



DIGITÁLNÍ ANALÝZY OBRAZU JAKO MOŽNÝ NÁSTROJ PRO P ESNÉ STANOVENÍ P ILNAVOSTI MEZI ASFALTOVÝM POJIVEM A KAMENIVEM

Zpracovala: Ing. Tereza Valentová (Fakulta stavební VUT v Praze)

Souhrn

Tenké – zejména obrusné – asfaltové vrstvy se vyznačují celou řadou specifik. Především neplní žádnou významnou funkci únosnosti vozovky, mnohem zásadnější je jejich funkce ochrany konstrukce vozovky před útoky klimatu a před přímým kontaktem pojezdových dopravních prostředků. Z hlediska provozu na pozemních komunikacích plní funkci bezpečnostní, kdy musí zajistit dostatečné protismykové vlastnosti. To zpravidla souvisí s volbou vhodného kameniva ale i s texturou vlastní asfaltové směsi. V neposlední řadě potom je důležité, aby byly zachovány dostatečné pevné vazby mezi kamenivem a pojivem a nedocházelo například ke ztrátě makrotextury. Součástí jsou tyto vrstvy i v přímém kontaktu se srážkovou vodou.

Z hlediska technických vlastností se kromě zmíněných předpokládá, že taková vrstva bude mít především trvanlivost a z hlediska její životnosti nebude její kvalita ohrožena především vznikem trhlin (zejména tedy trhlin mrazového charakteru). Uvedené do jisté míry opět souvisí vedle kvality zvolených vstupních materiálů i s adhezí mezi kamenivem a asfaltovým pojivem. Pílnavost lze přitom přímo stanovit celou řadou postupů, kdy se zrna kameniva obalená asfaltovým pojivem vystavují útoky vody nebo vody a zvýšené teploty a sleduje se, v jaké míře dochází k odlupování asfaltového pojiva, resp. do jaké míry je vazba mezi kamenivem a asfaltovým pojivem narušena či nahrazena lepší afinitou kameniva k vodě. Toto se týká zejména hydrofilních hornin. Uvedené zkušební postupy jsou v Evropě upraveny metodami specifikovanými v EN 12697-11. Vedle nich samozřejmě existují i jiné, které se rozvinuly například v USA. V České republice, lze vycházet z předem dané normy, nicméně dosud byla uchováována národní metoda vycházející do jisté míry z jednoho z postupů uvedených v EN 12697-11. Postup platný v ČR je upraven normou SN 73 6161. Nevýhodou jak českého, tak v zásadě i všech evropských – harmonizovaných – je poměrně značná závislost na subjektivním posouzení hodnotitelem. Je prokázáno, že velmi často i dva

hodnotitelé mohou pílnavost vyhodnotit odlišně. Proto se hledají objektivnější postupy, kdy jednu z možností může být například digitální snímkování s následnou analýzou snímku. Pro tento účel se zvolil i soubor několika vzorků různých hornin obalených variantními asfaltovými pojivy. Připravené vzorky byly vystaveny postupu skladování ve vodě a v teple dle SN 73 6161 a vedle subjektivního hodnocení dvěma hodnotiteli bylo provedeno i snímkování zkušební skleněné misky se vzorkem a následné vyhodnocení snímků pomocí nástrojově dostupných softwarů.

Oblast použití

Způsobení dosavadních postupů hodnocení pílnavosti mezi asfaltovým pojivem a kamenivem může napomoci jednak při lepší volbě vhodného kameniva nebo při identifikaci problematických asfaltových pojivů dle sledku změny procesu rafinace ropy nebo při ověření dlouhodobé stability a funkčnosti dodatečně přidávaných adhezivních přísad, které právě mají zlepšovat kvalitu vlastní pílnavosti u více hydrofobních typů kameniva. Zavedení nové metody nebo doplnění stávajících zkušebních postupů o metodiku pílnavostního snímkování a hodnocení fotografických snímků v konečném důsledku může vést k delší trvanlivosti a životnosti tenkých asfaltových vrstev.

