

Osnove projektiranja konstrukcij

Erika KOZEM ŠILIH
Mateja DRŽEČNIK

Zbirka
vaj



Univerzitetna založba
Univerze v Mariboru



Univerza v Mariboru

Fakulteta za gradbeništvo,
prometno inženirstvo in arhitekturo

Osnove projektiranja konstrukcij

Zbirka vaj

Avtorici

Erika Kozem Šilih

Mateja Držečnik

Oktober 2023

| | |
|--|--|
| Naslov <i>Title</i> | Osnove projektiranja konstrukcij <i>Basis of Structural Design</i> |
| Podnaslov <i>Subtitle</i> | Zbirka vaj <i>Exercise Book</i> |
| Avtorici <i>Authors</i> | Erika Kozem Šilih (Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo, prometno inženirstvo in arhitekturo) Mateja Držečnik (Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo, prometno inženirstvo in arhitekturo) |
| Recenzija <i>Review</i> | Miroslav Premrov (Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo, prometno inženirstvo in arhitekturo) Boštjan Brank (Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo) |
| Lektoriranje <i>Language editing</i> | Eva Horvat |
| Tehnični urednik <i>Technical editor</i> | Jan Perša (Univerza v Mariboru, Univerzitetna založba) |
| Oblikovanje ovitka <i>Cover designer</i> | Jan Perša (Univerza v Mariboru, Univerzitetna založba) |
| Grafične priloge <i>Graphic material</i> | Kozem Šilih, Držečnik, 2023 |
| Grafika na ovitku <i>Cover graphics</i> | A black and white photo of a tall building, foto: Paulina Milde-Jachowska iz unsplash.com, CC0, 2022 |

Založnik **Univerza v Mariboru**
Published by **Univerzitetna založba**
Slomškov trg 15, 2000 Maribor, Slovenija
<https://press.um.si>, zalozba@um.si

Izdajatelj **Univerza v Mariboru**
Issued by **Fakulteta za gradbeništvo, prometno inženirstvo in arhitekturo**
Smetanova ulica 17, 2000 Maribor, Slovenija
<https://fgpa.um.si>, fgpa@um.si

Izdaja
Edition Prva izdaja

Vrsta publikacije
Publication type E-knjiga

Dostopno na
Available at <http://press.um.si/index.php/ump/catalog/book/820>

Izdano
Published at Maribor, oktober 2023



© Univerza v Mariboru, Univerzitetna založba
/ University of Maribor, University Press

Besedilo / *Text* © Kozem Šilih, Držečnik, 2023

To delo je objavljeno pod licenco Creative Commons Priznanje avtorstva-Nekomercialno-Brez predelav 4.0 Mednarodna. / *This work is licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs 4.0 International License.*

Uporabnikom je dovoljeno reproduciranje brez predelave avtorskega dela, distribuiranje, dajanje v najem in priobčitev javnosti samega izvirnega avtorskega dela, in sicer pod pogojem, da navedejo avtorja in da ne gre za komercialno uporabo.

Vsa gradiva tretjih oseb v tej knjigi so objavljena pod licenco Creative Commons, razen če to ni navedeno drugače. Če želite ponovno uporabiti gradivo tretjih oseb, ki ni zajeto v licenci Creative Commons, boste morali pridobiti dovoljenje neposredno od imetnika avtorskih pravic.

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

CIP - Kataložni zapis o publikaciji
Univerzitetna knjižnica Maribor

624.04 (075.8) (0.034.2)

KOZEM Šilih, Erika

Osnove projektiranja konstrukcij [Elektronski vir] : zbirka vaj / avtorici Erika Kozem Šilih, Mateja Držečnik. - 1. izd. - E-knjiga. - Maribor : Univerza v Mariboru, Univerzitetna založba : Fakulteta za gradbeništvo, prometno inženirstvo in arhitekturo, 2023

Način dostopa (URL) : <https://press.um.si/index.php/ump/catalog/book/820>

ISBN 978-961-286-794-2 (PDF)

doi: 10.18690/um.fgpa.2.2023

COBISS.SI-ID 169273603

ISBN 978-961-286-794-2 (pdf)

DOI <https://doi.org/10.18690/um.fgpa.2.2023>

Cena Brezplačni izvod
Price

Odgovorna oseba založnika prof. dr. Zdravko Kačič,
For publisher rektor Univerze v Mariboru

Citiranje Kozem Šilih, E., Držečnik, M. (2023). *Osnove projektiranja*
Attribution *konstrukcij: zbirka vaj*. Univerza v Mariboru, Univerzitetna založba. doi: 10.18690/um.fgpa.2.2023

Kazalo

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Osnovni principi projektiranja gradbenih konstrukcij..... | 3 |
| 1.1 | Metoda mejnega stanja nosilnosti..... | 5 |
| 1.2 | Metoda mejnega stanja uporabnosti | 11 |
| 2 | Določitev stalne obtežbe montažnega stropa | 17 |
| 3 | Določitev obtežbe snega in koeficienta hribovitosti | 19 |
| 4 | Določitev obtežb za garažo za osebna vozila..... | 25 |
| 4.1 | Zasnova..... | 25 |
| 4.2 | Analiza obtežbe po SIST EN 1991-1 [2] | 26 |
| 4.3 | Sneg – spremenljiva obtežba po SIST EN 1991-1-3 [3] | 27 |
| 4.4 | Veter – spremenljiva obtežba po SIST EN 1991-1-4 [4]..... | 29 |
| 4.5 | Analiza potresne obtežbe po SIST EN 1998-1 [5]..... | 40 |
| 4.6 | Kombiniranje obtežb oz. obremenitev po SIST EN 1990 [1] | 48 |
| 5 | Določitev obtežb za trietažni večnamenski leseni stanovanjski objekt | 51 |
| 5.2 | Analiza obtežbe po SIST EN 1991-1 [2] | 52 |
| 5.3 | Veter – spremenljiva obtežba po SIST EN 1991-1-4 [4]..... | 53 |
| 5.4 | Analiza potresne obtežbe po SIST EN 1998-1 [5]..... | 65 |
| | Literatura | 77 |

Predgovor

Zbirka vaj z naslovom »Osnove projektiranja konstrukcij – zbirka vaj« je namenjena kot osnovno gradivo in pomoč pri študiju dodiplomskim študentom Fakultete za gradbeništvo, prometno inženirstvo in arhitekturo (UM FGPA) pri predmetu »Osnove projektiranja konstrukcij« visokošolskega strokovnega študijskega programa Gradbeništvo ter univerzitetnega študijskega programa Gradbeništvo, Gospodarsko inženirstvo in Arhitektura.

Celotna zbirka vaj je rešena z uporabo in razlago sledečih evropskih standardov: *SIST EN 1990:2004 (SI)* »Osnove projektiranja konstrukcij«, *SIST EN 1991-1-1:2004 (SI)* »Evrokod 1: Vplivi na konstrukcije – 1.1.del: Splošni vplivi – Prostorninske teže, lastna teža, koristne obtežbe stavb«, *SIST-EN 1991-1-3:2004 (SI)* »Evrokod 1: Vplivi na konstrukcije – 1.3.del: Splošni vplivi – Obtežba snega«, *SIST-EN 1991-1-4:2004 (SI)* »Evrokod 1: Vplivi na konstrukcije – 1.4. del: Splošni vplivi – Vplivi vetra« ter *SIST-EN 1998-1 2005 (SI)* »Evrokod 8: Projektiranje potresnoodpornih konstrukcij – 1.del: Splošna pravila, potresni vplivi in pravila za stavbe«.

