

POLYMER ADDITIVES EFFECT ON THE DYNAMIC VISCOSITY OF BITUMINOUS MATRICES USED FOR RADIOACTIVE WASTE FIXATION

Michaela Svitoková¹, Pavol Daučík²

¹VUJE, a.s., Trnava, ²Slovak University of Technology, Faculty of Chemical and Food Technology, Institute of Organic Chemistry, Catalysis and Petrochemistry, Department of Petroleum Technology and Petrochemistry, Radlinského 9, SK-812 37 Bratislava, Slovak Republic

Received December 21, 2009, Accepted February 1, 2010

Abstract

One way of fixation of radioactive waste is bitumination. In this process a certain quantity of radioactive waste (ion exchangers, slurry, concentrate) is fixed in to the heated bitumen. Solidification of radioactive wastes in bitumen matrix significantly affects the viscosity. To improve the viscosity properties of bitumen matrix are used polymer modifiers additives. The article presents the results of monitoring the impact of the concentration of polymer additives on the dynamic viscosity of the bitumen matrix at temperatures of 80° C to 150° C.

Key words: Fixation of radioactive waste; bitumination; polymer modifiers; dynamic viscosity.

1. ÚVOD

Rádioaktívny odpad sa zaraďuje medzi nebezpečný odpad. Jedná sa o nevyužiteľné odpadové latky (plynné, kvapalné, tuhé) a nepoužiteľné predmety, ktoré nemožno kvôli zvýšenému obsahu rádionuklidov alebo kvôli neodstrániteľnej povrchovej kontaminácii uviesť do životného prostredia [1]. Nebezpečnosť týchto odpadov je známa a ich uloženie sa prísne monitoruje. Rádioaktívne odpady (RAO) musia byť od životného prostredia oddeľované presne stanoveným systémom opatrení tak, aby do neho neprenikli ani po mnohých rokoch.

V súčasnosti sa v slovenských jadrových elektrárňach spracováva prevažne koncentrát, realizujú sa skúšky fixácie ionexov. Pri odpadoch, ktoré sú viazané v ionexoch, dochádza k problémom vzhľadom na požiadavku rovnomerného rozptylu rádioaktivity v bitúmenovom produkte. Na základe experimentov sa zistilo [2], že pri bitúmenácii ionexov je potrebné aditívaciou bitúmenu pripraviť matricu, ktorá zníži rýchlosť sedimentácie ionexov počas chladnutia produktu. Vyžaduje sa obmedzenie pohybu častíc ionexu do takej miery, aby sa produkt mohol z hľadiska rozptylu rádioaktivity považovať za homogénny. Ako prísady na zlepšenie vlastností bitúmenovej matrice sa využívajú najmä syntetické polyméry, ktoré kvalitu matrice zlepšujú.

O pridávanie polymérov do bitúmenov sa pokúšali výrobcovia už veľmi dávno. Širšie použitie takto modifikovaných bitúmenov sa však rozšírilo až v poslednom desaťročí. Spočiatku sa do bitúmenov pridávali prírodné kaučuky, neskôr syntetické polyméry.

Poznáme viacej prírodných i syntetických polymérov, ktoré sa použili na zlepšenie vlastností bitúmenov. Hoci dnes sa na modifikáciu bitúmenov používajú vybrané syntetické polyméry, existuje široká škála rôznych modifikátorov. Prehľad makromolekulových látok využívaných v bitúmenoch je v tabuľke 1.

Kvalitatívna úroveň a úžitkové vlastnosti modifikovaných bitúmenov závisí :

- na type modifikátora,
- na množstve modifikátora v bitúmenovej matrici,
- type použitého bitúmenu, jeho zloženia,
- na technológii prípravy, hlavne spôsobe homogenizácie.

