HODNOCENÍ TUHOSTI ASFALTOVÝCH SMĚSÍ TYPU VMT VYROBENÝCH NA RŮZNÝCH OBALOVNÁCH VČETNĚ ÚČINKU STÁRNUTÍ

Zpracovali: Ing. Adriana Kotoušová, Ing. Jan Valentin, Ph.D. (Fakulta stavební ČVUT v Praze)

Souhrn

V uplynulých letech byla v oblasti konceptu vozovek s prodlouženou životností značná pozornost věnována nové generaci asfaltových směsí s vysokým modulem tuhosti (VMT) i alternativním typům asfaltových směsí – RBL jako asfaltové směsi pro podkladní vrstvy se zvýšeným množstvím asfaltového pojiva nebo HiMA směsi, což jsou asfaltové směsi s vysoce modifikovanými asfaltovými pojivy. U všech výše uvedených typů asfaltových směsí by mělo docházet k vhodnému vyvážení charakteristik odolnosti proti vzniku trvalých deformací, zvýšené únavové životnosti, optimální tuhosti a odolnosti proti vzniku trhlin. Vše navíc s dostatečnou stabilitou v čase, tedy s pokud možno menším dopadem vlivu přirozené degradace (stárnutí) asfaltového pojiva.

V rámci aktivit FSv ČVUT v Praze se v roce 2017 aktivita zaměřila jiným směrem, než byl další optimalizační rozvoj pokročilých konceptů návrhu asfaltových směsí pro trvanlivé vozovky. Postupně se podařilo z řady obaloven a řady staveb (tedy od různých výrobců) získat velký počet různých asfaltových směsí VMT 22. Ty se logicky liší jak použitým kamenivem, tak i zvoleným typem asfaltového pojiva, které jednotliví výrobci zvolili. Uvedené materiálové vstupy pak mají bezprostřední vliv na charakteristiky asfaltové směsi VMT a tudíž i na její provozní výkonnost. S ohledem ke skutečnosti, že z hlediska funkčních charakteristik je u těchto asfaltových směsí vedle odolnosti proti trvalým deformacím více než 10 let sledována především tuhost, byla i v rámci vyhodnocení získaných směsí zvolena charakteristika tuhosti jako určující. Byť je nezbytné do budoucna ve větší míře věnovat pozornost i dalším aspektům jako je únava a chování v oboru nízkých teplot. Jak do jisté míry dokládají i získané výsledky, tak tuhost sama o sobě nemůže v dostatečné míře popsat chování asfaltové směsi tohoto typu, resp. nevystihne zcela její přednosti nebo naopak rizika. Vlastní hodnocení tuhosti přitom oproti požadavkům technických podmínek Ministerstva dopravy ČR (TP 151) byla stanovena při větším počtu teplot – a to včetně charakteristiky teplotní citlivosti – a současně byla stanovena opakovaně i pro zkušební tělesa vystavená simulovanému laboratornímu stárnutí.

Oblast použití

Asfaltové směsi typu VMT jsou dnes běžným standardem, který se využívá pro konstrukce vozovek s vysokým dopravním zatížením. U těchto směsí se od doby jejich zavedení dlouhodobě požaduje především vyšší až vysoký modul tuhosti, ačkoli v uplynulém desetiletém období nebyl proveden konzistentní sběr dat a neexistují tedy dostatečné poznatky, v jakých úrovních se dosahované tuhosti pohybují, jak jsou tyto tuhosti závislé na teplotě a zda například potenciálně příliš vysoké tuhosti nemohou z hlediska viskoelastického materiálu představovat do budoucnosti nějaké riziko v podobě nižší únavové životnosti nebo zvýšené náchylnosti ke vzniku mrazových trhlin. Poznatky a statistické vyhodnocení souboru dat alespoň 21 různých variant VMT 22 směsi získaných od různých výrobců v průběhu jednoho roku, bude představovat cenný zdroj informací o deformačním chování těchto směsí. Navíc je tento soubor dat doplněn o vliv simulovaného stárnutí, které v současnosti není v ČR k dispozici vůbec.