V zbirki vaj so podani računski primeri, ki so namenjeni razumevanju in utrjevanju teoretičnih osnov s področja osnovnih principov projektiranja gradbenih konstrukcij, analize gradbenih obtežb in potresnega inženirstva, ki so osnova za razumevanje obnašanja gradbenih konstrukcij. Za teoretično razlago rešenih primerov avtorici predlagava uporabo univerzitetnega učbenika »Osnove projektiranja konstrukcij«, ki podrobneje obravnava tematiko zbirke vaj.

Avtorici upava, da bo zbirka vaj v pomoč študentom pri učenju in utrjevanju znanja s področja projektiranja gradbenih konstrukcij ter jim služila kot koristen napotek pri nadaljnjem delu.

1 Osnovni principi projektiranja gradbenih konstrukcij

Gradbene konstrukcije je potrebno projektirati tako, da bodo v predvideni življenjski dobi s primerno zanesljivostjo in s primernimi vzdrževalnimi stroški prenašale vse vplive, ki nastopijo med gradnjo in uporabo, ter da bodo lahko služile svojemu namenu.

Gradbeno konstrukcijo je potrebno projektirati tako, da bo dovolj:

- konstrukcijsko odporna,
- požarno odporna,
- funkcionalno uporabna,
- trajna.

Zahtevano zanesljivost gradbene konstrukcije v okviru standarda SIST EN 1990 [1] je potrebnodoseči:

1. S projektiranjem v skladu s standardi SIST EN 1990 do SIST EN 1999.
2. Z ustreznimi ukrepi pri gradnji in vodenju kakovosti.

Seveda ima vsaka konstrukcija svojo zahtevano stopnjo zanesljivosti, odvisno predvsem od namembnosti in pomembnosti objekta. V splošnem je izbira stopnje zanesljivosti posamezne konstrukcije odvisna od:

- možnega vzroka in/ali načina doseganja mejnega stanja,
- možnih posledic odpovedi (porušitve) zaradi tveganja izgube življenj, večjih telesnih poškodb in materialnih poškodb konstrukcije ter ekonomskih izgub,
- javne nenaklonjenosti proti odpovedi (porušitvi) konstrukcije,
- stroškov in postopkov, potrebnih za zmanjšanje tveganja odpovedi (porušitve) konstrukcije.

Vsaka posamezna konstrukcija ima tudi različni stopnji zanesljivosti glede na konstrukcijsko odpornost in uporabnost. Pri tem je zahtevana stopnja zanesljivosti na odpornost (mejno stanje nosilnosti) ponavadi večja od zanesljivosti na uporabnost (mejno stanje uporabnosti).

Stopnja zanesljivosti posamezne konstrukcije je določena z razvrstitvijo v določen razred zanesljivosti:

- konstrukcije kot celote – globalna zanesljivost konstrukcije,
- posameznih konstrukcijskih elementov – lokalna zanesljivost.

Pri tem je globalna zanesljivost konstrukcije seveda večja od lokalne. Pri projektiranju gradbenih konstrukcij večkrat uporabimo tako imenovani »*princip varovalke*«, kjer namenoma predpišemo manjšo odpornost posameznih manj pomembnih konstrukcijskih elementov, v katerih se troši kinetična in potencialna energija, ter tako zaščitimo pomembnejše konstrukcijske elemente in konstrukcijo kot celoto.

Projektna življenjska doba konstrukcije je v glavnem odvisna od njene namembnosti. V preglednici 1-1 je podanih pet priporočenih kategorij, na osnovi katerih so podane priporočljive projektne življenjske dobe gradbenih konstrukcij ali njihovih sestavnih nosilnih delov z dodanimi primeri.

Preglednica 1.1: Priporočene projektne življenjske dobe konstrukcij, [1].

| Kategorija | Priporočena projektna življenjska doba v letih | Primeri |
|------------|--|---|
| 1 | 10 | Začasne konstrukcije. |
| 2 | 10 do 25 | Zamenljivi konstrukcijski deli, na primer žerjavni nosilci, ležišča. |
| 3 | 15 do 30 | Kmetijske in podobne konstrukcije. |
| 4 | 50 | Stavbe in druge običajne konstrukcije |
| 5 | 100 | Spomeniške stavbe, mostovi in druge gradbene inženirske konstrukcije. |

1.1 Metoda mejnega stanja nosilnosti

V gradbenih konstrukcijah danes prevladuje koncept dimenzioniranja glede na napetostne pogoje, ki zahtevajo določitev potrebnih karakteristik prereza po *mejnih stanjih nosilnosti (MSN)*. Pod mejna stanja nosilnosti uvrščamo naslednja stanja konstrukcije, ki jih je potrebno zagotoviti, [7]:

- varnost ljudi in/ali
- varnost konstrukcije.

Glede na razmere je potrebno preveriti naslednja mejna stanja nosilnosti:

- nosilnost konstrukcije kot izgubo ravnotežja konstrukcije ali njenega dela kot togega telesa,
- stabilnost konstrukcije,
- odpoved zaradi utrujenosti ali drugih časovno odvisnih učinkov.

Pri tej metodi obravnavamo prerez elementa s fiktivno povečanimi računskimi obremenitvami, in s tem posledično seveda z večjimi napetostmi. To pomeni, da se pri fiktivno povečani obremenitvi (E_d), ki jo bomo nadalje poimenovali tudi projektna oziroma faktorirana obremenitev, material prereza večinoma več ne obnaša elastično, temveč lahko cel prerez ali del prereza (odvisno od vrste obremenitve) preide v nelinearno materialno obnašanje, saj napetosti presežejo karakteristično mejo plastičnosti ($f_{y,k}$).

Seveda pa v večini primerov velja, da je fiktivno povečana (projektna) napetost v prerezu ($\sigma_{ij,d}$) manjša od projektne trdnosti materiala ($f_{ij,d}$). Naveden pogoj zapišemo v obliki:

$$\sigma_{ij,d} \leq f_{ij,d} \quad (1.1)$$

Enačbo (1.1) seveda razdelimo posebej v pogoj za normalne in tangencialne napetosti. Če v enačbi (1.1) dodatno upoštevamo še geometrijske in materialne karakteristike prereza, lahko pogoj mejnega stanja nosilnosti zapišemo v nekoliko transformirani obliki:

$$E_{d,i} \leq R_{d,i} \quad (1.2)$$

pri čemer je projektna odpornost prereza ($R_{d,i}$) funkcija projektne trdnosti materiala in karakteristik prereza (a_d), indeks i pa se nanaša na vrsto obremenitve (osna sila, prečna sila, upogibni ali torzijski moment oziroma kombinacija teh obremenitev):

$$R_{d,i} = R_d(f_{ij,d}, a_{d,i}) \quad (1.3)$$

Izraza (1.1) in (1.2) torej predstavljata osnovni (ne)enačbi kriterija mejnega stanja nosilnosti, zapisanega v napetostni oziroma silni obliki.