Tabuľka 1 Makromolekulové látky využívané na aditíváciu bitúmenov [3]

Skupina	Polymér	Skratka	Pravdepodobný prídavok [% hm.]
gumy	latex, prírodný kaučuk	NR	3
	gumová drvina		9
elastoméry	styrén butadiénový kopolymér	SBR	3
	polychlórpren	CR	2
	polybutadién	BR	2
	polyizoprén	IR	2
syntetické polyméry	polyetylén	PE	4
	polypropylén	PP	4
	etylén-propylén kopolymér	EPM	4
	polyetyléntereftalát	PET	4
	etylén akrylesterový kopolymér	EAE	4
	styrén-izoprénový kopolymér	SIR	4
	dvojzložkové živice	EP	5

Voľba správnej, t.j. najvyhovujúcejšej matrice pre spracovanie a úpravu rádioaktívnych odpadov je jednou z dôležitých podmienok pre ich kvalitnú fixáciu a uloženie v Republikovom úložisku rádioaktívnych odpadov. Jednou z matric je aj bitúmen (asfalt), konkrétne cestný polofúkaný bitúmen CS70/100. Tento typ bitúmenu bol zvolený z hľadiska svojich dobrých vlastností ako sú transport, čerpanie, manipulácia, uložiteľnosť a podobne. Bitúmen CS70/100 sa v jadrových elektrárnach Slovenskej republiky využíva najmä na fixáciu koncentrátov v existujúcej plne funkčnej linke. V rámci ďalšieho vývoju technológie spracovania a úpravy RAO sa pristúpilo aj k ďalšej možnosti využitia tohto bitúmenu a to konkrétne na fixáciu nasýtených ionexov. Zrealizovali sa experimenty fixácie ionexov s čistým bitúmenom, kde sa sledovali vlastnosti produktu. Na základe výsledkov, najmä z hľadiska homogenity produktu sa zistilo, že bitúmen bez polymérnych aditív nie je dostačujúcou matricou. Počas chladnutia dochádza k rýchlej sedimentácii ionexov a tým sa rádioaktivita kumuluje len v jednej časti produktu. Z hľadiska bezpečnosti tým nebola splnená podmienka homogenity produktu, t. j. rovnomerný rozptyl rádioaktivity. Výsledkom uvedených skutočností bola požiadavka venovať sa problematike aditívácie bitúmenu. Vzhľadom na výsledky aditivovaných cestných bitúmenov sa polyméry zaradili medzi vhodné aditíva aj v oblasti spracovania a úpravy rádioaktívnych ionexov.

Viskozita asfaltov patrí medzi významné parametre charakterizujúce vlastnosti týchto sústav [4,5,6]. Cieľom modifikácie asfaltov je zlepšenie úžitkových vlastností týchto produktov. Sledovanie zmien úžitkových a fyzikálnych vlastností umožňuje nielen stanoviť optimálny obsah modifikátora, ale aj hľadať vzájomné vzťahy medzi vlastnosťami. Rast viskozity s množstvom použitého modifikátora má vplyv na kvalitu rádioaktívnych odpadov hlavne pri ich spracovávaní za horúca.

2. Experimentálna časť

2. 1 Meranie a výpočet dynamickej viskozity

Viskozita vzoriek sa merala rotačným viskozimetrom ARV 2 s meracím valcom a nádržkou typu H s definovanými charakteristikami, ktoré umožňujú súbežné meranie použitého gradientu šmykovej rýchlosti a aplikovaného šmykového napätia [7,8]. V tabuľke 2 sú charakteristiky a rozsahy použitého zariadenia.

Tabuľka 2 Charakteristiky meracieho zariadenia

Typ meracieho zariadenia	Množstvo substancie, ml	Rozsah	Šmykové napätie T_r, Pa	Šmyková rýchlosť D_r, s^{-1}	Viskozita, mPas
H	17	I	15 300	1/6 145,8	100 .. . 1 800 000
		II	150 .. . 3 000		1 000 . 18 000 000

Na vyhodnotenie dynamickej viskozity sa použil vzťah (1)

$$\eta = \frac{\tau}{D} = \frac{z \cdot \alpha}{D} \quad (1)$$

z – kalibračná konštanta, je uvedená v skúšobnom liste prístroja udaná v tabuľke 3.

α - výchylka na ukazovateli (dieliky)

τ - šmykové napätie úmerné počtu dielikov, Pa

D – šmyková rýchlosť, s^{-1} , je uvedená v skúšobnom liste prístroja pre jednotlivé agregáty a stupne otáčok

Tabuľka 3 Kalibračné konštanty

Typ meracieho zariadenia	Kalibračné konštanty	
	Rozsah I	Rozsah II
	Z	Z
H/H	28,40	278,1

Rýchlostným hladinám prístroja pri type meracieho valca H (súčasť valcovo-meracieho zariadenia) zodpovedali šmykové spády uvedené v tabuľke 4.

