

Primljen / Received: 8.10.2018.

Ispravljen / Corrected: 24.3.2019.

Prihvaćen / Accepted: 8.5.2019.

Dostupno online / Available online: 10.6.2020.

Ispitivanje i ocjena propusnosti asfaltnih mješavina

Autori:



Izv.prof.dr.sc. **Csaba Tóth**, dipl.ing.građ.
Sveučilište za tehnologiju i ekonomiju u Budimpešti
Građevinski fakultet
toth.csaba@epito.bme.hu

Autor za korespondenciju



Doc.dr.sc. **Zoltán Soós**, dipl.ing.građ.
Sveučilište za tehnologiju i ekonomiju u Budimpešti
Građevinski fakultet
soos.zoltan@epito.bme.hu



Doc.dr.sc. **Zsuzsanna Igazvölgyi**, dipl.ing.građ.
Sveučilište za tehnologiju i ekonomiju u Budimpešti
Građevinski fakultet
igazvolygi.zsuzsanna@epito.bme.hu

Prethodno priopćenje

Csaba Tóth, Zoltán Soós, Zsuzsanna Igazvölgyi

Ispitivanje i ocjena propusnosti asfaltnih mješavina

Ovaj rad prikazuje terensko istraživanje kojim je pokazana raspodjela šupljina u asfaltnim slojevima i potencijalni utjecaj vode na svojstva kolnika. Razmatrana je primjenjivost europske metode ispitivanja i opreme za ocjenu propusnosti asfaltnih slojeva. Proveden je niz laboratorijskih ispitivanja propusnosti na uzorcima iz ugrađenog asfaltnog sloja i na laboratorijskim uzorcima. Utvrđeno je da u slučaju mješavina s manjom veličinom zrna, udio šupljina rezultira nižom propusnosti u usporedbi s mješavinama s većim česticama.

Ključne riječi:

propusnost asfalta, vlažnost kolnika, udio šupljina, računalna tomografija (CT)

Research paper

Csaba Tóth, Zoltán Soós, Zsuzsanna Igazvölgyi

Testing and interpreting permeability of asphalt mixes

This paper presents a field study showing the distribution of air voids in asphalt layers, and the potential effect of water on pavement performance. The paper also discusses the applicability of the European test method and equipment for assessing permeability of asphalt layers. A series of laboratory permeability tests were conducted on in-situ core samples and laboratory samples. It was found that mixes with smaller particle sizes, the air void content results in lower permeability compared to mixes with larger particle sizes.

Key words:

asphalt permeability, pavement moisture content, air voids content, Computed Tomography (CT)

Vorherige Mitteilung

Csaba Tóth, Zoltán Soós, Zsuzsanna Igazvölgyi

Überprüfung und Bewertung der Durchlässigkeit von Asphaltmischungen

In dieser Abhandlung wird die Feldstudie dargelegt, mit welcher die Verteilung von Hohlräumen in den Asphaltschichten sowie die möglichen Auswirkungen des Wassers auf die Fahrbahnmerkmale dargestellt werden. Betrachtet wird die Anwendbarkeit der europäischen Prüfmethode und der –ausrüstung auf die Bewertung der Durchlässigkeit der Asphaltschichten. Durchgeführt wurde eine Reihe von Laboruntersuchungen der Durchlässigkeit an Proben aus eingebauter Asphaltschicht, wie auch an Laborproben. Festgestellt wurde, dass im Falle von Mischungen mit kleineren Körnern der Anteil der Hohlräume zu einer niedrigeren Durchlässigkeit im Vergleich zu Mischungen mit größeren Partikeln führt.

Schlüsselwörter:

Durchlässigkeit des Asphalts, Fahrbahnfeuchtigkeit, Anteil an Hohlräumen, Computertomografie (CT)

1. Uvod

Prisutnost vode u slojevima cestovnih kolnika vidljiva je za nevezane zrnate slojeve, kao što su posteljica i donji nosivi sloj. Međutim, prisutnost vode u vezanim slojevima i između njih, osobito asfaltnih slojeva, šira stručna zajednica još uvijek smatra novošću, bez obzira na brojne publikacije koje su od 1960-ih dostupne o toj temi [1].

