

Toplotno izoliranje zemljine po obodu nizko energijskih hiš (NEH) in pasivnih hiš (PH)

Pri izgradnji NEH in PH se pri temeljenju običajno uporabi temeljna plošča, zabetonirana na plast nosilne toplotne izolacije iz ekstrudiranega ali ekspandiranega polistirena. Pri tem globina temeljenja običajno ne seže pod globino zmrzovanja tal in v zimskem času obstaja predvsem pri zemljinah in vgrajenih nasipih iz zmrzljivo občutljivih in nedreniranih materialov možnost tvorbe ledenih leč pod obodom temeljne plošče.

Toplotna izolacija pod temeljno ploščo zmanjšuje toplotne izgube stavbe v tla in s tem ogrevanje temeljnih tal na obodnih delih objekta, ki so kritični za tvorbo leč. Formirane leče v tleh lahko poškodujejo toplotni ali hidroizolacijski ovoj stavbe, pri lahkih, nižjih, montažnih objektih lahko povzročijo lokalne dvige oboda, v obdobju tavanja pa izpiranje finih delcev zemljine in s tem nevarnost za diferenčne posedke.

Globina temeljenja

Globino temeljenja določi projektant na podlagi izkušenj, stare karte informativnih globin prodiranja mraza h_m (DRSC TSC 06.512:2003) ali skladno s standardom SIST EN ISO 13793:2001-Toplotne značilnosti stavb - Dimenzioniranje toplotnih lastnosti temeljev proti dviganju zaradi zmrzovanja. Globina temeljenja je zaradi varnosti običajno še 10 cm globlja od globine zmrzovanja.

Glede na to, da karta informativnih globin prodiranja mraza ne upošteva nadmorske višine lokacije objekta, je edina merodajna računsko določljiva metoda določitev globine zmrzovanja po standardu SIST EN ISO 13793:2001. Slabost te metode pa je, da sta za izračun potrebna dva, zaradi pomanjkanja podatkov težko določljiva meteorološka vhodna parametra in sicer indeks zmrzovanja in povprečna letna temperatura zraka. Oba parametra je potrebno v primerih trajnih konstrukcij privzeti za dobo petdesetih let.

Globina zmrzovanja H_0 se po standardu določi po formuli:

$$H_0 = (7200 * F_d * \lambda_f / (L + C * \theta_{povp,e}))^{1/2}$$

Pri čemer so:

- F_d projektni indeks zmrzovanja v $K \cdot h$
- λ_f toplotna prevodnost zmrznjene zemljine v $W/m \cdot K$
- L latentna toplota zmrzovanja vode v zemlji na volumen zemljine J/m^3
- C toplotna kapacitivnost nezamrznjene zemljine na volumen zemljine $J/m^3 \cdot K$
- $\theta_{povp,e}$ povprečna letna temperatura zunanjega zraka

Za povprečno, homogeno, zmrzljivo občutljivo zemljino, suhe prostorninske teže $1100-1600 \text{ kg/m}^3$ in stopnje zasičenosti $>80\%$ so privzete vrednosti po standardu $\lambda_f = 2,5 \text{ W/m} \cdot K$, $L = 150 \cdot 10^6 \text{ J/m}^3$, $C = 3 \cdot 10^6 \text{ J/m}^3 \cdot K$. V kolikor v zgornjo formulo vstavimo še izračunane vrednosti za F_d in $\theta_{povp,e}$ na primer za lokacijo Ljubljane, dobimo globino zmrzovanja $0,86 \text{ m}$. Če privzamemo, da klima v osrednji Sloveniji predstavlja povprečno celinsko klimo v državi, je očitno, da

bodo za večino NEH in PH na področju Slovenije potrebni ukrepi za preprečitev poškodb zaradi zmrzovanja tal.