Tabuľka 4 Šmykové rýchlosti pre jednotlivé rýchlostné hladiny pri frekvencii 50 Hz

Rýchlostné hladiny	H D, s^{-1}	Rýchlostné hladiny	H D, s^{-1}
1b	0,1667	6a	5,40
2b	0,3000	8b	8,10
1a	0,3333	7a	9,00
3b	0,500	9b	13,50
2a	0,600	8a	16,20
4b	0,900	10b	24,30
3a	1,000	9a	27,00
5b	1,500	11b	40,50
4a	1,800	10a	48,60
6b	2,700	12b	72,9
5a	3,000	11a	81,0
7b	4,500	12a	145,8

3. Výsledky a diskusia

3. 1 Výber polymérnych prísad

Na základe spracovaných údajov z predošlých období, sa zvolili na testovanie ataktický polypropylén (APP) a polyetylén (PE) typu: SA 70-21, ITT 20 a RA 7-20 [9]. Ako ďalšie doporučené aditívum na zlepšenie kvality bitúmenu sa testoval SBS (styrén-butadién-styrén) kaučuk.

PE SA 70-21 je nízko hustotný polyetylén vyrábaný vysokotlakovou polymerizáciou etylénu. Výrobcom je Slovnaft a.s. a dodáva ho pod obchodným názvom Bralen SA 70 – 21. PE je húževnatý a pružný polymér, stály v teplotnom rozmedzí – 50 až + 85°C, topí sa pri teplote 102 až 115°C. Jeho hmotnostný index toku (190°C/2,16 kg) je 70 g/10 min. Štandardne sa vyrába ako prírodný nefarebný granulovaný materiál [9].

PE ITT 20 je zmesou PE VA 20 – 60 a 1 % sadzí ako stabilizátora. Nízko hustotný polyetylén PE VA 20 – 60 je neaditívovaný polymér. Jeho hmotnostný index toku (190°C/2,16 kg) je 20 g/10 min, teplota mäknutia podľa Vicata je 84°C. PE sa vyznačuje dobrou zatekavosťou. PE VA 20 – 60 je vyrábaný v Slovnafte a.s., Bratislava vo forme granulátu a je predávaný pod obchodným názvom Bralen VA 20 - 60. Na laboratórne experimenty sa použila vyššie uvedená zmes mletého PE s obsahom sadzí. Zmes pripravila firma Arcoplast a.s. a dodáva ju pod názvom ITT 20 [9].

Nízko hustotný PE RA 7 – 20 je neaditívovaný polymér. Výrobcom je Slovnaft a.s., Bratislava a dodáva ho pod obchodným názvom Bralen RA 7 – 20. Hmotnostný index toku PE RA 7 – 20 (190°C/2,16 kg) je 7 g/10 min., teplota mäknutia podľa Vicata je 88 °C. PE RA 7 – 20 dodáva výrobca vo forme granulátov. Na laboratórne experimenty sa použil granulovaný aj mletý PE, ktorý dodala firma Arcoplast a.s. pod názvom mikropolyetylén RA 7 – 20 [9].

APP je amorfný polypropylén s nepravidelným usporiadaním metylových skupín v základnom reťazci polyméru. Vzniká ako vedľajší produkt pri výrobe izotaktického polypropylénu. Sušený ataktický polypropylén sa dodáva pod obchodným názvom Tatren APP vo forme doštičiek s rozmermi približne 10x10x1 mm, ktoré sú poprášené mastencom. Vyrába sa v Slovnafte a. s. Jeho teplota topenia je vyššia ako 110°C [9].

Styrén-butadién-styrénový kopolymér SBS (Europren SOL T 6205) pozostáva z dvoch druhov polymérov s rozdielnou teplotou sklovitého prechodu. Kaučukový butadién má sklovitý prechod veľmi nízky ($t_g = -90^\circ\text{C}$) a polystyrén veľmi vysoký ($t_g = +100^\circ\text{C}$). Tento fakt spôsobuje mimoriadnu vhodnosť kopolymérov SBS ako modifikátorov.

Klasické bitúmeny sú na rozdiel od modifikovaných bitúmenov veľmi citlivé na teplotné zmeny. Primárne bitúmeny pri vysokých teplotách mäknú a pri nízkych teplotách krehnú. V dôsledku pridávania polymérov do základnej bitúmenovej suroviny sa tieto nedostatky zmierňujú. Základné údaje vzorky použitého bitúmenu a vzoriek modelových zmesí asfaltu s modifikátormi sú v tabuľke 5.

