

Podmínky použití recyklovaných materiálů

Karel POSPÍŠIL, Radka RÁKOSNÍKOVÁ

Centrum dopravního výzkumu, sekce dopravní infrastruktury, Brno, ČR

Použití recyklovaných materiálů v dopravním stavitelství je nezbytným předpokladem pro trvale udržitelný rozvoj výstavby dopravních cest. Zdroje a materiály je proto třeba chápat jako obnovitelné, neboť již přišla doba, kdy používání nových zdrojů či materiálů se stává stále více z ekonomického a ekologického hlediska neúnosné. K použití recyklovaných materiálů však musí platit pravidla, která zabezpečí jednak přijatelné technické parametry budovaných konstrukcí a zároveň zaručí, aby použití recyklovaných materiálů nadměrně nezatížilo životní prostředí.

Úvod

Současná společnost produkuje velké množství odpadu. Tento můžeme rozdělit do několika kategorií:

- domovní odpad,
- průmyslový odpad,
- stavební a demoliční odpad,
- nebezpečný odpad.

Obecně se s každou touto kategorií nakládá jinak, každá je ošetřena ve většině zemí příslušným předpisem či nařízením o nakládání s odpady. V České republice se jedná např. o Zákon o odpadech č. 185/2001 Sb. Zpracování odpadů můžeme dělit do tří skupin:

- ukládání na skládkách,
- spalování
- recyklace.

Při spalování odpadů lze získat elektrickou a tepelnou energii *WTE (waste-to-energy)*, ale dochází zde ke vzniku dalšího odpadu (popel) a zplodin znečišťujících ovzduší. Z ekonomického a ekologického hlediska je recyklace nejlepší variantou.

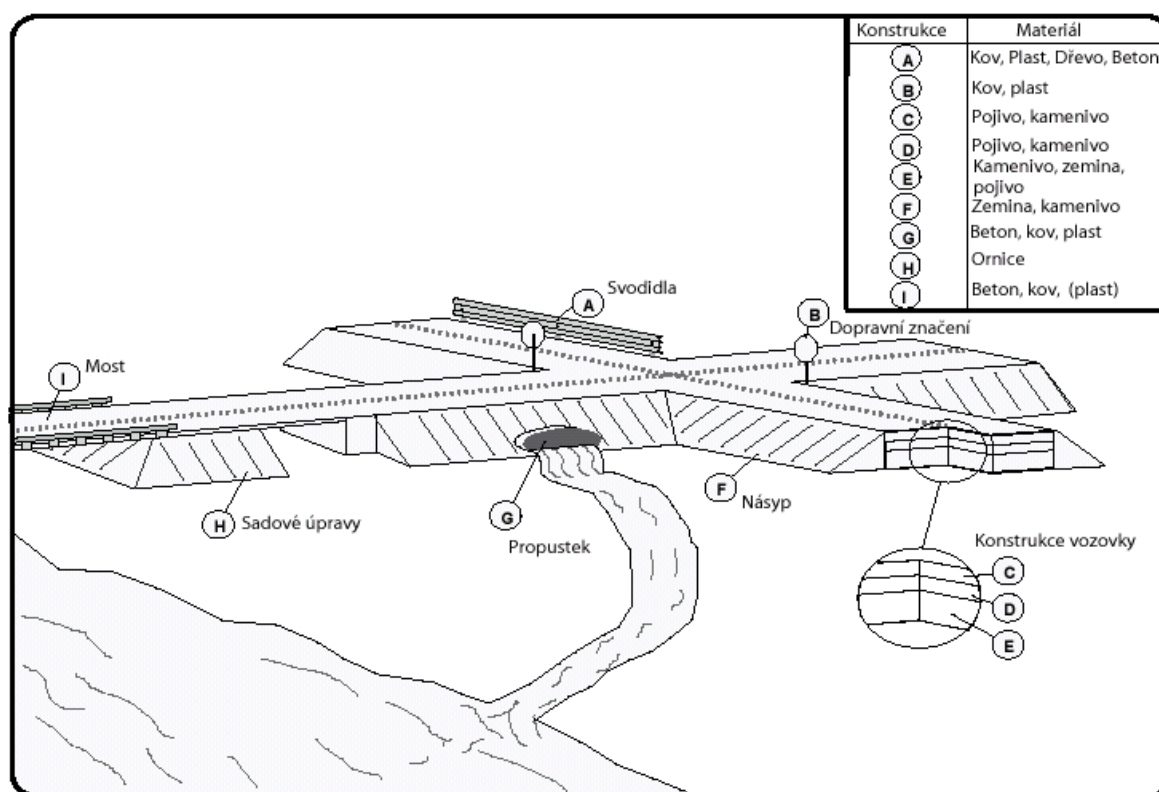
Je obecnou snahou minimalizovat vznik odpadů a redukovat jeho množství pomocí obnovy materiálů čili recyklací a nebo opětovným získáváním energie. Stav nakládání s odpady v několika evropských zemích a v USA ukazuje tabulka 1 [1].