Indeks zmrzovanja

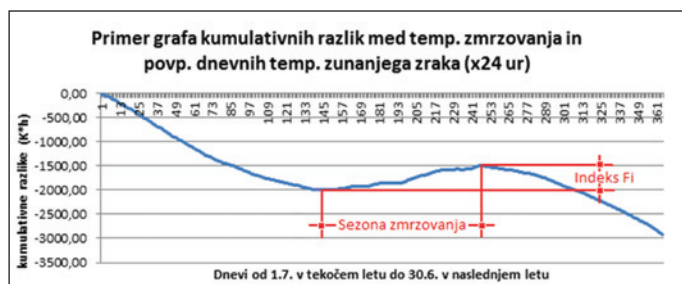
Indeks zmrzovanja je osnovni parameter za določitev ukrepov pri toplotni izolaciji zemljin in za predmetno lokacijo pokazatelj intenzitete zmrzovanja tal za posamezno zimsko sezono. Indeks zmrzovanja je po definiciji štiriindvajsetkratnik vsote razlik med temperaturo zmrzovanja in povprečne dnevne temperature zunanjega zraka oziroma se izraža z zmnožkom časa zmrzovanja in kumulativnih temperaturnih razlik ($K \cdot h$) v sezoni zmrzovanja:

$$F_i = 24 * \sum_{j=1..m} (\theta_f - \theta_{d,j})$$

Pri čemer so:

- F_i indeks zmrzovanja za eno sezono zmrzovanja v $K \cdot h$
- θ_f temperatura zmrzovanja (0°C)
- $\theta_{d,j}$ povprečna dnevna temperatura zunanjega zraka za dan j v $^\circ \text{C}$
- m število dni v sezoni zmrzovanja

Ker se temeljna tla v prehodih v zimski čas zaradi občasnih toplih obdobji odtajajo, se sezona zmrzovanja šteje od trenutka, ko kumulativna vrednost diferenc iz zgornje enačbe postane zvezno pozitivna skozi sezono zmrzovanja. Grafično lahko sezono zmrzovanja ponazorimo, če na absciso naneseemo dneve v letu, od poletja do poletja, na ordinato pa kumulativne razlike med temperaturo zmrzovanja in povprečne dnevne temperature zunanjega zraka, množene s 24 ur. Dokler so zunanje temperature pozitivne, linija na grafu pada. Z nastopom temperatur pod lediščem začne graf, po nekaj nihanjih v prehodnih obdobjih, zaradi prištevanja pozitivnih razlik naraščati in narašča do obdobja pozitivnih temperatur, ko se zaradi dodanih negativnih razlik ponovno usmeri navzdol (slika 1).

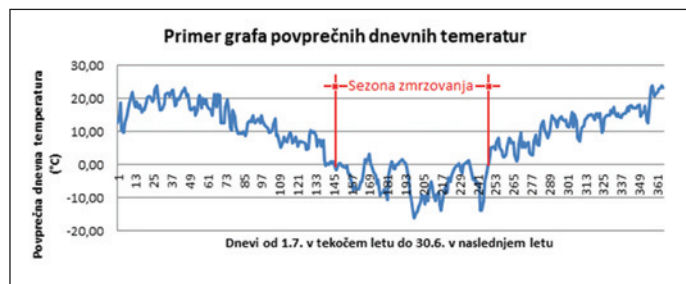


Primer grafa kumulativnih razlik

slika 1

Indeks zmrzovanja za posamezno sezono je razlika na ordinati med ekstremoma na grafu. Sezono zmrzovanja pa odčitamo na abscisi kot čas med ekstremoma.

