

WMA specifikációk és ezzel kapcsolatos tapasztalatok a Cseh Köztársaságban

Jan Valentin

Department of Road Structures, Faculty of Civil Engineering, CTU in Prague

Jiří Kašpar, EUROVIA Services

Jiří Fiedler, TIP Servis



1. Bevezetés

A bitumenes keverékek gyártási hőmérsékletének csökkentése vált az utóbbi időben az egyik legtöbb aggodalmat okozó, legfontosabb kérdéssé világszerte az útépiparban. A mérsékelt meleg aszfalt technológiák (Warm Mix Asphalt/ WMA) lehetővé teszik az aszfaltgyártók számára, hogy csökkentsék az anyag keverésének és terítésének hőmérsékletét. Az elmúlt évtizedben több mérsékelt meleg aszfalt technológiát (WMA) fejlesztettek ki nagyon rövid idő alatt, különösen az USA-ban. Az amerikai specifikációk legutóbbi áttekintéséről, a folyamatban lévő kutatásokról és a gyakorlati tapasztalatok aktuális helyzetéről olvashatunk például az [1.]-ben. 24 különböző, az USA-ban használt WMA technológiát ismerhetünk meg egy WMA-nak szentelt weboldalon:

<http://www.warmmixasphalt.com/WmaTechnologies.aspx>.

Néhány európai országban is gyakran használják a WMA-t, például Franciaországban és Németországban. A European Asphalt Pavement Association (EAPA) támogatja a WMA használatát. Az EAPA WMA-val kapcsolatos állásfoglalása 2010-ből származó referenciákkal megtalálható a weboldalán (www.eapa.org). A German Asphalt Association (DAV) weboldalán (www.asphalt.de) gyakorlati útmutatót találhatunk a WMA-ról, 2009-es dátummal. A German Road and Transportation Research Association (FGSV) 2011-ben publikálta a WMA alkalmazásával kapcsolatos alapvető irányelveket/ útmutatót „Merckblatt für Temperaturabsenkung von Asphalt” címmel.

Intenzív kutatómunkát végeztek a Cseh Köztársaságban is, a Czech Technical University Prágában (CTU) és a Technical University of Brno (VUT), különösen a CIDEAS

hét évig tartó kutatási program keretein belül, amely a haladó/ fejlett/ korszerű struktúrákra/ módszerekre/ eljárásokra fókuszált. Az eredményeket nemzeti és nemzetközi konferenciákon publikálták [2.], [3.]. Az Eurovia Services is végzett bizonyos kutatásokat a WMA-val kapcsolatban, vagy a CIDEAS projekten belül, vagy saját fejlesztésként, amelyek a franciaországi Research Centre of Eurovia szakértőivel való együttműködésben valósultak meg [4.]. Az Eurovia Services legújabb munkája az Evotherm[®] technológiára fókuszált (amit néhány éve az Eurovia fejlesztett ki, a MeadWestvaco céggel kooperálva [5.]), valamint az alacsonyabb hőmérsékleten előállított masztix aszfaltra.

Ez a cikk elsősorban a TP 238-as WMA előzetes nemzeti specifikációjáról számol be, amit a CTU készített Prágában és a Közlekedési Minisztérium publikált 2012-ben. Ez a dokumentum letölthető a cseh útspecifikációk weboldaláról (www.pjpk.cz). Néhány újabb, a CTU-nál végzett kutatás eredményeiről is szó lesz. A cikk második fele az Eurovia Cseh Köztársaságban szerzett, WMA-val és aszfaltbetonnal kapcsolatos tapasztalatait mutatja be. Röviden szó lesz az alacsony hőmérsékleten gyártott masztix aszfaltról is.