Nakládání s odpady	Dánsko	Holandsko	Francie	USA
skládka	21%	19%	60%	55%
WTE	25%	8%	23%	17%
recyklace	54%	73%	17%	28%

Tabulka 1 – Nakládání s odpady

Prostředí pozemních komunikací a materiály

Prostředí pozemních komunikací názorně zobrazuje obr. 1 převzatý z [2]. Z obrázku je zřejmé, že prostředí pozemních komunikací je třeba chápat komplexně, že nelze vyjmát jen některou jeho část.



Obr. 1 – Schéma prostředí pozemních komunikací

Recyklovaných materiálů využívaných při stavbě pozemních komunikací je celá řada. Používají se v celém jejich prostředí, viz obr. 1. Využití různých recyklovaných materiálů při stavbě silnic je přehledně uvedeno v tabulce 2 [1].

Vlastnosti těchto materiálů musí odpovídat nebo dokonce převyšovat vlastnosti nových materiálů, přičemž se ukázalo, že standardní zkoušky se nemohou plně aplikovat na recyklované materiály. Vznikla tedy potřeba stanovení nové metodologie pro zkoušení recyklovaných materiálů a vytvoření databáze technických parametrů některých recyklátů.

Recyklované materiály jsou také analyzovány z hlediska chemického složení a rizika vylučování škodlivých látek do prostředí.

Ke stanovení dlouhodobých fyzikálních a ekologických vlastností stavebních hmot vyrobených z recyklovaných materiálů se využívá zkoušek zrychleného stárnutí. Pro urychlení průběhu degradačních procesů v materiálu lze přitom využít řadu postupů. Příkladem těchto zkoušek mohou být zkouška cyklického namáhání a zkouška mrazuvzdornosti.

Mezi materiály, které se používají při stavbě silnic převážně do násypů těles, podkladových a základových vrstev, patří různé strusky, těžební odpad, slévárenský písek, beton, stavební a demoliční odpad, který je rozdrčený na různé frakce. Podsítné frakce se uplatňují i při zásypu inženýrských sítí, obsypu kabelů, vodovodů a kanalizačních řadů.

