

PRILOG METODOLOGIJI ODREĐJIVANJA RAČUNSKE
DUBINE SMRZAVANJA KROZ KOLOVOZNU KONSTRUKCIJU

Miroljub Samardaković

Na osnovu izmerenih temperatura u našoj zemlji, utvrđeno je da se za područja do 500 m nadmorske visine kao merodavni indeks mraza može usvojiti 350°C dana. U radu se za ovaj indeks predlaže novi dijagram za direktno određivanje dubine smrzavanja kroz kolovoznu konstrukciju proizvoljne debljine na bilo kojoj vrsti tla, kojim su izbegnute interpolacije, nužne u postupku određivanja dubine smrzavanja prema JUS U.B9.012. Dubina smrzavanja, dobijena iz dijagrama, može se korigovati za vrednosti indeksa $200-500^{\circ}\text{C}$ dana. U računskom primeru sa tabelarnim dimenzionisanjem konstrukcija za lako, srednje i teško saobraćajno opterećenje, dijagram se koristi za proveru njihove osetljivosti na dejstvo mraza.

1. U V O D

U postupku dimenzionisanja nove asfaltne kolovozne konstrukcije standardnom metodom, predloženom u JUS U.C4.012/1981 kao empirijskom na osnovu AASHTO-uputstava, prvi i obično najsloženiji deo posla jeste analiza osnovnih uticajnih faktora, određivanje njihovih kvantitativnih pokazatelja i utvrđivanje merodavnih parametara za dimenzionisanje. Samo dimenzionisanje je relativno jednostavno. Kako se pri tome klimatsko-hidrološki uslovi (koji su često presudni za nosivost i stabilnost konstrukcije) uzimaju u obzir vrlo uopšteno, jer se dimenzionisanje vrši pomoću dijagrama usvojenih za regionalni faktor $R=2,0$, usvojena konstrukcija proverava se u pogledu osetljivosti na dejstvo mraza, postupkom prema JUS U.B9.012/1981.

U ovom postupku, prethodno se procenjuju osetljivost materijala posteljice na dejstvo mraza (koji se prema JUS U.E1.012 klasifikuje kao tlo $G_1-G_4^*$), hidrološki uslovi (povoljni ili nepovoljni, prema JUS U.C4.016) i klimatski uslovi.

**) U JUS U.E1.012, tačka 3.2.3, za kategoriju G_4 materijal C) glinovita prašina, indeks plastičnosti: stoji <12 a treba >12 (npr. Jumić, 1977, str. 119).*

Klimatski uslovi za lokaciju date deonice puta i njenu kolovoznu konstrukciju iskazuju se tzv. merodavnim indeksom mraza $I(^{\circ}\text{C dana})$ za projektni period, koji se na osnovu prosečnih dnevnih temperatura izračunava prema JUS U.C4.016. Za uobičajeni period od dvadeset godina, ovaj indeks određuje se za tri najhladnije zime u prethodnih trideset godina.

Dubina smrzavanja (prodiranja mraza) kroz kolovoznu konstrukciju (X) je osnovni parametar za procenu njene osetljivosti, u datim uslovima, na dejstvo mraza. Ova dubina može da se meri (JUS U. B9.010) ili da se interpolacijom izračuna na osnovu merodavnog indeksa mraza (I), debljine konstrukcije (d_s) i njenih termičkih karakteristika, zapreminske težine u suvom stanju (γ_d) i sadržine vode (w) tla posetljice (dijagrami na Sl.2, JUS U.B9.012).

S obzirom na uobičajeno odsustvo podataka o indeksu mraza, kao i na relativno male promene njegove prosečne vrednosti za područja do 500 m nadmorske visine, u članku se predlaže nov dijagram za jednostavno i dovoljno tačno određivanje dubine smrzavanja kroz konstrukciju na datom tlu sa ovakvim uslovima.