Metodika a postup řešení

Pro účely provedeného posouzení kvalitativních charakteristik směsí s vysokým modulem tuhosti bylo celkem zajištěno 21 asfaltových směsí s vysokým modulem tuhosti, typ VMT 22. Asfaltové směsi se lišily obsahem a typem použitého asfaltového pojiva a kameniva. Asfaltové pojivo nacházející se v asfaltových směsích bylo převážně polymerem modifikované (PMB 10/40-65, PMB 25/55-60), dále byla použita i nemodifikovaná silniční pojiva (30/45, 30/40) a tvrdá silniční pojiva TSA 20/30, viz tabulka 1. Směsi byly vyráběny a hutněny u výrobců nebo jejich zkušebních laboratoří a FSv ČVUT v Praze již obdržela hotová zkušební válcová tělesa. Bohužel nebylo v řadě případů možné po odzkoušení asfaltových směsí dohledat veškeré doplňující údaje pro podrobnější vyhodnocení naměřených funkčních parametr, např. informace o maximální objemové hmotnosti či obsah asfaltového pojiva v asfaltové směsi.

Na výše uvedených asfaltových směsích byly měřeny a vyhodnoceny následující charakteristiky:

- Objemové hmotnosti zhutněných Marshallových těles dle normy ČSN EN 12697-6, u některých směsí bylo možné dohledat i jejich maximální objemové hmotnosti, tudíž bylo možné dopočítat mezerovitosti pěti asfaltových směsí dle normy ČSN EN 12697-8;
- Modul tuhosti stanovený dle normy ČSN EN 12697-26 na nezestárlých a zestárlých válcových zkušebních tělesech pomocí nedestruktivní zkušební metody IT-

Tento výsledek byl vytvořen s finanční podporou programu Centra kompetence TA ČR, projekt č.TE01020168

CY při čtyřech zvolených teplotách (0 °C, 15 °C, 27 °C, 40 °C);

- Pro každou asfaltovou směs bylo zhutněno zpravidla 6 zkušebních těles, a proto bylo rozhodnuto vystavit polovinu zkušebních těles procesu teplotního stárnutí. Proces simulovaného dlouhodobého stárnutí v laboratoři byl aplikován na zhutněná zkušební tělesa uložená v teplotní komoře s nucenou cirkulací vzduchu po dobu 5 dnů při teplotě 85 °C. Tato metoda stárnutí je v souladu s normou prEN 12697-52. Na zestárlých zkušebních tělesech byl poté opět testován modul tuhosti.

Tab. 1 Souhrn základních údajů o asfaltových směsí typu VMT22

Označení směsi VMT 22	Typ asfaltového pojiva	Obsah asfaltového pojiva	Objemová hmotnost	Max. objemová hmotnost	Mezerovitost
		(%)	(g.cm^{-3})	(g.cm^{-3})	(%)
VD	PMB 10/40-65	-	2,510	2,667	5,9
VJ1	PMB 25/55-60	-	2,409	-	-
VJ2	PMB 25/55-60	-	2,378	-	-
VTe	PMB 25/55-60	-	2,443	-	-
VSo	PMB 25/55-60	-	2,386	-	-
T	PMB 25/55-60	-	2,485	-	-
VP	PMB 25/55-60	-	2,389	-	-
VE1	PMB 10/40-65	4,7	2,573	-	-
VE2	PMB 25/55-65	4,7	2,582	-	-
VIA1	PMB 10/40-65	-	2,527	-	-
VIA2	PMB 25/55-60	-	2,633	-	-
BY	PMB 10/40-65	-	2,452	-	-
VB	PMB 25/55-60	-	2,343	2,455	4,6
VC	PMB 10/40-65	-	2,272	2,422	3,3
VT	PMB 25/55-60	-	2,357	-	-
S	30/45	-	2,414	-	-
VA	30/45	-	2,252	2,446	4,3
T-JČO	TSA 20/30	-	2,377	-	-
T-Porr	TSA 20/30	-	2,391	-	-
VOP	30/45	-	2,521	-	-
Vporr	30/45	5,0	2,342	2,491	6,0

Výsledky

Modul tuhosti byl stanoven vždy před a po procesu stárnutí při čtyřech různých teplotách a to při 0 °C, 15 °C, 27 °C, 40 °C. Dále byla vypočítána teplotní citlivost jednotlivých asfaltových směsí jako poměr tuhosti získané při nejnižší a nejvyšší testované teplotě. Vliv stárnutí na asfaltové směsi typu VMT 22 byl vyjádřen pomocí indexu stárnutí jako poměr hodnot získaných na zestárlých zkušebních tělesech a hodnot získaných na nezestárlých zkušebních tělesech. Všechny výsledky jsou shrnuty v tabulce 2.