Materiál	Možnost použití
Vysokopecní struska	příměs do betonů a cementů, hydraulické pojivo, obrusná vrstva, místo kameniva, podkladová vrstva
Uhelný popel	příměs do asfaltů, násyp
Uhelný létavý popílek	příměs do cementu, stavební pojivo, výplň betonu, hydraulické pojivo, HMA, násyp
Létavý popílek z tepelných elektráren	příměs do cementů, výplň betonů a asfaltů
Popel z <i>WTE</i>	asfalt, místo písku, podkladová vrstva, násyp, základová vrstva
Neželezná struska	<i>HMA (hot mix asphalt)</i> , zrnitý základ
Ocelářská struska	živičné směsi, povrchová úprava, <i>HMA</i> , výroba cementu, místo kameniva, místo písku v podkladové vrstvě, zrnitý základ
<i>RAP</i> - obnovený asfaltový kryt vozovky	<i>HMA</i> , recyklace asfaltu za studena, živičné pojivo, obrusná vrstva, podkladová vrstva, základová vrstva
Drcený beton	zrnitý základ, nevázané dopravní cesty, násyp, podkladová vrstva
Kultivovaný beton	přísada pro úpravu cementů, příměs do hydraulických pojiv
Stavební a demoliční odpad	místo kameniva (převážně v blízkosti měst), podkladová vrstva
Jemně drcený beton	místo písku v podkladové vrstvě
Důlní odpad (horniny bez použitelných kovů)	rozdrčený v nestmelených vrstvách
Těžební odpad (hlušina)	černá břidlice - násyp, červená - podkladová vrstva vozovek
Slévárenský písek (formy)	místo písku a šterku
Plasty	pojivo asfaltu, lehké plnivo

Tabulka 2 – Použití recyklovaných materiálů

Podmínky použití recyklovaných materiálů

V Dánsku dělí recyklované materiály do kategorií 1 až 3. Každá kategorie materiálů má určeno, za jakých podmínek a na jakých místech smí být použita. Materiály jsou posuzovány i ve vztahu k umístění budoucí vozovky vzhledem k blízkosti pramenů pitné vody, nádrží pitné vody, sladké vody a mořské vody. Určování koncentrací škodlivých látek se stanovuje z výluhu¹.

Výluh z materiálů zařazených do kategorie 1 nesmí překročit stanovené limity obsahu arseniku, barya, olova, kadmia, chloridů, mědi, rtuti, manganu, niklu a zinku. U materiálů z kategorie 2 smí být mírně překročeny koncentrace stejných prvků jako u kategorie 1. Materiály z kategorie 3 vysoce překračují tyto limity.

Materiály kategorie 1 nepotřebují žádné schválení pro použití. Materiály z kategorie 2 potřebují povolení s výjimkou těch, co obsahují zákonem schválený asfalt, drcený beton, popel a létavý popílek, popel z *WTE*. Materiály z kategorie 2 nesmí být použity blíže než 20 metrů od pitné vody dále pak nesmí být použity v nezpevněné vrstvě s větší mocností než 0,3 metru nebo ve vrstvě s větší mocností než 1 až 2 metry pod dlážděným povrchem. Materiály z kategorie 3 musí být komplexně přezkoumány a pak je rozhodnuto o jejich použití.

V Nizozemí dělí materiál pro opětovné použití do dvou kategorií na základě emisí a složení vybraného vzorku. Hodnoty emisí jsou stanoveny na základě maximálního množství vybraných anorganických složek, které se mohou rozptýlit do půdy a povrchových vod bez působení zvýšené zátěže. Tyto hodnoty nesmějí překročit hodnotu nad 1 % úrovně pozadí zpětně za období 100 let. Například pro měď obsaženou ve stavebních materiálech je tato hodnota 540 mg na 1m² zeminy. Maximální hodnoty jsou stanoveny z výsledků výluhových zkoušek, které ale nemohou určit množství organických látek v materiálech. Zde jsou rozhodné hodnoty celkového složení materiálu. Tyto hodnoty určují, zda je materiál vhodný pro recyklaci a opětovné použití.

Do kategorie 1 patří ty materiály, které nepřekračují žádný ze stanovených limitů. Ty mohou být použity bez dalších ochranných opatření. Materiály z kategorie 2 nepřekračují schválené hodnoty obsahu organických složek, ale nespĺňují limity pro anorganické složky bez potřeby použití ochranných prostředků. Tyto materiály mohou být použity jen pokud jsou technologicky izolovány a konečné hodnoty nepřekračují stanovené limity. Výjimku tvoří některé materiály, které nelze zařadit ani do jedné z těchto kategorií. Například popel z *WTE* smí překračovat stanovené limity, ale pouze za podmínky, že jsou použita speciální izolační opatření.