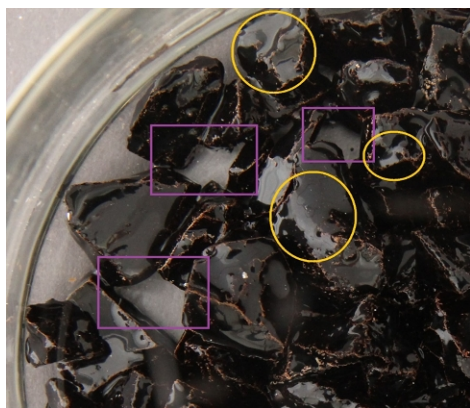
Metodika a postup ešení

Jak již bylo uvedeno výše, pro stanovení pílnavosti mezi pojivem a kamenivem je v České republice využívána norma SN 73 6161 platná od roku 2000. Tato norma může být součástí souboru úlohinnosti adhezivních přísad použitých pro zlepšení pílnavosti. Nevýhodou této zkoušky je značná závislost na subjektivním hodnocení samotného posuzovatele. V rámci experimentálníinnosti byla pozornost vnově využít softwarového nástroje pro stanovení adheze asfaltových pojiv ke kamenivu za pomoci digitální analýzy obrazu, pomocí které program vypočítá procento povrchu kameniva, které je obaleno asfaltovým pojivem. Kvalita obalení zrna

kameniva asfaltovým pojivem se pak posuzuje shodn dle tabulky v norm SN 73 6161.

Metoda digitálního snímání, s využitím počítačového softwaru, byla v rámci několika výzkumů a studií využita pro hodnocení úniku vybraných pílinavostních píisad a k eliminaci subjektivního hodnocení v rámci vybraných zkušebních postupů. [6, 7, 8] Nazirizad [7] ve svém výzkumu využívá digitální snímání pro vyhodnocení zkušební metody „Boiling water test“ (metoda vroucí vodou) s využitím programu MATLAB a AutoCAD. V článku [2] auto i navrhuje použití analýzy 2D obrazu pro vyhodnocení výsledků zkušební metody „Rolling bottle test“ (metoda otáčení lahvi), která hodnotí stupeň obalení jednotlivých zrn kameniva asfaltovým pojivem, k překonání nedostatku vizuální analýzy předepsaných v příslušné normě.

V rámci experimentální činnosti byla podstatná část výzkumu v nově možností využití softwarového nástroje pro hodnocení pílinavosti mezi pojivem a kamenivem, jenž je ještě v současné době v procesu testování. Pomocí digitální analýzy obrazu program, využívající interaktivní programové prostředí a programovací jazyk MATLAB, se vypočítá procento povrchu kameniva potaženého asfaltovým pojivem. Kvalita adheze se pak vyhodnocuje podle SN 73 6161 stejně jako v případě vizuálního hodnocení.

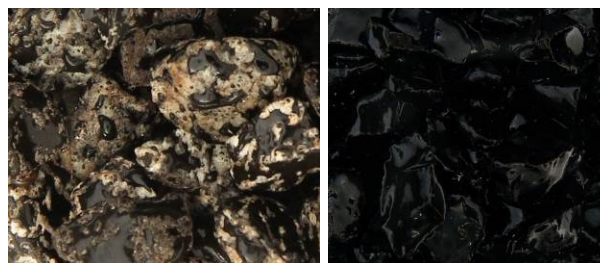


Obr. 1 Identifikace stěžejních bodů na povrchu kameniva po izování digitálních snímků – odlesky a lesklá místa na asfaltovém pojivě (žlutě vyznačené), volné prostory, mezery mezi jednotlivými zrny kameniva (fialově vyznačené)

Fotografování je klíčová část celého procesu. Algoritmus použitého softwaru je založen na identifikaci oblastí, které jsou jasnější než tmavé asfaltové pojivo - tyto plochy jsou považovány za obnažená místa jednotlivých zrn kameniva, která nejsou potažena asfaltovým pojivem. Snahou je eliminovat již před opravou zkušební vzorku mezery mezi jednotlivými zrny kameniva, které by mohly být později nesprávně interpretovány jako nepotažené oblasti zrna kameniva. Stěžejním bodem

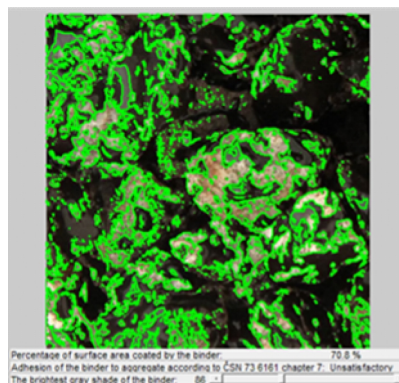
fotografování nadále zůstávají v tmavé lesklé plochy obalených zrn kameniva asfaltovým pojivem, i odlesky způsobené fotografováním zkušebních vzorků ve vodě. Lesklá místa na asfaltovém pojivě může program hodnotit stejně jako obnažená plocha kameniva.