Na obrázcích 1a-d je porovnání tuhostí z hlediska teplot při kterých byly jednotlivé směsi zkoušeny. U všech zkušebních teplot dochází vlivem stárnutí k navýšení tuhosti. Asfaltová směs označená jako VD byla vystavena nejen pětidennímu stárnutí ale i desetidennímu a tlakovému stárnutí, které ovlivnily tuhost asfaltové směsi odlišně, než samotné pětidenní stárnutí. Lze říci, že čím déle byla zkušební tělesa vystavena teplotnímu stárnutí, tím výrazněji se navyšovala tuhost. Bohužel toto tvrzení je zde možné ověřit pouze u jedné směsi, ale již dříve jsme se s touto závislostí setkali. Opačný vliv na nárůst tuhosti mělo tlakové stárnutí, kdy vlivem metody PAV došlo ke snížení tuhosti až o 40 %. Při teplotě 0 °C směs VIA2 (PMB 25/55-60) dosáhla nejvyššího modulu tuhosti, a naopak směs VC (PMB 10/40-65) nejnižšího modulu tuhosti. Při teplotě 15 °C směs S (silniční asfalt 30/45) dosáhla nejvyššího modulu tuhosti, a naopak směs VT (PMB 25/55-60) nejnižšího modulu tuhosti. Při zvýšené teplotě 27 °C směs S opět dosáhla nejvyššího modulu tuhosti, a naopak směs VE1 (PMB 10/40-65) nejnižšího modulu tuhosti. Při teplotě 40 °C směs S opět dosáhla nejvyššího modulu tuhosti, a naopak směs VE1 opět dosáhla nejnižšího modulu tuhosti.

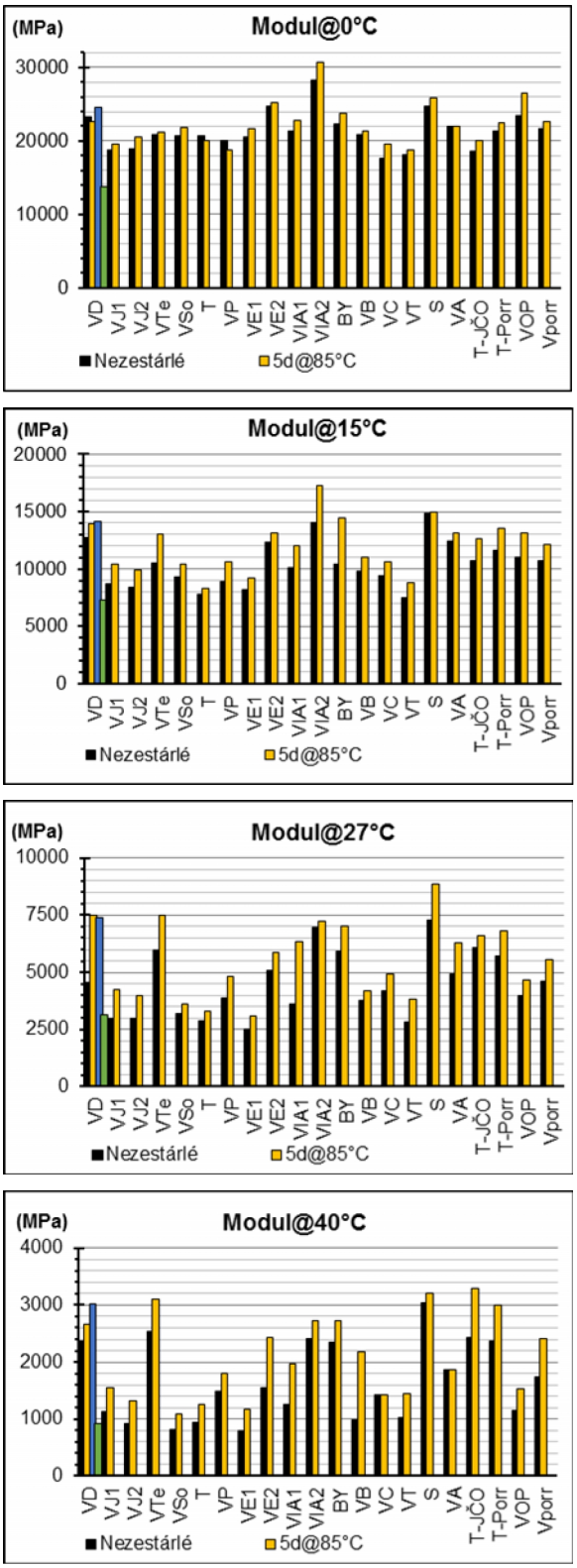
Tab. 2 Souhrn modulů tuhosti, teplotní citlivosti a indexu stárnutí

