AV '23 KONFERENCE ASFALTOVÉ VOZOVKY 2023

Vliv rychlosti pohybu vozidel při navrhování vozovek

Ing. Jiří Fiedler

28. – 29. listopadu 2023, České Budějovice

Motto: Po asfaltu z krize ven

SDRUŽENÍ PRO VÝSTAVBU SILNIC
ČESKÁ SILNIČNÍ SPOLEČNOST CZECH ROAD SOCIETY
EAPA
PRAGOPROJEKT

Tuhost asfaltových směsí závisí na době zatížení a na teplotě. Předpokládá se, že rychlosti vozidel ≈ 80 km/h, odpovídá při laboratorní zkoušce kontinuální cyklická frekvence f = 10 Hz.

Při malé rychlosti pohybu (tj. delší době zatížení) je tuhost AC směsi menší. Proto je větší protažení ve spodní části asfaltových vrstev vozovky. Pak by vyšel návrhovou metodou nižší vypočtený mezní počet opakování zatížení ($N_{cd,lim}$).

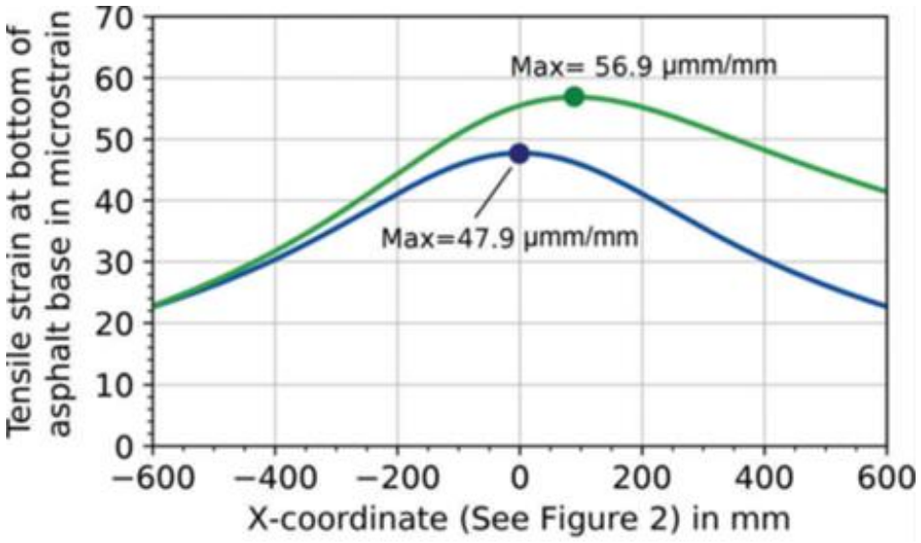
V TP 170 se to pro pomalou a zastavující dopravu řeší zjednodušeně 2x větším počtem návrhových náprav (C_4 = 2,0).

Delší dobu zatížení lze modelovat zkouškou s menší frekvencí.

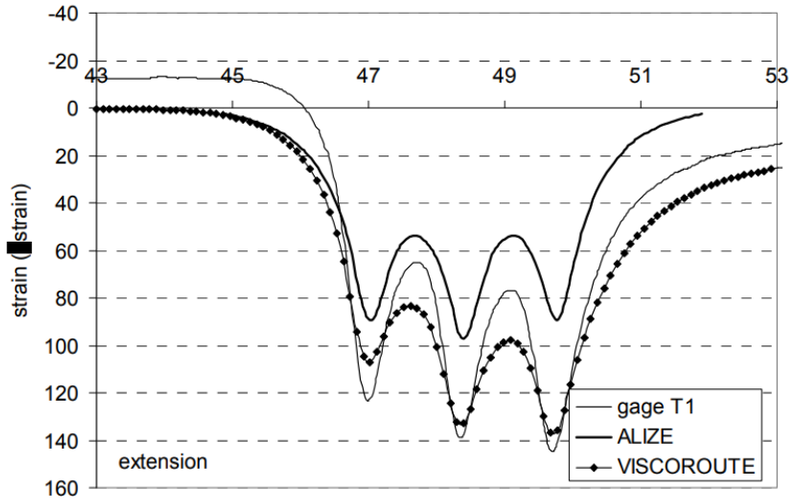
Při posouzení vlivu rychlosti je vhodné zohlednit i to, že průběh napětí od jedoucího vozidla má jiný tvar než statické zatížení dle teorie lineárně pružného vrstevnatého poloprostoru (LPVP).