PROJEKTNA OBREMENITEV (E_d)

Izračun dejanskih notranjih statičnih količin, ki delujejo na prereze gradbenih elementov, je predmet statične analize. Vektor dejanskih obremenitev E je za linijske elemente v splošnem sestavljen iz osnih (N), prečnih (V) in upogibnih ter torzijskih (M) obremenitev, torej lahko vektor dejanskih obremenitev, ki delujejo na prečni prerez elementa, v splošnem zapišemo, [7]:

$$\vec{E} = \{F_i\} = \{N_x, V_y, V_z, M_x, M_y, M_z\}^T \quad (1.4)$$

Pripadajočo fiktivno povečano projektno (računsko) vrednost ($F_{i,d}$) poljubne komponente obremenitve v vektorju sil (1.4) dobimo tako, da vrednost dejanske obremenitve (F_i) pomnožimo s pripadajočim parcialnim varnostnim koeficientom ($\gamma_{F,i}$):

$$F_{od} = \gamma_{F,i} \cdot F_i \quad (1.5)$$

Ker je obremenitev F_i posledica neke obtežbe (q), ki deluje na konstrukcijo, je koeficient $\gamma_{F,i}$ odvisen predvsem od vrste obtežbe in verjetnosti, da se obravnavana obtežba v času uporabe v svoji polni predvideni vrednosti pojavi na konstrukciji. V splošnem tako velja, da manjša ko je verjetnost, da maksimalno vrednost obravnavane obtežbe točno predvidimo, večji varnostni koeficient bomo upoštevali. Posledično seveda velja, da so varnostni koeficienti za spremenljivo obtežbo večji kot za stalno, katere vrednosti običajno lažje določimo iz specifičnih tež in dimenzij elementov.

Istočasno moramo pri projektiranju zlasti večjih objektov tudi paziti, da objekt ne preprojektiramo. To pomeni, da pri upoštevanju obtežb, za katere obstaja manjša verjetnost, da bodo v času uporabe objekta nastopile v svoji maksimalni predvideni vrednosti (potres, nezgodne situacije ...), upoštevamo manjše koeficiente varnosti kot za obtežbe, ki se bodo z veliko verjetnostjo s svojo polno vrednostjo pojavile na objektu (stalna, koristna obtežba ...).

SIST EN 1990 tako glede na verjetnost hkratnega delovanja različnih obremenitev podaja naslednje obtežne kombinacije/projektne stanja:

a) Stalne in začasne obtežne kombinacije (osnovne kombinacije)

$$E_d = \sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} \cdot G_{kj} + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \sum_{i \geq 2} \gamma_{Qi} \cdot \Psi_{0i} \cdot Q_{ki} \quad (1.6)$$

Vrednosti G_{kj} predstavljajo stalne, Q_{ki} pa spremenljive obremenitve v obravnavanem prečnem prerezu. Koeficienti γ_{Gj} so varnostni koeficienti pri stalni obremenitvi, γ_{Qi} pa pri spremenljivi obremenitvi. Kot smo že omenili, je upoštevana varnost za neugodno delovanje spremenljive obtežbe v splošnem večja kot pri stalni obtežbi. SIST EN 1990 tako predpisuje:

- - neugodno delovanje obtežb: $\gamma_{Gj} = 1.35$, $\gamma_{Qi} = 1.50$
- - ugodno delovanje obtežb: $\gamma_{Gj} = 1.00$, $\gamma_{Qi} = 0$

V izogib predimenzioniranja elementov pri hkratnem delovanju več spremenljivih obtežb njihove vrednosti računsko reduciramo s koeficienti Ψ_{0i} , ki so odvisni od vrste spremenljive obtežbe. Vrednosti, kot jih določa *SIST EN 1990*, so podane v preglednici 1.2.

Po enačbi (1.4) dobimo maksimalno projektno obremenitev v prečnem prerezu, če velja $Q_{k1} \geq Q_{ki}$, kar pomeni, da pri hkratnem delovanju več spremenljivih obtežb ne reduciramo le največje izmed spremenljivih obremenitev. Ker pa prečne prereze dimenzioniramo glede na maksimalne normalne in tangencialne napetosti, ki so največkrat odvisne od hkratnega delovanja osnih, prečnih, upogibnih in torzijskih obremenitev, je včasih težko direktno iz obremenitev določiti maksimalno merodajno napetostno količino. Zato so predhodne verzije evrokodov podajale kot opcijo tudi poenostavitev izraza (1.6) v obliki:

$$E_d \approx \sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} \cdot G_{kj} + 1.35 \cdot \sum_{i \geq 1} Q_{ki} \quad (1.7)$$

kjer torej vse spremenljive obremenitve ne glede na njihov medsebojni velikostni razred globalno pomnožimo z vrednostjo 1.35, kar predstavlja 90 % vrednost globalne varnosti 1.50 za spremenljive obremenitve.

b) Kombinacije z nezgodnimi obtežbami

$$E_d = \sum_{j \geq 1} \gamma_{GAj} \cdot G_{kj} + A_d + \Psi_{11} \cdot Q_{k1} + \sum_{i \geq 2} \Psi_{2i} \cdot Q_{ki} \quad (1.8)$$

Priporočena vrednost za koeficient γ_{GAj} je 1.0, razen če ni drugače določeno z nacionalnimi predpisi. Vrednosti redukcijskih koeficientov Ψ_{1i} in Ψ_{2i} , ki so odvisne od vrste obtežbe, so podane v preglednici 1.2.

c) Kombinacije s potresno obtežbo

$$E_d = \sum_{j \geq 1} G_{kj} + \gamma_I \cdot A_{Ed} + \sum_{i \geq 1} \Psi_{2i} \cdot Q_{ki} \quad (1.9)$$

Priporočena vrednost za koeficient γ_I je 1.0, razen če ni drugače določeno z nacionalnimi predpisi.

Kot je razvidno iz preglednice 1.2, so vrednosti koeficientov Ψ_{1i} in Ψ_{2i} pri vseh obtežbah v splošnem manjše od vrednosti koeficientov Ψ_{0i} . To posledično pomeni, da so upoštevani računski varnostni faktorji pri obtežnih kombinacijah z nezgodnimi in potresnimi obtežbami manjši kot pri kombinaciji z najpogostejšo obtežno kombinacijo – stalne in spremenljive obtežbe. Navedeno dejstvo je povsem razumljivo, saj je verjetnost, da bosta na objektu dejansko nastopili računski obtežni kombinaciji b.) in c.) manjša kot »osnovna« kombinacija a.). Če bi pri kombinacijah b.) in c.) upoštevali iste varnostne koeficiente, bi objekt očitno predimenzionirali. Tako na primer pri obtežni kombinaciji s potresno silo klimatskih obtežb (sneg, veter, temperatura) sploh ne upoštevamo, saj je dejanska verjetnost, da bodo hkrati delovale na objekt, silno majhna. Projektant se z ozirom na posebne lokacije objekta ali posebnih zahtev investitorja sicer lahko odloči, da upošteva hkrati s potresno silo tudi določen delež klimatskih obtežb, vendar se moramo zavedati, da je v statističnem pogledu v tem primeru objekt nekoliko predimenzioniran, [7].

Preglednica 1.2: Priporočene vrednosti redukcijskih koeficientov Ψ za stavbe, [1].

| Vrsta obtežbe | Ψ_0 | Ψ_1 | Ψ_2 |
|---|----------|----------|----------|
| 1. Koristne obtežbe v stavbah | | | |
| kategorija A: bivalni prostori | 0.7 | 0.5 | 0.3 |
| kategorija B: pisarne | 0.7 | 0.5 | 0.3 |
| kategorija C: stavbe, kjer se zbirajo ljudje | 0.7 | 0.7 | 0.6 |
| kategorija D: trgovine | 0.7 | 0.7 | 0.6 |
| kategorija E: skladišča | 1.0 | 0.9 | 0.8 |
| kategorija F: prometne površine vozila teže do 30 kN | 0.7 | 0.7 | 0.6 |
| kategorija G: prometne površine vozila teže med 30 kN in 160 kN | 0.7 | 0.5 | 0.3 |
| kategorija H: strehe | 0 | 0 | 0 |
| 2. Klimatske obtežbe | | | |
| obtežba snega na stavbah (Finska, Islandija, Norveška, Švedska) | 0.7 | 0.5 | 0.2 |
| obtežba snega (države CEN nad 1000 m.n.v.) | 0.7 | 0.5 | 0.2 |
| obtežba snega (države CEN pod 1000 m.n.v.) | 0.5 | 0.2 | 0 |
| obtežba vetra na stavbah | 0.6 | 0.2 | 0 |
| spremembe temperature (ne pri požaru) | 0.6 | 0.5 | 0 |

PROJEKTNA NOSILNOST (R_d)

Projektno nosilnost prereza (R_d) določimo glede na karakteristično nosilnost prereza (R_k), ki jo iz varnostnih razlogov fiktivno zmanjšamo z varnostjo na obnašanje materiala, kar upoštevamo preko koeficienta γ_m in faktorja pretvorbe η v obliki:

$$R_d = \eta \cdot \frac{R_k}{\gamma_m} \quad (1.10)$$

kjer predstavlja γ_m delni faktor lastnosti materiala ali proizvoda, ki upošteva predvsem možnost neugodnih odklonov lastnosti materiala ali proizvoda od njihovih karakterističnih vrednosti, η pa srednjo vrednost faktorja pretvorbe, ki upošteva učinke vlage in temperature ter prostornine in merila.

