



TSC 06.512 : 2003

PROJEKTIRANJE KLIMATSKI IN HIDROLOŠKI POGOJI

Uporaba: ni obvezna

Pripravil:

Tehnični odbor za pripravo tehničnih
specifikacij za javne ceste TO 06.

Soglasje ministra:

Soglasje ministra, pristojnega za promet , je bilo
izdano, dne 31.3. 2003, pod št. 2641-6/2001/26-0403.

Soglasje ministra, pristojnega za graditev, je bilo
izdano, dne 5.7.2001, pod št. 343-9/98.

Ključne besede:

Klimatski pogoji, hidrološki pogoji, globina zmrzovanja, indeks mraza, zmrzlinški dvig.

Objava izdaje:

Sporočila - objave, Slovenski inštitut za standardizacijo, Ljubljana, št. 9/ 2003.

Izdajatelj:

Tehnično specifikacijo za javne ceste je založila in izdala Direkcija Republike Slovenije za ceste.

VSEBINA

1	Predmet tehnične specifikacije.....	3
2	Referenčna dokumentacija	3
3	Pomen izrazov	3
4	Oprelitev pogojev.....	4
4.1	Klimatske razmere	4
4.1.1	Splošno	4
4.1.2	Oprelitev klimatskih razmer	4
4.1.3	Osnove za dimenzioniranje voziščnih konstrukcij	5
4.2	Hidrološke razmere.....	5
4.3	Vplivi na dimenzioniranje	5
5	Zmrzovanje in odtajevanje	6
5.1	Osnovne značilnosti zmrzovanja in odtajanja	6
5.1.1	Zmrzovanje vode	6
5.1.2	Zmrzovanje vlažnega materiala.....	7
5.1.3	Prodiranje meje zmrzovanja	7
5.1.4	Odtajanje	7
5.2	Poškodbe zaradi zmrzovanja in odtajanja	7
5.2.1	Splošni pogoji za nastanek poškodb	7
5.2.2	Nastanek poškodb	8
5.3	Ukrepi proti poškodovanju	10
5.3.1	Zmanjšanje učinkov mraza	10
5.3.2	Odvodnjavanje.....	10
5.3.3	Voziščna konstrukcija	11
5.3.4	Omejitev prometnih obremenitev.....	11

1 Predmet tehnične specifikacije

Tehnična specifikacija za ceste TSC 06.512 določa osnove za opredelitev klimatskih in hidroloških pogojev pri gradnji cest, ki neposredno vplivajo na določitev vrste in izmer voziščnih konstrukcij.

V tehnični specifikaciji je opredeljen pomen najbolj uporabljenih izrazov v sklopu zmrzovanja in odtajanja materialov v cestnem telesu, značilnosti zmrzovanja in nastanek poškodb zaradi zmrzovanja in odtajanja.

Na osnovi tehnične specifikacije za ceste TSC 06.512 se določi potrebne ukrepe za zaščito materialov proti poškodbam zaradi zmrzovanja pri načrtovanju, gradnji in ohranitvi cest in zagotovi gospodarnost ukrepov.

Vsebine te TSC ni mogoče tolmačiti in izvajati na takšen način, ki bi preprečeval ali pogojeval ustrezno uporabo gradbenih proizvodov, danih v promet v skladu z zahtevami Zakona o gradbenih proizvodih.

2 Referenčna dokumentacija

Tehnična specifikacija TSC 06.512 je zasnovana na naslednji referenčni dokumentaciji:

SN 640 317a: 1988 Dimensionierung, Unterbau und Untergrund

SN 670 140a: 1988 Frost

SN 670 005: 1970 Klassifikation der Lockergesteine, Feldmethode nach USCS

SN 670 008: 1970 Klassifikation der Lockergesteine, Laboratoriumsmethode nach USCS

Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Strassenbau - ZTVE 94, DIN 18196, Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke

V tehnično specifikacijo TSC 06.512 so z datiranimi referencami vključena določila drugih publikacij. Poznejša dopolnila ali spremembe morajo biti upoštewane, če so vključene z dopolnilom ali revizijo.

3 Pomen izrazov

V tej tehnični specifikaciji uporabljeni strokovni izrazi imajo naslednji pomen:

Globina zmrzovanja (frost depth, Frosttiefe) je največja globina, do katere seže izoterma 0°C v dolgotrajnem mrazu.

Hidrološki pogoji (hydrological conditions, hydrologische Verhältnisse) so pogoji, ki opredeljujejo stanje voda v tleh v bližini ceste.

