



## POSOUZENÍ VLIVU VYBRANÝCH PŘILNAVOSTNÍCH PŘÍSDAD VČETNĚ JEJICH TEPLOTNÍ STABILITY

Zpracovali: Ing. Tereza Valentová, Bc. Jan Altman, Ing. Jan Valentin, Ph.D. (Fakulta stavební ČVUT v Praze)

### Souhrn

Nejen pro tenké asfaltové koberce je obecně důležitým aspektem zachování dobré adheze mezi asfaltovým pojivem a kamenivem. V případě ztenčených obrusných vrstev je samozřejmě toto hledisko ve vztahu k trvanlivosti asfaltové úpravy významnější díky celkové tloušťce vrstvy, jakož i v některých případech používané otevřenější struktury asfaltového koberce. Jedním ze způsobů, jak přilnavost upravit či zlepšit, je používání přísad na bázi vápence nebo chemických organických přísad se zastoupením různých chemických skupin látek jako jsou aminy, amido-aminy apod. U této druhé skupiny látek je nicméně velmi důležitým aspektem jejich dlouhodobější stabilita. Není účelem, aby se laboratorně prokázala funkčnost přísady dosažením dostatečné přilnavosti a tedy poklesem hydrofilicity kameniva, přičemž po krátkém čase by docházelo ke ztrátě koncentrace funkčních látek v důsledku postupného vytěkání některých organických sloučenin. Proto bylo cílem provedených studií posuzovat přilnavost jak u nezestárlého pojiva s kamenivem, tak i u pojiva laboratorně zestárlého se stejným kamenivem. K simulaci stárnutí byla zvolena jedna z možných metod, kterými jsou laboratoře vybaveny. Současně byly vždy přilnavostní přísady aplikovány do asfaltového pojiva, tzn. při procesu simulovaného stárnutí působila teplota a vzduch nejen na asfalt, ale i na účinné látky přilnavostních přísad. Vlastní postup přilnavostní zkoušky byl následně vždy obdobný a vycházel z ČSN 736161. Vedle toho byla pro jeden typ kameniva provedena zkouška jeho odolnosti proti zvětrávání.

### Oblast použití

Přilnavost mezi asfaltovým pojivem a kamenivem bezprostředně ovlivňuje trvanlivost asfaltové směsi a tudíž i náchylnost ke vzniku řady poruch. Z tohoto důvodu je provedený soubor zkoušek a ověření různých typů kameniva, jakož i vybraného souboru přilnavostních přísad, důležitou pomůckou jak při rozšíření zavedených metod zkoušení (ověřování teplotní stability přilnavostních přísad), tak i při

rozhodování o funkčnosti přísad a jejich využitelnosti pro různé typy asfaltových směsí. Vlastní postup ověření teplotní stability a dlouhodobější funkčnosti přísad bude navrhován jako vhodné doplnění technických předpisů. Současně jsou dosažené poznatky důležité pro pozdější porovnání přilnavostní zkoušky a zkoušky odolnosti asfaltových směsí proti účinkům vody.