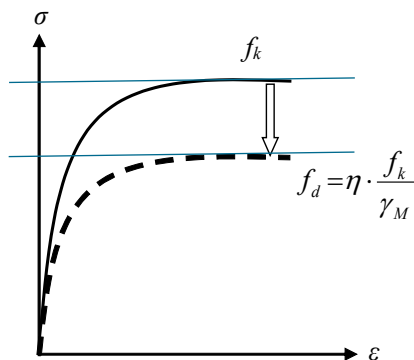
Komponente R_d po osnovni enačbi mejnega stanja nosilnosti pripadajo odgovarjajočim komponentam obremenitev E_d , torej jih lahko analogno po enačbi (1.4) zapišemo po komponentah osnih, prečnih in upogibnih ter torzijskih obremenitev:

$$\vec{R}_d = \{R_{d,i}\} = \{N_{x,Rd}, V_{y,Rd}, V_{z,Rd}, M_{x,Rd}, M_{y,Rd}, M_{z,Rd}\}^T \quad (1.11)$$

Če projektne napetosti primerjamo s projektnimi trdnostmi, enačbo (1.10) zapišemo v obliki:

$$f_d = \eta \cdot \frac{f_k}{\gamma_m} \quad (1.12)$$

kjer predstavlja f_d projektno trdnost materiala, f_k pa karakteristično trdnost (upogibno, tlačno, natezno, strižno) podano glede na klasifikacijo materiala. Shematsko lahko redukcijo karakteristične trdnosti po izrazu (1.12) prikažemo na *Sliki 1.1*.



Slika 1.1: Shematski prikaz redukcije karakteristične trdnosti f_k , [7].

1.2 Metoda mejnega stanja uporabnosti

Pri projektiranju gradbenih konstrukcij po sodobnih standardih je potrebno razen napetostnim kriterijem, ki zagotavljajo varnost proti porušitvi, zadovoljiti tudi uporabnostnim pogojem. To pomeni, da v času svoje uporabne dobe obravnavan konstrukcijski element zadrži tudi svoj uporabnostni vidik in izgled. Dimenzioniranje konstrukcijskih elementov z upoštevanjem navedenih uporabnostnih kriterijev imenujemo »*mejno stanje uporabnosti*«. Evrokod podaja tri uporabnostne kriterije, [7]:

- deformacije ali upogibi, ki vplivajo na uporabnost in izgled konstrukcijskega elementa, ne smejo presegati neke predpisane vrednosti,
- vibracije (nihanja), ki bi lahko povzročile nelagodnost bivanja ali oteževale obratovanje konstrukcije, morajo biti v za to posebej predpisanih okvirih,
- širine razpok (armirano-betonske konstrukcije) naj ostanejo znotraj predpisanih vrednosti, da ne povzročijo korozije armature.

DEFORMACIJE

Kot smo že uvodoma omenili, morajo deformacije, ki nastanejo zaradi dejanskih obtežb, ki delujejo na konstrukcijo, ostati znotraj predpisanih vrednosti, če želimo, da konstrukcija ohrani svojo uporabno funkcijo in primeren izgled. Na primer, prevelik upogib ravnega strešnega predalčnega nosilca, ki se sicer ne bi porušil, bi povzročil, da bi se na strehi prekomerno nabirala voda, ki bi kvarno vplivala na samo streho in tudi na spodnji del konstrukcije. Seveda je podobnih problemov še veliko, omenili smo le enega, vsem pa je skupno, da morajo pomiki pod dejansko projektno obtežbo ostati znotraj točno določene meje.

Elastični začetni pomiki, ki se pojavijo na konstrukciji v trenutku obremenitve $u_{inst}=u(t=0)$, so vsota elastičnih pomikov zaradi stalne ($u_{1,inst}$) in spremenljive obtežbe ($u_{2,inst}$). Pri tem, podobno kot pri mejnem stanju nosilnosti, v izogib predimenzioniranja vplive spremenljivih obtežb ustrezno reduciramo s koeficienti $\psi_{0,i}$, $\psi_{1,i}$ in $\psi_{2,i}$, ki smo jih podali že v preglednici 1.2. *SIST EN 1990:2004* za mejno stanje uporabnosti predpisuje naslednje obtežne kombinacije:

a) Karakteristična obtežna kombinacija

$$E = \sum_{j \geq 1} G_{kj} + Q_{k1} + \sum_{i \geq 2} \Psi_{0i} \cdot Q_{ki} \quad (1.13)$$

b) Pogosta obtežna kombinacija

$$E = \sum_{j \geq 1} G_{kj} + \Psi_{11} \cdot Q_{k1} + \sum_{i \geq 2} \Psi_{2i} \cdot Q_{ki} \quad (1.14)$$

c) Navidezno stalna obtežna kombinacija

$$E = \sum_{j \geq 1} G_{kj} + \sum_{i \geq 2} \Psi_{2i} \cdot Q_{ki} \quad (1.15)$$

Ker so vrednosti koeficintov ψ določene tako, da velja $\psi_{0,i} \geq \psi_{1,i} \geq \psi_{2,i}$, dobimo največje obremenitve in s tem največje začetne pomike s karakteristično obtežno kombinacijo, najmanjše pa s navidezno stalno kombinacijo. Zaradi tega seveda velja, da lahko na primer pogosto obtežno kombinacijo vedno nadomestimo s karakteristično. Predhodne verzije evrokodov so dodatno tudi dopuščale, da smo lahko karakteristično obtežno kombinacijo po enačbi (1.13) v primeru delovanja več spremenljivih obremenitev poenostavili z izrazom:

$$E \approx \sum_{j \geq 1} G_{kj} + 0.9 \cdot \sum_{i \geq 1} Q_{ki} \quad (1.16)$$

V primeru le ene spremenljive obremenitve pa po izrazu (1.13) seveda še vedno velja:

$$E = \sum_{j \geq 1} G_{kj} + Q_{k1} \quad (1.17)$$

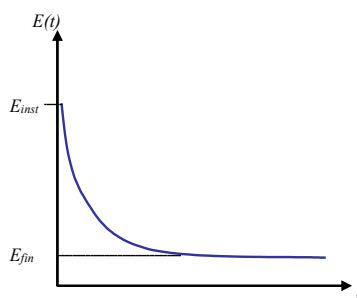
Maksimalne začetne elastične pomike v vertikalni smeri (*Slika 1.4*) izračunamo po poznanih zakonih statične analize konstrukcij kot vsoto pomikov zaradi upogibnih momentov ($w_{inst,M}$), prečnih ($w_{inst,V}$) in osnih sil ($w_{inst,N}$):

$$\begin{aligned} w_{inst} &= w_{inst,M} + w_{inst,V} + w_{inst,N} = \\ &= \int_S \frac{M_{y0}(x) \cdot M_{y1}(x)}{EI_y} dx + \int_S \frac{V_{z0}(x) \cdot V_{z1}(x)}{GA_s} dx + \int_S \frac{N_{x0}(x) \cdot N_{x1}(x)}{EA} dx \end{aligned} \quad (1.18)$$

kjer predstavljajo $M_{yt}(x)$, $V_{zt}(x)$ in $N_{xt}(x)$ funkcijske vrednosti upogibnih momentov, prečnih in osnih sil zaradi virtualne enotske sile ali momenta v točki in smeri iskanega pomika ali zasuka, $M_{y0}(x)$, $V_{z0}(x)$ in $N_0(x)$ pa funkcijske vrednosti notranjih statičnih količin zaradi dejanske obtežbe.