Tabuľka 5 Kvalitatívne parametre modelových matric.

	Bod mäknutia KG ^[10] [°C]	Penetrácia pri 25°C ^[11] [0,1mm]
CS 70/100	45,0	76
CS 70/100 + 3% SBS	67,5	59
CS 70/100 + 5% SBS	72,7	50
CS70/100 + 5 % APP	52,5	64
CS 70/100 + 10% APP	66,1	60
CS 70/100 + 5% PE SA 70 – 21	51,8	67
CS 70/100 + 10% PE SA 70 – 21	73,5	59
CS 70/100 + 10% PE ITT 20	79,6	51
CS 70/100 + 10 % PE RA 7 – 20	75,3	56

K prednostiam modifikovaných bitúmenov patrí:

- širší rozsah plasticity (rozdiel medzi bodom mäknutia a bodom lámavosti). Kým klasické asfalty dosahujú rozsah plasticity nižší ako 60°C , u modifikovaných bitúmenov býva táto hodnota až 80°C ,
- pri rovnakej penetrácii majú modifikované bitúmeny vyšší bod mäknutia ako klasické, - klasické bitúmeny nevykazujú elasticitu, modifikované bitúmeny sú vysoko elastické. Pôsobením tlaku sa síce deformujú, ale po odstránení tlaku sa pomerne rýchlo vracajú do svojej pôvodného tvaru.
- modifikované bitúmeny sú odolnejšie voči starnutiu. Vyššia odolnosť voči starnutiu sa dá zdôvodniť ich vyššou viskozitou, čím sa znižuje styk s vzdušným kyslíkom ^[12].

3.2. Určenie teplotného intervalu pre meranie viskozít

Jedným z dôležitých faktorov, ktorý má vplyv na sedimentáciu a teda aj na viskozitu matrice je aj doba chladnutia suda ^{0[2]}. Ako vidno na obrázku 1, celková doba chladnutia predstavuje 108 hodín, t. j. čas od zamiešania suda až po jeho vychladnutie na teplotu cca 20°C . Uvedený obrázok je len ilustračný a naznačuje nám dobu, kedy dochádza k najmasívnejšej sedimentácii ionexov v bitúmenovom produkte. Preto je dôležité z hľadiska správnej voľby aditíva do matrice na fixáciu ionexov zvoliť práve tú látku, ktorá má v podstate najvyššie hodnoty viskozít pri najvyšších teplotách ^{[12]0}.

Pri fixácii rádioaktívnych odpadov a nasýtených ionexov do bitúmenu je produkt zohriaty na $135 - 140^\circ\text{C}$. Po ukončení plnenia produktu do sudov začína chladnutie. Pri chladnutí dochádza k sedimentácii tuhých častíc. Viskozita sa mení v širokom intervale hodnôt. Pre merania viskozít vzoriek sa zvolila horná hranica teploty 150°C . Vzhľadom na nelineárny priebeh zmeny viskozity asfaltových matric s teplotou sa spodná hranica merania posunula k 80°C .

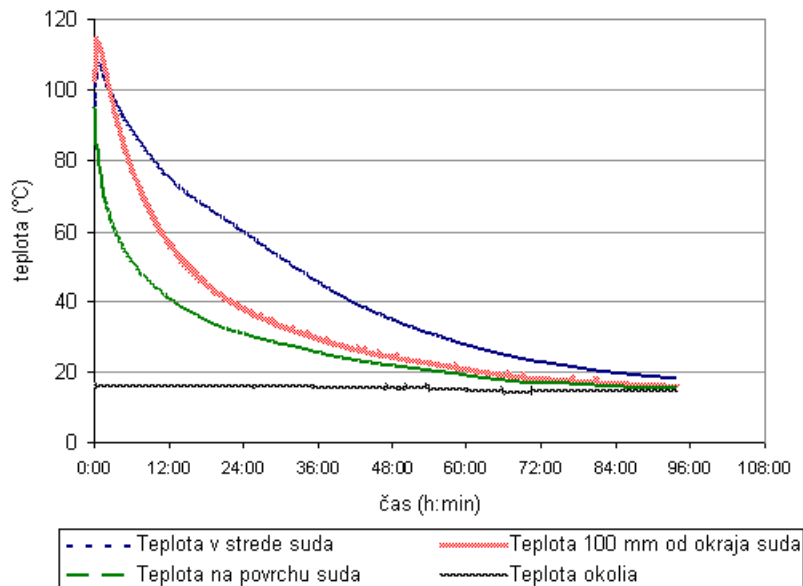
3.3 Stanovenie dynamickej viskozity matric