Sezono zmrzovanja se lahko odčita tudi iz grafa povprečnih dnevni temperatur (slika 2) kjer se primerja površine grafa nad in pod temperaturo zmrzovanja. Pričetek in konec sezone zmrzovanja je na točkah levo od prve in desno od zadnje prevladujoče površine grafa pod absciso.



slika 2

Primer grafa povprečnih dnevni temperatur

Projektni indeks zmrzovanja F_d je definiran kot F_n in izračunan statistično tako, da je možna njegoa prekoračitev le enkrat v »n« letih. Izračun indeksa je s pomočjo Gumbelove distribucije podrobno razložen v samem standardu. Standard zahteva, da se za trajne konstrukcije pri izračunu indeksa zmrzovanja upošteva povratna doba petdeset let ($F_d = F_n = F_{50}$). Postopek je torej tak, da moramo za vsako lokacijo najprej izračunati letne sezonske indekse za predpisano obdobje, nato pa na podlagi teh vrednosti statistično določiti projektni indeks zmrzovanja. Na sliki 3 je prikazano gibanje sezonskega indeksa zmrzovanja za obdobje petdesetih let (1961-2010) za Ljubljano.



slika 3

Gibanje sezonskega indeksa zmrzovanja v obdobju 1961-2010

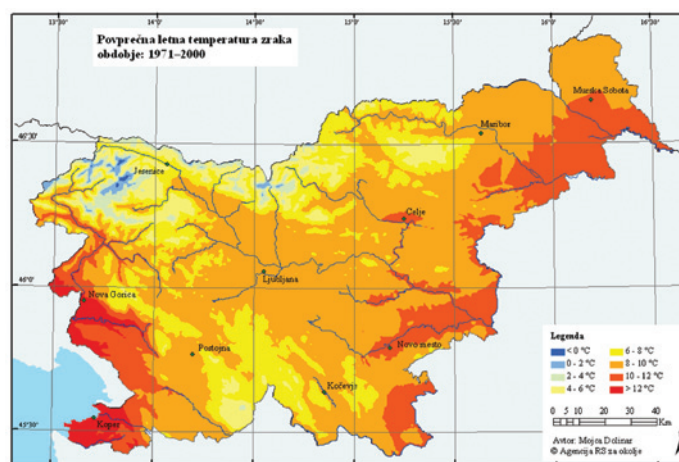
V tabeli 1 so prikazani izračunani projektni indeksi zmrzovanja za posamezne lokacije v Sloveniji in pripadajoče povprečne letne temperature zraka (vir: arhiv ARSO, povprečna dnevna temperatura zraka po posameznih meteoroloških postajah). Čeprav ni neposredne povezave med projektnim indeksom zmrzovanja in povprečno letno temperaturo zraka, je mogoče iz izračunanih vrednosti z omejeno natančnostjo predlagati območja projektnega indeksa zmrzovanja glede na povprečno letno temperaturo zraka. Na tak način lahko projektni indeks zmrzovanja ocenimo na podlagi dostopne karte povprečnih letnih temperatur zraka za obdobje 1971-2000 (vir: ARSO, slika 4) in v skladu z zahtevami standarda določimo potrebne ukrepe na lokaciji.

Velja pa poudariti, da toplotno izoliranje zemljine pri plitvejših globinah temeljenja ni edini ukrep za preprečitev zmrzovanja tal. Možna je tudi izvedba zamenjave tal pod temeljno ploščo z dreniranim in zmrzlinso odpornim nasipnim materialom do globine zmrzovanja.

Indeksi zmrzovanja po lokacijah in predlog območij

Indeksi zmrzovanja (za dobo 50 let) po lokacijah in predlog območij:					
Lokacija:	NV (m)	Povpr. letna temp. zraka $\theta_{\text{povpr.}}$ (°C)	Povp. letna temp. zraka (°C)-ARSO (1971-2000)	Index zmrzovanja F_d (°K*h)	Predlagano območje projektnega indeksa zmrzovanja F_d (°K*h)
Koper	30	13,7	>12	687	<2000
Nova Gorica	90	12,3		1.526	
Ljubljana	300	10,4	10-12	7.497	2.000-9.000
Maribor	270	10,2		8.129	
Novo mesto	220	10		8.439	
Slovenj Gradec	450	8,2	8-10	13.551	9.000-13.000
Murska Sobota	180	9,7		11.436	
Nova vas na Blokah	720	7,3	6-8	13.977	13.000-16.000
Vojsko	1070	6,4		14.842	
Zgornje Jezersko	890	6,4		14.317	
Komna	1520	4,2	4-6	20.396	16.000-21.000
Kredarica	2510	-1,3	<4	42.924	>21.000

