

PROJEKTIRANJE ASFALTA OTPORNOG PREMA VISOKIM (POJAVA KOLOTRAGA) I NISKIM (POJAVA PUKOTINA) TEMPERATURAMA SA POTVRDOM DEKLARIRANE OTPORNOSTI

DESIGN OF ASPHALT RESISTANT TO HIGH (RUTTING) AND LOW (CRACKS) TEMPERATURES WITH A VERIFICATION OF DECLARED RESISTANCE

SAŽETAK

U tvrtci Ramtech razrađena su točna matematička pravila projektiranja sastava asfalta koji ispunjava tražene uvjete projektiranja (koncentracije šupljina i ispune). Primjenom te jednadžbe moguće je izračunati potrebnu količinu bitumena za postizanje bilo koje kombinacije koncentracije šupljina i ispune.

Razni tehnički uvjeti nude razne kombinacije koncentracije šupljina i ispuna kao optimalne za postavljene uvjete eksploatacije (temperatura, prometno opterećenje, brzina, frekvencija i slično) asfalta. Nažalost, većina asfalta tokom eksploatacije doživi oštećenja koja su posljedica loše odabranih uvjeta sastava za postavljene uvjete eksploatacije. Na cesti se to manifestira kao pojava kolotruga i pukotina.

U ovom radu prikazan je postupak projektiranja asfalta (izbor sirovina i njihov odnos u asfaltu) otpornih na predmetna oštećenja, te skup laboratorijskih ispitivanja sirovina i asfalta koji unaprijed potvrđuju kvalitetu projektiranog sastava asfalta.

SUMMARY

The Ramtech Company has elaborated exact mathematical rules for asphalt composition design which will satisfy the preset design requirements (concentration of voids and fill voids with bitumen). By applying this equation we can calculate the quantity of bitumen required to achieve any combination of the voids and fill concentration.

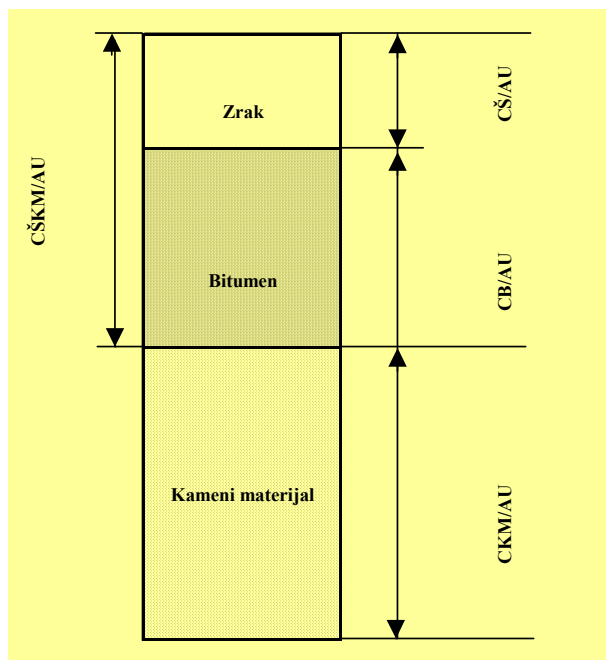
Various specifications give different combinations of voids and fill voids with bitumen as optimal for the set conditions of asphalt use (temperature, load, speed, frequency, etc). Unfortunately, most asphalts are damaged during exploitation, as a consequence of inadequately chosen asphalt composition for the defined conditions of asphalt use. This is manifested on the road surface as occurrence of ruts and cracks.

This paper present the procedure of asphalt design (choice of raw materials and their ratios within the asphalt), resistant to subject damages. It will also present a set of laboratory tests of raw materials and asphalt, that confirm in advance the quality of designed asphalt composition.