3.3.1 Príprava vzoriek na stanovenie dynamickej viskozity

V rámci úlohy sa stanovila viskozita zmesí 3 a 5 % SBS kaučuku a 97, resp. 95% bitúmenu CS70/100 a s obsahom 5, 10, 15 % PE SA 70 - 21, resp. APP a 95, 90, 85 % bitúmenu a 10 % PE RA 7 – 20, ITT 20 s 90 % bitúmenu, resp. kvôli porovnaniu sa stanovila aj viskozita samotného bitúmenu CS 70/100.

Vzorky sa pripravovali miešaním, v samostatnej nádobe umiestnenej v olejovom kúpeli. Polymérne aditíva sa postupne dávkovali do bitúmenu vyhriateho na cca $130 - 135^\circ\text{C}$. Po nadávkovaní potrebného množstva sa homogenizovali do úplného rozpustenia

(vizuálna kontrola), t. j. po dobu 60 – 120 minút. Po rozpustení sa naliali do meracej nádoby s meracím valcom a nechali sa vychladnúť, resp. vyhriať na požadovanú teplotu a následne temperovať. Viskozita sa sledovala pri 80, 100, 120 a 150 °C. Viskozita pre danú teplotu (tabuľka 5) sa stanovila ako stredná hodnota nameraných údajov z rôznych šmykových rýchlostí [3].



Obrázok 1: Chladnutie suda bitúmenového produktu v 200l sude

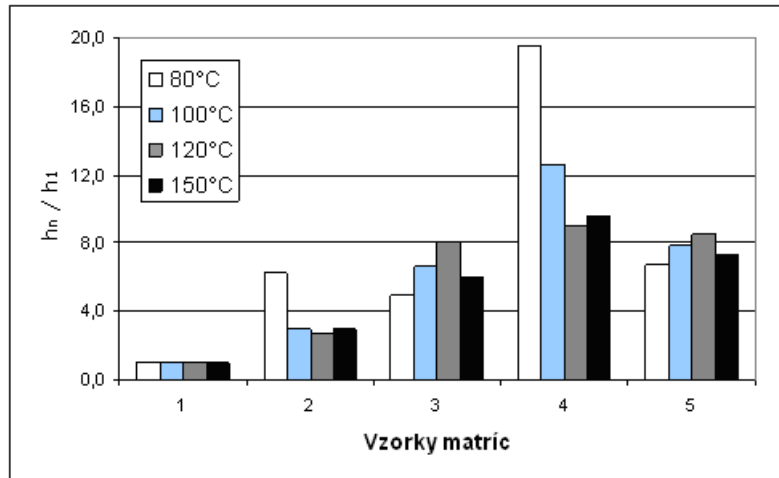
Tabuľka 6 Namerané dynamické viskozity asfaltových matric v zvolenom intervale teplôt

	Viskozita, Pa.s			
	80°C	100°C	120°C	150°C
CS 70/100	17,6	4,4	1,3	0,3
CS 70/100 + 3% SBS	105,7	17,4	4,9	1,1
CS 70/100 + 5% SBS	266,8	34,4	8,3	1,8
CS70/100 + 5 % APP	43,5	7,7	2,8	0,6
CS 70/100 + 10% APP	110,3	13,3	3,5	0,9
CS 70/100 + 5% PE SA 70 – 21	33,9	7,9	2,9	0,5
CS 70/100 + 10% PE SA 70 – 21	86,5	29,1	10,4	1,8
CS 70/100 + 10% PE ITT 20	344,1	55,6	11,8	2,9
CS 70/100 + 10 % PE RA 7 – 20	118,1	34,4	11,0	2,2