Příklady přetvoření při LPVP a při viskoelastickém modelu

Program Dynapave lit. [10]
q = 0,7 MPa, d = 0,3 m (dle RDO Asphalt 09)
T = 20 °C, v = 80 km/h

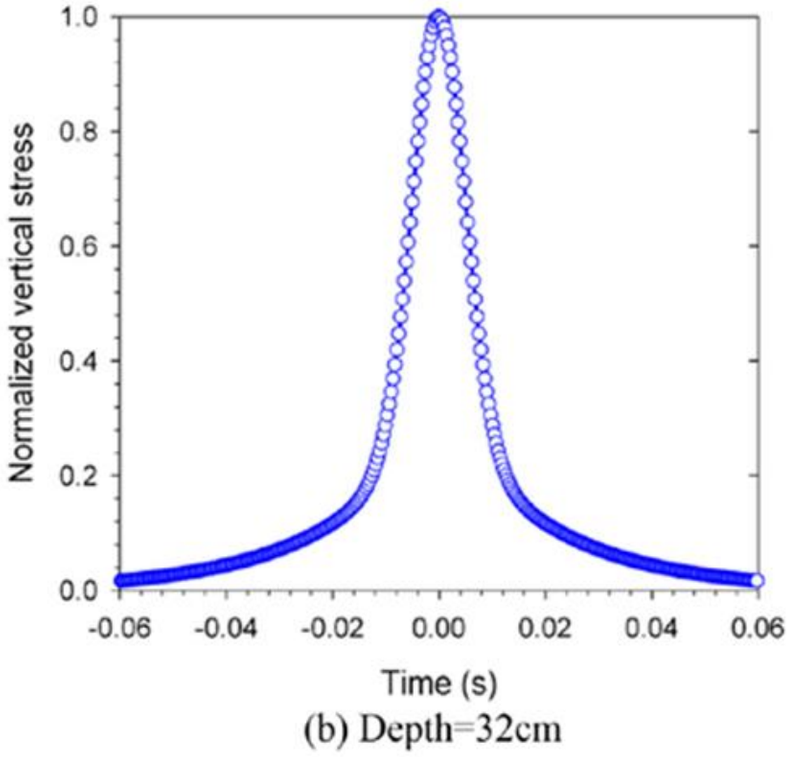


Viscoroute lit. [9], graf Kerzrého et al,
T = 20 °C, v = 42 km/h, 3 x 42,5 kN
Příčné přetvoření bylo větší než podélné
Poměr tridem/náprava $(\approx 140/100)^5 \approx 5$