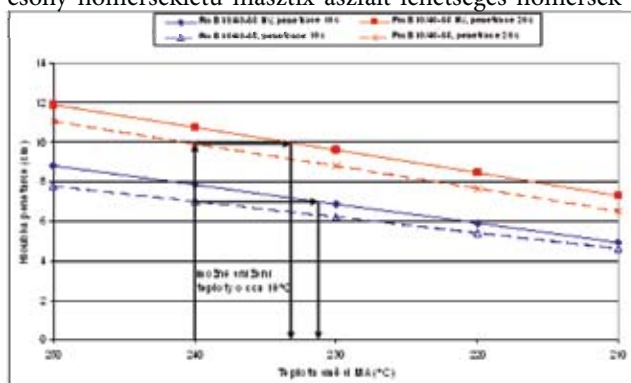
2. A WMA cseh specifikációja

A TP 238 technikai specifikációjának 1-3. fejezete tartalmazza az alapvető definíciókat, a keverékek elnevezését és az alkalmazási lehetőségeket. A 4. fejezet leírja a keverékek összetevőire és az adalékanyagokra vonatkozó paramétereiket és előírásokat, valamint a keveréktervre-tervezésre vonatkozó instrukciókat. A gyártási feltételek és a WMA beadolozása az 5. fejezetben található. A tesztelésre vonatkozó specifikációkról a 6. fejezet szól. A specifikációnak van 3 melléklete.

Az A melléklet részletezi azon hőmérséklet megállapítását, amelyen a WMA tömörödése megfelel az azonos típusú standard keverék tömörödésének. Mintákat készítenek az EN 12697-30 „Specimen preparation by impact compactor” szabvány szerint. Legalább 3 Marshall mintát készítenek 110, 120, 130, 140 és 150 °C-os hőmérsékleten. A hőmérséklet és az átlagsűrűség közötti kapcsolatot egy grafikonon ábrázolja. Megmutatja azt a hőmérsékletet, amelyen a WMA ugyanazt a sűrűséget mutatja, mint a referenciakerék. Ezt az ekvivalens hőmérsékletet VT_{TA} -nak hívják. Annak érdekében, hogy elkerüljék a keverékben a túl magas kötőanyag-tartalmat, még 3 mintát tömörítettek

a VT_{TA} hőmérsékleten, megnövelt, 2×100 ütési tömörítési energiával. A keverékből elvesztett hézagtartalom nem lehet több mint 2,5 % a kopórétegben és a kötőrétegben, illetve 2 % az alaprétegben. Ebben a vonatkozásban a német ajánlásokat használták és hajtották végre.

A B melléklet a masztix aszfalt megmunkálhatóságának igazolására, ellenőrzésére szolgáló módszer mutatja be. Ez a módszer a CSN 736160 „Testing of bituminous mixtures for roads” 2008-as cseh szabványban megadott teszten alapul, amely minden olyan tesztet tartalmaz, amik nincsenek benne az európai szabványokban. Az ezen norma szerinti megmunkálhatósági teszt elve hasonló az európai szabvány szerinti indentation (benyomódás) teszthez. 20 mm átmérőjű pecsét behatolását értékelték ki különböző hőmérsékleteken 210 és 250 °C közötti tartományban. A behatolás és a hőmérséklet közötti összefüggést megállapították standard masztix aszfalt és alacsony hőmérsékletű masztix aszfalt. Ezt a fél-logaritmikus skála mutatja, ahol az összefüggés lineáris. Általában a 10 és 20 másodperc utáni behatolást ábrázolja (Isd. 1. ábra). Megállapították az alacsony hőmérsékletű masztix aszfalt lehetséges hőmérsék-



1. ábra: A masztix aszfalt és az alacsony hőmérsékletű TP 238-as masztix aszfalt behatolásának összehasonlítása/ B melléklet.

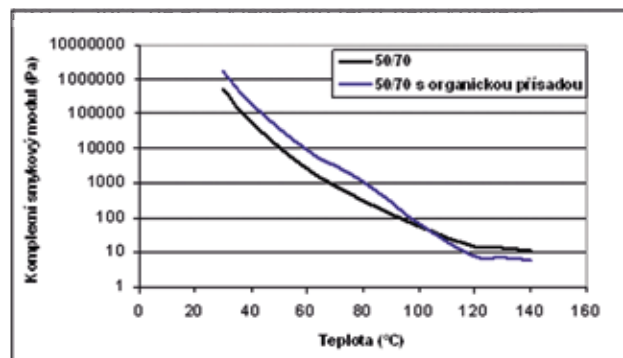
Az 1. ábrán bemutatott tesztek alapján arra lehet következtetni, hogy ezzel az alacsony hőmérsékletű masztix aszfalttal 10 °C-nyi gyártási és burkolási hőmérséklet-csökkenést lehet elérni.