2. ODREĐJIVANJE RAČUNSKE DUBINE SMRZAVANJA

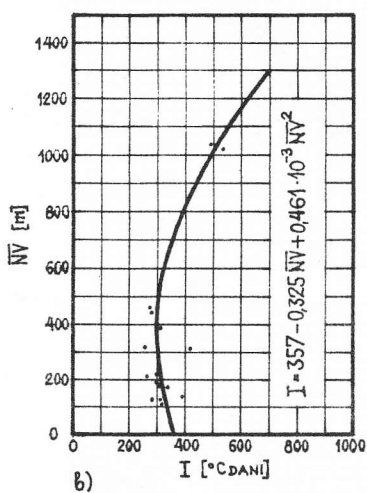
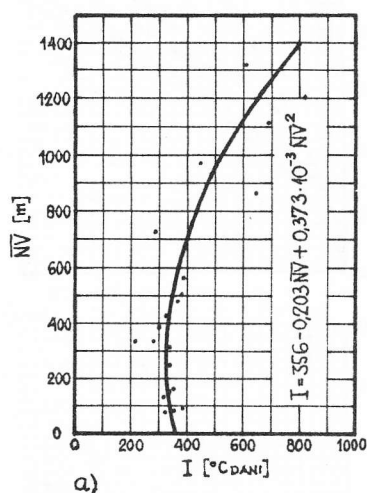
Pošto merodavna dubina smrzavanja za datu lokaciju i konstrukciju zavisi od intenziteta i trajanja mraza, ona se određuje preko pokazatelja ovih uticaja - merodavnog indeksa mraza. Njegova prosečna vrednost po pravilu raste sa nadmorskom visinom.

Kako još uvek nema dovoljno (obradjenih) podataka o merenjima temperature, niti karata ovih indeksa, i pošto povremena merenja u pojedinim mestima mogu da budu manje pouzdana od statički utvrđenih indeksa i zakonitosti njihovih teritorijalnih promena, indeks mraza se dovodi u vezu sa nadmorskom visinom i obično određuje preko nje.

2.1. Zavisnost indeksa mraza od nadmorske visine

Na osnovu raspoloživih meteoroloških podataka za najhladnije zime u tridesetogodišnjem periodu, Papo (1983) iskazuje zavisnosti indeksa mraza od nadmorske visine, prikazane na Sl.1a (za 21 stanicu u SRBiH) i Sl.1b (za 16 stanica u SR Srbiji).

Kako se vidi, ove dve zavisnosti se malo razlikuju i, po predlogu njihovog autora, za područja do 500 m nadmorske visine se kao merodavni indeks mraza može usvojiti $I = 350^{\circ}\text{C dana}$.

