

Vrijednosti indeksa mraza u Srbiji od 2014. do 2020. godine

Milan Marinković^{a*}, Bojan Matić^a

^a Fakultet tehničkih nauka, Departman za građevinarstvo i geodeziju, Novi Sad

PODACI O RADU

DOI: 10.31075/PIS.68.03.06

Stručni rad

Primljen: 25/06/2022

Prihvaćen: 12/08*/2022

Korespondent autor:

milan.marinkovic@uns.ac.rs

Ključne reči:

Mraz

Kolovozna konstrukcija

Projektovanje kolovoza

Meteorologija

REZIME

Tokom vremena dolazi do propadanja kolovozne konstrukcije. Faktori koji doprinose propadanju kolovozne konstrukcije su saobraćajno opterećenje, svojstva materijala i klimatski uticaji. Niske temperature dovode do smrzavanja vode i do pojave ledenih sočiva pri čemu dolazi do izdizanja kolovozne konstrukcije. Prilikom projektovanja kolovozne konstrukcije potrebno je provjeriti otpornost kolovozne konstrukcije na štetno dejstvo mraza. U ovom radu je prikazan proračun indeksa mraza za šest meteoroloških stanica u Srbiji za period od 2014. do 2020. godine. Dati su i mjerodavni indeksi mraza za dvadesetogodišnji i desetogodišnji projektni period.

1. Uvod

Kolovozne konstrukcije su višeslojni sistemi sa ulogom prihvatanja opterećenja od vozila i njegovog prenošenja kroz kolovoznu konstrukciju na posteljicu. Pored toga glavne funkcije kolovoznih konstrukcija su i obezbjeđenje nosivosti i obezbjeđenje bezbjednosti učesnika u saobraćaju.

Tokom vremena su kolovozne konstrukcije izložene različitim dejstvima zbog kojih dolazi do pogoršavanja stanja. Na propadanje kolovozne konstrukcije utiču saobraćajno opterećenje, svojstva materijala kao i uticaj klimatskih uslova.

Na niskim temperaturama dolazi do smrzavanja vode i do pojave ledenih sočiva [1]. Kako prilikom promjene agregatnog stanja, iz tečnog u čvrsto, voda povećava svoju zapreminu dolazi do izdizavanja kolovozne konstrukcije.

Razlog izdizanja jeste zato što je voda nestišljiva i ne može se povećanje zapremine kompenzovati na račun šupljina. U proljeće, porastom temperatura, dolazi do otapanja formiranih ledenih sočiva. To dovodi do slabljenje sloja posteljice koji se natapa otopljenom vodom.

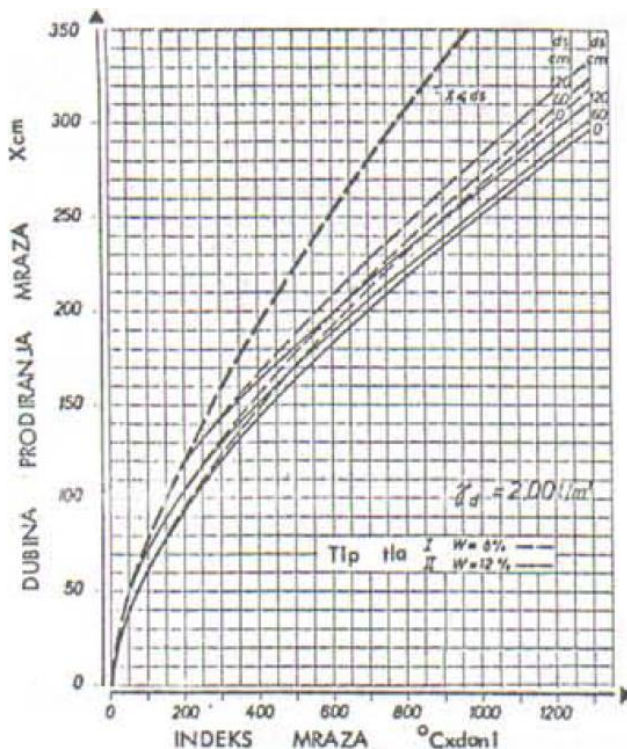
Kada projektujemo kolovozne konstrukcije potrebno je iste provjeriti na dejstvo mraza.