Indeks mraza (frost index, Frostindex) je vsota srednjih (negativnih) dnevni temperatur zraka od začetka do konca obdobja zmrzovanja; označuje trajanje in intenzivnost mraza na določenem kraju.

Klimatski pogoji (climatic conditions, klimatische Verhältnisse) so pogoji, ki jih opredeljujejo temperature zraka v določenem časovnem obdobju in na določenem kraju ali področju, skozi katero poteka cesta.

Ledena leča (ice lens, Eislinse) je značilna oblika porne vode, ki pri zmrzovanju nastane zaradi povečanja vsebnosti vode v materialu.

Mikroklima (micro climate, Mikroklima) je skupek enakih pogojev, kot je temperatura, osončenje, vlažnost, padavine, snežne razmere in veter, značilnih za omejeno področje.

Na zmrzovanje neobčutljiv material (frost insensible material, frostunempfindliches Material) je material, v katerem zmrzujoča porna voda ne povzroči pomembnejšega dviga niti odtajanje pomembnejšega zmanjšanja nosilnosti.

Odtajanje (thaw, Auftauen) je sklop fizikalnih pojavov, ki nastajajo v materialih, ko po obdobju zmrzovanja temperatura naraste nad 0 °C.

Poškodba zaradi zmrzovanja (zmrzljinska poškodba) (frost damage, Frostbeschädigung) je poškodba na objektu, ki je neposredna ali posredna posledica učinkovanja mraza v povezavi z vodo; pomeni lahko porušitev objekta.

Zmrzljinski dvig (frost heave, Frosthebung) je lokalni dvig vozišča zaradi nastanka ledenih leč v neustreznem materialu, vgrajenem do globine zmrzovanja.

Zmrzovanje (freeze, Frieren) je sklop fizikalnih pojavov, ki nastajajo v materialih, ko znaša temperatura manj kot 0 °C.

4 Opredelitev pogojev

Obseg sprememb pri zmrzovanju in odtajanju v cestno telo vgrajenih materialov je odvisen predvsem od značilnih dogajanj pri teh procesih. Proces zmrzovanja in odtajanja je odvisen predvsem

- od značilnosti materialov in
- od lokalnih klimatskih in hidroloških razmer.

Vpliv značilnosti materialov je podrobno opredeljen v tč. 5. Vpliv lokalnih klimatskih in hidroloških razmer na zmrzovanje in odtajanje pa je osnovni pogoj za določitev dimenzij voziščne konstrukcije.

4.1 Klimatske razmere

4.1.1 Splošno

Pri oceni nevarnosti sprememb značilnosti zgrajenih voziščnih konstrukcij oziroma v cestno telo vgrajenih materialov zaradi zmrzovanja in odtajanja je treba upoštevati najneugodnejše predvidljive lokalne pogoje, to je

- dolgotrajen mraz in počasno prodiranje izoterme 0 °C v material ter
- hitro odtajanje.

Oceniti je mogoče, da ne obstoji nevarnost škodljivih sprememb zaradi zmrzovanja in odtajanja

- med kratkotrajnim obdobjem zmrzovanja (tudi pri ostrem mrazu), če prodre izoterma 0 °C samo v na zmrzovanje odporne plasti materialov ter
- med kratkotrajnim obdobjem odtajanja (fen).

Globina prodiranja mraza v cestno telo (zmrzovanja) je odvisna od termičnih lastnosti materialov, predvsem od njihove zgoščenosti in vsebnosti vode.

Ker je vsebnost vode v materialih, vgrajenih v nevezane nosilne plasti in posteljico, praviloma majhna, se lahko mraz v njih razmeroma hitro širi. V drobnozrnatih materialih, ki vsebujejo večje količine vode, se mraz širi počasneje. To pomeni, da povečanje debeline voziščne konstrukcije za zaščito proti spremembam značilnosti materialov, ki so neodporni na zmrzovanje, pogojuje deloma globlje prodiranje mraza in zmrzovanje.

4.1.2 Opredelitev klimatskih razmer

Klimatske razmere v določenem okolju je mogoče opredeliti

- z globino zmrzovanja (prodiranja mraza) h_m ali
- z indeksom mraza I_m .

Obe vrednosti je treba določiti z ustreznimi postopki meritev.

4.1.2.1 Globina zmrzovanja h_m

Za meritve globine zmrzovanja so uveljavljeni postopki

- s sondo z merilnimi stekleničkami,
- s sondo z indikatorjem globine zmrzovanja in
- z električno sondo.

Medij za meritve oziroma določitev temperature v območju točke zmrzovanja ali širše je vstavljen v ustrezno cev, ta pa v navpično vrtino v cestnem telesu.