V Německu je důraz kladen na ochranu spodních vod. Z hlediska ochrany životního prostředí zahrnuje nakládání s recyklovanými materiály určení kvality a kvantity

¹ Výluh vzniká kontaktem vzorku materiálu s 0,0001 molárním roztokem CaCl₂ nebo HNO₃.

uvažovaných materiálů, určení recyklačního schématu nebo vhodné metody nakládání a určení a porovnání emisí z recyklačního schématu a metody nakládání.

Emise recyklovaných materiálů jsou určovány pomocí výluhových testů. Nové materiály nemusí být podrobeny tomuto testování. Musí být zhodnocen materiál a metoda použití. Test obsahuje část zaměřenou na nově recyklované materiály a hodnotí je na základě technických a ekologických vlastností, přičemž největší důraz je kladen, jak bylo uvedeno výše, na dopady na kvalitu spodní vody. Společnosti zabývající se recyklací odpadů musí mít kompletní dokumentaci o původu odpadu, charakteristiku odpadu i o průběhu zpracování.

V České republice, jak je uvedeno v úvodu, upravuje použití recyklovaných materiálů Zákon o odpadech 185/2001 Sb., který definuje mj. tyto pojmy:

- *nakládání s odpady* – jejich shromažďování, soustředování, sběr, výkup, třídění, přeprava a doprava, skladování, úprava, využívání a odstraňování,
- *úprava odpadů* – každá činnost, která vede ke změně chemických, biologických nebo fyzikálních vlastností odpadů (včetně jejich třídění) za účelem umožnění nebo usnadnění jejich dopravy, využití, odstraňování nebo za účelem snížení jejich objemu, případně snížení jejich nebezpečných vlastností,
- *materiálové využití odpadů* – náhrada prvotních surovin látkami získanými z odpadů, které lze považovat za druhotné suroviny, nebo využití látkových vlastností odpadů k původnímu účelu nebo k jiným účelům, s výjimkou bezprostředního získání energie.

Povinností při nakládání s odpady je předcházet vzniku odpadů, omezovat jejich množství a nebezpečné vlastnosti. Odpady, jejichž vzniku nelze zabránit, musí být využity, případně odstraněny způsobem, který neohrožuje lidské zdraví a životní prostředí v souladu se zákonem. Recyklace (materiálové využití) odpadů má přednost před jiným využitím odpadů.

Před použitím recyklátu musí být způsobem předepsaným zákonem prokázáno, že nemá nebezpečné vlastnosti v zákoně uvedené a takové vlastnosti, které by mohly ohrozit zdraví a životní prostředí (neobsahuje nežádoucí organické a minerální látky). Recyklát také nesmí obsahovat látky, které působením klimatických vlivů mění svůj objem, pevnost a tvar.

Ekotoxicitu lze podle [3] stanovit působením vodného výluhu na testovací organismus a jako nebezpečný se hodnotí při koncentraci 10 ml/l LC (EC,IC)50, tj. 50% úhyn, imobilace nebo inhibice růstu testovacích organismů. Jako testovacích organismů se používá *Poecilia reticulata* nebo *Brachydanio rerio* (96 hodin působení), *Daphia magna* (48 hodin), *Raphidocelis subcapitata* nebo *Scenedesmus subspicatus* (72 hodin), semeno *Sinapis alba* (72 hodin). Stabilizace odpadu hydraulickým pojivem omezuje nežádoucí výluhy betonové drtě používané jako kamenivo.

Technické požadavky na recykláty užívané při stavbě a rekonstrukci pozemních komunikací v České republice určují ČSN 73 6133 – Navrhování a provádění zemního tělesa pozemních komunikací a soubor norem ČSN 73 6121 – 30 - Stavba vozovek.