### Metodika a postup řešení

Zkouška ověření přilnavosti asfaltových pojiv ke kamenivu byla provedena a vyhodnocena v souladu s požadavky ČSN 726161, která je v ČR řadu let zavedena jako základní zkušební metoda, a to navzdory existenci tří evropských harmonizovaných metod, jak je uvádí ČSN EN 12697-11. Při této zkoušce bylo zvoleno devět rozdílných typů kameniva, jež se běžně používají při výrobě asfaltových směsí a ke kterým byla vždy přimíchána jedna z variant asfaltového pojiva vylepšená chemickými přilnavostními přísadami. Zvoleny byly čtyři chemické přilnavostní přísady: AdHere LOF 65-00 EU, nanochemická přísada Zycotherm, Impact 8000 a Wetfix BE. Jako asfaltové pojivo byl ve všech případech aplikován silniční asfalt 50/70, do kterého byly jednotlivé přísady přimíchány ve standardním nebo upraveném množství. Vmíchání jednotlivých přísad probíhalo vždy laboratorně při teplotě přibližně 150 °C a po dobu alespoň 15 minut, aby se zajistila dostatečná homogenita pojiva s použitou přísadou. Část připraveného pojiva byla vždy aplikována pro vlastní přilnavostní zkoušku, část pojiva se použila pro ověřování odolnosti asfaltové směsi proti účinkům vody (zvolen pouze jeden typ kameniva) a poslední část jednotlivých vzorků asfaltového pojiva byla vystavena modifikovanému postupu laboratorního stárnutí při užití trojnásobného procesu TFOT (stárnutí tenké vrstvy asfaltového pojiva na rotující míse po dobu 5 hodin a při teplotě 163 °C. Po procesu stárnutí se opět provedla zkouška přilnavosti se stejnými typy kameniva. V případě zvolených typů kameniva, které reprezentují různé petrografické složení, byla použita zrna 8/11 mm nebo 8/16 mm, která byla před vlastní zkouškou vždy omyta vodou a vysušena

na stálou objemovou hmotnost. Tímto postupem se standardně minimalizuje vliv prachových a jemných částic, které mohou být na povrchu zrn kameniva.

## Výsledky

Zvolené typy kameniva reprezentují různé typy petrografického složení, se kterými se lze v ČR standardně setkat. Kamenolom Chlum se nachází nedaleko Doks a dle petrografického zařazení se těžená hornina nazývá fonolit (znělec). Kamenolom Brant se nachází nedaleko Rakovníka a drcené kamenivo se získává z žilné horniny žulového porfyru (mikrogranitu). Podstatnou součástí je křemen, draselný živec (ortoklas) a slída. Kamenolom Kobylí Hora se nachází nedaleko Prachatic. Přírodní drcené kamenivo je tvořeno metamorfovanou horninou šedozelené barvy s výskytem turmalínu a biotitu nazývaná granulit. Libodřice se nacházejí nedaleko Kolína a zde se vyskytující přírodní kamenivo vzniká drcením větších kusů amfibolitu. Kamenivo je typické nepravidelným, ostrohranným tvarem zrn, ostrými hranami a drsným povrchem. Kamenolom Litice se nachází nedaleko Plzně. Těženou horninou je spilit, což je výlevná, metamorfovaná hornina tmavošedé až zelenošedé barvy s afanitickou, mandlovcovou či variolitickou strukturou. Kamenolom Markovice se nachází u Čáslavi a jsou zde odkryty a těženy páskované amfibolity, které jsou místy pokryty křídovými sedimenty. Množství amfibolu v hornině přesahuje 50 %. Lom Měrunice se nalézá nedaleko Mostu a typickou horninu tvoří čedič. Jedná se o šedočernou vyvřelinu petrograficky tvořenou olivínovým nefelinitem s charakteristickou porfyrickou nebo sklovitou strukturou. Kamenivo Zbečno pochází z lomu Sýkořice v CHKO Křivoklátsko. Jedná se o sedimentární spilit s převahou břidlic, prachovců a drob. Kamenolom Zbraslav se nachází jižně od Prahy. Těží se zde horninová směs tufitů, metatufitů a spilitu, což jsou slabě metamorfované, převážně peliticko - psamitické horniny s vložkami efuziv bazického až kyselého rázu.

Nejprve byla pro všechny typy kameniva provedena zkouška přilnavosti s referenčním asfaltem 50/70. Nevyhovujících výsledků dosáhly 4 druhy kameniva, nejhůře dopadlo kamenivo z lokalit Brant a Kobylí hora, kdy po provedení zkoušky zůstalo obaleno pouze 50 % povrchu. Kvůli špatným výsledkům přilnavosti byly do asfaltového pojiva postupně přidány přilnavostní přísady, které oproti referenčnímu pojivu zlepšily přilnavost v průměru o 10 %. Rozdíly mezi jednotlivými použitými přísadami byly minimální, nelze tedy vybrat tu, která nejvíce zlepšuje přilnavost. Nejvyššího zlepšení bylo

dosaženo u kameniv, která v případě použití čistého pojiva 50/70 nevyhověla, a to o 20-30 %.