V osnovi so meritve globin zmrzovanja namenjene spremljanju temperatur v voziščnih konstrukcijah.

Na osnovi ugotovljenih največjih globin prodiranja mraza v značilnih okoljih v Sloveniji je pripravljena karta informativnih globin prodiranja mraza (priloga 1), ki omogoča enostavno in hitro določitev merodajne globine prodiranja mraza v določenem okolju.

4.1.2.2 Indeks mraza I_m

Indeks mraza je opredeljen z absolutno razliko med najvišjo in najnižjo točko vsotne krivulje srednjih dnevni (negativni) temperatur zraka (°C x dni). Predstavlja intenzivnost in vpliv nizkih temperatur v določenem okolju.

Določitev srednje dnevne temperature zraka temelji na postopku, uveljavljenem v hidrometeorološki službi (povprečje meritev temperatur ob 7., 14. in 21. uri 1,2 m nad tlemi). Vsotna krivulja srednjih dnevni temperatur narašča, ko so pozitivne, in prične upadati, ko se zniža temperatura pod 0 °C. V primeru, da je v obdobju zmrzovanja nastala krajša otoplitev, ki pa ni povzročila odtajanja materiala v celoti, je treba upoštevati kot merodajno vrednost indeksa mraza celotno razliko med najvišjo in najnižjo točko vsotne krivulje.

Za dimenzioniranje voziščne konstrukcije in opredelitev ukrepov za njeno zaščito pred škodljivimi učinki zmrzovanja in odtajanja je treba določiti merodajni indeks mraza za načrtovano dobo trajanja. Praviloma je to srednja vrednost indeksa mraza v treh najhladnejših zimah v izbranem nizu let.

Na osnovi podatkov Hidrometeorološkega zavoda o temperaturah v značilnih okoljih v Sloveniji je (za niz 1951 – 1970) pripravljena karta informativnih vrednosti merodajnega indeksa mraza I_m (priloga 2).

Vpliv indeksa mraza I_m na določitev potrebne zaščite materialov F2 in F3, občutljivih na zmrzovanje, je določen posredno z globino prodiranja mraza h_m (diagram 1).

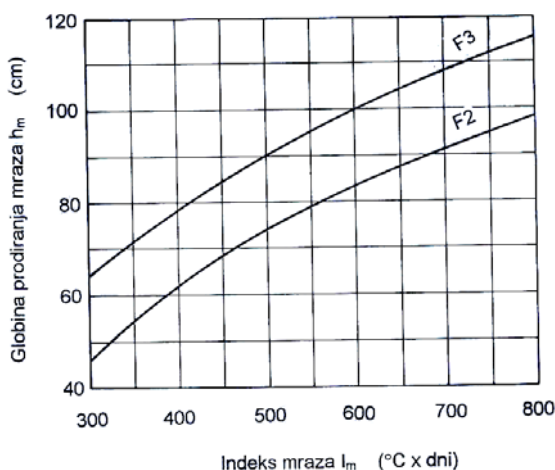


Diagram 1: Odvisnost globine prodiranja mraza v materialih F2 in F3 od indeksa mraza

4.1.3 Osnove za dimenzioniranje voziščnih konstrukcij

Informativne vrednosti globin prodiranja mraza h_m (na karti v prilogi 1) in merodajnega indeksa mraza I_m (na karti v prilogi 2) so določene na delno različnih osnovah.

Za dimenzioniranje voziščnih konstrukcij je treba upoštevati večjo vrednost globine zmrzovanja, ugotovljeno pri postopkih neposrednega ali posrednega določanja vrednosti (h_m oziroma $I_m \rightarrow h_m$).

4.2 Hidrološke razmere

Hidrološke razmere v določenem okolju so pomembne za oceno občutljivosti voziščne konstrukcije oziroma vgrajenih materialov na zmrzovanje ter za določitev ukrepov za preprečitev poškodb.

Hidrološke razmere so določene z

- nivojem talne vode,
- globino zmrzovanja in
- občutljivostjo materiala na zmrzovanje.

Na osnovi teh vplivov jih je mogoče razvrstiti v

- ugodne in
- neugodne.

Hidrološke razmere so ugodne, če je

- nasip ceste visok najmanj 1,5 m,
- gladina talne vode stalno globlje od globine zmrzovanja h_m ,
- plitev ukop dobro odvodnjava in
- nad gladino talne vode preprečeno dotekanje vode v cestno telo s strani (iz vodnih žil) ali s površine.