Z výsledkov uvedených v tabuľke 6 možno vyhodnotiť vplyv polymérnych aditív na viskozitu pripravených matric. Pri aditívach APP a PE SA 70 – 21 sa sledovala rada s prídavkom 5% a 10% %. Merali sa aj niektoré matrice s obsahom 15% polyetylénových prísad. Dôvodom upustenia od vyššieho obsahu polyetylénových prísad boli nevyhovujúce tokové vlastnosti matric. Zlá miešateľnosť s asfaltom, zasekávanie meracieho valca pri teplotách do 120°C spôsobovali pri prídavku 15 % hlavne u polymérov PE RA 7 – 21 a ITT 20 zlu reprodukovateľnosť merania viskozity. Ako ukazuje obrázok 2. pre porovnanie postačuje vyhodnotenie prídavku 10 % PE a APP prísad. Pomer viskozity modifikovanej matrice k viskozite matrice pôvodného asfaltu (η_n/η_1) zodpovedá obrátenej hodnote pomeru (u_1/u_n) rýchlosti usadzovania častíc v týchto matriciach. Pri určitom zjednodušení môžeme povedať, že tento pomer udáva koľkokrát je rýchlosť usadzovania v modifikovanej matrici menšia vzhľadom na pôvodný nemodifikovaný asfalt.

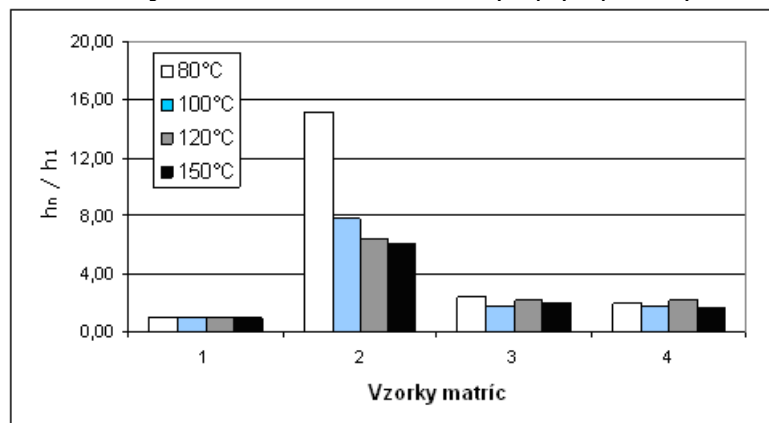
Z grafického záznamu vidno, že najvyšší pomer viskozít sa ukázal na vzorke bitúmenu s prídavkom 10 % PE ITT 20. Porovnateľné pomery viskozít sa pozorovali v prípade aditív PE RA 7-20 a PE SA 7-21. Dá sa predpokladať, že najmenší vplyv na zníženie rýchlosti

usadzovania častíc by mal APP. Zjednodušené porovnanie účinku SBS ukazuje vzorka s obsahom 5% tohto aditíva. Pri 80°C je účinok ($\eta_{SBS}/\eta_1 = 15,2$) na spomalenie usadzovania častíc porovnateľný s matricou obsahujúcou 10% PE ITT20 ($\eta_{ITT}/\eta_1 = 19,6$). V rozsahu teplôt 100°C až 150°C je 5% vplyv prídavku SBS ($\eta_{SBS}/\eta_1 < 6,0; 7,8 >$) porovnateľný s 10% prídavkom modifikátora PE RA 7-20 alebo PE SA 7-21 ($\eta_{SBS}/\eta_1 < 6,0; 8,5 >$).



Obrázok 2: Pomer viskozít matric modifikovaných 10% polyméru ku viskozite asfaltu CS 70/100 (1 – asfalt CS 70/100; 2 – APP; 3 – PE SA 70-21; 4 – PE ITT 20; 5 – PE RA 7-20)

Porovnanie vplyvu SBS, APP, 3 – PE SA 70-21 na zmenu viskozity pri päť percentnom obsahu prísad dokumentuje obrázok 3. Dominantný vplyv prísady SBS je evidentný.



Obrázok 3: Pomer viskozít matric modifikovaných 5% polyméru ku viskozite asfaltu CS 70/100 (1 – asfalt CS 70/100, 2 – SBS 3 – APP, 4 – PE SA 70-21)

Veľkosť vplyvu SBS potvrdzujú aj viskozity namerané pri obsahu 3% tejto prísady v matrici. Vyššia viskozita tejto matrice pri teplotách 80°C až 150°C sa namerala v porovnaní s matricami APP a PE SA 70-21 s 5% uvedených polymérov. Na základe týchto ukazovateľov možno zredukovať výber najhodnejších aditív na SBS a ITT 20.