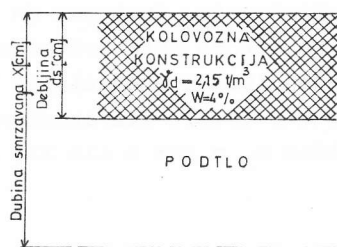
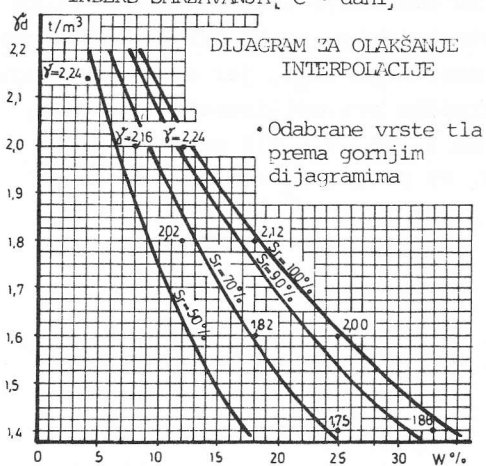
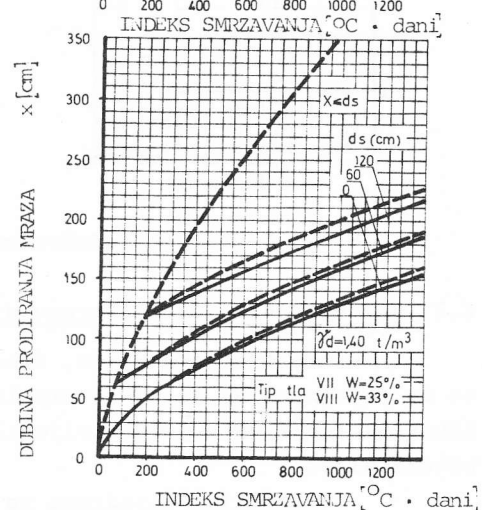
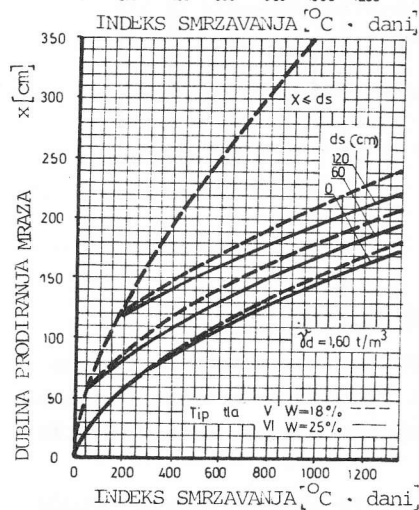
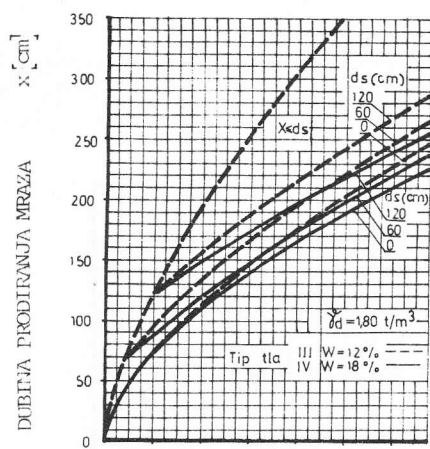
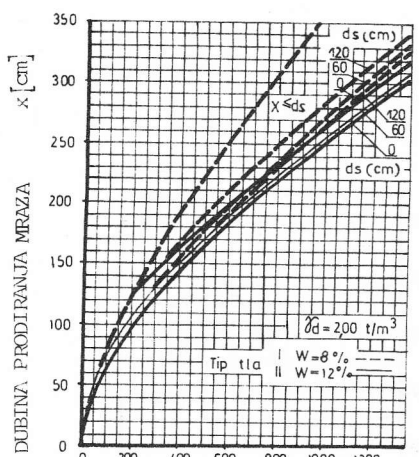


Sl.1. Zavisnost indeksa mraza od nadmorske visine

2.2. Odredjivanje dubine smrzavanja prema JUS U.B9.012

Prema ovom standardu, dubina prodiranja mraza određuje se sa dijagrama na Sl.2, interpolujući vrednosti za datu debljinu konstrukcije i date pokazatelje tla izmedju očitanih za najbliže pokazatelje.