UVOD

Asfalt je trokomponentalni kompozit, s napomenom da se njegov sastav uglavnom definira volumnim udjelima (koncentracijama) pojedinih sastavnih materijala (Slika 1):

1. Zrnati kameni materijal (kruto agregatno stanje) - CKM/AU
2. Bitumen (uglavnom tekuće agregatno stanje) – CB/AU
3. Zrak (plinovito agregatno stanje) u šupljinama – CŠ/AU



Slika 1. Model sastava asfalta

U svrhu potpunog definiranja prostora koji zauzima asfalt, uz navedene (CKM/AU, CB/AU i CŠ/AU) potrebno je navesti i izvedene elemente sastava asfalta:

4. Koncentracija šupljina koje se nalaze između zrna kamenog materijala raspoređenog u prostoru asfalta (CŠKM/AU) kad se iz tog prostora izdvoji bitumen. Prema modelu, ta se koncentracija dobiva jednostavnim zbrojem koncentracija šupljina (CŠ/AU) i koncentracija bitumena (CB/AU) u asfaltnom uzorku (jednadžba 1).

$$C\check{S}KM / AU = C\check{S} / AU + CB / AU \quad (1)$$

5. Ispuna (ISP) prethodno navedenih šupljina (CŠKM/AU) s bitumenom definirana je sljedećom jednadžbom:

$$ISP = \frac{CB / AU}{C\check{S} / AU + CB / AU} * 100 \quad (2)$$

Za jednoznačno definiranje sastava nekog projektiranog asfalta potrebna su najmanje dva od prethodno definiranih 5 elemenata modela sastava asfalta. Na taj se način teorijski dade složiti deset kombinacija po dva elementa sastava [13]. Potrebno je napomenuti da je samo njih devet moguće koristiti u postupku projektiranja asfalta [13]. U Hrvatskim tehničkim uvjetima [1 do 4] sastav asfalta definira se sljedećim parom elemenata modela sastava asfalta:

- $C\check{S}/AU_{\min} < C\check{S}/AU_{\text{PROJ}} < C\check{S}/AU_{\max}$
- $ISP_{\min} < ISP_{\text{PROJ}} < ISP_{\max}$

Raspon koncentracije šupljina (CŠ/AU) i ispuna (ISP) definiran je pozicijom asfalta u kolničkoj konstrukciji i prometnim opterećenjem [1 do 4], s napomenom da je taj raspon dodatno proširen ili pomaknut s obzirom na brzinu vozila i klimatsko područje u kojem se nalazi kolnička konstrukcija [1 do 3].

U tvrtci Ramtech d.o.o. razvijena [12,13] je jednadžba (3) koja jednoznačno povezuje projektne uvjete (CŠ/AU_{PROJ} i ISP_{PROJ}) s udjelom bitumena u asfaltu koji zadovoljava tražene uvjete. **Nema drugog udjela bitumena u asfaltu koji može zadovoljiti tražene uvjete!** Jasno, kao što to pokazuje predmetna jednadžba sve je ovisno i o gustoćama sastavnih materijala asfalta (ρ_Z , ρ_B i ρ_{KM}).

$$\%masB / AM = \frac{\frac{C\check{S} / AU_{PROJ}}{100} * \rho_B}{ISP_{PROJ} - 1} * 100 + \left(\frac{C\check{S} / AU_{PROJ}}{100} * \rho_B + \frac{C\check{S} / AU_{PROJ}}{100} * \rho_Z + \left(100 - \frac{C\check{S} / AU_{PROJ}}{100} - \frac{C\check{S} / AU_{PROJ}}{100} \right) * \rho_{KM} \right) * 100 \quad (3)$$

- a. Gustoću (HRN EN 15326)
- b. Ekviviskoznu temperaturu miješanja i zbijanja asfalta (HRN EN 13706-1)

