD by měl být co nejjednodušší, dostatečně experimentálně robustní a s jasnou vypovídající hodnotou.

Samotné upravená metoda má oproti standardní metodě měření několik výhod oproti současnému stavu:

- Je dostatečně jednoduchá, instrumentálně a časově nenáročná a rozšiřuje posuzované hodnoty průhybů vrstev vozovky.

- b) Počáteční investice jsou relativně malé.
- c) Vhodná pro operativní použití při kontrole poškození všech dopravních ploch.

3.2 Synergie obou měřících ramen zařízení deflektometru

Nedílnou součástí informací poskytovaných inovovanými zkušebními metodami je demonstrace vzájemné provázanosti výsledků tohoto rozšíření zkušebního zařízení. Porovnání výsledků zkoušky s rozšířeným rámem a s hodnotami výsledků základního liniového uspořádání ukazují, že existuje výrazná korelace mezi změnami těchto parametrů. Je to potvrzení teorie šíření vln v homogenním prostoru (kulové, zde v poloprostoru polokulovité šíření).

4. Přínos a popis uplatnění certifikované metodiky

Přínosem uvedené úpravy nedestruktivního rázového zařízení FWD je především rozšíření možnosti hodnocení průhybů konstrukce vozovky po šířce do větší zachycené plochy. Sledovány mohou být i okraje vozovky, které při běžném průzkumu, většinou ve stopách vozidel, nebyly zohledňovány do optimalizace návrhu oprav vozovek, především nižších tříd. Např. v Austrálii měří každý jízdní pruh ve dvou profilech s krokem 2 m, Zkvalitnění posuzování celé šířky vozovky bude mít přínos i pro budoucí plánované recyklace konstrukce vozovek, protože umožní upřesnit šířky frézování vrstev postižených ztrátou únosnosti v okrajových částech vozovek.

5. Ekonomické aspekty

Investice do budování a údržby silniční infrastruktury jsou základním pilířem a předpokladem ekonomické úspěšnosti a dalšího rozvoje daného územního celku nebo celého státu. Drtivá většina těchto investic je financována z veřejných zdrojů a každé i nepatrné zvýšení kvality prováděných staveb nebo oprav vede ke zvýšení servisní životnosti, což může vést v tomto národohospodářském sektoru z dlouhodobého hlediska k miliardovým úsporám investičních prostředků. Z tohoto pohledu může být už jen tato samotná metodika dalším významným stavebním kamenem politiky jakosti českých vozovek, které enormním způsobem amplifikuje prostředky vložené do projektu TA04031709 „Optimalizace návrhu údržby a oprav vozovek pro snížení jejich celoživotních nákladů“.

6. Seznam použité související literatury

Comparative Evaluation of Subgrade Resilient Modulus, research project 03-3P from non-destructive, in-situ and laboratory methods, Louisiana Transportation Research Center (LTRC), 2003

CLYNE, T.R., XIUJUN Li, MARASTRANU, M.I., SKOK, E.L., Dynamic and resilient modulus of Mn/DOT Asphalt Mixtures, Final Report, University of Minnesota, Minneapolis, USA, 2006

HOPKINS, T.C., BECKHAM, T.L., SUN, Ch., Ni, B., Resilient modulus of Kentucky Soils, research report KTC-01-07/SPR-163-95-1F KYSPR-15-163, Kentucky Transportation Center, College of engineering, University of Kentucky, USA, 2004

GEORGE, K.P., Prediction of resilient modulus from soil index properties, final report Department of Civil Engineering, The university of Mississippi, USA, 2004

Five-Year report on the Performance of Roaway Section with Tenax Roadrain Geocomposite, Maine DOT Route 1, Frankfort-Winterport Project, Contech, Middletown, 2003

TUTUMLUER, E., DAWSON, A., Resilient characterization of compacted aggregate (Nonlinearity, Anisotropy and Use In New 2002 Guide), presentation for TRB 2004 Workshop – Describing Aggregate Behavior for Today's Pavements

SIDDHARTHAN, R.V., KRISHNAMENON, N., EL-MOUSLY, M., SEBAALY, P.E., Validation of a Pavement Response Model Using Full-scale Field Tests, The International Journal of Pavement Engineering, Taylor & Francis, 2002 Vol. 3(2), pp. 85-93

7. Seznam publikací, které předcházely metodice

ČSN 73 6192 Rázové zatěžovací zkoušky vozovek a podloží (1996)

TP 87 Navrhování údržby a oprav netuhých vozovek (2010)

8. Dedikace na projekt

Metodika byla zpracována v rámci řešení projektu Technologické agentury ČR s označením TA04031709 „Optimalizace návrhu údržby a oprav vozovek pro snížení jejich celoživotních nákladů“.

9. Vypracování metodiky

Ing. Dušan Stehlík, Ph.D., Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební

Ing. Robert Kaděrka, Ph.D., PavEx Cosulting, s.r.o.

Ing. Luděk Mališ, PavEx Cosulting, s.r.o.

Ing. Petr Hýzl, Ph.D., Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební

doc. Dr. Ing. Michal Varaus, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební

10. Jména oponentů a názvy jejich organizací

Ing. Jiří Škrabka, vedoucí samostatného oddělení zkušebnictví Praha, Ředitelství silnic a dálnic ČR

Ing. Jan Zajíček, APT servis, expert na diagnostiku vozovek