U međunarodnoj i nacionalnoj literaturi [2, 3] objavljeno je nekoliko slučajeva vodom uzrokovanih oštećenja asfaltnih slojeva. Od 1970-ih, brojne studije slučaja također su pokazale jasne povezanosti između stupnja zbijenosti i međuslojne povezanosti asfaltnih slojeva te prisutnosti i kretanja vode unutar i između slojeva asfalta [4-7]. Unatoč takvim nalazima, u brojnim zemljama, uključujući Mađarsku, nisu izrađene tehničke specifikacije o propusnosti asfaltnih slojeva. Takve tehničke specifikacije obično zahtijevaju samo ispitivanje udjela šupljina ugrađenog sloja/slojeva. Autori su se tijekom istraživačkih i konzultantskih radnji u Laboratoriju za asfalte i željeznic Sveučilišta za tehnologiju i ekonomiju u Budimpešti, susreli s nekoliko slučajeva o pitanju vodopropusnosti unutar asfaltnih slojeva i asfaltnih kolnika.

Upravitelj mađarskih autocesta kontaktirao je Laboratorij i zatražio analizu mogućih uzroka propadanja kolnika, uključujući pokazatelje povezane s kretanjem vode unutar asfaltnog sloja/slojeva. Ovaj problem istražen je u međunarodnoj literaturi te je nabavljen uređaj za ispitivanje propusnosti, u skladu s odgovarajućom europskom normom [8]. U radu su prikazani glavni rezultati koji se oslanjaju na ove jednostavne metode ispitivanja i na računalnu tomografiju (CT) te se pokušavaju utvrditi daljnji ciljevi istraživanja za dodatnu procjenu takvih problema.

2. Plan ispitivanja

Mjerenja georadarom (GPR) provedena su na ukupno pet odabranih dionica autoceste. Prema planu ispitivanja, uzorci s terena (*in situ*) uzeti su sa svih prometnih trakova i zaustavnog traka (dva uzorka iz svakog traka), što je ukupno 30 uzoraka. Gotovo svi uzorci su na prvi pogled pokazali prisutnost vode,

jer su dijelovi uzoraka bili vlažni nakon što su nekoliko sati bili na površini, pokazujući relativno veći udio šupljina – ispunjenih vodom iz postupka mokrog rezanja, što je prikazano na slici 1. kao primjer.

Prema međunarodnoj literaturi, propusnost asfaltnih kolnika je prije svega povezana s udjelom šupljina (stupnjem zbijenosti) u ugrađenim slojevima; prema tome, plan ispitivanja sastojao se od mjerenja propusnosti i određivanja udjela šupljina. Prvi je put u Mađarskoj, kao eksperimentalna tehnika, primijenjena i računalna tomografija (CT).

3. Ispitivanja propusnosti asfalta

Dosad je dostupno nekoliko metoda ispitivanja za utvrđivanje propusnosti laboratorijski pripremljenih uzoraka asfalta i ugrađenih slojeva. Rezultati terenskih ispitivanja su uvjerljivi, jer se u ovim slučajevima, uz propusnost samih materijala slojeva kolničke konstrukcije, u obzir uzima i vodopropusnost pukotina u kolničkoj konstrukciji. Nadalje, u ovom se slučaju ispituje propusnost cijele kolničke konstrukcije, tj. izvode se zaključci o vodi koja može doprijeti do posteljice [9-12].

Laboratorijska ispitivanja prema europskoj normi [8] sastoje se od vodenog stupca konstantne visine u konusu koji omogućava prodiranje vode kroz uzorak. Slika 2. prikazuje dvije standardne metode ispitivanja za: vertikalnu propusnost, gdje voda prodire u uzorak i iz njega u vodoravnoj ravnini, te horizontalno mjerenje propusnosti, gdje voda prodire u uzorak preko vodoravne površine, ali se procjeđuje van preko okomitog plašta cilindričnog uzorka.