Prema Priručniku za projektovanje puteva [2] debljina kolovozne konstrukcije mora da bude veća od odgovarajućih vrijednosti u zavisnosti da li se radi o materijalu koji je otporan ili nije na dejstvo mraza i u zavisnosti da li su uslovi povoljni ili nepovoljni (Tabela 1). U pomenutom priručniku je definisano koji su to povoljni a koji su nepovoljni uslovi.

Tabela 1. Minimalna potrebna debljina kolovozne konstrukcije u zavisnosti od dejstva mraza [2]

Osjetljivost materijala ispod kolovozne konstrukcije na uticaje smrzavanja i otapanja	Hidrološki uslovi	Debljina kolovozne konstrukcije h_{min}
Otporan	povoljni	$\geq 0,6$ *hm
	nepovoljni	$\geq 0,7$ *hm
Neotporan	povoljni	$\geq 0,7$ *hm
	nepovoljni	$\geq 0,8$ *hm

Dubina dejstva mraza se određuje na osnovu vrijednosti indeksa mraza pomoću dijagrama datih u standardu SRPS U.B9.012 [3]. Jedan od dijagrama je prikazan na slici 1. Dubina dejstva mraza zavisi od vrijednosti indeksa mraza, tipa materijala u posteljici i debljine kolovozne konstrukcije.



Slika 1. Dijagram za procjenu dubine dejstva mraza prema standardu SRPS U.B9.012.[3]

2. Dosadašnja istraživanja indeksa mraza i osnovno o indeksu mraza

Indeks mraza i klimatski uticaji na kolovoznu konstrukciju su do sada ispitivani kroz nekoliko studija i radova.

Od 1931. do 1960. godine u jednoj studiji publikovan je Atlas klime SFRJ [4]. Profesor Zdravko Joksić je u toku 80-ih i 90-ih godina prošlog vijeka, zajedno sa koautorima, radio na studijama u vezi sa praćenjem temperature u kolovozima i dubini dejstva mraza [5,6]. Rezultati tih studija su vrijednosti indeksa mraza od 1946. do 1992. godine.

Nikola Mihajlović je zajedno sa profesorom Goranom Mladenovićem [9], uvidjevši da dugo godina podaci o indeksu mraza nisu ažurirani, proračunao vrijednosti indeksa mraza i mjerodavne vrijednosti indeksa mraza za period od 1992. do 2014. godine. Pored toga prikazali su i vrijednosti mjerodavnog indeksa mraza za desetogodišnji i dvadesetogodišnji projektni period kolovoznih konstrukcija.

Od objavljivanja njihovog rada je prošlo 6 godina, a pojedine sezone su bile izrazito hladne, tako da je to bila osnova za pisanje ovog rada i za ažuriranje podataka kao i za nastavak analize indeksa mraza u budućnosti za potrebe struke.

Od autora iz ostalih zemalja veoma važno je spomenuti i profesora Branka Mazića koji je razvio regresione modele na osnovu koji je izvršio proračune indeksa mraza i konstruisao mape indeksa mraza za područje Bosne i Hercegovine i Crne Gore [7,8].

Djelovanje temperature na kolovoznu konstrukciju se izražava indeksom mraza. Indeks mraza predstavlja akumuliranu dužinu trajanja niskih temperatura na jednom području. Jedinica u kojoj se izražava indeks mraza je °C*dana.

Možemo definisati različite indekse mraza:

- Indeks mraza okoline, tj. vazduha na visini od 1,2 m
- Indeks mraza površine zastora
- Indeks mraza površine posteljice

Od navedene tri vrste indeksa mraza najjednostavnije je proračunati indeks mraza okoline jer indeks mraza površine zastora i posteljice iziskuje dodatna materijalna sredstva i vrijeme za prikupljanje podataka.