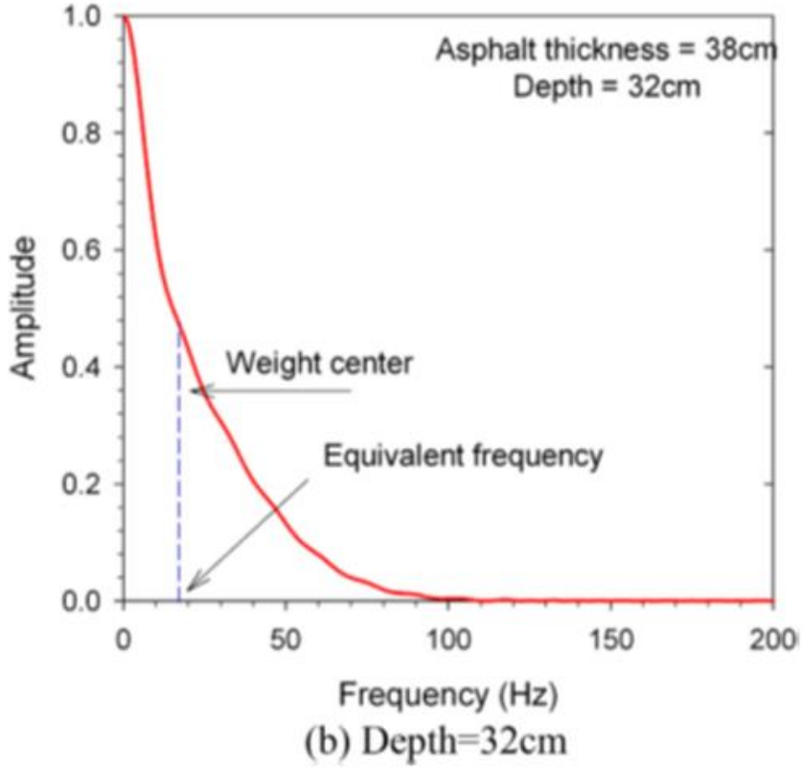


Kerzrého J.-P., et al, 2013
https://www.researchgate.net/publication/235661143_Evaluation_of_the_Aggressiveness_of_Different_Multi-axle_Loads_using_APT_Tests

Teoretické svislé napětí dle LPVP, spektrum a ekvivalentní frekvence Fourierovou transformací



(b) Depth=32cm

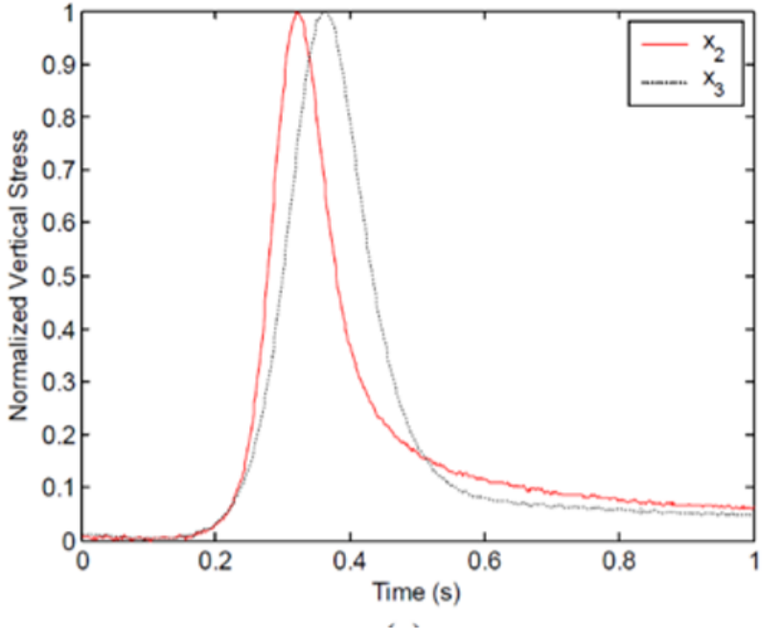


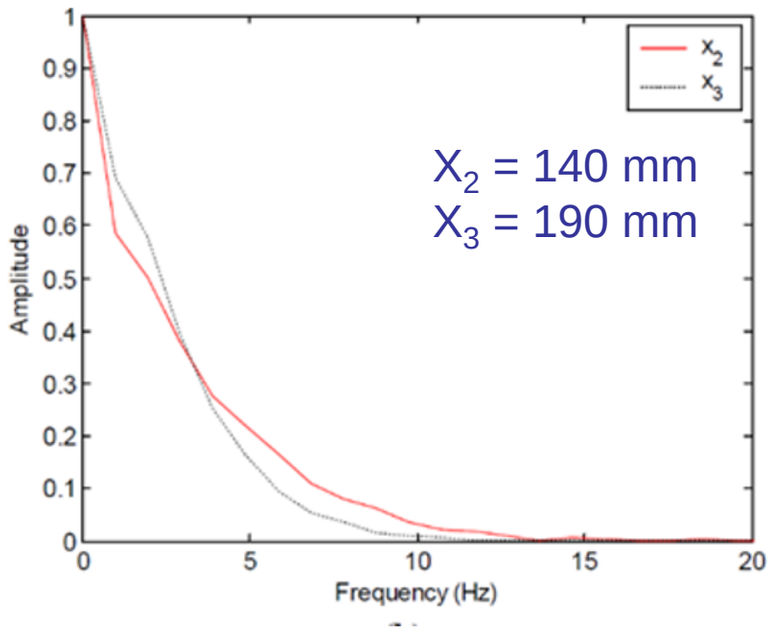
(b) Depth=32cm

Uvažovaná rychlost pohybu 100 km/h.
Ekvivalentní frekvence pro hloubku 320 mm je 18 Hz.