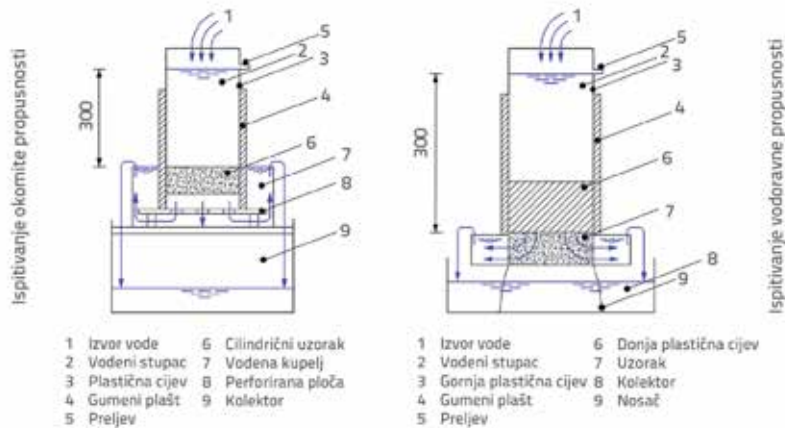
U oba slučaja održava se konstantna visina vodenog stupca što, rezultira konstantnim vodenim tlakom, a mjeri se masa vode koja se s vremenom istiskuje iz uzorka. Propusnost se računa kako je prikazano u izrazima (1) i (2).

$$k_v = \frac{4 \cdot \frac{m}{t} \cdot 10^{-6} \cdot l}{h \cdot \pi \cdot D^2} \quad (1)$$

$$k_h = \frac{\frac{m}{t} \cdot 10^{-6} \cdot l}{(H + P + 0,5l) \cdot (\pi \cdot D \cdot l)} \quad (2)$$



Slika 1. Primjeri mokrih uzoraka jezgre



Slika 2. Ispitna metoda za vodoravnu i okomitu propusnost

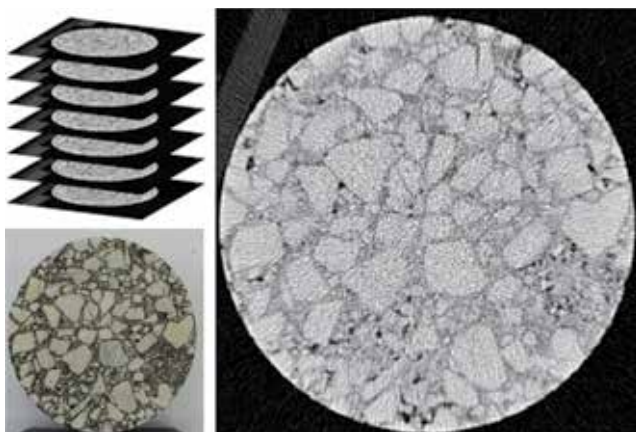
gdje je:

- k_v i k_h – okomita i vodoravna propusnost [m/s]
- m – masa procijeđene vode [g]
- t – vrijeme ispitivanja [s]
- l – debljina uzorka [m]
- H+P – visina vodenog stupca i uzorka [m]
- D – promjer uzorka [m]
- h – visina vodenog stupca [m].

Udio šupljina u uzorcima određen je standardnom ispitnom metodom prema normi EN 12697-8. Pretpostavlja se da je metoda ispitivanja općepoznata, te o njoj ovdje neće biti riječi.

4. Računalna tomografija

Računalna tomografija (CT) može se primijeniti za analizu sastava određenog materijala procjenom čestih snimaka presjeka, što dovodi do potpuno nove razine analize materijala [13]. Te snimke nastaju primjenom rendgenskih mjerenja iz različitih kutova, detekcijom zraka kroz uzorke i obradom podataka posebnim računalnim programom (slika 3.).