U okviru istraživanja napravljeno je prilagođavanje jer se temperatura mjeri u hladu na 2,0 m visine dok se indeks mraza okoline mjeri na 1,2 m visine. Pretpostavlja se da se to može zanemariti u odnosu na značaj dobijenih vrijednosti.

3. Metodologija proračuna indeksa mraza

Za potrebe određivanja indeksa mraza potrebno je imati podatke o srednjim dnevnim temperaturama svakog dana u toku jedne godine. Indeks mraza se proračunava na osnovu kumulativne krive srednjih dnevnih temperatura [10].

U obzir se uzimaju srednje dnevne temperature za odgovarajući vremenski period. Početni dan perioda je deseti dan prije pojave prve negativne temperature dok je završni dan posmatranog perioda deseti dan poslije registrovanja negativne temperature. Na osnovu ovoga zaključuje se da se indeks mraza računa sezonski. Prva negativna temperatura obično se javlja u jesen dok se posljednja negativna temperatura javlja obično u proljeće. Upravo iz tog razloga je potrebno da pored srednjih dnevnih temperatura svakog dana imamo i ekstremne temperature, tj. u ovom slučaju najniže temperature.

Rast kumulativne krive označava period otopljanja. U tom periodu srednje dnevne temperature su veće od nule. Kada kriva opada, srednje dnevne temperature su negativne što ukazuje na period smrzavanja. Na kumulativnoj krivoj koja se konstruiše računa se najveća razlika, tj. razlika između maksimuma i minimuma za jedan period smrzavanja.

3.1. Srednja dnevna temperatura

Za srednju dnevnu temperaturu su važne temperature izmjerene u 7, 14 i 21 sat po lokalnom vremenu. Na osnovu tih vrijednosti, srednja dnevna temperatura se računa po formuli:

$$T_{sr} = \frac{T_7 + T_{14} + 2 * T_{21}}{4}$$

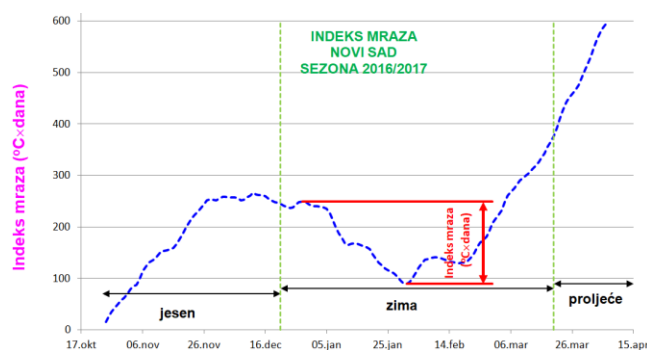
Na teritoriji Srbije temperatura se mjeri na 60 stanica od kojih je 30 glavnih stanica. Od tih 30 stanica za 6 glavnih stanica su dostupni podaci o srednjim dnevnim temperaturama i o ekstremnim temperaturama u toku dana za svaki dan u godini [11, 12, 13, 14, 15, 16, 17]. To su sljedeće stanice: Beograd, Novi Sad (Rimski Šančevi), Loznica, Zlatibor, Niš, Vranje. Podaci o tim stanicama su dati u tabeli 2.