Hidrološke razmere pa so neugodne, če je

- nasip ceste nižji od 1,5 m,
- gladina talne vode v območju globine zmrzovanja h_m ,
- plitev ukop slabo odvodnjava,
- ukop globok in
- omogočeno kapilarno dviganje vode ali dotekanje vode s strani ali s površine.

V drobnozrnatih materialih, ki so praviloma bolj občutljivi na zmrzovanje, je kapilarno dviganje vode lahko veliko. Zato je v pretežnih primerih treba upoštevati neugodne hidrološke razmere, tudi če je gladina talne vode več metrov pod planumom podlage (posteljice).

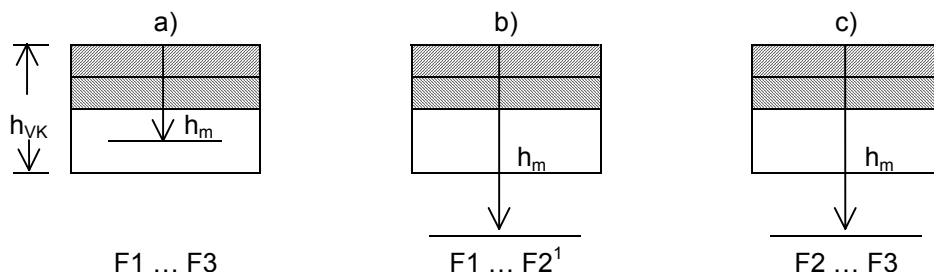
4.3 Vplivi na dimenzioniranje

Tveganje za nastanek poškodb na cestah zaradi zmrzovanja in odtajanja je odvisno od

- globine prodiranja mraza h_m (tč. 4.1),
- hidroloških pogojev (tč. 4.2),
- občutljivosti materialov na zmrzovanje, ki je z razredi opredeljena v tč. 5.1,
- debeline na zmrzovanje neobčutljive voziščne konstrukcije.

Ukrepi za preprečitev škodljivega učinka zmrzovanja so potrebni in merodajni samo pri materialih, uvrščenih v razreda F2 in F3, v primerih, ko sega globina zmrzovanja do njih in je treba upoštevati neugodne hidrološke razmere (slika 1c).

V vseh drugačnih pogojih (slika 1a in 1b) pa je za dimenzioniranje merodajna potrebna odpornost voziščne konstrukcije proti utrujanju.



Legenda:

- h_{VK} - debelina voziščne konstrukcije
- h_m - merodajna globina prodiranja mraza
- F1 ... F3 - občutljivost materiala na zmrzovanje
- ¹ - materiali, razvrščeni v F1, če je izpolnjen pogoj po diagramu 2

Slika 1: Vrste ukrepov za preprečitev škodljivih učinkov zmrzovanja

Da bi bila voziščna konstrukcija zavarovana proti škodljivim učinkom zmrzovanja oziroma poškodbam, mora biti v določeni debelini zgrajena iz odpornih materialov. Izkušnje, pridobljene na cestah s težko prometno obremenitvijo, kjer ni bilo poškodb zaradi zmrzovanja in odtajanja, so pokazale, da naj-

manjša potrebna debelina voziščne konstrukcije h_{min} oziroma odpornih materialov ni enaka izmerjeni največji globini prodiranja mraza h_m , ampak da praviloma zadostuje manjša skupna debelina plasti na zmrzovanje odpornih materialov h_{min} . Na tej osnovi je prirejena razpredelnica 1.

Razpredelnica 1: Najmanjše potrebne debeline voziščnih konstrukcij h_{min}

Odpornost materiala pod voziščno konstrukcijo proti učinkom zmrzovanja in odtajevanja	Hidrološki pogoji	Debelina voziščne konstrukcije h_{min}
odporen	ugodni	$\geq 0,6 h_m$
	neugodni	$\geq 0,7 h_m$
neodporen	ugodni	$\geq 0,7 h_m$
	neugodni	$\geq 0,8 h_m$

5 Zmrzovanje in odtajevanje

5.1 Osnovne značilnosti zmrzovanja in odtajanja

5.1.1 Zmrzovanje vode

Voda preide pri približno 0 °C iz tekočega stanja v kristalno strukturo. Pri tem se njena

specifična prostornina poveča za približno 10 %, gostota pa za približno 9 % zmanjša. Med procesom zmrzovanja vode se sprosti toplotna energija in sicer 335 kJ/kg.

Če v vodi ni kristalizacijskih jeder, če so v njej kemične raztopine ali če je voda pod pritiskom, se točka zmrzovanja lahko premakne proti nižji temperaturi.