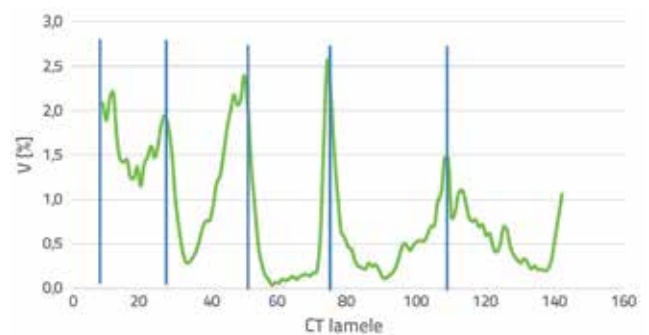


Slika 3. Osnova CT mjerenja i računalna slika uzorka jezgre

Postoji nekoliko slučajeva upotrebe CT-a u istraživanju asfaltnih mješavina. Većina dostupnih istraživanja usmjerena je na metode za ocjenjivanje mikrostrukture asfaltnih uzoraka raznim postupcima [13-16]. Postoje i radovi koji istražuju mikrostrukturu asfalta dobivenu CT-om i procijenjena mehanička ili strukturna svojstva [17, 18] kako bi se dopunio dobro utvrđeni osnovni opis ponašanja mješavine [19, 20].

Ovom se tehnologijom mogu s određenom preciznošću procijeniti udjeli agregata, veziva, punila i šupljina unutar određenog uzorka, a što uglavnom ovisi o CT uređaju i algoritmima koji se koriste

za procjenu podataka. Na uzorcima su provedena CT ispitivanja s težištem na raspodjeli šupljina po dubini. Rezultati su prikazani na slici 4., gdje je udaljenost između rezova 1,5 mm. Međuslojevi su također prikazani na slici.



Slika 4. Raspored šupljina u uzorku

Kako je prikazano na slici 4., u svim međuslojevima postoji značajan porast količine šupljina. Primijećeno povećanje šupljina na međuslojevima ne može se otkriti uobičajenim kontrolnim ispitivanjima iz dva glavna razloga:

- jezgre se obično režu na međusloju da bi se odvojili slojevi, što rezultira smanjenjem ukupne debljine u području uz međusloj za približno 5 mm;
- svaki se sloj ispituje odvojeno, tj. udio šupljina se uprosječuje s ostatkom uzorka, koji ima veću masu.

Terenska zapažanja i literatura pokazuju da postoji velika mogućnost kretanja vode na međusloju; što je povezano s naglim porastom udjela šupljina kako je prikazano na slici 4. Ovo je uzrokovano sljedećim pojavama:

- u većini slučajeva se slojevi asfalta polažu na hladnu površinu, a donji dio asfaltne mase se brzo hladi,
- zbog niže temperature u donjem dijelu, zbijanje na ovoj razini je lošije,
- na freznom (ohrapavljenom) postojećem sloju, makrotekstura ohrapavljene površine i veličina agregata novog sloja nisu kompatibilne što rezultira sličnim utjecajem.

5. Rezultati ispitivanja

Kao što je prikazano u brojnim dosadašnjim istraživačkim radovima, postoji jasna povezanost između udjela šupljina i propusnosti. Međutim, na propusnost uzoraka asfalta ne utječe samo udio šupljina, maksimalna veličina zrna agregata, dimenzije uzorka i metoda mjerenja, već i hidraulička svojstva vode [21, 22]. Ovi su rezultati vrlo slični onima predstavljenim u istraživanju propusnosti betona [23, 24]. Postoje i rezultati istraživanja koji sugeriraju povezanost između normaliziranog udjela šupljina i propusnosti. Različite razine propusnosti mogu se procijeniti prema tablici 1., [25].

Tablica 1. Predložene kategorije propusnosti za asfaltne materijale

Kat.	Propusnost [m/s]	Udio šupljina [%]	Opis
A1	0,01-0,1	2,5-3,7	vrlo niska propusnost
A2	0,1-1	3,7-5,6	niska propusnost
B	1-10	5,6-8,5	srednja propusnost
C	10-100	8,5-13	visoka propusnost
D	100-1000	13-20	gotovo propustan
E	1000-10000	>20	porozni (drenažni asfalt)

U pogledu novoizgrađenih slojeva, samo udio šupljina u mješavinama i slojevima mora zadovoljiti specifikacijama propisane zahtjeve u Mađarskoj, kao što je prikazano u tablici 2. [26].

Projektne i granične vrijednosti određuju se na tehnološkoj osnovi. Za slojeve koji pokazuju udio šupljina kao u tablici 2. pretpostavlja se da su nepropusni. Dopušteno odstupanje pri izvedbi je +3 %, iako se neki određeni sloj može prihvatiti u okviru dodatnih +2 % šupljina po sniženoj cijeni. Određeni sloj kolnika odbacuje se kad je udio šupljina kao u zadnjem redu tablice 2.