Zkratka	Typ stárnutí	Modul tuhosti				Teplotní citlivost M0/M40	Index stárnutí			
		0 °C	15 °C	27 °C	40 °C		0 °C	15 °C	27 °C	40 °C
		(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
VD	Nezestárlá	23209	12769	4581	2376	9,80	1,00	1,00	1,00	1,00
	5d@85°C	22686	13892	7478	2668	8,50	0,98	1,09	1,63	1,12
	10d@85°C	24611	14167	7386	3017	8,16	1,06	1,11	1,61	1,27
	PAV@85°C	13791	7291	3153	914	15,09	0,59	0,57	0,69	0,38
VJ1	Nezestárlá	18742	8652	3000	1124	16,68	-	-	-	-
	5d@85°C	19522	10453	4227	1547	12,62	1,04	1,21	1,41	1,38
VJ2	Nezestárlá	18898	8351	3000	926	20,41	-	-	-	-
	5d@85°C	20464	9955	3979	1318	15,52	1,08	1,19	1,33	1,42
VTe	Nezestárlá	20846	10476	5998	2545	8,19	-	-	-	-
	5d@85°C	21194	13049	7519	3096	6,85	1,02	1,25	1,25	1,22
VSo	Nezestárlá	20771	9298	3201	814	25,53	-	-	-	-
	5d@85°C	21742	10373	3632	1078	20,18	1,05	1,12	1,13	1,32
T	Nezestárlá	20637	7814	2876	937	22,03	-	-	-	-
	5d@85°C	20003	8285	3303	1266	15,81	0,97	1,06	1,15	1,35
VP	Nezestárlá	20019	8943	3858	1483	13,50	-	-	-	-
	5d@85°C	18823	10569	4831	1792	10,50	0,94	1,18	1,25	1,21
VE1	Nezestárlá	20512	8190	2510	787	26,07	-	-	-	-
	5d@85°C	21617	9159	3084	1161	18,62	1,05	1,12	1,23	1,48
VE2	Nezestárlá	24740	12321	5074	1559	15,87	-	-	-	-
	5d@85°C	25208	13096	5871	2425	10,39	1,02	1,06	1,16	1,56
VIA1	Nezestárlá	21408	10116	3610	1257	17,04	-	-	-	-
	5d@85°C	22756	12039	6345	1970	11,55	1,06	1,19	1,76	1,57
VIA2	Nezestárlá	28357	14058	6957	2418	11,73	-	-	-	-
	5d@85°C	30643	17255	7231	2722	11,26	1,08	1,23	1,04	1,13
BY	Nezestárlá	22331	10427	5916	2349	9,51	-	-	-	-
	5d@85°C	23744	14446	7036	2734	8,68	1,06	1,39	1,19	1,16
VB	Nezestárlá	20805	9823	3754	991	20,98	-	-	-	-
	5d@85°C	21323	10973	4180	2190	9,74	1,02	1,12	1,11	2,21
VC	Nezestárlá	17621	9422	4209	1426	12,36	-	-	-	-
	5d@85°C	19581	10630	4933	1915	10,22	1,11	1,13	1,17	1,34
VT	Nezestárlá	18032	7463	2843	1020	17,68	-	-	-	-
	5d@85°C	18831	8826	3815	1436	13,12	1,04	1,18	1,34	1,41
S	Nezestárlá	24719	14819	7310	3032	8,15	-	-	-	-
	5d@85°C	25853	14968	8871	3209	8,06	1,05	1,01	1,21	1,06
VA	Nezestárlá	22004	12380	4913	1869	11,77	-	-	-	-
	5d@85°C	22041	13139	6298	1866	11,81	1,00	1,06	1,28	1,00
T-JČO	Nezestárlá	18620	10763	6069	2427	7,67	-	-	-	-
	5d@85°C	20027	12635	6581	3296	6,08	1,08	1,17	1,08	1,36
T-Porr	Nezestárlá	21320	11609	5730	2363	9,02	-	-	-	-
	5d@85°C	22497	13567	6798	2991	7,52	1,06	1,17	1,19	1,27
VOP	Nezestárlá	23368	11064	3977	1146	20,40	-	-	-	-
	5d@85°C	26427	13109	4679	1529	17,28	1,13	1,18	1,18	1,33
Vporr	Nezestárlá	21615	10738	4618	1736	12,45	-	-	-	-
	5d@85°C	22551	12168	5578	2418	9,33	1,04	1,13	1,21	1,39