A TP 238 C melléklete azon alacsony hőmérsékletű bitumenes kötőanyagok ideiglenes specifikációját mutatja be, amelyeket Fischer Tropsch parafinokkal (FTP), vagy zsírsav amidokkal (FAA) állítanak elő iparilag méretekben. Leggyakrabban ezeket az adalékanyagokat használták az utóbbi néhány évben. A C mellékletben lévő specifikációk nem érvényesek egyéb adalékanyagokra. A gyártónak meg kell adni a kötőanyag tulajdonságait a többi adalékanyagra vonatkozóan, mert ezekről egységes specifikációt nem lehet létrehozni.

Standard besorolási vizsgálatokat végzése követelmény a hagyományos utépítési bitumen esetén. A polimerrel módosított kötőanyag (PMB) esetén kiegészítő tesztek kell

elvégezni, mint az EN 13398 szerinti rugalmas visszaalakulás, az EN 13589 szerinti deformációs energia 25 °C-os hőmérsékleten, valamint az EN 14770 szerinti komplex nyírási modulus G^* és fázisszög 60 °C-os hőmérsékleten a dinamikus nyírási termométerben (DSR). Tárolási stabilitást ellenőrző tesztet kell elvégezni 3 nap után 180 °C-os hőmérsékleten, nemcsak a polimerrel módosított kötőanyagokra (PMB), hanem az utépítési bitumenre is, hogy kiderüljön, hogy az adalékanyag a kötőanyag tárolása során megőrzi-e egyenletes eloszlását.

A TP 238 technikai specifikációját javasolja a 4.2 fejezet, amellyel megállapítható az összefüggés a DSR-ben mér G^* és az utépítési bitumenre, valamint az alacsony viszkozitású bitumenre vonatkozó meghatározott hőmérséklet között,



2.sz ábra A normál utibitumen és az alacsony viszkozitású bitumen összehasonlítása G^* a DSR-ben esetén (TP 238)

A TP 238 specifikációjának 3.3 fejezetében az áll, hogy a WMA keményedési és fáradási tulajdonságait a standard keverékekre tervezett értékekkel lehet leírni. Így a mérsékelt meleg aszfalt (WMA) helyettesítheti az azonos típusú meleg aszfaltot (HMA) a TP 170 „Pavement design”-ban katalogizált burkolattípusok előállítására.

Ismert tény, hogy bizonyos WMA-hoz adott adalékanyagok jelentősen javítják a keménységet. De a laboratóriumi tesztek során mért megnövekedett keménységet csak akkor lehet figyelembe venni a cseh burkolattervezés TP 170-ben megadott módszere alapján a burkolatok tervezéséhez, ha a laboratóriumi vizsgálat során a keverék fáradási paramétereit is mérték. A fáradási paraméter maximális növekedése ϵ_f 10 %, és a fáradási vonal esésének nem szabad növekednie a burkolattervezés során a TP 170 2010-es mellékletének megfelelően. Ez megfelel az új francia szabványban (NF P 98-086, 2011. okt.) foglalt mért törési paraméterekre vonatkozó előírásoknak.

Az 1. táblázatban példák láthatók az ACL 16 keverék (aszfaltbeton a kötőrétegben) kísérleti keménységi értékeire. A 2. táblázatban WMA gyártásához használt keverékek és kiválasztott adalékanyagok vannak megadva (FTP = Fischer-Tropsch paraffin, FAA = fatty acid amides, PPA = polyphosphoric acid, ZC = nano-based additive Zycosoil).