Ker v čisti vodi ni kristalizacijskih jeder, lahko nastane znatna podhladitev vode, ne da bi nastal led.

5.1.2 Zmrzovanje vlažnega materiala

Ko porna voda v materialu zmrzuje, naraščanje ledenih kristalov spremeni naravno ravnotežje vode odvisno od zrnivosti in mineraloških značilnosti materiala. To zmanjšanje vsebnosti nezmrznjene vode v materialu pogojuje nastanek podtlaka (natezne napetosti), ki povzroči dotok vode, predvsem iz območja pod izotermo 0 °C (globino zamrznjenja). Ta voda povzroči po dotoku v območje zmrzovanja povečanje količine ledu v obliki ledenih leč in plasti, ki zmrznjeni material razrivajo in dvigujejo. Tako nastanejo zmrzlini dvigi.

Povečanje količine ledu (ledenih leč) v materialu je odvisno od

- vsebnosti vode,
- premera in deleža drobnih zrn,
- vodoprepustnosti materiala,
- trajanja zmrzovanja in
- ostrine mraza,

posredno pa od nastalega podtlaka.

Navedene značilnosti stanja kažejo, da niso občutljivi na zmrzovanje grobozrnati materiali, ki so dobro prepustni, kot tudi ne zemljine (npr. gline), ker otežujejo dotok porne vode v območje zmrzovanja. Z naraščanjem deleža drobnih zrn (v meljnih peskih in meljih) pa se nevarnost nastanka prekomernih količin ledu v materialu zelo poveča.

Pri zmrzovanju porne vode v vezanih materialih in vlažnih kamninah lahko nastane zaradi povečane prostornine ledu pojav, podoben kot pri razstreljevanju, če trdnost vezi ne zdrži kristalizacijskega pritiska. Vendar pa ta pojav nastane šele pri temperaturah, znatno nižjih od 0 °C, kajti točka zmrzovanja vode se zaradi naraščajočega pritiska zniža.

5.1.3 Prodiranje meje zmrzovanja

V obdobju mraza prodira meja zmrzovanja v material. Prodiranje je tem globlje in tem hitrejše, čim ostrejši je mraz in čim daljše je njegovo učinkovanje.

Informativna globina prodiranja meje zmrzovanja v material je približno sorazmerna kvadratnemu korenu iz časa prodiranja.

5.1.4 Odtajanje

Led, nastal v cestnem telesu v obdobju zmrzovanja, se taja, ko mu je dovedena toplota

- od zgoraj zaradi otoplitve in
- od spodaj iz Zemlje.

Z odtajanjem povečane količine ledu, tj. ledenih leč oziroma plasti ledu, se spreminjajo plastične lastnosti oziroma konsistenca pri zmrzovanju zrahljanega materiala (zemljine), ki v določenih pogojih lahko postane kašasta ali celo tekoča. S tem pa se bistveno spremeni tudi nosilnost takšnega materiala.

Pogosto je odtajanje vlažnega materiala od zgoraj hitrejše kot od spodaj, tako da odtajani in z vodo obogateni material leži na še zmrznjeni podlagi in se navzdol ne more odvodnjavati. V takšnih pogojih se kašasti ali tekoči material lahko tudi iztiska skozi razpoke na vozno površino.

Šele ko so proste poti za odvajanje vode navzdol, lahko prekomerna voda odteče in material postopoma ponovno pridobi prvotne značilnosti.

5.2 Poškodbe zaradi zmrzovanja in odtajanja

5.2.1 Splošni pogoji za nastanek poškodb

Poškodbe na voziščnih konstrukcijah lahko nastanejo, če obstojijo naslednji pogoji:

- dovolj oster in trajen mraz
- v voziščno konstrukcijo v območju zmrzovanja vgrajen material, občutljiv na zmrzovanje
- voda, ki lahko priteče v voziščno konstrukcijo do meje zmrzovanja
- prometna obremenitev
- premajhna nosilnost voziščne konstrukcije.

Poškodbe na voziščnih konstrukcijah lahko praviloma nastanejo samo takrat, ko nastopijo vsi navedeni pogoji. Zaščitni ukrepi proti poškodbam zaradi zmrzovanja in odtajanja pa so v splošnem namenjeni samo posameznemu od navedenih pogojev.

S preskusi je ugotovljeno, da zaradi zmrzovanja poškodbe ne bodo nastale ali pa bodo nastale le v zelo majhnem obsegu,

- če zmrzovanje ne sega globlje od spodnjega roba odporne voziščne konstrukcije,
- če oster mraz hitro nastopi in ni dovolj časa za kopičenje ledu v območju občutljivega materiala; poškodbe so lahko samo posledica otrditve in krčenja asfaltne zmesi (odpiranje razpok).