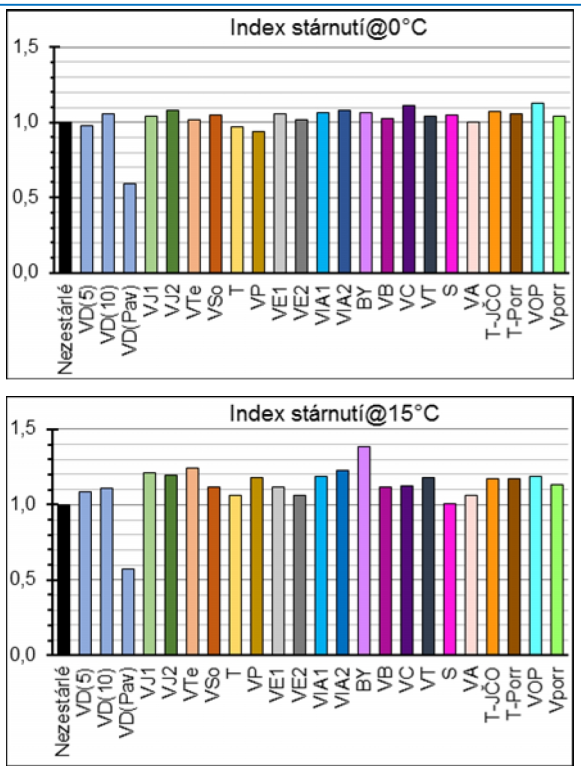
Lze říci, že navržená směs S je nejtužší ze všech zde testovaných směsí. Pokud bychom porovnali směsi z hlediska asfaltové pojiva, tak asfaltové směsi obsahující silniční či tvrdá asfaltová pojiva dosahují oproti některým asfaltovým směsím s polymerem modifikovaným asfaltem vyšších hodnot modulu tuhosti. Sice můžeme potvrdit, že do určité míry má typ asfaltového pojiva vliv na tuhost asfaltové směsi, ale nesmíme opomenout i důležitý vliv druhu kameniva a použitých přísad, které se v užitném chování asfaltové směsi projeví také, stejně jako obsah asfaltového pojiva a výsledná mezerovitost zhutněné asfaltové směsi.

Index stárnutí zobrazený na následujícím obr. 2 znázorňuje nárůst či možný pokles tuhosti vlivem stárnutí. Vlivem stárnutí došlo při zkušební teplotě 0 °C k navýšení tuhosti o 1 % až 13 %, přičemž při této teplotě byl zaznamenán ve dvou případech i menší pokles tuhosti po procesu stárnutí, a to v průměru o 4 %. Pokles modulu tuhosti může být způsoben vlastní nízkou teplotou, jelikož samotné zkušební asfaltové těleso je již značně tuhé v důsledku nízké zkušební teploty a již se v mnohem menší míře projevuje (resp. má vliv) případné zvyšování míry tuhosti vlivem stárnutí. Zkušební těleso se tedy během

testování může projevovat jako nezestárlé a zároveň mají hodnoty modulu tuhosti určitý přípustný rozptyl během testování zkušebního tělesa (-20 % až +10 % od střední hodnoty), kde obecně u vlastního měření ve značné míře závisí na poloze LVDT sond na daném povrchu zkušebního tělesa. O tomto jevu vypovídá i téměř neměnná tuhost z hlediska porovnání změn před a po procesu stárnutí.