Kriterij mejnega stanja uporabnosti se ne nanaša le na začetne (elastične) deformacije v času obremenitve (u_{inst}), temveč mora konstrukcija ohraniti svojo uporabnost tudi tekom delovanja obremenitve. Torej morajo tudi deformacije po izvršenem lezenju (u_{fin}), ki jih določimo s pomočjo koeficientov lezenja $\varphi(t)$, ki so podani za vsak material posebej. Ker prihaja v primeru lezenja materiala do časovno odvisnega zmanjševanja modula elastičnosti, kot je to prikazano na *Sliki 1.2*, lahko časovno odvisno vrednost modula elastičnosti $E(t)$ v splošnem zapišemo v eksponentni obliki kot:

$$E(t) = E_{inst} \cdot \exp(-\varphi \cdot t) \quad (1.19)$$



Slika 1.2: Skica časovne odvisnosti modula elastičnosti (krivulja lezenja), [7].

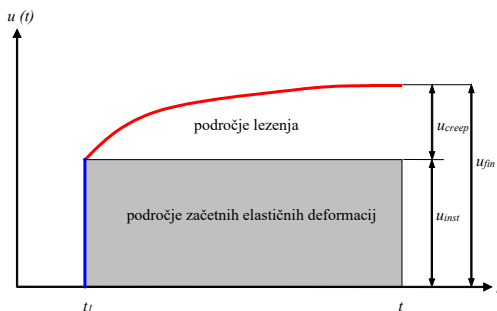
Končno vrednost modula elastičnosti E_{fin} po izvršenem lezenju ($t = \infty$) tako največkrat zapišemo poenostavljeno kar v obliki:

$$E_{fin} = E_{(t=\infty)} = \frac{E_{inst}}{1+\varphi_{fin}} \quad (1.20)$$

kjer predstavlja φ_{fin} končno (maksimalno) vrednost koeficienta lezenja, ko se lezenje materiala že popolnoma izvrši. Vrednost koeficienta φ_{fin} se seveda med gradbenimi materiali zelo spreminja, med materiali pa je razlika tudi v parametrih, ki odločilno vplivajo na njegovo vrednost (vlažnost, temperatura, sestava materiala ...), kar lahko povzroča probleme predvsem pri sovprežnih konstrukcijah.

Ker po enačbi (1.18) na vrednost pomikov odločujoče vplivata vrednosti modula elastičnosti in strižnega modula, se deformacije zaradi časovnega zmanjševanja obeh modulov ustrezno povečujejo (*Slika 1.3*). Za končno vrednost deformacij po v celoti izvršenem lezenju lahko tako po enačbi (1.20) zapišemo:

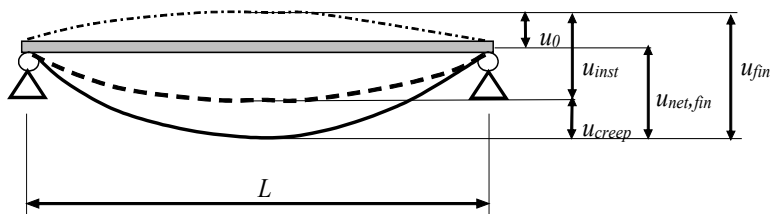
$$u_{fin} = u_{inst} + u_{creep} = u_{inst} \cdot (1 + \phi_{fin}) \quad (1.21)$$



Slika 1.3: Skica časovne odvisnosti deformacij, [7].

Če upoštevamo še eventualno nadvišanje elementa (u_0), kot shematsko prikazuje *Slika 1.4*, lahko končni neto pomik ($u_{net,fin}$) zapišemo v obliki:

$$u_{net,fin} = u_{inst} + u_{creep} - u_0 = u_{fin} - u_0 \quad (1.22)$$



Slika 1.4: Prikaz začetnih in končnih vertikalnih pomikov (upogibov), [7].

Posledično moramo tako zadostiti naslednjim uporabnostnim kriterijem glede upogibov (vertikalnih pomikov) konstrukcijskega elementa:

$$1. u_{inst} \leq u_{inst,lim}$$

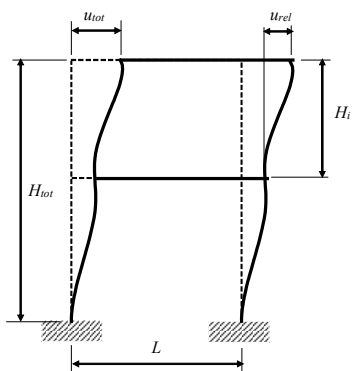
$$\begin{aligned}
 2. \quad & u_{fin} \leq u_{fin,lim} \\
 3. \quad & u_{net,fin} \leq u_{net,fin,lim} \\
 4. \quad & u_{fin,var} \leq u_{fin,var}
 \end{aligned}
 \tag{1.23}$$

Kriteriji za u_{inst} in u_{fin} so določeni v evrokodih SIST EN 1992 do SIST EN 1999 za vsako vrsto konstrukcije posebej glede na material, vrednosti za $u_{net,fin}$ in $u_{fin,var}$ (končni povesi samo od spremenljivih vplivov), pa so podane v preglednici 1.3 skupno za vse vrste konstrukcij ne glede na material. Za vrednosti $u_{net,fin}$ imajo evrokodi SIST EN 1992 do SIST EN 1999 lahko tudi posebne zaostritve, ki jih je potrebno upoštevati. V preglednici 1.4 so podane tudi dopustne vrednosti za horizontalne pomike ne glede na material konstrukcije.

Preglednica 1.3: Dopustne vrednosti končnih vertikalnih pomikov (u_{lim}) za stavbe, [1].

| | $u_{net,fin,lim}$ | $u_{fin,var}$ |
|---|-------------------|---------------|
| Strehe nasploh | $L/200$ | $L/250$ |
| Pohodne strehe | $L/250$ | $L/300$ |
| Stropovi nasploh | $L/250$ | $L/300$ |
| Strehe in stropovi, ki nosijo krhke obloge | $L/300$ | $L/350$ |
| Stropovi, ki podpirajo stebre | $L/400$ | $L/500$ |
| L razpon med podporami ali dvojna dolžina konzole | | |

Omejitve horizontalnih pomikov so podane v preglednici 1.4.



Slika 1.5: Shematski prikaz označbe horizontalnih pomikov konstrukcije, [7].