Tabela 2. Podaci o meteorološkim stanicama za koje proračunat indeks mraza

Meteorološka stanica	Nadmorska visina (m)	Geografska širina	Geografska dužina
Beograd	132	44° 48' N	20° 28' E
Novi Sad (Rimski Šančevi)	84	45° 20' N	19° 51' E
Loznica	121	44° 33' N	19° 14' E
Zlatibor	1028	43° 44' N	19° 43' E
Niš	202	43° 20' N	21° 54' E
Vranje	432	42° 33' N	21° 55' E

4. Vrijednosti indeksa mraza

U okviru istraživanja koja su prikazana u ovom radu obuhvaćen je period od 2014. do 2020. godine. Gledajući sezonski, jer se tako indeks mraza računa, prikazani su rezultati od sezone 2014/2015 do sezone 2019/2020. Za svaku od šest stanica i za svaku od šest navedenih sezona konstruisana je kumulativna kriva srednjih dnevnih temperatura vodeći računa o danima pojave prve i posljednje negativne temperature u sezoni. Kumulativna kriva za stanicu Novi Sad za sezonu 2016/2017 je prikazana na slici 2.



Slika 2. Dijagram za određivanje indeksa mraza za meteorološku stanicu Novi Sad (sezona 2016/2017)

Na konstruisanim krivama se zatim posmatraju opadajući dijelovi krive. To su periodi smrzavanja. Traži se maksimalna razlika za periode smrzavanja. Razlika između minimuma i maksimuma se definiše kao vrijednost indeksa mraza. U tabeli 3. dat je broj dana za koji je određen indeks mraza. Iz tabele je vidljivo da se najduži period smrzavanja javio u sezoni 2016/2017 i da su najduži periodi zamrzavanja na stanici Zlatibor. Ukoliko se prilikom određivanja indeksa mraza desio manji skok krive sa kraćim vremenom trajanja to je zanemareno jer se smatra da se materijal nije otopio u tako kratkom vremenu.

Tabela 3. Broj dana za koji je određen indeks mraza

Meteorološka stanica	Beograd	Novi Sad	Loznica	Zlatibor	Niš	Vranje
Sezona						
14/15	7	13	6	15	14	21
15/16	6	9	7	10	9	11
16/17	9	34	28	49	33	33
17/18	6	9	7	21	5	5
18/19	6	7	7	33	16	17
19/20	5	22	4	15	4	2

U tabeli 4 su prikazane proračunate vrijednosti indeksa mraza za svih šest sezona za šest stanica za koje je vršeno istraživanje. Uočava se da je zima 2019/2020 bila blaga, tj. da su dobijene niže vrijednosti indeksa mraza za sve stanice. Za zimu 2016/2017 može reći da je bila veoma jaka te da je to rezultovalo sa vrijednostima indeksa mraza koji su među najvećim od kada se registruju vrijednosti. Takođe, može se primjetiti i da su za stanicu Zlatibor dobijene najveće vrijednosti indeksa mraza što je i logično s obzirom na najniže prosječne dnevne temperature.

Tabela 4. Vrijednosti indeksa mraza za šest glavnih stanica u Srbiji

Meteorološka stanica	Beograd	Novi Sad	Loznica	Zlatibor	Niš	Vranje
Sezona						
14/15	31	43	34	98	60	63
15/16	25	27	22	71	45	44
16/17	61	160	133	273	141	169
17/18	29	41	35	89	30	27
18/19	17	26	12	130	27	65
19/20	4	22	3	66	9	4

5. Analiza dobijenih vrijednosti indeksa mraza

Za odgovarajući projektni period kolovozne konstrukcije se definiše i mjerodavni indeks mraza. Za projektni period od 20 godina se usvaja prosječna vrijednost indeksa mraza za tri najhladnije zime u prethodnom tridesetogodišnjem periodu.

Ukoliko se radi o projektnom periodu od 10 godina onda se usvaja prosječna vrijednost indeksa mraza za tri najhladnije zime u prethodnom petnaestogodišnjem periodu. U tabeli 5. su prikazane tri najhladnije sezone u prethodnih 15 godina a u posljednjem redu u tabeli je dat i mjerodavni indeks mraza. Od analiziranih podataka najmanji indeks mraza za desetogodišnji projektni period je dobijen za Beograd i iznosi 107°C^* dana dok je najveća vrijednost dobijena za Zlatibor i iznosi 301°C^* .