Tabela 1



slika 4

Povprečna letna temperatura zraka 1971-2000 (vir: ARSO)

Ločitev na ogrevane in neogrevane ali toplotno izolirane objekte

Standard v točki 8.3.3. glede določitve toplotne izolacije zemljine ločuje med ogrevanimi in neogrevanimi ali toplotno izoliranimi objekti. V kolikor je povprečna toplotna upornost poda na terenu izračunana za sklope, ki se nahajajo ob obodu objekta večja od $5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$, se morajo ukrepi za toplotno izolacijo zemljin izvesti enako kot za neogrevane objekte.

Če zanemarimo toplotno upornost dela konstrukcijskega sklopa nad toplotno izolacijo temeljne plošče, je pogoj $5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ pri običajni toplotni izolaciji z $\lambda = 0.036 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ dosežen pri debelini toplotne izolacije temeljne plošče 18 cm, pri upoštevanju toplotnih upornosti ostalih slojev nad temeljno ploščo pa še pri manjši debelini. Torej, kot je omenjeno že v uvodu, pri NEH in PH debelina toplotne izolacije preprečuje segrevanje tal pod objektom in je glede na standard po obodu objekta potrebno vgraditi pas toplotne izolacije po določilih za neogrevane objekte.

Kot alternativo temu določilu standard dopušča podrobno numerično analizo oboda z ustrezno programsko opremo. Numerično analizo pa je potrebno izvesti tudi v primeru, če so lastnosti zemljine na lokaciji objekta različne od predpostavljenih, navedenih v poglavju o globini zmrzovanja.

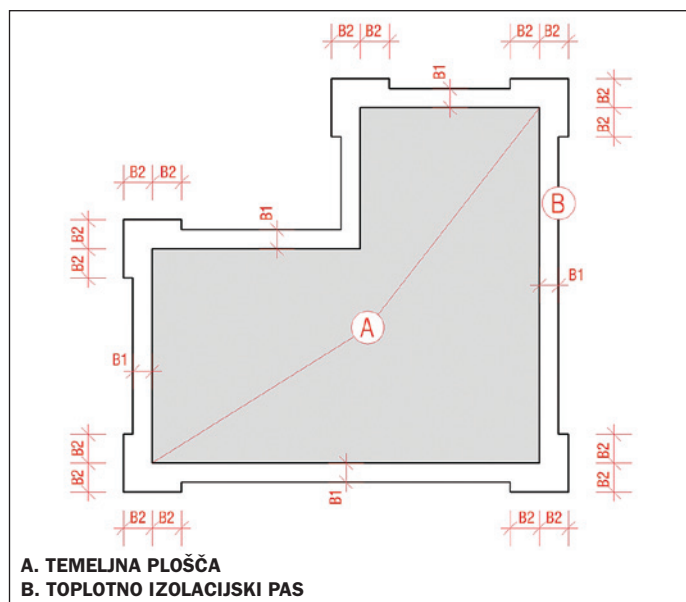
Določitev geometrije toplotno izolativnega pasu zemljine

Geometrijo toplotno izolativnega pasu zemljine po obodu temeljnih plošč NEH in PH standard podaja v poglavju 10.3. Geometrija je odvisna od projektnega indeksa zmrzovanja, globine temelja in povprečne letne temperature zraka. Glede na ocenjeno soodvisnost F_d in $\theta_{povp,e}$ iz tabele 1 in izbrano globino dna temelja 40 cm (temeljna plošča s pripadajočo toplotno izolacijo pod ploščo) se na podlagi določil standarda predlaga uporaba geometrijskih razmerij po tabeli 2 in shemi postavitve v tlorisu po sliki 5. Detajl polaganja v prerezu je razviden iz slike 6. Mere v tabeli so prilagojene običajni dimenziji plošče toplotne izolacije 50x100 cm s ciljem čim manjšega odpadka pri rezanju. Združeno je tudi območje povprečne letne temperature 8-10 °C in 10-12 °C, saj vgradnja plošč ožjih od 50 cm zaradi prirezovanja in odpadka ni smiselna, standard pa pri tovrstnih objektih tudi ne predvideva nižji indeks zmrzovanja od 10.000 K*h. Širina 50 cm je za povprečne letne temperature zraka okoli 8 °C nekoliko premajhna vendar se pri NEH in PH predpostavlja vgradnja tudi bočne toplotne izolacije temeljne plošče, ki prispeva k dejanski širini toplotne izolacije zemljine.