Tab. 1 Přilnavost pojiva 50/70 a variant s přísadou Zycotherm a Wetfix.

Kamenivo	50/70 bez přísady		50/70 + 0,1% Zycotherm		50/70 + 0,3% Wetfix				
Markovice	B-C	85%	Vyhovující	B+	93%	Velmi dobrá	B-	87%	Vyhovující
Litice	B	90%	Velmi dobrá	B-C	85%	Vyhovující	B-C	85%	Vyhovující
Libodřice	C	80%	Vyhovující	A-B	95%	Velmi dobrá	B	90%	Velmi dobrá
Chlum	D+	73%	Nevyhovující	C-	77%	Vyhovující	C	80%	Vyhovující
Kobylí Hora	E	50%	Nevyhovující	C	80%	Vyhovující	C	80%	Vyhovující
Měrunice	C-	77%	Vyhovující	B+	93%	Velmi dobrá	B-C	85%	Vyhovující
Zbraslav	D	70%	Nevyhovující	C+	83%	Vyhovující	B-C	85%	Vyhovující
Zbečno	C	80%	Vyhovující	B-C	85%	Vyhovující	B-C	85%	Vyhovující
Brant	E	50%	Nevyhovující	C+	83%	Vyhovující	B-C	85%	Vyhovující

V případě dvou přilnavostních přísad byly připraveny dvě úrovně koncentrace přísady v pojivu. Předpoklad, že zvýšené dávkování pozitivně ovlivní přilnavost, se v této studii nepotvrdil, jak je patrné z další tabulky. U obou použitých přísad při vyšším dávkování zůstalo průměrné procento obalení stejné, přičemž vyhodnocení konečného obalení bylo provedeno nezávisle vždy nejméně dvěma hodnotiteli. Pro zlepšení samotné přilnavosti proto není z hlediska vybraných typů kameniva nutné přísadu dávkovat ve vyšším množství.

Tab. 2 Přilnavost pojiva s přísadou Impact.

Kamenivo	50/70 + 0,3% Impact			50/70 + 0,6% Impact		
Markovice	B+	93%	Velmi dobrá	B-	87%	Vyhovující
Litice	B-C	85%	Vyhovující	B-	87%	Vyhovující
Libodřice	B+	93%	Velmi dobrá	C+	83%	Vyhovující
Chlum	C-	77%	Vyhovující	C	80%	Vyhovující
Kobylí Hora	B-C	85%	Vyhovující	B-C	85%	Vyhovující
Měrunice	B	90%	Velmi dobrá	B	90%	Velmi dobrá
Zbraslav	C+	83%	Vyhovující	B-C	85%	Vyhovující
Zbečno	C	80%	Vyhovující	B-C	85%	Vyhovující
Brant	C+	83%	Vyhovující			

Tab. 3 Přilnavost pojiva s přísadou AdHere.

Kamenivo	50/70 + 0,3% AdHere 65-00			50/70 + 0,6% AdHere		
Markovice	B	90%	Velmi dobrá	B-	87%	Vyhovující
Litice	B-C	85%	Vyhovující	C-D	75%	Vyhovující
Libodřice	A-	97%	Výborná	C+	83%	Vyhovující
Chlum	C	80%	Vyhovující	A-B	95%	Velmi dobrá
Kobylí Hora	C	80%	Vyhovující	C-D	75%	Vyhovující
Měrunice	B-	87%	Vyhovující	A-B	95%	Velmi dobrá
Zbraslav	B-	87%	Vyhovující	C+	83%	Vyhovující
Zbečno	C+	83%	Vyhovující	B-C	85%	Vyhovující
Brant	C	80%	Vyhovující			

Následně bylo provedeno vlastní laboratorní stárnutí asfaltového pojiva s přísadami. U většiny typů kameniva došlo ke zlepšení stupně obalení jak při použití čistého asfaltu 50/70, tak i s přidáním přilnavostními přísadami. Největší rozdíl byl pozorován u samotného pojiva 50/70, kdy zestárlé pojivo zlepšilo stupeň obalení v průměru o 10 %. Oproti nezestárlému referenčnímu pojivu, kde ve zkoušce nevyhověly 4 typy kameniva, zestárlé pojivo 50/70 dostatečně neobalilo pouze kamenivo Brant, které tak ve zkoušce nevyhovělo.