PROJEKTIRANJE SASTAVA ASFALTA

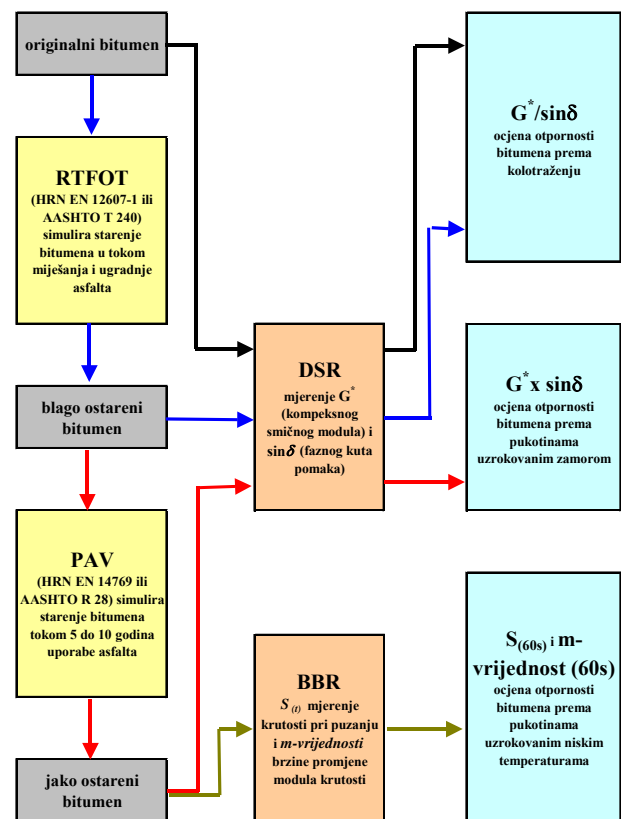
U uvodu navedena jednadžba (3) bitno poboljšava razumijevanje, te omogućuje potpuno kompjuteriziranje postupka projektiranja. No nažalost, konačni rezultat projektiranja dosta ovisi o postavljenim uvjetima projektiranja, odnosno o specifikacijama ili tehničkim uvjetima. Krivo postavljene tehnički uvjeti mogu uzrokovati brojna oštećenja na kolničkim konstrukcijama [14, 15 i 16]. Poznavanjem osnovnih zakonitosti ovisnosti ponašanja asfalta kao funkcije sastava [5 do 11] doprinijelo je razvoju nove generacije tehničkih uvjeta [1 do 3]. Primjena tih tehničkih uvjeta bitno je smanjila pojavu oštećenja asfaltnog dijela kolničke konstrukcije. No ipak, pri ekstremnim uvjetima eksploatacije (visoke i niske temperature, velika prometna opterećenja, spori promet i slično) asfaltnih slojeva moguća su njihova oštećenja usprkos prethodno iznesenom. Iz tog su razloga potrebna dodatna znanja (laboratorijska i terenska istraživanja) te dodatna ispitivanja projektiranih asfalta i njihovih sirovina. U okviru ovog rada protumačit će se projektiranje asfalta otpornih na visoke temperature (kolotražnje) i na niske temperature (pukotine) i to sve pri vrlo teškim prometnim opterećenjima.

1.1 Ispitivanje svojstava sirovina

U postupku projektiranja sastava asfalta koji zadovoljava propisane [1 do 4] uvjete sastava (CŠ/AU i ISP) potrebno je ispitati sirovine na sljedeći način:

1. Frakcijama kamenog materijala treba ispitivanjem odrediti:
 - a. Granulometrijski sastav (HRN EN 933-1) svih frakcija uključenih u postupak projektiranja
 - b. Gustoće (HRN EN 1097-6) svih podfrakcija uskog raspona veličine zrna i to za svaku vrstu kamenog materijala uključenog u postupak projektiranja
2. Bitumenu treba ispitivanjem odrediti:

U postupku projektiranja sastava asfalta koji uz prethodno navedeno, ima i zadovoljavajuću otpornost prema visokim (kolotražnje) i niskim (pukotine) temperaturama bitumen treba ispitati prema **SUPERPAVE** [20] (**Superior Performing Asphalt Pavements**) sustavu (Slika 2. do 4.).



Slika 2. Shematski prikaz tretiranja i ispitivanja bitumena prema SUPERPAVE sustavu te ocjena njegove otpornosti prema kolotražnji i pukotinama



Slika 3. Aparatura (DSR) za određivanje karakteristika bitumena koje pokazuju njegovu otpornost prema kolotražnju i pukotinama (zamor)



Slika 4. Aparatura (BBR) za određivanje karakteristika bitumena koje pokazuju njegovu otpornost prema pukotinama (niske temperature)

Rezultat ispitivanja bitumena prema SUPERPAVE-u je PG (na pr. 64-22) koji opisuje temperaturu (+64°C) do koje je bitumen otporan prema kolotražnju, te temperaturu (-22 °C) do koje je bitumen otporan prema pukotinama izazvanim niskom temperaturom. U tom sustavu klasificiranja ponašanja ima ukupno 35 (Tablica 1.) klasa bitumena (PG Performance Grade).