Temperature/Mix	REF2009	2009_2	2009_3	2009_4	2009_5	2009_6	2010_2
T=5°C	21,400	17,900	17,100	20,600	26,900	27,300	21,600
T=15°C	8,800	8,500	9,800	11,200	11,900	13,800	13,600
T=27°C	2,000	2,200	3,300	2,800	3,900	5,200	4,000
T=40°C	400	600	700	900	1,200	1,600	900
Thermal susceptibility*, (-)	10.70	8.14	5.18	7.36	6.90	5.25	5.40
Thermal susceptibility**, (-)	53.50	24.83	24.43	22.89	22.42	17.06	24.00

* Calculated as ratio of stiffness at 5°C and 27°C;

** Calculated as ratio of stiffness at 5°C and 40°C.

1.táblázat: ACL 16 keverék kísérleti keménysége (teszt-módszer IT-CY).

Asphalt mix	REF2009	2009_2	2009_3	2009_4	2009_5	2009_6	2010_2
Used binder	50/70	70/100	50/70				
Used additive	-	FTP (3 %)	PPA (1%)	PPA (0.5%)	FAA (3%)	FTP (3%)	ZS (01%)
Temperature	150°C						
Air voids content (%-vol.)	4.1	4.6	4.3	3.2	4.0	3.5	4.3

2.táblázat: ACL 16 keverék jellemzői – II set és gyártási hőmérséklet.

A kapott eredmények az alábbiakban foglalhatók össze:

- Az AC keverékek megfelelnek a Czech Pavement Design Manual (TP 170) által megfogalmazott előírásoknak a 15 °C -on az aszfaltbetonra vonatkozó minimum keménységi értékek tekintetében, kivéve az ACL 16 + 50/70 referenciakeréket, valamint a 70/100 + FTP keveréket. A TP 170 az aszfaltbetonra 7,500 MPa minimumértéket ír elő; 9,000 MPa minimumértéket pedig a magas keménységű modifikált keverékekre (a cseh leírásban ezeket VMT-nek nevezik).
- A 2. táblázatban bemutatott keverékek többségének keménységi értéke meghaladja a 11,000 MPa-t, de a 14,000 MPa érték alatt marad, amit Franciaországban használnak a magasan modifikált keverékeknél. További keménység-növekedéssel óvatosan kell bánni, és a keverék fáradási mutatóit részletesen ki kell értékelni.
- Összességében az FTP keverékek mutatták a legjelentősebb fejlődést a keménységi értékek vonatkozásában (átlagosan 25 % , 15 °C-nál).
- Nagyon jól összehasonlíthatónak bizonyultak az 50/70 vagy 70/100-at tartalmazó FTP-keverékek; a hőmérséklet és keménységi modulus összefüggése statisztikailag nagyon jól megmutatható egy exponenciálisan visszaforduló görbén, 0.97-0.99 kölcsönösségi együtthatóval.
- A viszkozitást elősegítő adalékanyagoknak pozitív hatása van, ami nem csak a keménységi értékekben nyilvánvaló, hanem a termikus érzékenység minőségi mutatójánál is. Az ACL 16 esetében ezen összefüggésben a PPA, FTP vagy ZS adalékok tün-

nek legmegfelelőbbnek. Ennél a keveréktípusnál 25-50 %-os termikus érzékenységbeli fejlődés figyelhető meg a referencia-keverékkel összehasonlítva. Hangsúlyoznunk kell, hogy ennek megállapításához egy módosított számolást használtak, 5 és 27 °C-ra vonatkozó keménységi értékekkel.

Alapvetően a standard keverékekkel megegyezőek a WMA gyártására, bedolgozására és ellenőrző tesztelésére vonatkozó specifikációk és ezek gyakorisága a TP 238-ban. A kivitelező köteles minden technológiai folyamatot, eljárást leírni egy dokumentumban, amit a megrendelőnek előre, a munka megkezdése előtt jóvá kell hagynia. Itt megvan adva a gyártási, terítési és tömörítési hőmérsékletek. A megrendelő ellenőrzi a technológiai folyamatokat a kivitelezés során ugyanúgy, mint a standard keverékek esetében. A kontrolltesztekhez a minták készítését a TP 238-ban megadott eljárás kiinduló típusesztyjével meghatározott hőmérsékleten kell végrehajtani.