Betonový recyklát se podle ČSN 72 1512 - Hutné kamenivo pro stavební účely. Technické požadavky - posuzuje jako drcené kamenivo a dělí se na úzké a široké frakce v požadovaných kvalitách. Směsný recyklát se podle dosažené čáry zrnitosti, obsahu prachových částic a plnění technických požadavků na zeminy zařídí do kvalitativních tříd.

Podle publikace [4] lze použití recyklátů v konstrukcích pozemních komunikací shrnout do tabulky 3 takto:

Druh recyklátu	Konstrukce	
betonový recyklát úzká frakce BRU	obrusné, ložní a podkladní vrstvy	tř. B neomezené použití
		tř. C vyjma krytových vrstev
betonový recyklát široká frakce BRŠ	podkladní vrstvy vozovky	nestmelené, zpevněné a stabilizované podkladní vrstvy
Směsný recyklát I SR I	podkladní vrstvy vozovky	v ochranné vrstvě jako zpevněná zemina
Směsný recyklát II SR II	stabilizované podkladní vrstvy, podloží vozovky	zejména v aktivní zóně
Směsný recyklát III SR III	stabilizované podkladní vrstvy, zemní těleso	ztužující vrstvy, zásypy a obsypy
Směsný recyklát IV SR IV	zemní těleso	náhradní zemina do zásypů a obsypů

Tabulka 3 – Použití recyklátů v konstrukcích pozemních komunikací

Vlastnosti recyklátů se ověřují průkazními a kontrolními zkouškami podle platných norem. Průkazní zkoušky provádí laboratoř, která vydá osvědčení o jakosti recyklátu. Kontrolními zkouškami se ověřuje shoda s výsledkem průkazních zkoušek.

Podle citované práce [4] lze požadavky na recykláty pro využití v jednotlivých vrstvách vozovek shrnout do tabulky 4:

Vlastnosti	použití					
	náspy	aktivní zóna	stabilizace	MZ	drobná frakce MZK	výplň ŠV
	SR IV	SR III	SR II	SR I	BR 0 - 4	BR 0 - 16
mez tekutosti	max. 60	max. 60	max. 40	max. 25	max. 25	max. 25
obsah zrn do 0,06 mm	-	max. 35 %	-	-	-	-
číslo plasticity	-	-	max. 27	max. 6	0	max. 6
pískový poměr	-	-	min. 15	min. 20	min. 35	min. 35

$\rho_{d,max}$ (kg.m ⁻³)	min. 1500	min. 1600	-	-	-	-
poměr únosnosti CBR	-	nim.15 %	-	min. 20 %	-	-
humusovitost	-	-	max. A až B	-	max. D	-
odplavitelné částice	-	-	-	-	max. 15 %	-
obsah síry	-	-	-	-	max. 1 %	-

Tabulka 4 – Parametry recyklátů v konstrukčních vrstvách vozovek

Technické podmínky pro užití **struskového kameniva** jsou uvedené v závěrečné zprávě projektu [5], kde jsou uvedeny podmínky pro návrh, provádění a kontrolu hutněných asfaltových vrstev vozovky, nátěrů vozovek, mikrokoberců, nestmelených vrstev vozovky a stabilizovaných podkladů.