Preglednica 1.4: Dopustne vrednosti horizontalnih pomikov (u_{lim}) za stavbe, [1].

| | u_{rel} | u_{tot} |
|---|-----------|---------------|
| Pritlične industrijske stavbe brez žerjavnih prog | $H_i/150$ | - |
| Pritlične stavbe | $H_i/300$ | - |
| Večnadstropne stavbe | $H_i/300$ | $H_{tot}/500$ |

H_i višina posamezne etaže, H_{tot} celotna višina konstrukcije

u_{rel} relativni horizontalni pomik etaže,

u_{tot} maksimalni skupni horizontalni pomik na vrhu konstrukcije (Slika 1.5)

VIBRACIJE

Vibracije, ki se lahko pojavijo na konstrukciji, morajo biti takšne, da ne zmanjšajo funkcionalnosti objekta, kakor tudi, da ne vplivajo moteče na koristnike. Pri tem je potrebno upoštevati najbolj neugodne pozicije stalne in spremenljive obtežbe.

Odziv etaže konstrukcije na neko dinamično vzbujanje je odvisno predvsem od osnovne lastne frekvence za vertikalno nihanje stropne konstrukcije. Evrokod določa, da pri izračunu lastne frekvence stropa upoštevamo le maso konstrukcije in drugih stalnih obtežb, maso spremenljivih obtežb pa ne. Za določitev upogibne togosti etaže uporabimo povprečne vrednosti materialnih konstant.

Minimalne predpisane lastne frekvence stropov, ki jih predpisuje SIST EN 1990, so odvisne od namembnosti stropa, ter so podane v preglednici 1.5. Če so lastne frekvence nižje od teh predpisanih vrednosti, je potrebno izvesti podrobno analizo dinamičnega odziva konstrukcije, pri čemer se upošteva dušenje.

Preglednica 1.5: Minimalne predpisane vrednosti za lastne frekvence f_1 in skupne vertikalne pomike ($w_{tot} = u_{fin}$) stropov, [1].

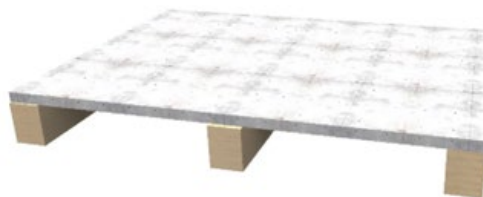
| | f_1 | w_{tot} |
|-------------------|-------|-----------|
| Hoja | 3 Hz | 28 mm |
| Ples in telovadba | 5 Hz | 10 mm |

Iz preglednice 1.5 je razvidno, da so nekoliko strožje zahteve za stropove, kjer se odvijajo večje dinamične obremenitve, kjer je seveda nihanje precej bolj izrazito. Omenjena zahteva pomeni, da bodo posledično zato potrebne višine stropnih elementov z dinamično obremenitvijo večje kot pa stropov z izrazito statično obremenitvijo. Iz zakonov dinamične analize namreč vemo, da je lastna frekvenca elementa odvisna od njegove upogibne togosti, ki pa je med drugim odvisna tudi od višine elementa.

2 Določitev stalne obtežbe montažnega stropa

Za spodnji sestav na sliki 2.1 izračunaj stalno obtežbo sestava [kN/m²] in zapiši kombinacijo obtežb za MSN (za stalna in začasna projektna stanja), če je koristna obtežba enaka (g). Kolikšna je sedaj skupna obtežba na en lesen nosilec [kN/m], ki jo uporabimo pri dimenzioniranju nosilca?

Leseni nosilci dimenzij $b/b=10/20$ cm so kvalitete lesa C30 in so na konstantnem razmiku $e = 60$ cm. Na nosilce je položena armirano-betonska plošča debeline $h=15$ cm. Beton je običajen z običajnim odstotkom armiranja.



Slika 2.1: Prikaz montažnega stropa.

Vir: lasten.

Preglednice nazivnih vrednosti prostorninske teže gradbenih in ostalih materialov najdemo v dodatku A v [2]. Če podatka za določen material ni na voljo ga pridobimo od proizvajalca.

Preglednica 2.1: Gradbeni materiali-betoni in malte (preglednica A.1 v dodatku A [2]).

| MATERIALI | Prostorninska teža γ [kN/m ³] |
|----------------|--|
| Običajni beton | 24 |

¹ pri običajnem odstotku armiranja in/ali prednapetja z jeklenimi kabli se poveča za 1 kN/m³.

Preglednica 2.2: Gradbeni materiali-les (preglednica A.3 v dodatku A [2]).

| MATERIALI | Prostorninska teža γ [kN/m ³] |
|-----------|--|
| Les C30 | 4,6 |

Prostorninska teža C30: $\gamma = 4,6 \text{ kN/m}^3$

Prostorninska teža betonske plošče: $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$

| | | |
|-----------------|---|-----------------------|
| Leseni nosilci | $4,6 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,1 \text{ m} \cdot \frac{0,2 \text{ m}}{0,60 \text{ m}} =$ | $0,15 \text{ kN/m}^2$ |
| Betonska plošča | $25 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,15 \text{ m} =$ | $3,75 \text{ kN/m}^2$ |
| Skupna teža: | | $3,90 \text{ kN/m}^2$ |

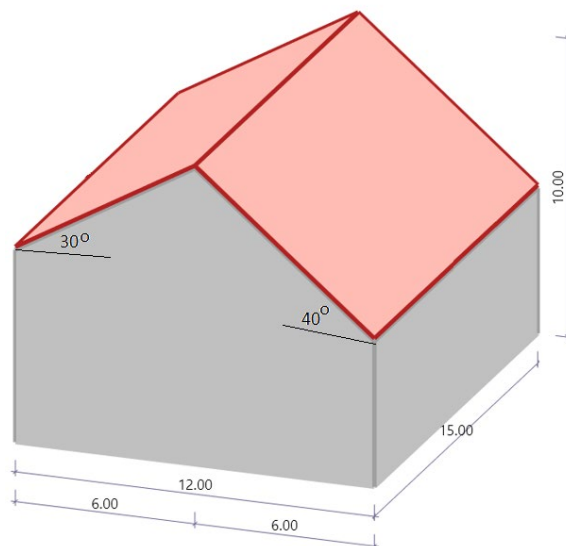
Obtežba na en leseni nosilec:

Stalna obtežba: $g = 3,903 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 0,60 \text{ m} = 2,34 \text{ kN/m}$

Koristna obtežba: $q = 2,0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 0,60 \text{ m} = 1,20 \text{ kN/m}$

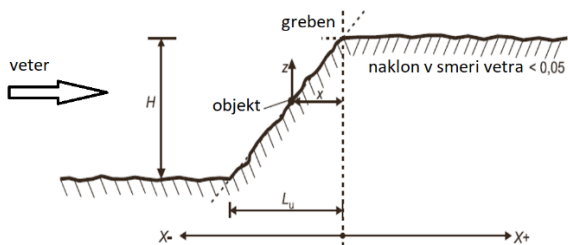
3 Določitev obtežbe snega in koeficienta hribovitosti

Določi obtežbo snega in koeficient hribovitosti terena e_0 za spodnjo stanovanjsko hišo, ki se nahaja v kraju Jesenice na nadmorski višini 576 m. Hiša se nahaja na hribovitem terenu – glej sliko spodaj. Streha je dvokapnica in brez snegobranov.



Slika 3.1: Shematski prikaz objekta (enote so m).

Vir: lasten.



Slika 3.2: Lokacija objekta na strmem pobočju.

Vir: lasten.