Az alacsony hőmérsékleti tartományok időnként bizonyos kockázatot jelenthetnek a keverék viselkedésére nézve. Ezzel kapcsolatban számos tesztet végeztek el Prágában, a CTU-nál. Ebben a cikkben példaként a félhengeres mintákon végzett törés-terjedési teszt szerepel. A ČSN EN 12697-44 szabvány 2.1 fejezete szerint határozták meg az aszfaltkeverék törés-terjedéssel szembeni ellenállását. Minden keverékből legalább 6 mintát vizsgáltak. Automatikusan feljegyezték a kifejlesztett erőt (force at work) és a deformációt. A maximális erőt (F_{max}) és a minta méretén alapulva határozták meg a tömkremeneteli értékeket (K_{Ic}). Mivel az egész kísérlet alatt mérték a közvetlen erőt és a deformálódást, meg tudták határozni az F_{max} eléréséhez szükséges munkát. A W_F -ként jelzett paraméter leírja az aszfaltkeverék viselkedését a törés pillanatáig. A tesztet a szabvány által javasolt

hőmérsékleten, 0 °C-on végezték. A teszt eredményei a 3. táblázatban láthatók.

Jól látható, hogy mindegyik viszkozitást javító adalékanyaggal ellátott aszfaltkeverék magasabb törési ellenállást ért el, mint a referencia-keverék. A legnagyobb növekedést annál a keveréknél lehetett megfigyelni, ahol 3 % FAA-t adtak hozzá a kötőanyaghoz, azaz ez a keverék tűnik a legellenállóbbnak a törés-terjedéssel szemben a kérdéses hőmérséklet alatt.

Mix type	Fmax	ΔhF_{max}	σ_{max}	ϵ_{max}	Klc	Wfmax
	(kN)	(mm)	(N/mm ²)	(%)	(N/mm ^{3/2})	(mm)
REF2009	6.11	0.62	5.21	1.25	37.43	1.54
2009/5 (3% FAA)	7.36	0.55	6.25	1.12	45.62	1.44
2009/4 (0,5% PPA)	7.65	0.51	6.52	1.03	43.14	1.52
2009/6 (3% FTP)	7.76	0.63	6.60	1.29	44.16	1.89
2009/3 (1,0% PPA)	7.07	0.57	6.02	1.16	40.28	1.74

3.táblázat: A törés-terjedési teszt eredményei (T = 0°C)

3. Az Eurovia tapasztalatai alacsony hőmérsékleten gyártott aszfaltbetonnal

Jelenleg két Evotherm®-rendszert használnak az Eurovia csoportban Európában és az USA-ban. Az Evotherm® DAT lehetővé teszi a hőmérséklet csökkentését 50 °C-ig. Az adalékanyagot először vízben feloldják. Aztán in-line befecskendezik a keverőgépre. Az Evotherm MA 3® vízmentes és nem használja a kötőanyag habosítását vagy egyéb viszkozitáscsökkentő módszert. A hőmérséklet 30 °C-os csökkentését teszi lehetővé. Adagolható a keverőgépben, vagy a bitumen-terminálon. A teljes projekt során rögzített adatok 20-40 %-os energia-megtakarítást mutattak az Evotherm®-technológiákkal.

Az Eurovia egyre több meleg aszfalt gyártására alkalmas keverőgépét látja el Franciaországban, az Egyesült Királyságban, a Cseh Köztársaságban és Spanyolországban olyan felszereléssel, amellyel alkalmassá válnak Evotherm DAT®, vagy Evotherm MA 3® keverékek előállítására. Európa-szerte több mint 1 millió tonna Evotherm®-aszfaltkeveréket alkalmaztak. Az Evotherm® technológiák előnyeiről olvashatunk például a [4.]-ban. Az Evotherm® technológiákról több információt, valamint oktató videókat is találhatunk a MeadWestvaco honlapján (<http://www.meadwestvaco.com/Products/MWV002106>).