Tabela 5. Prikaz po tri najhladnije zime u petnaestogodišnjem periodu i mjerodavni indeks mraza za desetogodišnji projektni period

Meteorološka stanica		Najhladnije sezone			Mjerodavni indeks mraza
		Prva	Druga	Treća	
Beograd	S *	11/12	08/09	05/06	107
	IM**	156	100	64	
Novi Sad	S *	11/12	16/17	08/09	156
	IM**	182	160	125	
Loznica	S *	11/12	16/17	08/09	137
	IM**	174	133	103	
Zlatibor	S *	11/12	16/17	05/06	301
	IM**	393	273	238	
Niš	S *	11/12	16/17	05/06	142
	IM**	173	141	111	
Vranje	S *	11/12	16/17	05/06	158
	IM**	181	169	123	

*Sezona

**Indeks Mraza

Tabela 6. predstavlja prikaz podataka za potrebe proračuna za dvadesetogodišnji projektni period kolovoznih konstrukcija. Kao i u prethodnoj tabeli, i u tabeli 6 su prikazane po tri najhladnije sezone i to za trideset godina. Jedino za stanicu Beograd su dostupni podaci za svih 30 godina dok su za ostale stanice izračunate vrijednosti posmatrajući podatke od 1992. do 2020. godine, tj. 28 godina. Na kraju tabele 6, u posljednjem redu, su date vrijednosti mjerodavnog indeksa mraza za projektni period od 20 godina. I za ovaj period za stanicu Zlatibor je dobijena najveća vrijednost indeksa mraza i to 344°C^* .

Tabela 6. Prikaz po tri najhladnije zime u tridesetogodišnjem periodu i mjerodavni indeks mraza za dvadesetogodišnji projektni period

Meteorološka stanica		Najhladnije sezone			Mjerodavni indeks mraza
		Prva	Druga	Treća	
Beograd	S *	11/12	01/02	08/09	125
	IM**	156	118	100	
Novi Sad	S *	11/12	01/02	16/17	170
	IM**	182	167	160	
Loznica	S *	11/12	16/17	01/02	145
	IM**	174	133	128	
Zlatibor	S *	11/12	01/02	04/05	344
	IM**	393	337	302	
Niš	S *	11/12	01/02	16/17	160
	IM**	173	164	141	
Vranje	S *	01/02	11/12	16/17	194
	IM**	233	181	169	

*Sezona **Indeks Mraza

6. Zaključak

Kolovozna konstrukcija je izložena različitim dejstvima tokom eksploatacije. Na pogoršanje stanja kolovozne konstrukcije utiču saobraćajno opterećenje, kvalitet materijala u konstrukciji i posteljici a i klimatski uslovi. Pri projektovanju kolovoza vrši se provjera otpornosti kolovozne konstrukcije na štetno dejstvo mraza. U ovom radu je prikazan proračun indeksa mraza za šest stanica u Srbiji za period od 2014. do 2020. godine. Na osnovu indeksa mraza određuje se dubina prodiranja mraza na osnovu koje se određuje da li je potrebno izvršiti zaštitu od dejstva mraza. Dobijeni rezultati o vrijednostima indeksa mraza su namijenjeni ažuriranju postojećih rezultata. Proračunate su vrijednosti mjerodavnog indeksa mraza za projektni period od 10 i 20 godina. Preporučuje se korišćenje novijih podataka o vrijednostima indeksa mraza dobijenih u ovom radu pri projektovanju kolovoznih konstrukcija. Od svih šest stanica najveće vrijednosti indeksa mraza su dobijene za stanicu Zlatibor a najmanje za stanicu Beograd.

Zahvale

Ovo istraživanje je podržano od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja kroz projekat broj 451-03-68/2022-14/ 200156 "Inovativna naučna i umetnička istraživanja iz domena delatnosti FTN-a".