Manjše poškodbe zaradi zmrzovanja nastanejo, če je zmrzovanje hitro, mraz pa dolgotrajen in sega globoko; kopičenje ledu običajno nastane tako globoko, da razen širokih zmrzinskih dvigov nima škodljivih učinkov na vozno površino.

Večje poškodbe na voziščni konstrukciji pa nastanejo, če mraz prodre samo nekoliko pod voziščno konstrukcijo v sicer občutljiv material na zmrzovanje, vendar pa vztraja dalj časa in pri tem povzroči veliko kopičenje ledu neposredno pod voziščno konstrukcijo.

5.2.2 Nastanek poškodb

Razdiralni učinek vode pri zmrzovanju lahko poruši vezi v materialu. Vendar pa so takšne spremembe praviloma manjšega obsega in brez pomembnejšega vpliva na stanje ceste.

Pretežne **poškodbe** pri zmrzovanju nastanejo na cestah **zaradi neenakomernih zmrzinskih dvigov**, ki so posledica povečane količine vode oziroma ledu, praviloma v podlagi.

Neenakomerni zmrzinski dvigi nastanejo predvsem takrat, če je prodiranje mraza ob robu ceste manjše kot v sredini. To nastopi,

- če je toplotna prevodnost večinoma poraščenih humoznih tal manjša kot na voziščni konstrukciji ali
- če je zaradi odloženega snega ob robovih vozišča prodiranje mraza v občutljivo zemljino različno.

Neenakomerni oziroma različni zmrzinski dvigi pa so lahko tudi posledica lokalno različnih voziščnih konstrukcij ali pa različnega dotoka vode v območje zmrzovanja.

Pri zmrzinskih dvigih nastanejo na vozni površini izbočenja, ki pri asfaltnih voziščih povzročijo odprte vzdolžne razpoke, pri togih cementnobetonkih krovnih plasteh pa bolj ali manj neenakomerne dvige plošč (stopnice). Zaradi nastalih neravnin pa se poslabša tudi uporabnost vozišča.

Zmanjšana nosilnost voziščne konstrukcije v **času odtajanja** lahko povzroči pod prometno obremenitvijo deformacije in razpoke. Slednje so lahko oblikovane v drobno mrežo (slonova koža) ali pa večje grude (bloke), pomenijo pa začetek porušitve voziščne konstrukcije.

Predno se vzpostavi prvotno stanje nosilnosti, lahko pretečejo dnevi, a tudi tedni.

Voziščna konstrukcija pa se lahko poruši tudi, če je razmeroma tanka asfaltna krovna plast, vgrajena na slabše nosilni podlagi, izpostavljena kratkotrajnemu ostremu mrazu. Zaradi otrditve bitumenskega veziva, ki je pogojena z nizko temperaturo, in termično zbujenih napetosti se lahko krovna plast voziščne konstrukcije (skorja) pod mehansko obremenitvijo zdrobi in v kosih izleti.

5.2.2.1 Vpliv občutljivosti materialov na zmrzovanje

Material je treba oceniti kot občutljiv na zmrzovanje, če zaradi učinkovanja mraza nastanejo v njem ledene leče ali plasti ledu, bolj ali manj vzporedne z mejo zmrzovanja, ki povzročijo na vozišču zmrzinske dvige, ali če se pri odtajanju zmanjša njegova nosilnost.

Občutljivost materiala na zmrzovanje je odvisna od

- zrnivosti,
- oblike zrn,
- zgoščenosti,
- vrste mineralov v finih frakcijah in
- mineraloško-kemijskih lastnosti.

Na osnovi kriterijev za zrnavost in mineraloških kriterijev so materiali, uporabljeni v cestogradnji, razvrščeni v tri razrede občutljivosti na zmrzovanje (razpredelnica 2).

Na osnovi količnika neenakomernosti oblikovanosti presejne krivulje materiala $U = d_{60}/d_{10}$ in deleža drobnih zrn (velikosti do 0,063 mm) je izvršena podrobnejša razmejitev razredov občutljivosti materiala F1 in F2 (diagram 2).

Po razvrstitvi materialov v razpredelnici 1 so vsi grobozrnati materiali, ki vsebujejo do 5 m.-% zrn velikosti do 0,063 mm, neobčutljivi na zmrzovanje.

Prav tako neobčutljivi ali zanemarljivo občutljivi so mešani materiali, ki vsebujejo do 15 m.-% drobnih zrn, če znaša količnik neenakomernosti oblikovanosti presejne krivulje $U = d_{60}/d_{10} \leq 6$.