Določitev obtežbe snega, po enačbi (5.1)

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k \quad (3.1)$$

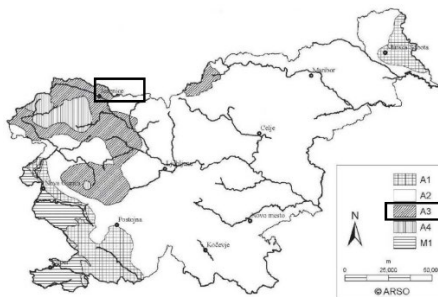
– oblikovni koeficient (μ_i)Preglednica 3.1: Oblikovni koeficient (μ_i), po preglednici 5.2 v [3].

| Naklon strehe ($^\circ$) | $0^\circ \leq a \leq 30^\circ$ | $30^\circ \leq a \leq 60^\circ$ | $a \geq 60^\circ$ |
|----------------------------|--------------------------------|---------------------------------|-------------------|
| Koeficient oblike μ_i | 0.8 | $0.8(60 - a)/30$ | 0.0 |

Vrednosti v tabeli veljajo, če sneg lahko zdrsne s strehe. Če so na strehi snegobrani ali druge ovire, oblikovni koeficient ne sme biti manjši od 0.8.

$$\mu_{30,1} = 0.8$$

$$\mu_{45,1} = 0.533$$

– osnovna karakteristična vrednost obtežbe snega (s_k), cona A3, N.V. 576 m

Slika 3.3: Obtežba snega na tleh za Slovenijo na nadmorski višini A= 0m, [3].

$$A1: s_k = 0.651 \cdot \left[1 + \left(\frac{A}{728} \right)^2 \right] \geq 1.2 \text{ kN/m}^2 \quad (3.2a)$$

$$A2: s_k = 1.293 \cdot \left[1 + \left(\frac{A}{728} \right)^2 \right] \quad (3.2b)$$

$$A3: s_k = 1.935 \cdot \left[1 + \left(\frac{A}{728} \right)^2 \right] \quad (3.2c)$$

$$A4: s_k = 2.577 \cdot \left[1 + \left(\frac{A}{728} \right)^2 \right] \quad (3.2d)$$

$$M1: s_k = 0.289 \cdot \left[1 + \left(\frac{A}{452} \right)^2 \right] \quad (3.2e)$$

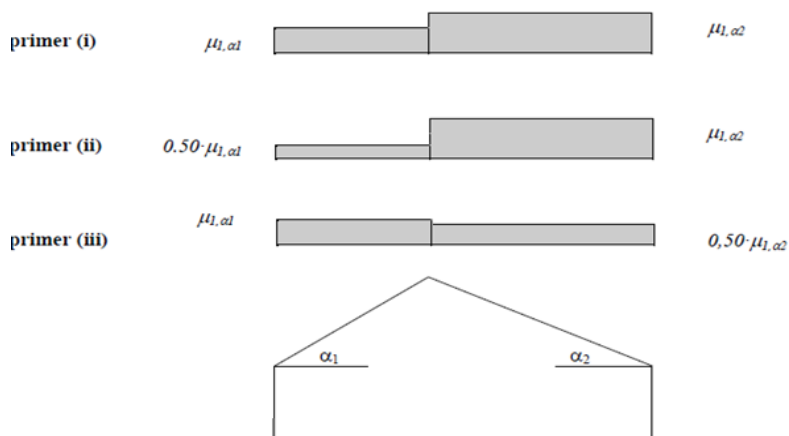
Za naš primer:

$$s_k = 1.935 \cdot \left[1 + \left(\frac{A}{728} \right)^2 \right] = 3.146 \text{ kN/m}^2 \quad (3.2c)$$

– koeficient izpostavljenosti (C_e) po preglednici 5.1 in toplotni koeficient (C_t) (po poglavju 5.2[3])

$$C_e = C_t = 1.0 \quad (3.3)$$

Karakteristična obtežba snega, vedno deluje navpično na vodoravno projekcijo površine. Na Sliki 3.4 je prikazana razporeditev snega za nesimetrično dvokapno streho.



Slika 3.4: Razporeditev obtežbe snega na dvokapni strehi, [3].

Obtežni primer 1: OP1

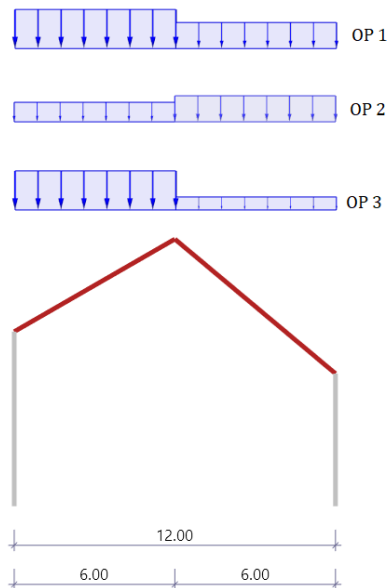
$$\begin{aligned} s_L &= 0.8 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot 3.146 = 2.52 \text{ kN/m}^2 \\ s_D &= 0.533 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot 3.146 = 1.68 \text{ kN/m}^2 \end{aligned} \quad (3.4)$$

Obtežni primer 2: OP2

$$\begin{aligned} s_L &= 0.5 \cdot 0.8 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot 3.146 = 1.26 \text{ kN/m}^2 \\ s_D &= 0.533 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot 3.146 = 1.68 \text{ kN/m}^2 \end{aligned} \quad (3.5)$$

Obtežni primer 3: OP3

$$\begin{aligned} s_L &= 0.8 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot 3.146 = 2.52 \text{ kN/m}^2 \\ s_D &= 0.5 \cdot 0.533 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot 3.146 = 0.84 \text{ kN/m}^2 \end{aligned} \quad (3.6)$$



Slika 3.5: Razporeditev obtežbe snega na dvokapni strehi stanovanjske hiše (enote so v m).

Vir: lasten.

Določitev koeficienta hrbovitosti terena (c_o), po [4]; dodatek A.3

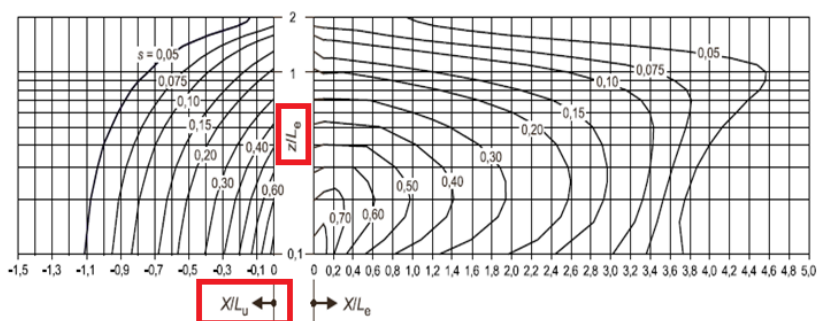
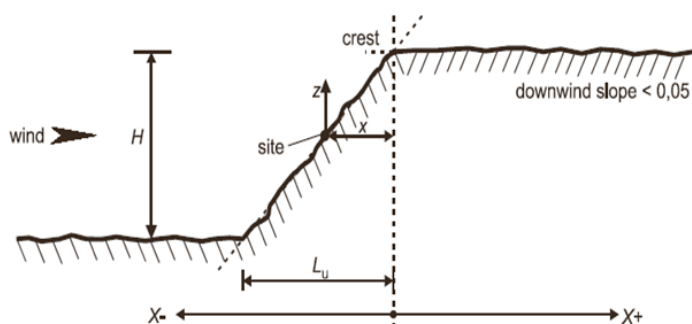
$$c_o = 1 \quad \text{za } \phi < 0.05 \quad (3.7a)$$

$$c_o = 1 + 2 \cdot s \cdot \phi \quad \text{za } 0.05 < \phi < 0.3 \quad (3.7b)$$

$$c_o = 1 + 0.6 \cdot s \quad \text{za } \phi > 0.3 \quad (3.7c)$$

kjer je:

s...faktor hribovitosti kraja po sliki A.2 in sliki A.3 po [4]