Obr. 1a-d Modul tuhosti posuzovaných VMT směsí pro jednotlivé zkušební teploty



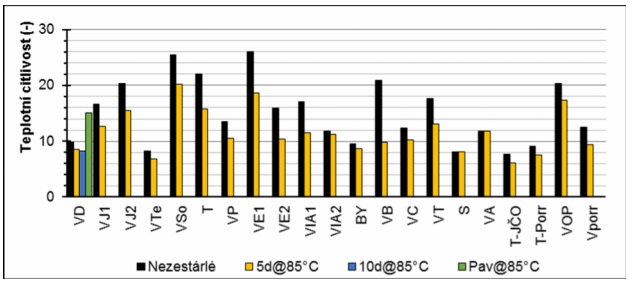
Obr. 2a-b: Index stárnutí posuzovaných VMT směsí pro zkušební teploty 0 °C a 15 °C

Při zkušební teplotě 15 °C došlo k navýšení tuhosti vlivem teplotního stárnutí u všech asfaltových směsí a to v rozmezí 1 % až 39 %. Při teplotě 27 °C bylo zaznamenáno navýšení tuhosti o 4 % až 76 % a při zkušební teplotě 40 °C došlo k navýšení tuhosti o 1 % až 121 %. Vlivem tlakového stárnutí došlo u asfaltové směsi VD ke snížení tuhosti o 40 % při všech zvolených teplotách stanovení tuhosti.

Jak již bylo uvedeno, tak během procesu stárnutí dochází k navyšování tuhosti. Zpravidla společně s tím se zvyšuje i křehkost asfaltové směsi, což je třeba mít vždy na paměti. Dále je zjevné, že zvýšená tuhost se více projevila při vyšších zkušebních teplotách. Tento jev je logický, neboť asfaltové pojivo zestárlo, stalo se tvrdší a při nízkých teplotách se tato skutečnost – jak již bylo výše uvedeno – neprojevuje tak výrazně, jelikož zkušební těleso viskoelastického materiálu je už v důsledku nízké teploty samo o sobě více tuhé. Naopak při vyšších zkušebních teplotách se zkušební tělesa stávají o něco měkčí a u degradovaného asfaltového pojivo má stárnutí větší tendenci se projevit. Tento poznatek byl patrný i při vyhodnocení teplotní citlivosti, kde teplotní citlivost byla vypočítaná jako poměr modulu tuhosti získaného při nejnižší teplotě (0 °C) a modulu tuhosti získaného při nejvyšší teplotě (40 °C). Vlivem teplotního stárnutí se teplotní citlivost snížila v průměru o 20 %. Pokles teplotní citlivosti, který byl zaznamenán po procesu stárnutí, naznačuje lepší odolnost směsí vůči změnám teplot u zestárnutého materiálu. Poznatek byl již v minulosti opakovaně potvrzen celou řadou měření a vyplývá i z poznatků, při jaké teplotě dochází k nejvýraznějším projevům účinků stárnutí asfaltové směsi, tedy při vyšších teplotách. Jakkoli je při takových teplotách účinek stárnutí výraznější, je vždy vztažen k mnohem nižší hodnotě

Tento výsledek byl vytvořen s finanční podporou programu Centra kompetence TA ČR, projekt č.TE01020168

modulu tuhosti v porovnání s průměrnými hodnotami, které se dosahují například při teplotě 20 °C. V důsledku tohoto jevu potom dochází k zlepšení hodnoty poměrového ukazatele teplotní citlivosti.



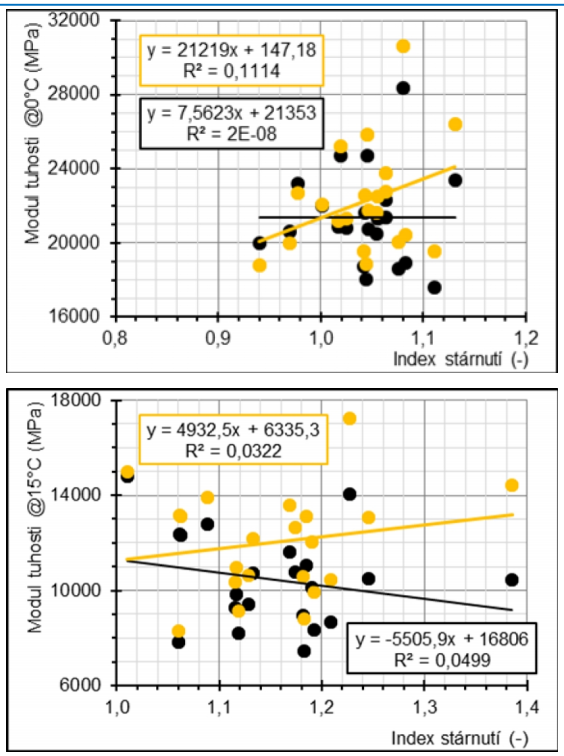
Obr. 3: Teplotní citlivost posuzovaných asfaltových směsí VMT 22