Tablica 1. Prikaz svih klasa ponašanja (PG) bitumena definiranih u sustavu SUPERPAVE-a

		Donja temperaturna granica klase ponašanja (PG) bitumena [°C]						
		-10	-16	-22	-28	-34	-40	-46
Gornja temperaturna granica klase ponašanja (PG) bitumena [°C]	46					46-34	46-40	46-46
	52	52-10	52-16	52-22	52-28	52-34	52-40	52-46
	58		58-16	58-22	58-28	58-34	58-40	
	64	64-10	64-16	64-22	64-28	64-34	64-40	
	70	70-10	70-16	70-22	70-28	70-34	70-40	
	76	76-10	76-16	76-22	76-28	76-34		
	82	82-10	82-16	82-22	82-28	82-34		

1.2 Projektiranje sastava asfalta prema uvjetima

Glavni dio postupka projektiranje sastava asfalta na osnovu propisanih uvjeta (CŠ/AU i ISP) [1 do 4] je pronalaženje udjela bitumena u asfaltnoj mješavini koji zadovoljava te uvjete. Taj dio problema projektiranja riješen je primjenom jednadžbe (3) i rješiv je ukoliko su poznate (izmjerene) gustoće sastavnih sirovina asfalta (ρ_Z , ρ_B i ρ_{KM}). Daljnji dio problema je pronalaženje udjela punila (čestice ispod 0,09 (0,063) mm) u kamenom materijalu koji sa projektiranom granulometrijom kamenog skeleta (čestice veličine iznad 0,09 (0,063) mm) i nađenim udjelom bitumena daje projektirani uzorak (na pr. Marshall uzorak) točno propisane koncentracije šupljina i pripadne ispune.

U tu svrhu priredi se serija od 6 uzoraka asfaltna mješavine [17] različitih udjela bitumena (CB/AM) i različitih udjela punila u kamenom materijalu (%masP/KM). Iz tih se mješavina prirede asfaltni uzorci, a njima odrede koncentracije šupljina (CŠ/AU). Na taj se način dobije šest tripleta podataka nad kojim se načini statistička analiza (najmanja suma kvadrata odstupanja) u svrhu određivanja konstanti k_1 , k_2 i CKS/AU u slijedećoj relaciji (4):

$$C\dot{S}/AU = \left(k_1 * \frac{100 * CB/AM * CKS/AU}{(100 - CKS/AU) * (100 - CB/AM)} + k_2 \right) * \%masP/KM + \left(100 - CKS/AU * \frac{100}{100 - CB/AM} \right) \quad (4)$$

$$\%masP/KM = \frac{\left(100 - CKS/AU * \frac{100}{100 - \frac{C\dot{S}/AU_{proj}}{100 - \left(\frac{100}{ISP_{proj}} - 1 \right) * \left(1 - \frac{C\dot{S}/AU_{proj}}{100} \right)}} \right) - C\dot{S}/AU_{proj}}{\left(k_1 * \frac{100 * \frac{C\dot{S}/AU_{proj}}{\left(\frac{100}{ISP_{proj}} - 1 \right) * \left(1 - \frac{C\dot{S}/AU_{proj}}{100} \right)} * CKS/AU}{(100 - CKS/AU) * \left(100 - \frac{C\dot{S}/AU_{proj}}{\left(\frac{100}{ISP_{proj}} - 1 \right) * \left(1 - \frac{C\dot{S}/AU_{proj}}{100} \right)}} \right) + k_2 \right)} \quad (5)$$

Primjenom tih konstanti u relaciji (5) uz već definirane uvjete projektiranja (CS/AU_{PROJ} i ISP_{PROJ}) izračuna se traženi udio punila u kamenom materijalu ($\%masP/KM$). Na taj se način dobio sastav asfalta (granulometrija kamenog materijala i udio bitumena u asfaltnoj mješavini ($\%masB/AM$)) koji će dati asfaltni uzorak točno tražene koncentracije šupljina (CS/AU) uz točno traženu ispunu šupljina kamenog materijala s bitumenom (ISP). Dakle, na taj način projektirani sastav točno ispunjava propisane uvjete sastava (CS/AU_{PROJ} i ISP_{PROJ}).