V citované zprávě jsou doplněny názvy a definice těchto materiálů: *Struskové kamenivo (SK)* je kamenivo vyrobené chlazením, drcením, magnetickou separací a tříděním krystalické nebo vysokopecní strusky. *Struskové těžké kamenivo (STK)* je umělé kamenivo vyrobené chlazením, drcením, magnetickou separací a tříděním krystalické ocelářské strusky. *Struskové hutné kamenivo (SHK)* je umělé kamenivo vyrobené chlazením, drcením a tříděním vysokopecní strusky. *Strusková stmelená směs (SBM)* je směs jednoho nebo více druhů struskového kameniva, které tuhne a tvrdne vlivem hydraulické a nebo uhličitanové reakce. *Struskové stmelené směsi – typ A (SBM-A)* jsou směsi, které jsou užívány tehdy, jestliže není požadována okamžitá tuhost směsi po provedení v konstrukci pozemní komunikaci. *Struskové stmelené směsi – typ B (SBM-B)* jsou směsi, které i při tuhnutí a tvrdnutí mají vykazovat dostatečnou tuhost. *Vzduchem chlazená vysokopecní struska (VVS)* je umělé kamenivo založené na bázi krystalických křemičitanů vápna a hořčíku. *VVS* je odebírána při pomalém vzdušném ochlazení rozžhavené vysokopecní strusky. Proces ochlazení vzduchem může být nahrazen kontrolovanou aplikací vody. *Vzduchem chlazená ocelářská struska (VOS)* je umělé kamenivo vyrobené na bázi krystalických křemičitanů vápníku, železitanů a oxidů železa. *VOS* je odebírána při pomalém vzdušném chlazení žhavé ocelářské strusky. Proces ochlazení vzduchem může být nahrazen kontrolovanou aplikací vody. *Granulovaná vysokopecní struska (GVS)* je materiál na bázi CaO, SiO₂, Al₂O₃, MgO. Je to písčitého materiálu, s maximální velikostí zrna 5 mm. Výroba probíhá prudkým vodním zchlazením žhavé vysokopecní strusky.

Struskové kamenivo nebo výrobky z něho je možné použít pro zhotovení nestmelených vrstev vozovky, stabilizovaných podkladních vrstev vozovky, podkladních, ložních a obrusných vrstev vozovky z asfaltových směsí, nátěrů vozovek a mikrokoberců, při zajištění ochrany životního prostředí podle platných norem. Užití struskového kameniva podle zrnitosti je podle [5] shrnuto v tabulce 5.

konstrukční vrstva vozovky	frakce (mm)
asfaltové směsi	4-8, 8-11, 11-22
podkladní vrstvy	PTS, 0-8, 0-16, 0-22, 0-32, 0-45, 0-63
zemní těleso	0-250

Tabulka 5 – Použití struskového kameniva

Obsah veškeré síry přepočtený na SO_3 nesmí překročit 1% hmotnosti. Chemické a mineralogické složení vysokopecní strusky musí být takové, aby struskové kamenivo bylo nerozpadavé. Obsah volného vápna se stanovuje podle Evropské normy *ČSN EN 451-1 (Metoda zkoušení popílku – část 1: Stanovení obsahu volného oxidu vápenatého)* a nesmí překročí hodnotu 5 % hmotnosti. Pokud je obsah vyšší, nesmí bobtnání asfaltové směsi, stanovené na válečkových tělesech podle *ČSN 73 6060 kap. VII*, přesahovat hodnotu 0,5 % objemu (hodnota informativní).

Závěr

V použití recyklovaných materiálů dochází v poslední době ke značnému rozvoji. Tento trend souvisí jednak s omezenými zdroji materiálů nových a hlavně s tlakem na minimalizaci odpadů ukládaných na skládky. Vznikla celá řada předpisů i prací, které se danou problematikou zabývají, jak z hlediska technického a technologického, tak i z hlediska ekologického. Kromě v předchozím textu citovaných lze uvést ještě další odkazy, viz kapitola Literatura.

Sekce dopravní infrastruktury CDV se v současné době zabývá využitím recyklátů do betonů, včetně samozhutnitelných.

Literatura

-
- [1] Schimmoller, V.E., Holtz, K., Eighmy, T.T., Wiles, C., Smith, M., Malasheskie, G., Rohrbach, G.J., Schaftlein, S., Helms, G., Campbell, R.D., Van Deusen, Ch.H., Ford, B., Almborg, J.A. - Recycled Materials in European Highway Environments: Uses, Technologies, and policies, Publication No. FHAW-PL-00-025, D.C., Federal Highway Administration, USA, 2000
- [2] FRAMEWORK FOR EVALUATING USE OF RECYCLED MATERIALS IN THE HIGHWAY ENVIRONMENT, Publication No. FHWA-RD-00-140, Federal Highway Administration, USA