Jelikož bylo získáno velké množství hodnot pro vyhodnocení teplotní citlivosti, tak byla provedena základní statistická analýza, která je shrnuta v tabulce 3. Průměrná hodnota teplotní citlivosti měla hodnotu 15. Pokud bychom chtěli porovnat hodnoty teplotní citlivost v závislosti na typu asfaltového pojiva, tak směsi obsahující polymerem modifikované pojivo dosahovaly v průměru vyšších hodnot teplotní citlivosti než je tomu u asfaltových směsí obsahující silniční nebo silniční tvrdý asfalt. Tedy ze statistiky vyplývá, že asfaltové směsi s modifikovaným pojivem byly více citlivé na změnu teploty a zároveň z tabulky vyplývá, že byly o více náchylné k procesu stárnutí, jelikož jejich teplotní citlivost se po procesu stárnutí snížila v průměru o 3,5. U asfaltových směsí obsahujících silniční nebo silniční tvrdý asfalt se pro procesu stárnutí snížila teplotní citlivost pouze o 1,6, tedy tyto směsi byly méně citlivé na vliv vysoké teploty během simulovaného dlouhodobého stárnutí.

Tab. 3 Souhrn hodnot základní statické analýzy posuzovaných asfaltových směsí VMT 22

Souhrn dat pro:	Typ stárnutí	Průměrná hodnota	Rozptyl	šikmost
Všechny směsí	Nezestárlé	15,09	5,78	0,46
	5d@85°C	11,60	3,91	0,77
Asfaltové směsi s modif. pojivy	Nezestárlé	16,49	5,69	0,23
	5d@85°C	12,24	3,80	0,83
Asfaltové směsi s nemodif. pojivy	Nezestárlé	11,58	4,74	1,61
	5d@85°C	10,01	4,05	1,38

Na posledním obrázku 4a-b je snaha ověřit, zda je nějaká závislost mezi modulem tuhosti a indexem stárnutí. Předpokladem bylo, že převážně asfaltové směsi s vyšší mezerovitostí mají nižší modul tuhosti, a tudíž by se u nich měl projevit vyšší účinek stárnutí. Bohužel ani zde nebyla prokázána závislost mezi modulem tuhosti a indexem stárnutí.



Obr. 4 Korelace mezi modulem tuhosti (0 °C, 15 °C) a indexem stárnutí posuzovaných směsí VMT 22

Závislost mezi dvěma veličinami je zde poněkud nereálná. Sice máme asfaltové směsi jednoho typu (VMT 22), ale tyto asfaltové směsi obsahují různý typ asfaltového pojiva a kameniva. Mají různé složení, mezerovitost apod. Je zde mnoho dalších odlišujících aspektů, které mohou bránit korelaci mezi uvedenými veličinami.

Závěr

Z provedeného velkého souboru měření tuhostí u asfaltové směsi VMT 22 vyplývá řada poznatků. Je nezbytné se bezesporu věnovat sběru obdobných dat, je žádoucí zaměřit pozornost na vlivy stárnutí u asfaltových směsí a jejich užitné chování vztahovat i ke stavu zestárnuté asfaltové směsi. V neposlední řadě je žádoucí neomezit se z hlediska konceptů vozovek s dlouhou životností pouze na charakteristiku tuhosti a tedy míru odolnosti asfaltové směsi proti deformačním účinkům, nýbrž hledat vzájemné souvislosti mezi deformačním, únavovým a mrazovým chováním. Obzvláště pokud jsou takové asfaltové vozovky budovány v oblastech mírného klimatického pásu s rozdíly mezi letním a zimním obdobím.

Literatura

[1] ČSN EN 12697-26: Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 26: Tuhost