Če količnik U znaša 6 do 15, je treba dopustni delež drobnih zrn v materialu linearno interpolirati med 15 m.-% in 5 m.-%. Če pri mešanih materialih ta kriterij ni izpolnjen, jih je treba uvrstiti v razred občutljivosti F2.

Razpredelnica 2: Razvrstitev materialov na osnovi občutljivosti na zmrzovanje

Razred	Občutljivost	Delež zrn do 0,063 mm m.-%	Klasifikacija ¹
F1	neobčutljiv	< 5	GW, GP SW, SP
F2	malo do srednje občutljiv	5 ... 15	GC ² , GM ² SC ² , SM ² CL, CH
F3	zelo občutljiv	> 15	SM – ML ML, MH CL – ML

Legenda:

- ¹ - klasifikacija po DIN 18 196 oziroma USCS
G – gramoz
S – pesek
M – melj
C – glina
- ² - razvrščeni v F1, če je izpolnjen pogoj po diagramu 2

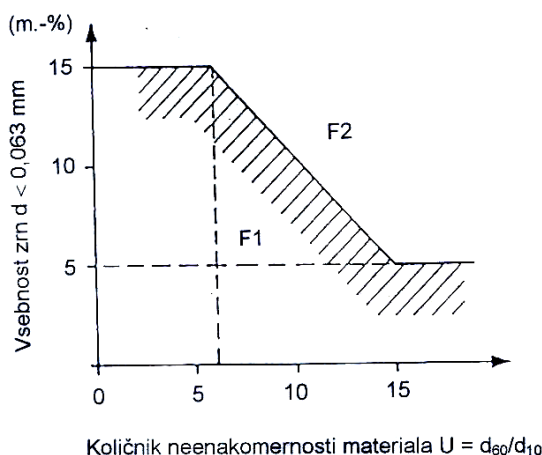


Diagram 2: Razmejitve razredov občutljivosti F1 in F2 v odvisnosti od količnika U in deleža drobnih zrn

Občutljivost mešanih in drobnozrnatih materialov na zmrzovanje izhaja iz zapletenega sočasnega učinkovanja

- nastajajočega podpritiska pri zmrzovanju porne vode na meji led – voda,
- primesi različnih mineralov gline,
- prepustnosti materiala za vodo v povezavi s stopnjo zgoščenosti,
- gibljivosti vode,
- plastičnosti drobnih zrn in
- pogojev uležanja materiala (naravno ali z izkopom in vgraditvijo porušeno).

Zato so potrebne za natančno poznavanje občutljivosti lokalnih materialov na zmrzovanje podrobne laboratorijske raziskave in sicer

- vrednosti CBR po zmrzovanju in odtajanju (CBR_3) in v posebnih primerih tudi
- zmrzinskih dvigov na vzorcih materiala z različno vsebnostjo vode.

Na osnovi rezultatov meritev nosilnosti po postopku CBR_3 (po zmrzovanju in odtajanju) je mogoče razvrstiti materiale v razrede občutljivosti na zmrzovanje, kot je navedeno v razpredelnici 3.

Razpredelnica 3: Razvrstitev materialov po občutljivosti na zmrzovanje na osnovi vrednosti CBR_3

	Razred občutljivosti materiala		
	F1	F2	F3
Vrednost CBR_3	> 30 %	8 .. 30 %	< 8 %

5.2.2.2 Vpliv vode

Poškodbe zaradi zmrzovanja nastanejo zaradi sočasnega učinkovanja mraza in vode. Zato ima voda v voziščni konstrukciji ter njen dotok in odvajanje poseben pomen.

Zaščita materiala, občutljivega na zmrzovanje, proti vdiranju vode in njegovo učinkovito odvodnjavanje je namenjeno ohranitvi nosilnosti in preprečitvi poškodb. To velja za vse načine gradenj na podlagi, ki je občutljiva na zmrzovanje.

Odvisno od izvora vode je treba razlikovati učinke površinske vode, vode, ki vdira s strani in talno vodo.

Skozi nezaščitene bankine in srednji ločilni pas lahko padavinska voda pronica v voziščno konstrukcijo in podlago (posteljico, nasip, temeljno tlo).

Vodo, ki vdira s strani, je mogoče uspešno in v celoti odvesti samo z učinkovitim globinskim odvodnjavanjem (drenažami).