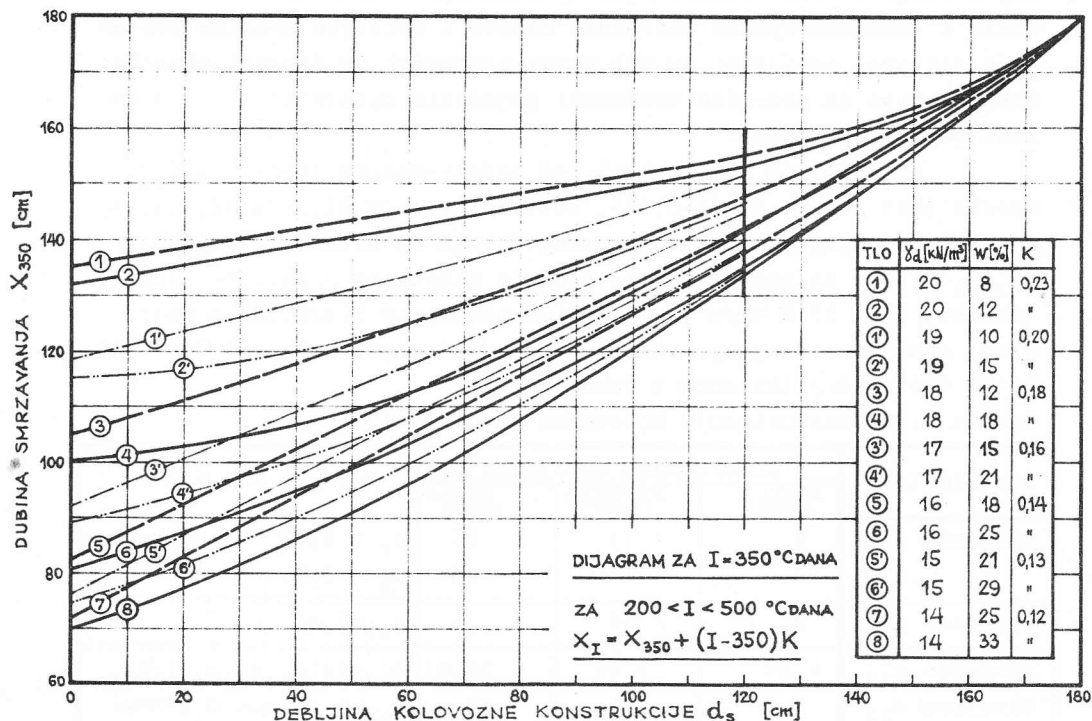
Korišćenje "dijagrama za olakšanje interpolacije" nigde nije objašnjeno. Smatramo da interpolaciju treba primenjivati pre svega za tla sa istim stepenom zasićenja (S_R), jer ona tada imaju približno jednak koeficijent termičke provodljivosti (npr. Yong, Warkentin, 1975). Tla označena sa I, III, V i VII na Sl.2 imaju približno $S_R = 70\%$ a tla II, IV, VI i VIII $S_R = 98\%$.



NA SLICI JE:
 W - prirodna sadržina vode u tlu
 S_r - stepen zasićenosti tla
 γ_d - suva prostorna masa tla
 γ - prostorna masa u prirodnom stanju
 γ_{ds} - srednja prostorna masa kolovozne konstrukcije pri vlažnosti $W=4\%$

Sl.2. Dijagrami za određivanje dubine prodiranja mraza prema JUS U.B9.012/1981.

2.3. Dijagram za određivanje dubine smrzavanja
za indeks mraza $200 < I < 500^{\circ}\text{C}$ dana



Sl.3. Dijagram za određivanje dubine smrzavanja
za $200 < I < 500^{\circ}\text{C}$ dana

Na sl.3 predlaže se novi dijagram za direktno određivanje dubine smrzavanja za svaku debljinu konstrukcije i 14 vrsta tla, za $I = 350^{\circ}$ dana, urađen na osnovu JUS U.B9.012 i Sl.2. Krive označene brojem sa indeksom konstruisane su nelinearnom interpolacijom na osnovu odgovarajućih krivih za tla sa jednakim stepenom zasićenja. Dijagram se može koristiti i za $200 < I < 500^{\circ}\text{C}$ dana, prema uputstvu na njemu, pri čemu se sa manje posla postiže praktično ista tačnost kao pomoću Sl.2.

Na osnovu navedenog zaključka (Papo,1983) da se za područja do 500 m nadmorske visine može usvojiti $I = 350^{\circ}\text{C}$ dana, za ta područja dubina smrzavanja se može direktno očitavati sa datog dijagrama (Sl.3) za svaku debljinu konstrukcije i praktično sve vrste tla.