Pro úpravu celkového obrazu (fotografie) lze použít prakticky libovolný software pro zpracování obrazu (Adobe Photoshop, IrfanView, apod.) Jako prvotní úpravu lze použít jednoduché oříznutí, kdy eliminujeme případně prázdné prostory mezi jednotlivými zrny kameniva. Další zpracování obrazu je možné a někdy vhodné, například i nechtěným odleskem na asfaltovém pojivě, kdy by tato plocha byla brána jako obnažená plocha zrna kameniva (zejména v případě hodnocení pílinavosti dobré i výborné, kdy převládá v tmavé množství potažené plochy zrna pojivem). V tomto případě jsou tyto korekce vhodné pro snazší rozeznání potažených a obnažených míst.



Obr. 2 Příklady úpravy fotografií pro hodnocení pílinavosti s využitím digitální analýzy obrazu

Na obr. 2 jsou uvedeny příklady upravených fotografií zkušebních vzorků s nevyhovující pílinavostí (obrázek vlevo) a s pílinavostí hodnocenou dle SN 73 6161 jako výbornou (obrázek vpravo). Detekční algoritmus použitého softwaru rozlišuje potažené a současně i obnažená místa. Obnažená místa jsou vyznačena zelenou barvou. Pod obrázkem je uveden procentuální podíl plochy kameniva pokrytý asfaltovým pojivem spolu s klasifikací dle SN 73 6161 (viz jako příklad obrázek 3).



Obr. 3 Příklad výstupu softwarového nástroje pro hodnocení pílinavosti mezi pojivem a kamenivem

Výsledky

Zkouška stanovení p ilnavosti asfaltového pojiva ke kamenivu byla nejprve stanovena na nezestárlém pojivu. P i této zkoušce bylo použito 8 rozdílných typ kameniva, která se v R b žn používají, p i emž každý typ je specifický svým mineralogickým složením. Pro ov ení stability p ilnavostních p ísad byly tyto varianty pojiv vystaveny ú ink m stárnutí p i teplot 163 °C po dobu 3x5 hodin simulující dlouhodobé stárnutí pojiva (metoda TFOT dle SN EN 12607-2).

Tab. 1 Porovnání stanovení adheze mezi pojivem a kamenivem podle SN EN 736161 pro nezestárlé pojivo

Kamenivo	50/70 bez přísady	50/70 + 0,3% Adhere 65-00 LDF	50/70 + 0,3% Zbečno	50/70 + 0,1% Welfix
Markovice	B-C 85% Vyhovující	B 90% Velmi dobrá	B- 87% Vyhovující	B- 87% Vyhovující
Litice	B 90% Velmi dobrá	B-C 85% Vyhovující	C-D 75% Vyhovující	B-C 85% Vyhovující
Libodřice	C 80% Vyhovující	A- 97% Výborná	C+ 83% Vyhovující	B 90% Velmi dobrá
Chlum	D + 73% Nevyhovující	C 80% Vyhovující	A-B 95% Velmi dobrá	C 80% Vyhovující
Kobylí Hora	E 50% Nevyhovující	C 80% Vyhovující	C-D 75% Vyhovující	C 80% Vyhovující
Měřunice	C- 77% Vyhovující	B- 87% Vyhovující	A-B 95% Velmi dobrá	B-C 85% Vyhovující
Zbraslav	D 70% Nevyhovující	B- 87% Vyhovující	C+ 83% Vyhovující	B-C 85% Vyhovující
Zbečno	C 80% Vyhovující	C+ 83% Vyhovující	B-C 85% Vyhovující	B-C 85% Vyhovující
Kamenivo	50/70 + 0,3% Impact	50/70 + 0,6% Impact	50/70 + 0,1% Zycotherm	
Markovice	A-B 95% Velmi dobrá	B- 87% Vyhovující	B+ 93% Velmi dobrá	
Litice	B- 87% Vyhovující	B- 87% Vyhovující	B-C 85% Vyhovující	
Libodřice	A- 97% Výborná	C+ 83% Vyhovující	A-B 95% Velmi dobrá	
Chlum	C 77% Vyhovující	C 80% Vyhovující	C- 77% Vyhovující	
Kobylí Hora	C 80% Vyhovující	B-C 85% Vyhovující	C 80% Vyhovující	
Měřunice	A-B 95% Velmi dobrá	B 90% Velmi dobrá	B+ 93% Velmi dobrá	
Zbraslav	B-C 85% Vyhovující	B-C 85% Vyhovující	C+ 83% Vyhovující	
Zbečno	B-C 85% Vyhovující	B-C 85% Vyhovující	B-C 85% Vyhovující	