2010-ben hozták azt a döntést, hogy Evotherm® technológiát alkalmazzanak a Cseh Köztársaságban. A Klecany-nél (Prága közelében) lévő aszfaltkeverőt választották ki erre a célra. Az adagoló berendezést Franciaországból hozták, 2010 telén. Ezután a tároló-berendezés felszerelése következett. A cseh Askom cég végezte a számítógépes rendszer adaptációját. Az érvényesítési vizsgálatot 2011. nyarán végezték és az első tesztszakasz valódi munkaterületen 2011. szeptemberében készült el, a MeadWestvaco szakembereinek jelenlétében. ACL 22 S keveréket (amely a cseh véle-

mény szerint kötőréteg számára a legjobb minőségű aszfaltbeton-típus) gyártottak polimerrel modifikált bitumennel, PMB 25/55-60. A laboratóriumban mért hézag-tartalom 4,8 % volt. A keverőgépben a keverési hőmérséklet 140 °C volt, ami 30 °C-kal alacsonyabb, mint ennek a keveréknek a standard keverési hőmérséklete. A tömörített burkolat vastagsága 80 mm volt. A munkaterületet bemutató fotó a 3. ábrán látható.



3.ábra: A WMA-t bedolgozó munkaterületen a finisher és az aszfaltszállító (Shuttle Buggy).

Az Evotherm MA 3® kivitelezése 2012-ben valósult meg. A laboratóriumi tesztek az Eurovia Központi laboratóriumában, Prágában végezték.

Először az aszfaltkeveréket 150 °C-on keverték és tárolták, aztán az MA 3-s keveréket különböző hőmérsékleteken tömörítették, hogy megállapíthassák a tömörítés megfelelő hőmérsékletét, lásd a 4. táblázatban lévő eredményeket. Későbbi mintákat, amiket 130 °C-os hőmérsékleten keverték és tárolták, különböző időtartamú tárolás után tömörítettek, hogy elérjék/ megkapják az MA 3-s aszfaltkeverék termikus stabilitását – lásd 5. táblázat.

Mixing and storage in laboratory at 150 °C, then cooled and compacted at different temperatures (reference sample prepared without Evotherm MA3®)					
ACsurf 8 - 2 x 50 blows	---	with Evotherm MA3®			
start of compaction T [minutes]	10	10	10	10	10
temperature of storage [°C]	150	150	150	150	150
temperature of compaction [°C]	150	150	140	130	120
ρ_{bssd} [Mg/m ³]	2,449	2,456	2,438	2,429	2,412
compaction rate [%]	100	100,3	99,6	99,2	98,5
ρ_m [Mg/m ³]	2,510	2,510	2,510	2,510	2,510
V_m [%]	2,4	2,2	2,9	3,2	3,9

4.táblázat: A hőmérsékletnek a WMA tömörödésére gyakorolt hatása

Mixing, storage and compaction in laboratory at 130 °C, compacted in a different time of storage					
ACsurf 8 - 2 x 50 blows	with Evotherm MA3®				
start of compaction T [minutes]	10	30	60	90	120
temperature of compaction [°C]	130	130	130	130	130
ρ_{bssd} [Mg/m ³]	2,444	2,433	2,438	2,442	2,440
T xx ρ_{bssd} ratio to T 10 min. [%]	100,0	99,5	99,8	99,9	99,8
ρ_m [Mg/m ³]	2,510	2,510	2,510	2,510	2,510
V_m [%]	2,6	3,1	2,9	2,7	2,8
Marshall stability [kN]	9,0	9,1	9,2	9,5	10,0
Marshall flow [mm]	3,5	3,7	3,5	3,5	3,6
Marshall quotient [kN/mm]	2,6	2,5	2,6	2,7	2,8