Frost index value in Serbia from 2014 to 2020

Milan Marinković^a, Bojan Matic^a

^a University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Department for Civil Engineering and Geodesy, Novi Sad, milan.marinkovic@uns.ac.rs

Abstract: Over time, the pavement structure deteriorates. Factors that contribute to the deterioration of the pavement structure are traffic load, material properties and climate influences. Low temperatures lead to freezing of water and the appearance of ice lenses, which raises pavement structure. It is necessary to check the resistance of the pavement structure to the harmful effects of frost. This paper presents the calculation of the frost index value for six meteorological stations in Serbia for the period from 2014 to 2020. Relevant frost index value for the 20-year and 10-year project period are also given. It is recommended to use more recent data on frost index values obtained in this paper in pavement design process.

Keywords: frost, pavement structure, pavement design, meteorology

Literatura

- [1] Löfqvist, L. (2019). Towards frost damage prediction in asphaltic pavements, KTH Royal Institute of Technology School of Architecture and the Built Environment Department of Civil and Architectural Engineering, Stockholm, Sweden, p 47
- [2] Priručnik za projektovanje puteva u Republici Srbiji, 8. Konstruktivni elementi puta, 8.2. Kolovozne konstrukcije (2012), Putevi Srbije, Beograd, Republika Srbija, 79 str.
- [3] SRPS U.B9.012 (1981). Projektovanje i građenje puteva. Procena otpornosti kolovozne konstrukcije na dejstvo mraza i tehničke mere za sprečavanje oštećenja, Institut za standardizaciju Srbije
- [4] Atlas klime SFRJ (1960). Hidrometeorološka služba SFRJ
- [5] Simić, M., Joksić, Z., Georgijević, V. (1988). Merni sistem za praćenje gradjenata temperature u tlu i kolovoznim konstrukcijama, Put i saobraćaj, br 3-4, str 3-8
- [6] Joksić Z., Mišić, S. (1992), Istraživanje temperaturnih promena i dubine dejstva mraza u tlu i kolovoznim konstrukcijama puteva u Srbiji, zima 1991/1992 godine, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, str. 45
- [7] Mazić, B., (2003). Uticajni zimski indikatori za projektovanje kolovoznih konstrukcija, Građevinski fakultet Sarajevo, Sarajevo, str. 144.
- [8] Mazić, B. [2017]. Asfaltne kolovzne konstrukcije, Građevinski fakultet Sarajevo, Sarajevo, str. 245.
- [9] Mihajlović, N., Mladenović, G., (2016). Vrednosti indeksa mraza za glavne meteorološke stanice u Srbiji u periodu od 1992. do 2014. godine
- [10] SRPS U.C4.016. (1981). Projektovanje i građenje puteva. Klimatski i hidrološki uslovi, Institut za standardizaciju Srbije
- [11] Republički hidrometeorološki zavod (RHMZ) Srbije (2015). Meteorološki godišnjak 1. Klimatološki podaci 2014, Beograd, Srbija, str. 212
- [12] Republički hidrometeorološki zavod (RHMZ) Srbije (2016). Meteorološki godišnjak 1. Klimatološki podaci 2015, Beograd, Srbija, str. 213
- [13] Republički hidrometeorološki zavod (RHMZ) Srbije (2017). Meteorološki godišnjak 1. Klimatološki podaci 2016, Beograd, Srbija, str. 200
- [14] Republički hidrometeorološki zavod (RHMZ) Srbije (2018). Meteorološki godišnjak 1. Klimatološki podaci 2017, Beograd, Srbija, str. 198
- [15] Republički hidrometeorološki zavod (RHMZ) Srbije (2019). Meteorološki godišnjak 1. Klimatološki podaci 2018, Beograd, Srbija, str. 183
- [16] Republički hidrometeorološki zavod (RHMZ) Srbije (2020). Meteorološki godišnjak 1. Klimatološki podaci 2019, Beograd, Srbija, str. 184
- [17] Republički hidrometeorološki zavod (RHMZ) Srbije (2021). Meteorološki godišnjak 1. Klimatološki podaci 2020, Beograd, Srbija, str. 178