Zestárlé přilnavostní přísady zlepšily stupeň obalení v menší míře, pozorováno bylo zlepšení od 2 do 7%. Nejmenší rozdíl mezi přilnavostí před a po stárnutí byl zaznamenán u přísad Zycotherm, Impact při nižším dávkování (0,3 %) a AdHere při vyšším dávkování (0,6 %). Z toho můžeme usoudit, že tyto přísady do určité míry snížily rychlost oxidativní degradace. Největší zlepšení přilnavosti po procesu stárnutí vykazovala přísada Wetfix.

Z výsledků je patrné, že stárnutí je ovlivněno právě typem použitého kameniva. Markovice zlepšily procento obalení při použití všech zestárlých pojiv. Celkového největšího průměrného zlepšení u zestárlého pojiva bylo pozorováno u kameniva Brant, Chlum a Kobylí Hora, tedy u kameniv, která bez použití přilnavostních přísad ve zkoušce nevyhověla. Naopak u zestárlého pojiva smíchaného s kamenivem z Libodřic bylo v průměru dosaženo horších výsledků, než při použití nezestárlého pojiva. U kameniva z Měrunic v průměru nedošlo téměř k žádnému zlepšení přilnavosti.

Tab. 4 Přilnavost zestárlého pojiva 50/70 a variant s přísadou Zycotherm a Wetfix.

Kamenivo	Zest. 50/70 bez přísady			Zest. 50/70 + 0,1% Zycotherm			Zest. 50/70 + 0,3% Wetfix		
	B	90%	Velmi dobrá	B	90%	Velmi dobrá	A-	97%	Výborná
Markovice	B	90%	Velmi dobrá	B	90%	Velmi dobrá	A-	97%	Výborná
Litice	C-	77%	Vyhovující	B	90%	Velmi dobrá	B	90%	Velmi dobrá
Libodřice	B-C	85%	Vyhovující	C+	83%	Vyhovující	B-C	85%	Vyhovující
Chlum	A-	97%	Výborná	C	80%	Vyhovující	B+	93%	Velmi dobrá
Kobylí Hora	C-	77%	Vyhovující	B-C	85%	Vyhovující	A-B	95%	Velmi dobrá
Měrunice	B	90%	Velmi dobrá	B	90%	Velmi dobrá	B+	93%	Velmi dobrá
Zbraslav	B-C	85%	Vyhovující	B-C	85%	Vyhovující	B-C	85%	Vyhovující
Zbečno	C	80%	Vyhovující	B	90%	Velmi dobrá	B-	87%	Vyhovující
Brant	D+	73%	Nevyhovující	B	90%	Velmi dobrá	B	90%	Velmi dobrá

Tab. 5 Přilnavost zestárlého pojiva s přísadou Impact.

Kamenivo	Zest. 50/70 + 0,3% Impact			Zest. 50/70 + 0,6% Impact		
	A-B	95%	Velmi dobrá	B+	93%	Velmi dobrá
Markovice	A-B	95%	Velmi dobrá	B+	93%	Velmi dobrá
Litice	B	90%	Velmi dobrá	A-	97%	Výborná
Libodřice	B	90%	Velmi dobrá	A-B	95%	Velmi dobrá
Chlum	C	80%	Vyhovující	B-C	85%	Vyhovující
Kobylí Hora	C-D	75%	Vyhovující	C+	83%	Vyhovující
Měrunice	B	90%	Velmi dobrá	B	90%	Velmi dobrá
Zbraslav	C+	83%	Vyhovující	B	90%	Velmi dobrá
Zbečno	B-	87%	Vyhovující	B-	87%	Vyhovující
Brant	B-C	85%	Vyhovující			

Tab. 6 Přilnavost zestárlého pojiva s přísadou AdHere.