Zdroj:Ghanizadeh R., [4]

Měřené svislé napětí, spektrum a ekvivalentní frekvence Fourierovou transformací pro 2 hloubky





Pomalejší pokles po odlehčení, než u LPVP (vliv viskoelastického chování).
Měřená rychlost pohybu 8 km/h. Ekvivalentní frekvence cca 3,5 Hz.

Zdroj: Al-Qadi I. L., [3]

Ekvivalentní frekvence dle měření v [3] a výpočtů v [4] pro tři rychlosti a dvě hloubky pod povrchem

Rychlost pohybu (km/h)	H = 140 mm		H = 190 mm	
Zdroj	[3]	[4]	[3]	[4]
8	4,6	2,5	3,5	2,2
24	7,5	7,4	4,6	6,7
40	11,8	12,3	7,4	11,2

Pro rychlost 80 km/h je f = 10 Hz dostatečně opatrným předpokladem.
Ovšem pro 8 km/h vychází dle [4] v hloubce 190 mm f_{ekv} jen 2,2 Hz.

V [5] byla v roce 2020 dle měření na 3 vozovkách navržena závislost
$f_{ekv} = 0{,}127 \times V$ tj. pro V = 10 km/h f_{ekv} = 1,3 Hz

V ČR se obvykle provádějí laboratorní zkoušky tuhosti asfaltových směsí jen pro porovnání s návrhovými hodnotami v předpisech, tj. pro teplotu 15 °C a frekvenci 10 Hz.

Měření modulů při několika frekvencích není časově náročné. Lze tím získat závislost modulu tuhosti na frekvenci.

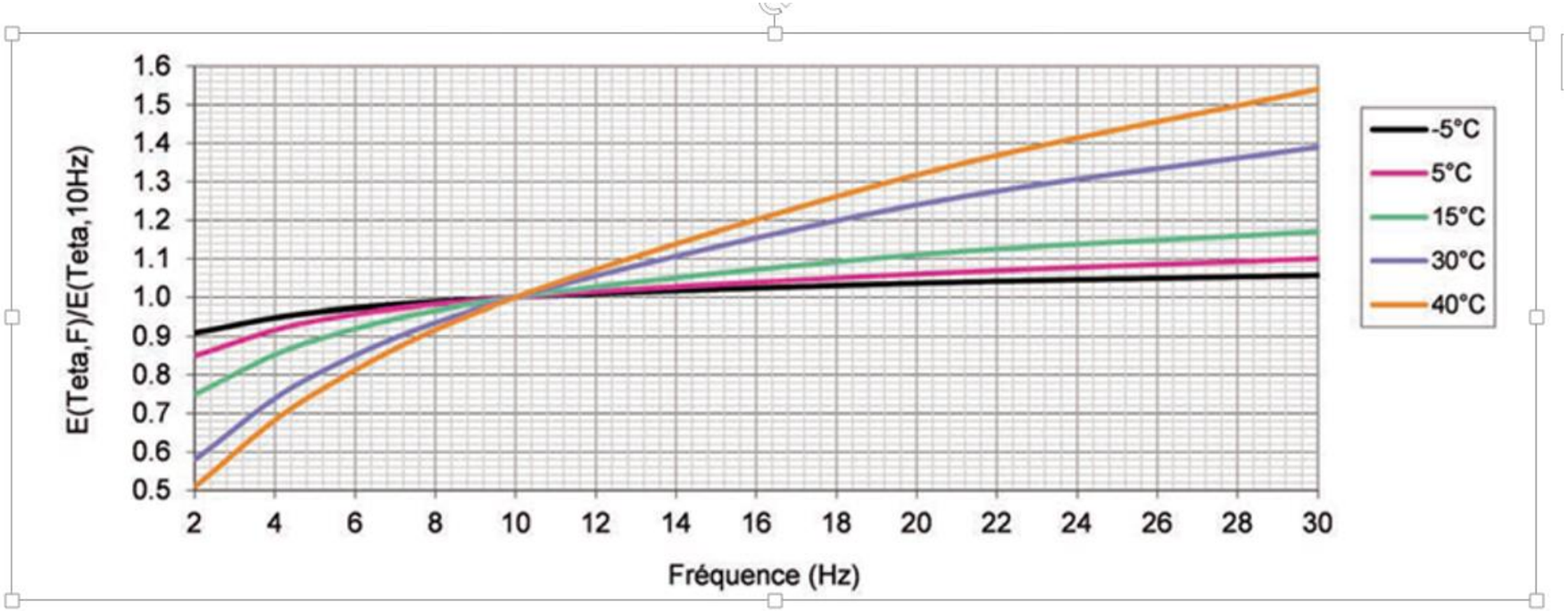
Při 15 °C a f = 1 - 10 Hz je závislost v log-log měřítku přímková. Proto lze modul spolehlivě interpolovat již ze 3 frekvencí.