Tablica 2. Udio šupljina za projektiranje, za dopuštena odstupanja, za smanjenu kvalitetu i odbačene slučajeve

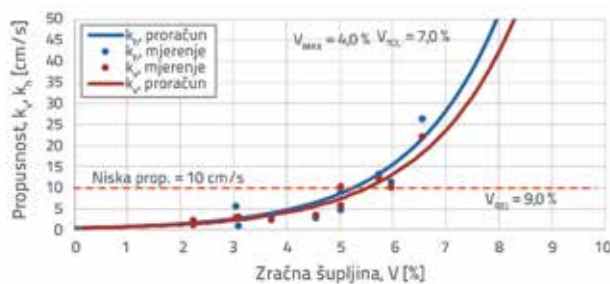
Asfaltna mješavina		Habajući slojevi			Vezni slojevi			Nosivi slojevi	
		SMA 8	SMA 11	AC11 AC16	AC11	AC16	AC22	AC16	AC22 AC32
Projektiranje	V _{MIN}	2,0 %			3,0 %			3,0 %	
	V _{MAX}	4,0 %	4,5 %	4,5 %	4,5 %	5,0 %	5,5 %	5,0 %	6,0 %
Dopušteno odstupanje, V _{TOL}		V _{max} +3,0 %							
Smanjena, V _{RED}		V _{TOL} +2,0 %							
Odbačeno, V _{REI}		9,0 %	9,5 %	9,5 %	9,5 %	10,0 %	10,5 %	10,0 %	11,0 %

Tablica 3. Koeficijent determinacije u analiziranim slučajevima

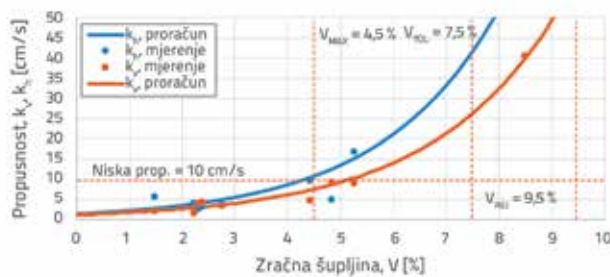
Asfaltna mješavina	Okomita propusnost			Vodoravna propusnost		
	A	B	R ²	A	B	R ²
SMA8 (n = 11)	4,37 · 10 ⁻⁸	0,59	0,86	4,24 · 10 ⁻⁸	0,58	0,90
AC11 (n = 9)	1,42 · 10 ⁻⁷	0,45	0,97	1,15 · 10 ⁻⁷	0,42	0,98
AC22 (n = 24)	1,74 · 10 ⁻⁷	0,41	0,91	1,47 · 10 ⁻⁷	0,37	0,85

Kako je vidljivo iz prethodnih istraživanja, korelacija između udjela šupljina i propusnosti pokazuje polinomni odnos trećeg stupnja u obliku $K = A \cdot \exp(B \cdot V)$. Parametri A i B su određeni pomoću Solvera, za odnos udio šupljina – propusnost uzoraka, za svaku veličinu zrna agregata zasebno. Koeficijent determinacije je visok za sve pojedinačne slučajeve, a može biti od 0,85 do čak 0,98, kao što je prikazano na slikama 5., 6. i 7. Parametri i koeficijenti regresije prikazani su u tablici 3.

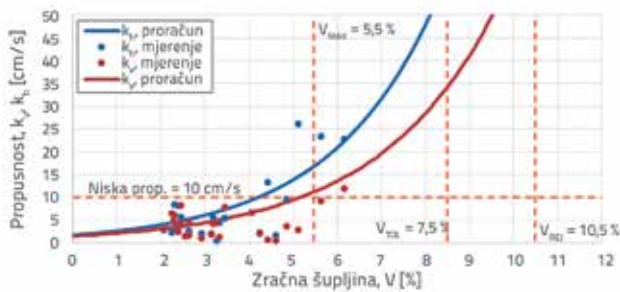
Utvrđena je jaka povezanost između propusnosti i udjela šupljina, pri čemu je uzeta u obzir i veličina zrna agregata. Rezultati se temelje na rezultatima 11, 9 i 24 ispitivanja, jer su neki uzorci oštećeni tijekom obrade ili uzimanja uzoraka.