1.3 Provjera fundamentalnih svojstava projektiranog sastava asfalta

Stvarna kvaliteta na prethodni način projektiranog asfalta ovisi o kvaliteti tehničkih uvjeta po kojima je asfalt projektiran. Ukoliko su tehnički uvjeti rađeni na osnovu znanja i kvalitetno prikupljenih iskustava tada je velika šansa da će proizvedeni asfalt, prema takvom projektu sastava, tokom eksploatacije biti otporan prema pojavi oštećenja tipa kolotruga i pukotina. No, ako to nije slučaj tada će tako proizvedeni asfaltni pokazivati slabe otpornosti prema oštećenjima tipa kolotruga i pukotina (Slika 5. i 6.).



Slika 5. Oštećenje asfaltnog sloja kolničke konstrukcije tipa kolotruga



Slika 6. Oštećenje asfaltnog sloja kolničke konstrukcije tipa pukotina nastalih kao posljedica loše otpornosti asfalta prema niskim temperaturama



Slika 7. Aparat za ispitivanje otpornosti asfalta prema kolotražanju (HRN EN 12697-22)



Slika 8. Aparat za ispitivanje otpornosti asfalta prema pojavi pukotina pri niskim temperaturama (PrEN 12697-46)

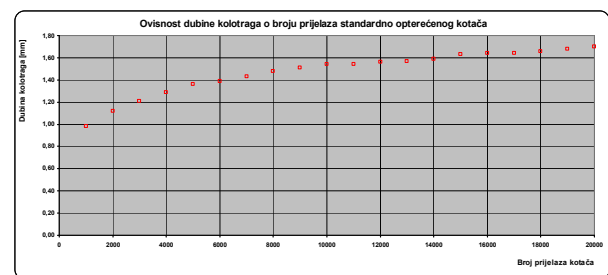
U bilo kojem slučaju dobro je dodatno ispitati asfalt projektiranog sastava, a sve u svrhu stvarnog dokaza njegove otpornosti prema visokim (kolotražnje) i niskim (pukotine) temperaturama eksploatacije. Za to je potrebno odrediti tri osnovna fundamentalna svojstva asfalta :

1. Otpornost asfalta prema kolotražnju (EN 12697-22) ispituje se na aparaturi prikazanoj na slici 7, a tipični rezultat tog testa dan je na slici 10.
2. Otpornost asfalta prema pojavi pukotina izazvanih niskim temperaturama mjeri se standardnom metodom (prEN 12697-46) na aparaturi prikazanoj na slici 8., Tipični rezultat tog testa prikazan je na slici 11.
3. Otpornost asfalta prema pojavi pukotina izazvanih zamorom [HRN EN 12697-24) prikazana je na slici 9.

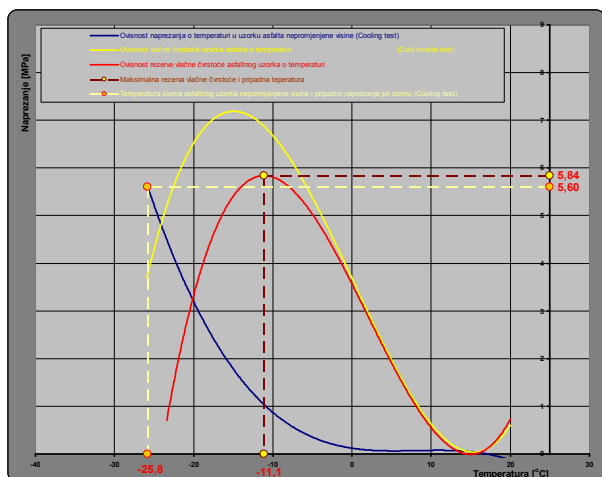


Slika 9. Aparat za ispitivanje otpornosti asfalta prema pojavi pukotina zamorom (HRN EN 12697-24)

Ostvarene rezultate prethodno opisanih ispitivanja potrebno je usporediti sa pripadnim veličinama propisanim od strane projektanta kolničke konstrukcije. U slučaju da mjereni podaci ne zadovoljavaju propisane, potrebno je mijenjati projektirani sastav asfalta dok mjerena fundamentalna svojstva asfalta ne budu jednaka ili bolja od propisanih.