Širina in debelina toplotno izolativnega pasu zemljine

Povprečna letna temperatura zraka (°C)-ARSO (1971-2000)	Širina pasu JUBIZOL EPS F Strong-S0		Debelina JUBIZOL EPS F Strong-S0 (cm)
	B1 (cm)	B2 (cm)	
>12	0	0	0
8-12	50	75	6
6-8	75	100	8
4-6	100	125	8
<4	Temeljenje nad globino zmrzovanja se ne priporoča brez podrobnega izračuna		

Tabela 2



Shema polaganja toplotne izolacije v tlorisu

slika 5

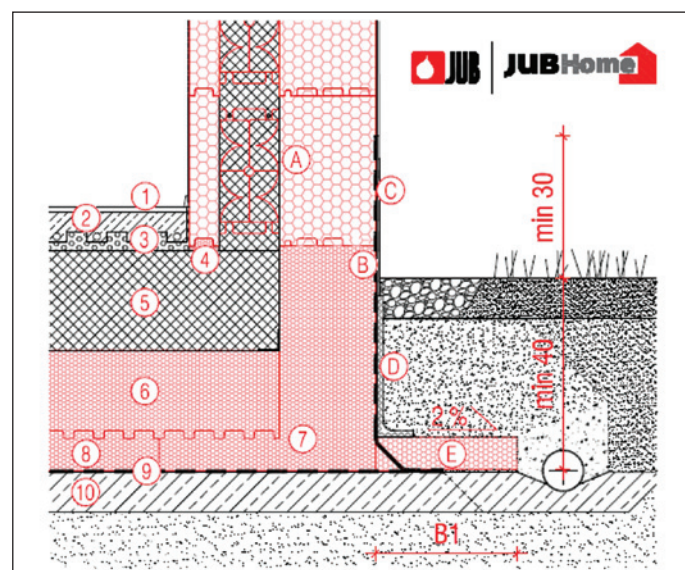
Izvedba

Izolacijo se izvede pasovno s prosto položenimi toplotno izolacijskimi ploščami Jubizol EPS F Strong-S0 v podani širini in debelini. Pri tem je potrebno pas toplotne izolacije ob zunanjih vogalih temeljnih plošč razširiti zaradi obojestranskega vpliva zmrzovanja.

Toplotno izolacijske plošče se položi tikoma do bočne toplotne izolacije temeljne plošče, z 2 % nagibom navzven in čelno tesno

stikovane. Dno toplotno izolacijskih plošč je poravnano z dnom toplotne izolacije temeljne plošče. Prostor pod ploščo se izravna z min. 10 cm gramoznim materialom brez glinenih primesi, nad ploščo pa se zagotovi min. 30 cm zemeljskega zasipa. V primeru izvedbe pohodnega tlaka okoli objekta nad ploščami toplotne izolacije zadošča 20 cm zasutja. V kolikor je dno toplotne izolacije temeljne plošče v večji globini od 40 cm, se do globine zmrzovanja širina toplotno izolativnega pasu lahko sorazmerno zožuje.

Toplotno izolacijski pas zemljine mora biti vrisan v projektu izvedenih del. Lastnik objekta mora biti seznanjen z namembnostjo in lego pasu toplotne izolacije po obodu objekta.



Detajl polaganja v prerezu

slika 6