Soodvisnost oddaljenosti meje zmrzovanja od talne vode in poškodb zaradi zmrzovanja je zelo zapletena. Talna voda se lahko v sicer malo prepustnih vezljivih zemljinah kapilarno dvigne zelo visoko. Ker pa je zemljina malo prepustna, je količina kapilarno dvignjene vode bolj ali manj omejena, kar nevarnost poškodb zmanjšuje.

Vpliv vode je mogoče oceniti kot velik, če je gladina talne vode v obdobju zmrzovanja trajno ali tudi samo občasno manj kot 2 m pod planumom posteljice. Ni ga pa mogoče popolnoma izključiti niti če je gladina talne vode mnogo globlje. Obstoji možnost, da že delež vode (vlage) v materialu v podlagi zadostuje, da se voda koncentrira v obliki plasti ledu.

5.2.2.3 Vpliv prometa

V obdobju zmrzovanja je nosilnost materiala povečana. Zato ni neposredne nevarnosti za nastanek poškodb zaradi prometnih obremenitev.

V obdobju odtajanja lahko povzročijo prometne obremenitve poškodbe na vozišču, ki nima zagotovljene primerne nosilnosti. V takšnih pogojih je odločilna za poškodbe predvsem osna obremenitev vozil, samo v manjši meri tudi gostota prometa.

5.3 Ukrepi proti poškodovanju

Zaščita ceste proti poškodbam zaradi zmrzovanja in odtajanja je potrebna, če istočasno obstojita dva pogoja:

- material je občutljiv na zmrzovanje (F2, F3)
- prosta kapilarna ali adsorptivno vezana voda sega v območje zmrzovanja in količina zadostuje za nastanek ledu.

Ukrepi za zaščito morajo biti tako načrtovani, da je z njimi najmanj eden od navedenih pogojev za nastanek poškodb izključen.

5.3.1 Zmanjšanje učinkov mraza

Učinke zmrzovanja je mogoče zmanjšati, če ostane sneg na vozišču ali če se namesto soli za tajanje uporabi kamnite posipne materiale. To pa je seveda mogoče samo na cestah z manjšim prometom, če varnost prometa dopušča.

5.3.2 Odvodnjavanje

Odvodnjavanje vozne površine, voziščne konstrukcije, posteljice, nasipov in temeljnih tal mora biti vedno zagotovljeno. Zato je predvsem treba skrbeti za ustrezno stanje naprav za odvodnjavanje.

Z rednim vzdrževanjem ceste je mogoče poškodbe zaradi zmrzovanja zmanjšati in jih odstraniti, ne pa tudi vzrokov zanje.

Pri manj občutljivih materialih na zmrzovanje mora znašati prečni nagib planuma najmanj 2,5 %, pri bolj občutljivih (vezljivih) materialih pa najmanj 4 %. Večji hidravlični padec zagotavlja ustrezno krajši čas odvodnjavanja.

Če vozna površina ni tesna, lahko padavinska voda prodre v podlago in pospeši poškodbe zaradi zmrzovanja. Zatesnitev je lahko tudi samo začasen vzdrževalni ukrep.

5.3.3 Voziščna konstrukcija

Posebno pozornost je pri izgradnji voziščne konstrukcije treba posvetiti kakovosti zmesi kamnitih zrn za nevezane nosilne plasti, kot je opredeljena v veljavni tehnični regulativi.

Vodovpojnost nevezane zmesi zrn velikosti nad 4 mm mora biti $\leq 0,5$ m.-%.

V primeru, da je zaradi neobstoynosti pri zamrznjenju ali odtajanju potrebna zamenjava dela ali celotne voziščne konstrukcije z neobčutljivim materialom, je treba upoštevati, da je toplotna prevodnost nadomestnega materiala večja kot na zmrzovanje občutljivega

obstoječega materiala. Zato se globina zmrzovanja po zamenjavi materialov praviloma poveča. To je treba upoštevati predvsem ob stabilnih objektih.

5.3.4 Omejitev prometnih obremenitev

Ceste, pri katerih so v območju globine prodiranja mraza vgrajeni materiali, ki niso odporni na zmrzovanje, ali pa bodo zaradi gospodarnosti takšni materiali vgrajeni, je mogoče v veliki meri zavarovati proti poškodbam v obdobju odtajanja z omejitvijo osnih obremenitev vozil ali celo popolno zaporo za promet. Trajanje omejitev je odvisno od poteka odtajanja, obsega zmeščanja podlage in urejenosti naprav za odvodnjavanje. Potrebne informacije o časovnem poteku sprememb nosilnosti omogočajo usklajene meritve podajnosti z Benkelmanovo gredjo, v času trajanja odjuge tudi vsakodnevno.

Ljubljana, april 2003