Tabulka 1 shrnuje výsledky nezestárlých variant asfaltových pojiv s vybranou p ilnavostní p ísadou. Hodnocení výsledk jako nevyhovující bylo dosaženo v p ípad varianty pojivo bez p ísady a kamenivo z lokalit Chlum (zn lec) a Zbraslav (horninová sm s tufitu, metatufu a spilitu). Nejhorších výsledk dosáhlo kamenivo z kamenolomu Kobylí hora (granulit), kdy po provedení zkoušky p ilnavosti z stalo pojivem obaleno pouze 50 % kameniva. Kamenivo z lom Markovice, Libodřice, M řunice a Zbe no dosáhlo dle výsledk vyhovujícího hodnocení (procento obalení zrn kameniva kolem 80 %). Nejlepší výsledk byl zaznamenán p i použití kameniva z lomu Litice (spilit), kde došlo k obnažení povrchu zrn kameniva v cca 10 %. Kamenivo má velmi dobrou afinitu k asfaltovému pojivu. Zlepšení/zhoršení p ilnavosti asfaltu ke kamenivu je závislé na typu použitého kameniva (na mineralogickém složení) a k n mu vybrané p ilnavostní p ísad , tedy na zvolené kombinaci t chto dvou složek.

Tab. 2 Porovnání stanovení adheze mezi pojivem a kamenivem dle SN EN 736161 pro zestárlé asfaltové

Kamenivo	50/70 bez přísady	50/70 + 0,3% Adhere 65-00 LDF	50/70 + 0,3% Zbečno	50/70 + 0,1% Welfix
Markovice	B 90% Velmi dobrá	A-B 95% Velmi dobrá	B+ 93% Velmi dobrá	A- 97% Výborná
Litice	C- 77% Vyhovující	C 80% Vyhovující	C 80% Vyhovující	B 90% Velmi dobrá
Libodřice	B-C 85% Vyhovující	B- 87% Vyhovující	B- 87% Vyhovující	B-C 85% Vyhovující
Chlum	A- 97% Výborná	A-B 95% Velmi dobrá	B 90% Velmi dobrá	B+ 93% Velmi dobrá
Kobylí Hora	C 77% Vyhovující	C+ 83% Vyhovující	C 80% Vyhovující	A-B 95% Velmi dobrá
Měřunice	B 90% Velmi dobrá	B- 87% Vyhovující	B-C 85% Vyhovující	B+ 93% Velmi dobrá
Zbraslav	B-C 85% Vyhovující	B-C 85% Vyhovující	C+ 83% Vyhovující	B-C 85% Vyhovující
Zbečno	C 80% Vyhovující	B 90% Velmi dobrá	B-C 85% Vyhovující	B- 87% Vyhovující
Kamenivo	50/70 + 0,3% Impact	50/70 + 0,6% Impact	50/70 + 0,1% Zycotherm	
Markovice	A-B 95% Velmi dobrá	B+ 93% Velmi dobrá	B 90% Velmi dobrá	
Litice	B 90% Velmi dobrá	A- 97% Výborná	B 90% Velmi dobrá	
Libodřice	B 90% Velmi dobrá	A-B 95% Velmi dobrá	C+ 83% Vyhovující	
Chlum	C 80% Vyhovující	C 80% Vyhovující	C 80% Vyhovující	
Kobylí Hora	C-D 75% Vyhovující	C+ 83% Vyhovující	B-C 85% Vyhovující	
Měřunice	B 90% Velmi dobrá	B 90% Velmi dobrá	B 90% Velmi dobrá	
Zbraslav	C+ 83% Vyhovující	B 90% Velmi dobrá	B-C 85% Vyhovující	
Zbečno	B- 87% Vyhovující	B- 87% Vyhovující	B 90% Velmi dobrá	