Nejsou-li zkoušky k dispozici, lze použít údaje z literatury.

Ve francouzském předpise pro navrhování asfaltových vozovek na letištích (STAC) je závislost poměru modulu pro zadanou teplotu a frekvenci k modulu při teplotě 15 °C a frekvenci 10 Hz.

V manuálu STAC se při návrhu vozovky předpokládá f = 0,1 x V

Závislost poměru modulů tuhosti asfaltových směsí na frekvenci a teplotě (společná pro všechny AC)



Zdroj: STAC, [7]

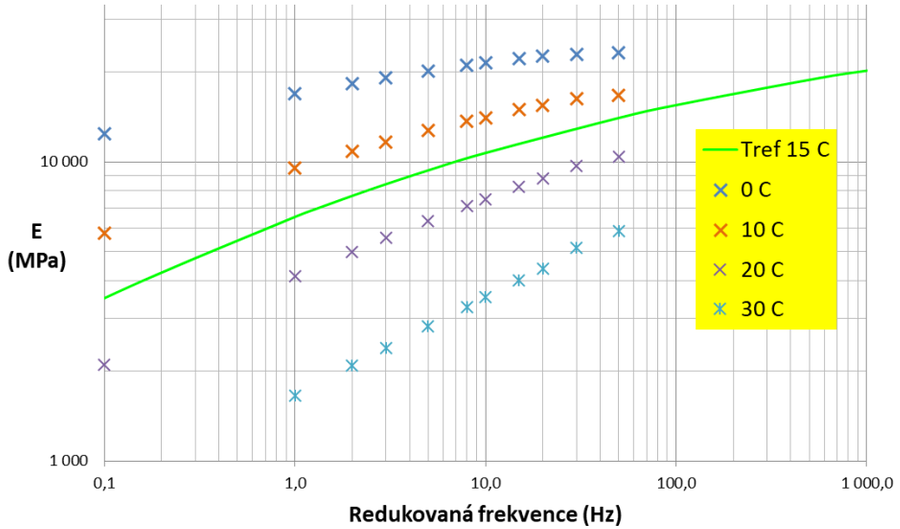
Pro f = 2 Hz a 15 °C je poměr modulů 0,75 → poměr protažení AC ≈ 1,16 a N_{cd} ≈ 0,47
Pro 20 °C by byl vliv malé rychlosti větší (viz literatura [10] program DynaPave)

Dva příklady vlivu rychlosti pohybu na návrh vozovky

Moduly AC dle grafu STAC (AC 200mm)

thick. (m)	modulus (MPa)	Poisson coeff.	Zcalcul (m)	EpsT (µdef)	SigmaT (MPa)	EpsZ (µdef)	SigmaZ (MPa)
0,040	5625,0	0,330	0,000	30,1	0,398	5,5	0,800
			0,040	19,8	0,395	63,0	0,740
	bonded						
0,070	5625,0	0,330	0,040	19,8	0,395	63,0	0,740
			0,110	-22,9	-0,015	66,1	0,380
	bonded						
0,090	5625,0	0,330	0,110	-22,9	-0,015	66,1	0,380
			0,200	-87,9	-0,641	83,1	0,083
	bonded						
0,150	500,0	0,250	0,200	-87,9	-0,028	187,2	0,083
			0,350	-90,7	-0,045	113,2	0,036
	bonded						
0,150	300,0	0,300	0,350	-90,7	-0,021	157,6	0,036
			0,500	-102,4	-0,033	134,0	0,021
	bonded						
infinite	90,0	0,350	0,500	-102,4	-0,002	249,5	0,021