Slika 10. Tipičan rezultat ispitivanja otpornosti asfalta prema kolotražnju (HRN EN 12697-22)



Slika 11. Tipičan rezultat ispitivanja rezerve vlačne čvrstoće (otpornosti prema niskim temperaturama) asfalta (prEN 12697-46)

Ako projektant kolničke konstrukcije nije propisao otpornosti asfalta prema visokim (kolotražnje) i niskim (pukotine) temperaturama, te prema zamoru tada ta kolnička konstrukcija ima velike šanse da ne doživi projektirani vijek trajanja. Isto će se naime dogoditi ukoliko je projektant pogrešno propisao vrijednosti koje osiguravaju predmetne otpornosti. U takvom slučaju fundamentalna svojstva asfalta treba podešavati ili na osnovu iskustva ili na osnovu znanja tehnologa.

U svakom slučaju dobro je imati barem mogućnost odabira kvalitete bitumena koji može izdržati gornju (prosječna najviša sedmodnevna) i donju (najniža jednodnevna) temperaturu eksploatacije uz zadanu frekvenciju i težinu prometa.

Ispitivanja fundamentalnih svojstva asfalta treba uvesti u svakodnevnu praksu asfaltne tehnologije i to u svrhu prikupljanja novih tehnoloških znanja, ali i radi kvalitetnijeg pristupa projektiranju asfaltnog dijela kolničkih konstrukcija cesta u Hrvatskoj.

1.4 Elementi projekta sastava asfalta

Prema prethodno prikazanom projekt sastava asfalta može imati sljedeće elemente:

1. Granulometrijski sastav kamenog materijala i projektom nađeni udio bitumena koji osiguravaju dobivanje standardnog uzorka propisane koncentracije šupljina (CŠ/AU) i pripadne propisane ispune (ISP).
2. Odabranu kvalitetu bitumena (PG) koja osigurava korektno funkcioniranje asfalta u

temperaturnom rasponu (minimalne i maksimalne temperature eksploatacije) karakterističnom za predmetnu dionicu ceste.

3. Sva fundamentalna svojstva asfalta koja na jasan fizikalni način pokazuju da asfalt projektiranog sastava može izdržati sva opterećenja (po veličini i frekvenciji) i temperature (minimalne i maksimalne) koji su predviđeni projektom kolničke konstrukcije u kojoj se nalazi predmetni asfalt.

Projekt sastava asfalta koji sadrži sva tri navedena elementa je najbolje opremljen s informacijama o ponašanju asfalta u uvjetima u kojima će se naći prometnica i pripadna kolnička konstrukcija tokom perioda eksploatacije. Takav asfalt ima najveće šanse izdržati bez ili s minimumom oštećenja kroz cijeli period eksploatacije predviđen projektom (projektni period). Projekti koji ne sadrže sva tri elementa projekta imaju bitno umanjenu šansu da budu otporni prema pojavi kolotruga ili pukotina.

ZAKLJUČAK

U tvrtci Ramtech razrađen je kompjuterizirani sustav projektiranja sastava asfalta prema kojem je moguće:

1. Projektirati asfalt čiji sastav i svojstva zadovoljavaju uvjete propisane bilo kojim domaćim ili svjetskim specifikacijama ili tehničkim uvjetima.
2. Odabrati bitumen čija svojstva garantiraju korektno funkcioniranje asfalta u prometnim (opterećenje i frekvencija) i temperaturnim (minimalna i maksimalna) uvjetima eksploatacije kolničke konstrukcije za koju je projektiran asfalt
3. Ispitivanjem dokazati otpornost asfalta projektiranog sastava prema pojavi oštećenja tipa kolotruga i pukotina koja su posljedica ekstremno visokih i niskih temperatura ili zamora.

Tim je postupkom, dakle moguće projektirati sastav asfalta koji je otporan prema visokim (kolotražnje) i niskim (pukotine) temperaturama njegove eksploatacije uz mjerenu potvrdu te otpornosti.

LITERATURA

- [1] Z.Ramljak, D. Punda, M. Šimun, N. Grubić, D. Ulovec, Tehnički uvjeti za asfaltna radova pojačanog održavanja državnih cesta, Ramtech i Hrvatske ceste, Zagreb 2002. str 1 - 59.