5.táblázat: A tárolási időnek a WMA tömörödésére gyakorolt hatása



4.ábra: Alacsony hőmérsékletű masztix aszfalt bedolgozása egy hídon.

ak MA gyártásához. Mindemellett az Eurovia Franciaországban kifejlesztette és szabadalmaztatta a saját adalékanyagát, amely a masztix aszfalt hőmérsékletét 170 °C-ra képes csökkenteni. Ezt az eljárást Viasphalt®BT-nek nevezik. Az International Road Federation (IRF) 2011-ben Global Road Achievement Award-dal (GRAA) tüntette ki az Eurovia kutatóközpontot ezért a fejlesztésért. Erről szóló információk találhatóak:

http://www.eurovia.com/media/179784/viasphalte_gb_a4_bp.pdf

4. Megjegyzések az alacsony hőmérsékleten előállított masztix aszfaltról

Vannak olyan adalékanyagok a piacon, amelyek lehetővé teszik, hogy a masztix aszfalt (MA) gyártása során 250 °C-ról 230 °C-ra csökkentsük a hőmérsékletet. Az Evotherm AC-hoz (aszfaltbeton) való adalékanyagai nem használható-

Az Eurovia ezzel a technológiával 2012-ben kezdett foglalkozni a Cseh Köztársaságban. Az első alacsony hőmérsékleten előállított masztix aszfaltot egy Vltava folyó fölötti hídon használták Libenben (Prága), 2012. októberében. A 4. ábrán ezt mutatja be egy fénykép.

5. Következtetések

A 2012-ben publikált cseh technikai leírások TP 238 lehetővé teszik, hogy az aszfaltbetont és az alacsony hőmérsékleten gyártott masztix aszfaltot szélesebb körben lehessen alkalmazni a Cseh Köztársaságban. Hangsúlyoznunk kell, hogy ezeknek az irányelveknek a státusza előzetes-bevezető, azzal a céllal, hogy elegendő gyakorlati tapasztalatot és adatot gyűjtsenek a további vizsgálatokhoz. Az Eurovia tapasztalatai ezekkel a technológiákkal nagyon kedvezőek. Az utóbbi időben más cseh cégek is elkezdtek foglalkozni a WMA-val, vagy a prágai illetve brno-i műszaki egyetemmel együttműködve, vagy a külföldi tulajdonosaik tapasztalatait felhasználva. Néhány próba-szakasz már rendelkezésre áll és ezeket folyamatosan ellenőrzik, vizsgálják.

A WMA előnyei ma már jól ismertek. A károsanyag-kibocsátás csökkenése és az energia-megtakarítás evidens tények. Ezt mindemellett ellensúlyozza az adalékanyagok ára és a keverőgépen elvégzendő bizonyos átalakítás szükségessége. A hőmérséklet csökkentését szolgáló adalékanyagok használata szükséges lesz a jövőben, a REACH rendszer végrehajtásával kapcsolatos szigorúbb környezetvédelmi és egészségügyi előírások miatt.

Irodalom, hivatkozások:

- [1] Barros C., Warm Mix Asphalt State of the Practice, 51st Idaho Asphalt Conference October, 2011
- [2] Valentin J., Mondschein P., Varaus M., Hýzl P., Stiffness and Low-Temperature Behavior of Selected Warm Asphalt Mixes. Proceedings of 11th International Conference on Asphalt Pavements (ISAP), Nagoya, Japan, 2010.
- [3] Valentin J., et al, Performance characteristics of selected warm mix asphalt, (in Czech) Conf. AV 11, November 2011
- [4] Delfosse F., Fiedler J., Kašpar J., Sýkora M., Bureš P., Warm mixes at Eurovia, Bratislava 2011
- [5] Delfosse F., Giorgi C., et al, Development of the Evotherm DAT[®] process in Europe. Collaboration between Eurovia and Meadwestvaco, In: Proceedings of IRF, Lisbon 2010. (<http://www.meadwestvaco.com/mwv/groups/content/documents/document/mwv011338.pdf>)

BAUMA 2013 képei Készítette: Pósfai Szabolcs Strabag