V rámci porovnání vizuálního a poloautomatického hodnocena p ilnavosti byla vytvořena skupina n kolik rozdílných typ kameniva lišící se mineralogickým složením s rozdílnými typy asfaltových pojiv v kombinaci s adhezni p ísadou. Porovnání obou p ístup s sebou p inášší následující poznatky. Z výsledk uvedených v tabulce 7 je patrné, že p ístup s využitím softwarového nástroje pro hodnocení obalené plochy kameniva asfaltovým pojivem hodnotí ve v tšin p ípad mírn jším zp sobem než je tomu v p ípad vizuálního hodnocení. Rozdíl v hodnocení p ilnavosti obou t chto p ístup je zhruba do 15 % obalené plochy kameniva. Z d vodu prozatímního nízkého souboru dat nejsou tyto výsledky zcela vypovídající, v rámci této studie bylo pouze poukázáno na vývoj a testování zkušební program, který by v budoucnu mohl eliminovat dopady subjektivního hodnocení p i stanovování p ilnavosti mezi pojivem a kamenivem.

Tab. 3 Porovnání výsledk zkoušky pro stanovení p ilnavosti mezi pojivem a kamenivem dle SN 73 6161 s využitím digitální analýzy obrazu

Lom	Kamenivo	Typ vyhodnocení	50/70 bez přísady				PmB 45/80-75 krakovany			
			Charakteristika asf. spojení	Obalená plocha [%]	Hodnocení	Rozdíl [%]	Charakteristika asf. spojení	Obalená plocha [%]	Hodnocení	Rozdíl [%]
Brant	Žulový porfyr	ČSN 73 6161	D-E	60%	Nevyhovující	10%	A-B	95%	Dobrá	-2%
		Software	D	70%	Nevyhovující	Software	B+	93%	Dobrá	vizuální hodnocení
Zbraslav	Horninová směs (tufit, metatuf, spilit)	ČSN 73 6161	C	80%	Vyhovující	10%	B	90%	Dobrá	-3%
		Software	B	90%	Dobrá	Software	B-	87%	Dobrá	vizuální hodnocení
Skuteč	Granulorit	ČSN 73 6161	F	40%	Nevyhovující	7%	B	90%	Dobrá	3%
		Software	E-	47%	Nevyhovující	Software	B+	93%	Dobrá	Software

50/70 krakovany + 0,2 % TIO-A				50/70 krakovany + 0,2 % AD-2				50/70 krakovany + 0,4 % AD-2			
Charakteristika asf. spojení	Obalená plocha [%]	Hodnocení	Rozdíl [%]	Charakteristika asf. spojení	Obalená plocha [%]	Hodnocení	Rozdíl [%]	Charakteristika asf. spojení	Obalená plocha [%]	Hodnocení	Rozdíl [%]
D	70%	Nevyhovující	10%	C+	83%	Vyhovující	10%	C+	83%	Vyhovující	12%
C	80%	Vyhovující	Software	B+	93%	Dobrá	Software	A-B	95%	Dobrá	Binder 1.0
C+	83%	Vyhovující	12%	C+	83%	Vyhovující	12%	C+	83%	Vyhovující	12%
A-B	95%	Dobrá	Software	A-B	95%	Dobrá	Software	A-B	95%	Dobrá	Binder 1.0
E	50%	Nevyhovující	5%	D	70%	Nevyhovující	13%	C+	83%	Vyhovující	10%
E+	55%	Nevyhovující	Software	C+	83%	Vyhovující	Software	B+	93%	Dobrá	Binder 1.0

Záv r

Pochopení problematiky trvanlivosti asfaltové sm si a stanovení citlivosti asfaltové sm si v i poškození vodou a zvýšenou vlhkostí, které p ímo souvisí s p ilnavostí mezi pojivem a kamenivem, je jeden z dlouhodob studovaných fenomén v silni ním stavitelství. Mezi tyto aspekty lze za adit i vliv stárnutí pojiva, resp. asfaltové sm si jako celku, které je pro správný návrh trvanlivé vozovky bezesporu nezbytné zahrnout. Vhodn zvolený p ístup ov ování stability trvanlivosti asfaltové sm si lze uplatnit p i výb ru vhodné adhezni p ísady za ú elem zlepšení p ilnavosti mezi pojivem a kamenivem a sou asn jej lze uplatnit i p i volb vhodné kombinace typu kameniva a asfaltového pojiva s vybranou p ilnavostní p ísadou i náhradou tradi ního jemnozrného plniva v asfaltové sm si, což m že být ve výsledku uplatn no i jako funk ní nástroj pro vznik trvanliv jších vozovek.