3. PRIMER DIMENZIONISANJA KONSTRUKCIJE I PROVERE
NJENE OSETLJIVOSTI NA DEJSTVO MRAZA

Primer se daje na osnovu proračuna iz projekta kolovozne

konstrukcije za novoprojektovanu Kosovsku ulicu u Kruševcu, za lako, srednje i teško saobraćajno opterećenje. Posle izvršenih terenskih i laboratorijskih istražnih radova i detaljne analize uticajnih faktora, određeni su merodavni parametri za dimenzionisanje konstrukcije za prosečne vrednosti pojedinih opterećenja i projektni period 20 godina.

Za asfaltnu konstrukciju od asfalt-betona (debljina d_{11} , koeficijent zamene $a_{11} = 0,42$), bitumeniziranog šljunka ($d_{12}, a_{12} = 0,33$) i donjeg nosećeg (tamponskog) sloja od nevezanog šljunka ($d_2, a_2 = 0,11$), na posteljici od srednje plastične peskovite gline (CBR=5%, $\gamma_d = 17,2 \text{ kN/m}^3$, $w = 18\%$) sa povoljnim hidrološkim uslovima, dimenzionisanje je izvršeno pomoću dijagrama iz JUS U.C4.012, prema postupku prikazanom u Tabeli 1.

Tabela 1. Dimenzionisanje kolovozne konstrukcije

Debljine (cm)	Saobraćajno opterećenje			N a p o m e n a
	Lako (4×10^5)	Srednje (1×10^6)	Teško (4×10^6)	
Potrebno d_1'	9	11	15	$a_r = 0,38$, sa dijagrama
" d_2'	38	42	48	$a_2 = 0,11$ "
Usvojeno d_{11}	3	4	5	$a_{11} = 0,42$
Potrebno d_{12}'	6,55	7,58	10,91	$d_{12}' = (d_1' a_r - d_{11} a_{11}) / a_{12}$
Usvojeno d_{12}	7	8	12	$a_{12} = 0,33$, min d_{12} propisano
$d_1' a_r$	3,42	4,18	5,70	Provera:
$d_{11} a_{11} + d_{12} a_{12}$	3,57	4,32	6,06	$d_{11} a_{11} + d_{12} a_{12} \geq d_1' a_r$
potrebno d_2'	36,6	40,7	44,7	$d_2' = (d_1' a_r + d_2' a_2 - d_{11} a_{11} - d_{12} a_{12}) / a_2$
Usvojeno d_2	35	40	45	$d_2 \approx d_2'$
Uk. debljina d_s	45	52	62	$d_s = d_1 + d_2 = (d_{11} + d_{12}) + d_2$
Dub. mraza X	106	109	114	sa dijagrama, sl.3
0,5 X	53	54	57	

U Tabeli 1. date su i dubine smrzavanja, očitane sa dijagrama na Sl.3 za $I = 350^\circ\text{C}$ dana, koliko je usvojeno za lokaciju ulice, s obzirom da za nju nema bližih podataka o najnižim temperaturama. Na bazi dubina smrzavanja, prema JUS U.B9.012 izvršena je provera osetljivosti usvojenih konstrukcija na dejstvo mraza. Kako je $d_s < x \times x_{\max} = 140 \text{ cm}$, za tlo posteljice klasifikovano u pogledu osetljivosti u grupu G3 i povoljne hidrološke uslove - procenjeno je da su usvojene konstrukcije sigurne pri dejstvu mraza

S obzirom na zapadnonemačke standarde, koji predlažu da debljina konstrukcije bude oko 0,5x, najtanja usvojena konstrukcija je na granici sigurnosti na mrazu. Zbog toga bi pri njenom gradjenju najveću pažnju trebalo posvetiti trajnom obezbedjenju povoljnih hidroloških uslova, kako je predvidjeno projektom, kao i kvaliteta materijala, posebno u posteljici i tamponskom sloju. Kriterijumi za ocenu kvaliteta i zbijenosti materijala u ovim slojevima obrađeni su i sistematizovani u radu autora (1985).