- [2] Z.Ramljak, M. Šimun, N. Grubić, Tehnički uvjeti za asfaltnu održavanje kolničkih konstrukcija na autocestama, Hrvatske autoceste, Zagreb 2004. str 1 – 62.
- [3] Z.Ramljak, T. Belonjek, M. Zekušić, I. Ramljak, T. Šafran, Tehnički uvjeti za asfaltnu održavanje kolničkih konstrukcija na autocestama, Hrvatske autoceste, Zagreb 2007. str 1 – 62.
- [4] Opći tehnički uvjeti za radove na cestama, Hrvatske autoceste, Zagreb 2001.
- [5] Z.Ramljak, V.Pejnović, Ovisnost pojave trajnih deformacija o prostornim karakteristikama asfaltnog sloja, Ceste i mostovi 29 (1983) (9) 273-280.
- [6] Z.Ramljak, Principi prostornog projektiranja asfaltnih mješavina optimalnog sastava (uvodno predavanje), Zbornik radova trećeg jugoslavenskog simpozija o bitumenu i asfaltu, Poreč listopada 1984., Znanstveni savjet za naftu JAZU, Serija C, knjiga 8, str. 135-144.
- [7] Z.Ramljak, Principles for the Spatial Design of Optimally Composed Asphalt Mixtures, Proceedings of 3rd Eurobitume Symposium, 11-13.Septembre 1985., The Haque, pp. 333-339.
- [8] Z. Ramljak, J. Emery, Spatial Design of Optimal Asphalt Mixes, Canadian Technical Asphalt Association Proceedings, Montreal, Quebec,Canada, 1989, 324-340.
- [9] Z. Ramljak, Laboratorijski postupak prostornog projektiranja asfalta (Uvodno predavanje). Zbornik radova četvrtog jugoslavenskog simpozija o bitumenu i asfaltu, JAZU, Znanstveni savjet za naftu, Serija C, Knjiga 9, Dubrovnik 1990., 111-120.
- [10] Z. Ramljak, J. Tudović, I. Bujanović, Ž. Tavas, Prostorno projektiranje optimalnog sastava asfaltnih mješavina programsko-aparativnim paketom RAMPEIN. Zbornik radova, Kompjuter u obnovi Hrvatske, Društvo hrvatskih građevinskih konstruktora, Zagreb, 1992., 265-270. (PP)
- [11] Z. Ramljak, J. Emery, Spatial Design of Optimal Asphalt Mixes, 71th Annual Meeting of Transportation Research Board, Washington, 12-16, January 1992.
- [12] Z. Ramljak, Bitumen Content Calculation in Designed Asphalt Mixture, Proceedings of 2nd Eurasphalt & Eurobitume Congress, Barcelona 2000., pp 704.
- [13] Z. Ramljak, Funkcionalna ovisnost optimalnog udjela bitumena u asfaltnoj mješavini o uvjetima projektiranja te o gustoći ingredijenata, Zbornik referatov 7. kolokvija o bitumnih, Gozd Martuljek, 2002, str 44 – 54.
- [14] Z. Ramljak, Izvještaj o ispitivanju veličine i uzroka plastičnih deformacija tipa kolotruga na uzorku asfaltnog dijela kolničke konstrukcije izvađene na autocesti Zagreb-Lipovac (sjeverni kolnik km 400+700), Ramtech i Hrvatske autoceste, Zagreb 2002. str 1- 7.
- [15] Z. Ramljak, Izvještaj o ispitivanju veličine i uzroka plastičnih deformacija tipa kolotruga na uzorku asfaltnog dijela kolničke konstrukcije izvađene na autocesti Zagreb-Lipovac (sjeverni kolnik km 400+700), Ramtech i Hrvatske autoceste, Zagreb 2003. str 1- 9.
- [16] Z. Ramljak, Izvještaj o ispitivanju uzroka pojave kolotruga na četiri (Drežnik, Velika Jelsa, Katusin i most Dobra) objekta dionice autoceste Karlovac - Vukova Gorica i prijedlog tehnološkog rješenja privremene i konačne sanacije oštećenja asfaltnog dijela kolničke konstrukcije na objektima, Ramtech i Autocesta Rijeka – Zagreb, Zagreb 2003. str 1 – 23.
- [17] Z.Ramljak, I. Ramljak, Kompjuterski paket programa: Osiguranje kvalitete asfaltnih radova (IV verzija), Ramtech, Zagreb 2007
- [18] R.B. McGennis, S. Shuler, H.U. Bahia, Background of Suprepave Asphalt Binder Test Methods, Report No. FHWA-SA-94_096,FHWA 1994.
- [19] D.A. Anderson, T.W.Kennedy, Development of SHRP Binder Specification, Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists, 62(1993).
- [20] AASHTO M 320