Slika 5. Izmjerena i izračunana propusnost, sloj AC11

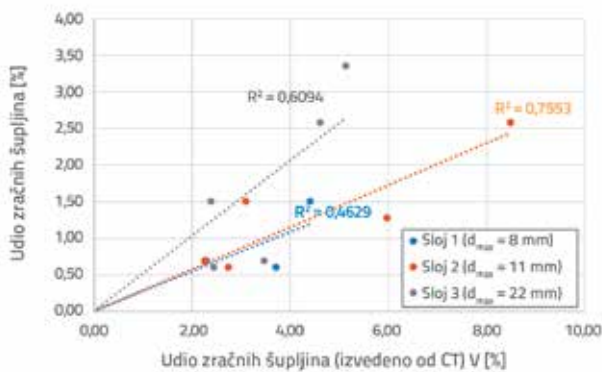


Slika 6. Izmjerena i izračunana propusnost, sloj SMA8

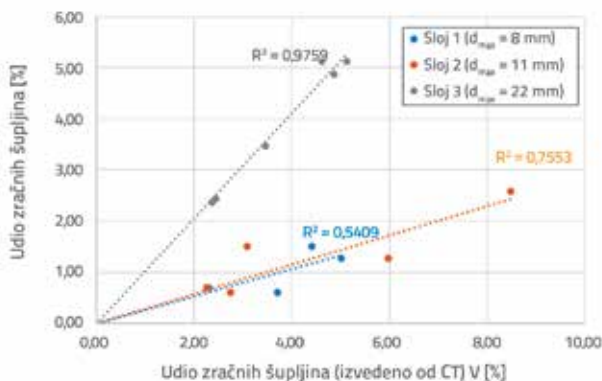


Slika 7. Izmjerena i izračunana propusnost, sloj AC22

Pri zadovoljavanju sadašnjih ograničenja specifikacija s obzirom na udio šupljina *in situ*, propusnost gotovog asfaltnog sloja može biti ozbiljno ugrožena u različitim tipovima asfaltnih mješavina. Prosječne, minimalne i maksimalne vrijednosti (slika 4.), kao i srednja vrijednost, izračunane su za udjele šupljina dobivene CT tehnikom. Slike 8. i 9. prikazuju te vrijednosti udjela šupljina ucrtane u odnosu na vrijednosti dobivene primjenom standardne metode u skladu s normom EN 12697-8 nakon CT mjerenja.



Slika 8. Šupljine procijenjene na temelju CT-a (prosječne vrijednosti) kao funkcije šupljina prema EN 12697-8



Slika 9. Šupljine procijenjene na temelju CT-a (srednje vrijednosti) kao funkcije šupljina prema EN 12697-8

Kao što se može vidjeti, za linearnu regresiju sa sjecištem u 0,0 dobivene su niske do prosječne vrijednosti korelacije. Trendovi pokazuju da su, u slučaju sloja 3, vrijednosti blizu omjera 1:1, s relativno visokim koeficijentom regresije pri prosječnim i srednjim vrijednostima, što može upućivati na to da su jedna ili obje metode preciznije pri većim veličinama agregata. Ovaj zaključak podržan je i trendovima sloja 1, koji ima najmanju nazivnu veličinu agregata i najnižu razinu korelacije između udjela šupljina. Mora se napraviti razlika između veličina agregata uzoraka kako bi se utvrdila mogućnost izračuna između metoda [27].

6. Zaključak

Istraživanje je provedeno na uzorcima izvađenim iz kolnika mađarske autoceste i ustanovljena su oštećenja zbog prisutnosti vode u asfaltnom kolniku. Tamo gdje je kolnička konstrukcija bila lošijih svojstava i gdje je GPR detektirao vodu, uzorci su izvađeni i ispitani metodom ispitivanja propusnosti prema europskoj normi [8].

Rezultati ispitivanja uzoraka iz kolnika pokazuju jasnu povezanost između udjela šupljina i horizontalne i vertikalne propusnosti uzoraka; nalazi su u skladu s relevantnim međunarodnim iskustvom.