-
- [3] Pytlík, P., Materiálové využití minerálních stavebních odpadů, In: Sborník z konference Recycling 2002, pp.45-52,14.-15. 3. 2002 Brno, ISBN: 80214 20782, ČR
- [4] Bílek, V., Kudrna, J., Ponča, V., Chrápavá, Z. - Recykláty pro výstavbu pozemních komunikací, Brno, 2000
- [5] Večerka, I. - Použití druhotných surovin průmyslových odpadů a recyklovaných materiálů do tělesa pozemních komunikací, zpráva o řešení projektu výzkumu a vývoje č. S 304/120/703 Ministerstva dopravy a spojů ČR, 2000
- [6] Cook, R.A., Coviello, A., Eighmy, T.T., Hover K. C., Spear, J. C. M. - A Predictive Approach for Long-Term Performance of Recycled Materials Using Accelerated Aging, Volume 2 : Appendices, Report No. FHWA-RD-01-023, Final Report, Federal Highway Administration, USA
- [7] Consentino, P. J., Kalajian, E. H. - Developing Specifications for Using Recycled Asphalt Pavement as Base, Subbase or General Fill Materials, In: Final Report, p. 287, Florida Department of Transportation, USA, 2001
- [8] Atahan, A. O., Blogh R. P., Ross, H. E. Evaluation of Recycled Content Guardrail Posts, In: Journal of Transportation Engineering, Vol: 128, No: 2/2001 pp. 156-166, ISSN: 0733947X, USA
- [9] Azizian, M. F., Lundy, J. R., Nelson, P. O., Thayumanavan, P., Williamson, K. J. - Environmental Impact of Construction and Repair Materials on Surface Water and Groundwater: Detailed Evaluation of Waste-Amended Highway Materials, In: Transport Research Record, No: 448, pp. 25-32, ISSN: 03611981, USA, 2001
- [10] Nataatmadja, A., Tan, Y.L. - Resilient Response of Recycled Concrete Road Aggregate, In: Journal of Transportation Engineering, Vol: 127, No: 5/2001, pp. 450-453, ISSN: 0733947X, USA
- [11] Armaghani, J. M., Chini, A. R., Duxbury, J. P., Kuo, S-S - Test of Recycled Concrete Aggregate in Accelerated Test Track, In: Journal of Transportation Engineering, Vol: 127, No: 56/2001, ISSN: 0733947X, USA, 2001
- [12] Recycling Strategies for Road Works, OECD, ROAD RESEARCH, ISBN: 9264154612, Paris, 1997
- [13] Stephens, J. E., Mahoney, J., Dippold, C. - Determination of the PG Binder Grade to Use in a RAP mix, Report No: Final Report, JHR 00-278, Project 99-1, Connecticut Department of Transportation, USA, 2001

-
- [14] Amirkhanian, S. N., Vaughan, K. M. - Field Evaluation of Use of Waste Shingles in Asphalt Mixtures, Repoert No: FHWA-SC-01-04, Final report, Federal Highway Administration, USA, 2001
- [15] Issa, R., Miller, G. A., Miller, G. A., Senkowski, L. J., Zaman, M. M.- Characteristics of Cold Processed Asphalt Millings and Cement-Emulsion Mix, In: Transport Research Record, No: 1767, pp. 1-6, ISSN: 03611981, USA, 2001
- [16] Needham,D. - Cold-Mix Asphalt: the Facts That You Need TO Know, In: Better Roads, Vol: 66, No:6/2001, pp. 27-30, ISSN 00060208, USA
- [17] Mastushima, H., Watanabe, T., Yasui, M., Kozanagi, W., Aoki, T. - Fracture and Fatigue Strenght of Slabs Repaired with D-RAP Method, Journal of Materials in Civil Engineering, Vol: 13, No: 2/2001, pp. 130-135, ISSN: 08991561, USA