Moduly AC ze zkoušek ČVUT 2017 [6]



Pro f = 2 Hz (v ≈ 20 km/h) je dle grafu STAC

E = 7 500 x 0,75 = 5 625 MPa

Poměr EpsT = 87,9 / 75,6 = 1,16

Pro B = 5,0 by byl poměr

$N_{lim,2Hz} / N_{lim,10Hz} = (1,0 / 1,16)^5 = 0,47$

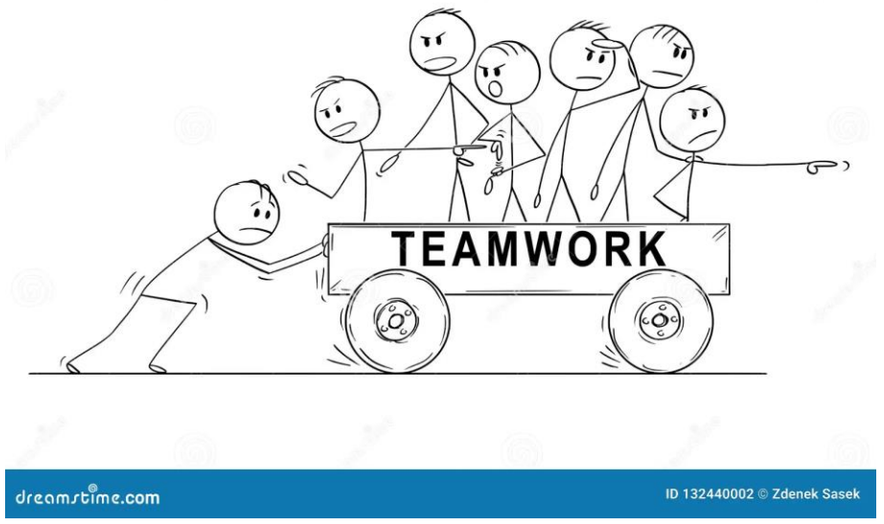
V (km/h)	f_r [5]	E_f/E_{10}	E_{red}	ε_h	$\varepsilon_h/\varepsilon_{h10}$	N_{lim}/N_{lim10}	C_4
78,7	10	1,00	7 500	65,8	1,00	1,00	1,0
39,4	5	0,87	6 525	71,0	1,08	0,68	1,5
23,6	3	0,79	5 925	74,7	1,14	0,53	1,9
15,7	2	0,72	5 400	78,3	1,19	0,42	2,4
10,2	1,3	0,65	4 875	82,3	1,25	0,33	3,1
7,9	1	0,61	4 575	84,8	1,29	0,28	3,6

Pozn.: Modul ze zkoušek ČVUT větší než dle TP 170, vrstvy AC 230 mm, vztah f a V dle [5]

Závěry

- Obvykle lze vliv malé rychlosti pohybu vozidel zohlednit jen zvýšením počtu přejezdů návrhových náprav dle TP 170, tj. (C_4 = 2,0).
- **Z údajů v literatuře a z vlastních výpočtů plyne, že pro rychlosti pohybu ≤ ≈ 20 km/h, nebo pro případy častého zastavování těžkých vozidel, by bylo vhodné počet návrhových náprav zvýšit více.** Když je rychlost vozidel o málo menší než 50 km/h, nebo je jen malá možnost stání těžkých vozidel, lze užít menší zvýšení dopravního zatížení než v TP170.
- Vhodnější je postupovat tak, že pro malé rychlosti pohybu vozidel se zvolí přiměřené snížení hodnot návrhových modulů tuhosti asfaltových směsí uvedených v předpisech (nebo se modul zjistí zkouškou pro zvolenou frekvenci) a počítá se s nezvýšeným dopravním zatížením.
- **Při vhodné volbě f_{ekv} a odpovídajícího modulu tuhosti může být výpočet standardními programy metodou LPVP vyhovující i pro malé rychlosti pohybu vozidel.** Není nutné použít složité programy uvažující s viskoelastickým chováním asfaltových vrstev (Viscoroute, DynaPave).

Na rychlosti záleží !



Děkuji za pozornost.

https://www.dreamstime.com/