4. ZAKLJUČNE NAPOMENE

Praksa dimenzionisanja kolovoznih konstrukcija puteva i ulica nije dovoljno česta, i ako je standardna metoda relativno jednostavna i pouzdana s obzirom na empirijsko poreklo.

U primeni ove metode, dubina smrzavanja (prodiranja mraza) kroz konstrukciju može se odredjivati sa mnogo manje interpoliranja i dovoljno tačno pomoću dijagrama predloženog na Sl.3, za $I = 200-500$ °C dana. Za deonice za koje se ne zna indeks mraza a nalaze se u području do 500 m nadmorske visine (za koje se može usvojiti $I = 350$ °C dana), dubina smrzavanja očitava se direktno, s obzirom na dovoljan broj predstavljenih vrsta tj. stanja tla.

Sličan dijagram može se uraditi za svako područje ili grad za koji je I odredjeno (npr. za NIŠ $I=265$ °C dana). Pri variranju forme dijagrama treba imati u vidu da su najveće moguće promene dubine smrzavanja ($\max \Delta x$) za promenu pojedinih uticaja u uobičajenom intervalu:

$$d_s = 30 - 80 \text{ cm} \quad \max \Delta x = 25 \text{ cm}$$

$$\gamma_d = 15 - 20 \text{ kN/m}^3 \quad \max \Delta x = 50 \text{ cm}$$

$$I = 200-500 \text{ °C dana} \quad \max \Delta x = 70 \text{ cm}.$$

Primeri sa detaljima za praksu daju se u švajcarskim standardima SNV 670148 i SNV640328 (prema kojima je uradjen i odgovarajući JUS), kao i u navedenoj literaturi. Teorijske osnove izlažu Kirkham i Powers (1972), Jumikis (1977) a mehaničke osobine tla pod dejstvom mraza npr. Citovič (1973).

B I B L I O G R A F I J A

- Citović(1973) - *Mehanika smrznutog tla (na ruskom), Viša škola, Moskva.*
- Jumikis,A.R.(1977) - *Thermal geotechnics, Rutgers University Press, New Jersey.*
- JUS - U.B9.010, U.B9.012, U.C4.012, U.C4.016, U.E1.012.
- Kirkham, D., Powers,W.L.(1972) - *Advanced soil physics, John Wiley and Sons, New York.*
- Papo, U.(1983) - *Razmatranja o projektiranju kolničkih konstrukcija u uvjetima smrzavanja na osnovi objavljenih jugoslovenskih standarda, Ceste i mostovi, Zagreb, br.9, str.261-271.*
- Samardaković,M.(1985) - *Kriterijumi za ocenu kvaliteta i zbijenosti materijala u donjem stroju i donjem nosećem (tamponskom) sloju kolovozne konstrukcije i pogodna sredstva za njihovo zbijanje, Seminar iz oblasti projektovanja i gradjenja puteva, Zbornik radova, Gradjevinski fakultet, Niš, str.73-105.*
- Yong,R.Y., Warkentin, B.P.(1975) - *Soil properties and behaviour, Elsevier, Amsterdam, str.395.*

A B S T R A C T

UDK:625.8.693.547.3(045)

A CONTRIBUTION TO THE METHODOLOGY FOR ESTIMATION
OF FROST PENETRATION DEPTH THROUGH THE ROAD
PAVEMENTS

Miroljub Samardaković

On the basis of JUS and SNV-standards, a new diagram for estimation of frost penetration depth through the road pavements by freezing index of 200-500 °C days has presented. Because 350 °C days-index up to 500 m oversea in SFRJ can be appropriated, the frost penetration depth for this index maybe determined from the diagram directly. In an example, flexible pavements thickness for light, middle and heavy traffic by tabulated procedure are designed. For estimation of their frost susceptibility, presented diagram has used.