Rezultati su pokazali da je horizontalna propusnost uvijek veća od vertikalne propusnosti, što pokazuje razliku u ispitnoj metodi i pokazuje da dvije metode treba međusobno razlikovati. Utvrđeno je da u slučaju mješavina s manjom veličinom zrna, udio šupljina rezultira nižom propusnosti u usporedbi s mješavinama s većim česticama. To također pokazuje da rezultate treba analizirati uzimajući u obzir ne samo udio šupljina već i granulometrijski sastav. Tehnologija zbijanja očito ima velik utjecaj na propusnost, ali to nije jedini parametar [28, 29].

S obzirom na udjel šupljina dobiven CT mjerenjima i uporabom standardizirane metode prema normi EN 12697-8, može se zaključiti da postoji potreba za daljnjim istraživanjima u kojima ne bi trebalo utvrditi samo logičku povezanost već i matematičku konverziju. U potonjem slučaju mora se uzeti u obzir nazivna veličina zrna agregata [30, 31].

Na temelju odnosa udjela šupljina i propusnosti, asfaltni slojevi koji zadovoljavaju granične vrijednosti udjela šupljina dane tehničkim specifikacijama mogu ustvari biti vodopropusni, što može dovesti do različitih vrsta oštećenja kolnika i propadanja donjih slojeva kolnika. Na temelju rezultata predstavljenih u ovom radu može se utvrditi dobro uspostavljena veza između propusnosti i udjela šupljina. To bi moglo omogućiti da se svojstva vodonepropusnosti sloja uključe u specifikacije, što je dosada slabo zastupljeno. Uvođenje granica propusnosti u odgovarajuće specifikacije zahtijevalo bi utvrđivanje preciznosti metode ispitivanja, koja je zasad nepoznata.