S ohledem k doposud získaným poznatkům při řešení dané problematiky vycházející z metod pro krátkodobé a dlouhodobé stárnutí je nezbytné pokračovat v porovnání běžně používaných metod laboratorního ověření přítavnosti a vodní citlivosti s metodami exaktnějšími. Bude tedy snaha na jedné straně o nalezení vhodného zkušebního laboratorního postupu zaměřeného na fyzikální chemické povrchové charakteristiky pojiva a kameniva vyjádřené například pomocí volné povrchové energie. Na straně druhé bude nadále rozvíjen postup digitálního snímání a vyhodnocování obrazového záznamu. Z hlediska přístupu při identifikaci volné povrchové energie již dnes existují některé metody, které lze využít nebo dále rozvinout. Jedná se například o široce používanou metodu stanovení kontaktního úhlu, pomocí něhož se nejprve klasifikuje míra přítavnosti mezi dvěma rozdílnými fázemi, například metodou Peel test - metoda odlupování, která byla vyvinuta pro měření adhezní síly mezi pojivem a kamenivem.

Literatura

- [1] Kakar, M. R., Hamzah, M. O., Valentin, J. A review on moisture damages of hot and warm mix asphalt and related investigations. *Journal of Cleaner Production* 99 (2015) 39-58.
- [2] Rossi, C., O., Teltayev, B., Angelico, R., Adhesion Promoters in Bituminous Road Materials: A Review. *Applied Sciences* 2017, 7(5), 524; doi:10.3390/app7050524
- [3] Kingdu, B. M., Roberts, F. L., 1988. Stripping in HMA Mixtures: State of the art and Critical Review of Test Methods. National Center for Asphalt Technology.
- [4] Haghshenas, H. F., Khodaii, A., Khedmati, M., Tapkin, S., 2015. A mathematical model for predict stripping potential of Hot Mix Asphalt. *Constr. Build. Mater.* 75, 488-495.
- [5] SN 73 6161. Stanovení přítavnosti asfaltových pojiv ke kamenivu. Český normalizační institut, 2000.
- [6] J. Grönniger, M.P. Wistuba, P. Renken Adhesion in bitumen-aggregate-system: new technique for automated interpretation of rolling bottle test, *Road Mater. Pavement Des.*, 11 (4) (2010), pp. 881-898.
- [7] Nazirizad, M., Kavussi, A., Abdi, A., Evaluation of the effects of anti-stripping agents on the performance of asphalt mixtures, *Construction and Building Materials*, Volume 84, 2015, 348-353.
- [8] Lantieri, C., Lamperti, R., Simone, A., Vignali, V., Sangiorgi, C., Dondi, G., Magnani, M., Use of image analysis for the evaluation of rolling bottle tests results, *International Journal of Pavement Research and Technology* 10, Issue 1, 2017. 45-53.
- [9] Valentová, T., Valentin, J., Alternative additives for improving the functional characteristics and performance-based behavior of asphalt mixes in the fine-grained active filler form, *Key Engineering Materials*, 731, Scopus (2-s2.0-85015745644), 2017.
- [10] Valentová, T., Valentin, J., Javrek, R., Využití jemnozrnných složek drceného odpadního skla jako minerální přísady do asfaltových směsí, *Konference Recycling*, Brno, 2017.
- [11] Valentová, T., Valentin, J., Javrek, R., Application of fine-grained recycled glass in asphalt pavements, *Conference Young Scientist*, 2017. ISBN (978-80-553-3136-2)
- [12] Valentová, T., Altman, J., Valentin, J., Development and verification of a suitable methodology for stability check of bitumen adhesion promoters, the *Eurasphalt and Eurobitume Congress*, 2016.
- [13] Valentová, T., Altman, J., Valentin, J., Impact of Asphalt Ageing on the Activity of Adhesion Promoters and the Moisture Susceptibility, *6th European Transport Research Conference*, Warsaw, Poland, 2016.