4. ZÁVER

Z ponúkaných polymérov sa na experimentálne merania vybrali: APP, SBS, PE SA 70-21, PE RA 7-20, PE ITT 20. Výber sa robil nielen z hľadiska vlastností polymérov, ale aj z ekonomických aspektov. V prípade bitúmenačnej linky ide o technológiu, ktorá spotrebuje relatívne veľké množstvo aditív. S týmito aditívami sa zrealizovali experimenty stanovenia dynamickej viskozity matrice. Všetky skúšané polymérne prísady zvýšili viskozitu pôvodnej bitúmenovej matrice. Pridávané množstvo aditív sa určilo na základe čiastkových experimentov stanovenia dynamickej viskozity ako aj sledovania miešateľnosti produktu, možnosti prevádzky a prevádzkových trás ako aj sledovanie kvality bitúmenového produktu. Stanovenie viskozity je jedným z ukazovateľov ovplyvňujúcich voľbu matrice. Dôležité sú aj ďalšie vlastnosti matrice. Významná je hlavne sedimentácia tuhých častíc v produkte a viskozita sedimentáciu významne ovplyvňuje.

Na základe meraní (výsledná viskozita sa určila ako priemer minimálne troch meraní pri rovnakých podmienkach) sa za najvhodnejšie považovali polymérne prísady, ktorých pridaním sa viskozita významne zvyšovala. Veľmi dobré výsledky sa dosiahli pri použití aditíva SBS v množstve 5 % a PE ITT 20 v množstve 10 %. Prísady PE RA 7-20 a PE SA 7-21 pri 10%-nom obsahu zvyšovali viskozitu v podobnej miere ako 5% SBS kopolyméru v matrici. Prísada APP mala najnižší vplyv na zmenu viskozity bitúmenovej matrice. Z hľadiska skúmania matrice vhodnej na fixáciu ionexov možno preto odporučiť využitie prísady PE ITT 20 a kopolyméru SBS. Výhodou SBS kopolyméru je jeho dobrá miešateľnosť s bitúmenom. Vytváranie styrenových zhlukov SBS kaučuku s aromatickými zložkami bitúmenov viaže polymér k bitúmenu a butadiénová reťaz výrazne ovplyvňuje viskozitné vlastnosti matrice. Preto má tento kopolymér predpoklady v značnej miere eliminovať sedimentáciu ionexov fixovaných v matrici.

LITERATÚRA

- [1] Nečas, V., Vandlíková, M., Hladký, E. Rádioaktívne odpady a likvidácia jadrových elektrární, Bratislava: FEI STU, 1997.
- [2] Svitoková M.: Dizertačná práca „Minimalizácia rádioaktívnych odpadov“, MTF STU, Trnava, 2009.
- [3] Runa A.: Ropa a uhlie 35 (4), 1993, 375.
- [4] Stastna J., Zanzotto L., O. J. Vacin: Journal of Colloid nad Interface Science Volume 259, Issue 1, 2003, Pages 200-207.
- [5] Yetkin Yildirim, Jason Ideker, Darren Hazlett: J. Mat. in Civ. Engrg. Volume 18, Issue 4, pp. 545-553 (July/August 2006).
- [6] Akiyoshi HANYU Sadaharu UENO, Atsushi KASAHARA Kazuo SAITO: Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 6, pp. 1153 - 1167, 2005.
- [7] VUJE, a.s. Pracovný postup na stanovenie dynamickej viskozity vzoriek, Trnava: 2009.
- [8] ISO 3219:1993 Plastics -- Polymers/resins in the liquid state or as emulsions or dispersions - Determination of viscosity using a rotational viscometer with defined shear rate.
- [9] www.slovnaft.sk, Technické údaje o produktoch, 2009.
- [10] STN EN 1427: 2007 Asfalty a asfaltové spojivá. Stanovenie bodu mäknutia. Metóda krúžkom a guľôčkou.
- [11] STN EN 1426: 2007 Asfalty a asfaltové spojivá. Stanovenie penetrácie ihlou.
- [12] Yonghong Ruan, Davison R. R., Glover C. J: Energy Fuels, 2003, 17 (4), pp 991-998.