LITERATURA

- [1] Gáspár, L.: Management aspects of road pavement rehabilitation, *GRAĐEVINAR*, 69 (2017) 1, pp. 31-40, <https://doi.org/10.14256/JCE.1629.2016>
- [2] TRL, *The Movement of Water in Roads*, London, 2006.
- [3] Reid, J., Crabb, G., Temporal, J., Clark, M.: *A study of water movement in road pavements*, London: TRL, 2006.
- [4] Dawson, A.: *Water movement in road pavements*, University of Nottingham: *Proceedings of the Second Symposium on Unbound Aggregates in Roads*, pp. 7-12, 1985.
- [5] Morris, P., Gray, W.: *Moisture conditions under roads in the Australian environment*, Australian Road Research Board: *Research Report ARR No. 69*, 1976.
- [6] Ožbolt, M., Rukavina, T., Stančerić, I.: Possibilities of using GPR in the analysis of pavement structures, *GRAĐEVINAR*, 61 (2009) 3, pp. 251-259.
- [7] Sekulić, D., Strineka, A., Putrić Brkić, J.: Determining thickness of asphalt and concrete layers by non-destructive method, *GRAĐEVINAR*, 63 (2011) 2, pp. 143-149.
- [8] EN 12697-19: Bituminous mixtures. Test methods for hot mix asphalt. Permeability of specimen, European Standard, 2012.
- [9] Ridgeway, H.: *Infiltration of Water Through the Pavement Surface*, Washington: *Transportation Research Record*, 1976.
- [10] Brown, E., Cooley, L.: NCAT report 01-03 - Developing Critical Field Permeability and Pavement Density Values for Coarse-Graded Superpave Pavements, *Journal of the Transportation Research Board*, 2014, <http://dx.doi.org/10.3141/1761-06>.
- [11] Cooley, L.: *Permeability of Superpave Mixtures: Evaluation of Field Permeameters*, Auburn University, National Centre for Asphalt Technology, 1999.
- [12] Cygas, D., Laurinavicius, A., Vorobjovas, V., Kleiziene, R., Vaitkus, A.: Research of asphalt layer bonding in Lithuanian pavement structures, *GRAĐEVINAR*, 64 (2012) 11, pp. 915-921.
- [13] Chen, Z., Hainian W., Zhanping, Y., Xu, Y.: Compaction characteristics of asphalt mixture with different gradation type through Superpave Gyrotory Compaction and X-Ray CT Scanning, *Construction and Building Materials* 129 (2016), pp. 243-255.
- [14] Zavrtnik, N., Ljubić, A., Turk, G.: Statistical deviations in the analysis of asphalt mix properties, *GRAĐEVINAR*, 67 (2015) 12, pp. 1199-1206, <https://doi.org/10.14256/JCE.1176.2014>
- [15] Wüstuba, M.P., Westerhoff, J., Moon, K.H., Falchetto, L.A.C.: *Untersuchung der Mikrostruktur von Asphalt mit unterschiedlichen Anteilen Ausbaupavement mittels digitaler Bildauswertung*, *Straße und Autobahn*, 69 (2017) 2, pp. 87-96.
- [16] Tashman, L., Masad, E., D'Angelo, J., Bukowski, J., Harman, T.: X-ray Tomography to Characterize Air Void Distribution in Superpave Gyrotory Compacted Specimens, *International Journal of Pavement Engineering*, 3 (2002) 1, pp. 19-28, <https://doi.org/10.1080/10298430290029902a>.
- [17] Xu, H., Tan, Y., Yao, X.: X-ray computed tomography in hydraulics of asphalt mixtures: Procedure, accuracy, and application, *Construction and Building Materials*, 108 (2016), pp. 10-21.
- [18] Magdy, S., Adil, A.M., Tighe, S.: A novel method for evaluating hot mix asphalt fatigue damage: X-ray computed tomography, *Construction and Building Materials*, 113 (2016), pp. 121-133.
- [19] Gömze, A.L., Gömze, L.N.: Rheo-mechanical model for self-healing asphalt pavement, *Journal OF Physics-Conference Series*, 790 (2017) 1, pp. 9.
- [20] Géber, R., Kocserha, I., Gömze L.A.: Influence of composition and grain size distribution on the properties of limestone and dolomite asphalt fillers, *Materials Science Forum*, 729 (2013), pp. 344-349.
- [21] Ariza, P., Bjorn, B.: *Evaluation of Water Flow Through Pavement Systems*, NCHRP research report, 2002.
- [22] COST 351: *Water in Road Structures. Movement, Drainage and Effects*, Nottingham: Springer, 2008.
- [23] Mahalingam, R., Vaithiyalingam Mahalingam, S.: Analysis of pervious concrete properties, *GRAĐEVINAR*, 68 (2016) 6, pp. 493-501, <https://doi.org/10.14256/JCE.1434.2015>
- [24] Mrakovčić, S., Čeh, N., Jugovac, V.: Effect of aggregate grading on pervious concrete properties, *GRAĐEVINAR*, 66 (2014) 2, pp. 107-113, <https://doi.org/10.14256/JCE.977.2013>
- [25] Waters, T.: *A study of water infiltration through asphalt road surface materials*, *International symposium on subdrainage in roadway pavements and subgrades*, 1998.
- [26] e-UT06.03.21: *Asphalt Pavement Courses for Road Constructions. Building Conditions And Quality Requirements*, (Hungarian Standard), pp. 30, 2010.
- [27] Mohiuddin, A., Tarefder, R.: Permeability and moisture damage characteristics of asphalt pavements, *Proc. 51 Paving and Transportation Corporation at Albuquerque*, 2014.
- [28] Mostafa, A., Amir, E.H., Bekheet, W., Abd El Halim, A.O., Easa, S.: Reducing susceptibility of flexible pavements to moisture induced damage through superior compaction technology, *Proc. Canadian Society for Civil Engineering*, 6th *Transportation Specialty Conference*, 2005.
- [29] Rueda, E.J., Caro, S., Caceido, B.: Influence of relative humidity and saturation degree in the mechanical properties of Hot Mix Asphalt (HMA) materials, *Construction and Building Materials*, 153 (2017), pp. 807-815.
- [30] Lublóy, É., Balázs, G.L., Barsi, Á.: CT analysis of core samples from fire-damaged concrete structures, *Magazine of Concrete Research*, 69 (2017) 15, pp. 802-810.
- [31] Lublóy, É., Ambrus, D., Kapitány, K., Barsi Á.: Air void distribution of asphalts determined by computed tomography, *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 59 (2015) 4, pp. 503.