Kamenivo	Zest. 50/70 + 0,3% AdHere			Zest. 50/70 + 0,6% AdHere		
	A-B	95%	Velmi dobrá	B+	93%	Velmi dobrá
Markovice	A-B	95%	Velmi dobrá	B+	93%	Velmi dobrá
Litice	C	80%	Vyhovující	C	80%	Vyhovující
Libodřice	B-	87%	Vyhovující	B-	87%	Vyhovující
Chlum	A-B	95%	Velmi dobrá	B	90%	Velmi dobrá
Kobylí Hora	C+	83%	Vyhovující	C	80%	Vyhovující
Měrunice	B-	87%	Vyhovující	B-C	85%	Vyhovující
Zbraslav	B-C	85%	Vyhovující	C+	83%	Vyhovující
Zbečno	B	90%	Velmi dobrá	B-C	85%	Vyhovující
Brant	B-C	85%	Vyhovující			

Zvýšením dávkování přísady AdHere při hodnocení přilnavosti zestárlého pojiva dosáhneme nepatrně horších výsledků, naopak dvojnásobek přísady Impact stupeň obalení mírně vylepší. Není proto

nutné zvyšovat dávkování přísad, abychom při zkoušce přilnavosti předešli procesu stárnutí. Přísady tento fenomén nijak neovlivní.

## Závěr

Všechna zestárlá pojiva vykazovala lepší adhezi, což je v souladu se studií Hagose [4], který zjistil, že tvrdnutí pojiva způsobené stárnutím může zlepšovat odolnost vůči negativním účinkům vody. Ztvrdlé pojivo má mít větší adhezivní sílu, nicméně se u něj zvýší náchylnost na tvorbu trhlin způsobených účinky zatížení od dopravy. U zestárlého referenčního pojiva došlo k největšímu zlepšení, v průměru se pohybovalo okolo 10 % oproti nezestárlému pojivu. U zestárlých pojiv s přimíchanými přilnavostními přísadami k tak velkému zlepšení nedošlo, použité přísady tak ochránily pojivo před negativním tvrdnutím způsobeným účinky stárnutí. Zvýšením dávkování přísady nedosáhneme ani po procesu stárnutí lepších výsledků. I po procesu stárnutí je patrný vliv druhu použitého kameniva, kdy u nevhodných kameniv (Chlum a Brant) došlo k nejvyššímu zlepšení přilnavosti po procesu stárnutí. Uvedené poznatky potvrdily význam provádění zkoušek stárnutí a ověření míry funkčnosti asfaltového pojiva a přísad po procesu stárnutí. Tyto výsledky je nezbytné postupně doplňovat o poznatky odolnosti asfaltových směsí proti účinkům vody.

## Literatura

- [1] Das, P., Balieu, R., Kringos, N., Birgisson B.: On the oxidative ageing mechanism and its effect on asphalt mixtures morphology. Materials and Structures [online]. 2015.
- [2] Altman, J.: Podmínky provádění zkoušky vodní citlivosti u asfaltových směsí. Praha, 2014. Bakalářská práce. ČVUT v Praze.
- [3] Horgnies, M., Darque-Ceretti, E., Fezai, H., Felder, E.: Influence of the interfacial composition on the adhesion between aggregates and bitumen: Investigations by EDX, XPS and peel tests. International Journal of Adhesion and Adhesives [online]. 2011.
- [4] Hagos, E. T.: The Effect of Aging on Binder Properties of Porous Asphalt Concrete [online]. Delft University of Technology, 2008.
- [5] Azirizad, M., Kavussi, A., Abdi, A.: Evaluation of the effects of anti-stripping agents on the performance of asphalt mixtures. Construction and Building Materials [online]. 2015, 84: 348-353 [cit. 2015-10-07].