Slika 3.6: Faktor s za pečine in strma pobočja po [4].

$$\phi = \frac{H}{L_u} \dots \text{nagib pobočja po sliki A.2 in sliki A.3 po [4]} \quad (3.8)$$

H ... efektivna višina vzpetine

L_u ... dejanska dolžina privetrnega pobočja v smeri vetra

Vrsta pobočja glede na naklon:

Položno ($0.05 < \phi \leq 0.3$)

$$L_e = L_u$$

Strmo ($\phi > 0.3$)

$$L_e = H/0.3$$

Podatki:

$$L_u = 100 \text{ m}$$

$$H = 40 \text{ m}$$

$$x = 30 \text{ m}$$

$$z = 10 \text{ m}$$

$$\phi = \frac{H}{L_u} = \frac{40}{100} = 0.4$$

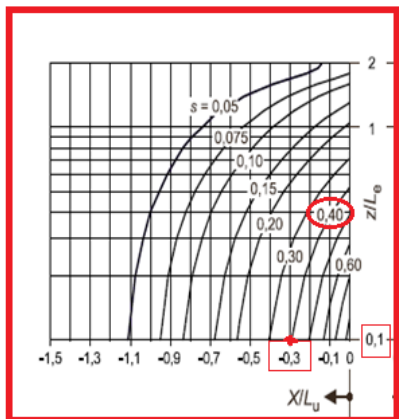
→

$$c_o = 1 + 2 \cdot s \cdot \phi$$

$$L_e = L_u = 100 \text{ m}$$

$$\frac{z}{L_e} = \frac{10}{100} = 0.1$$

$$\frac{x}{L_u} = \frac{30}{100} = 0.3$$



Slika 3.7: ???

Vir: lasten.

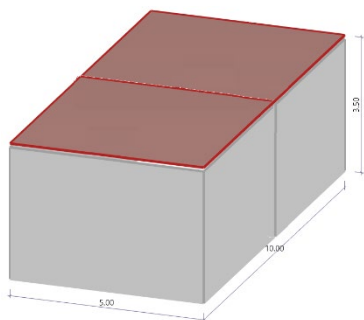
$$s = 0.40$$

$$c_o = 1 + 2 \cdot s \cdot \phi = 1 + 2 \cdot 0.40 \cdot 0.4 = \mathbf{1.32}$$

4 Določitev obtežb za garažo za osebna vozila

4.1 Zasnova

Na običajnem ravnem terenu v predmestju Maribora, ki se nahaja na nadmorski višini 275 metrov, bo zgrajena garaža za dve osebni vozili. Konstrukcija garaže bo sestavljena iz osnovnih gradbenih elementov, kot so armirano-betonska plošča, stebri in nosilci, medtem ko se bodo zidovi zgradili iz opeke. Streha bo ravna in dostopna samo za normalno vzdrževanje ter popravila.



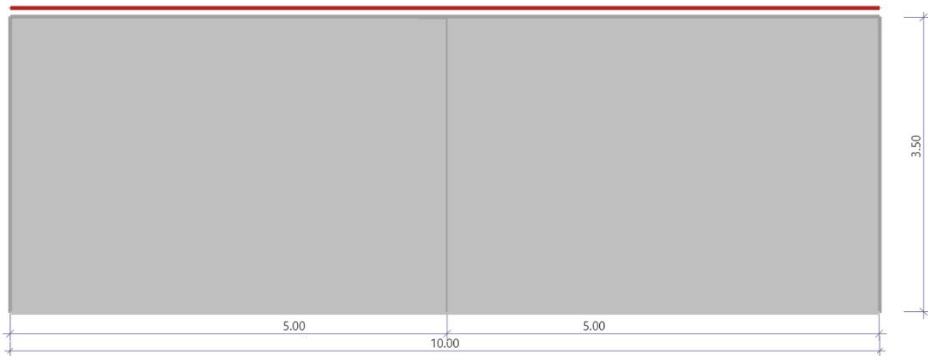
Slika 4.1: Prikaz konstrukcije-garaža za vozila (enote so v m).

Vir: lasten.



Slika 4.2: Slika vzdolžnega okvirja (enote so v m).

Vir: lasten.



Slika 4.3: Slika prečnega okvirja (*enote so v m*).

Vir: lasten.

4.2 Analiza obtežbe po SIST EN 1991-1 [2]

Stalna obtežba po SIST EN 1991-1-1

Preglednice nazivnih vrednosti prostorninske teže gradbenih in ostalih materialov najdemo v dodatku A v [2]. Če podatka za določen material ni na voljo, ga pridobimo od proizvajalca. V tej nalogi so stalne obtežbe podane spodaj:

- Stalna obtežba na streho
 $g_{streha} = 6.13 \text{ kN/m}^2$
- Stalna obtežba na nosilce strehe
 $g_{st,prečno} = g_{st,vzdolžno} = 7.66 \text{ kN/m}$
- Stalna obtežba stebrov
 $g_{stebra,vertikalno} = 1.56 \text{ kN/m}$
- Lastna teža opečnega zidu
 $g_{zidu} = 3.02 \text{ kN/m}^2$

Koristna obtežba – spremenljiva obtežba po SIST EN 1991-1-1 [2]

Koristna obtežba strehe (po poglavju 6.3.4)

streha *ktg.* *H*, dostopna le za normalno vzdrževanje in popravila

$$q_k = 0.4 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \text{ oziroma v obliki koncentrirane obtežbe } Q_k = 1 \text{ kN}$$

Koristna obtežba na nosilce strehe

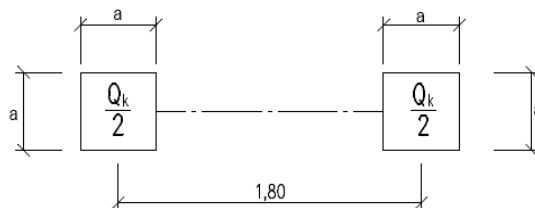
$$q_{\text{strehe} \rightarrow \text{prečno}} = q_{\text{strehe} \rightarrow \text{vzdolžno}} = 0.50 \text{ kN/m}$$

Koristna obtežba talne plošče (po poglavju 6.3.3)

prostor namenjen garaži osebnih vozil *ktg.* *F*

$$q_k = 2.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \text{ oziroma v obliki koncentrirane obtežbe } Q_k = 20 \text{ kN s sledečo}$$

Geometrijo na najneugodnejšem mestu s stranico kvadrata $a = 100 \text{ mm}$:



Slika 4.4: Mere osne obtežbe (*enote so v m*), [2].

4.3 Sneg – spremenljiva obtežba po SIST EN 1991-1-3 [3]

Določitev obtežbe snega, po enačbi (5.1)

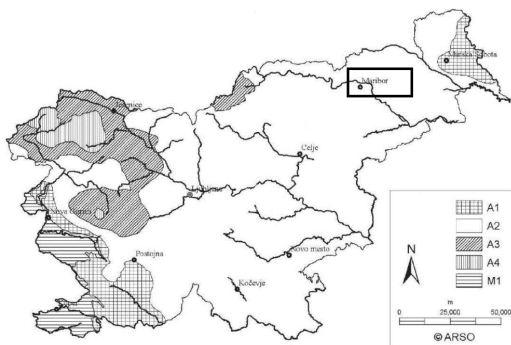
$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k \quad (4.1)$$

oblikovni koeficient (μ_i), po preglednici 5.2 v [3]

$$\mu_1 = 0.8 \quad (\text{ravna streha}) \quad (4.2)$$

osnovna karakteristična vrednost obtežbe snega (s_k), cona A2, N.V. 275 m

$$s_k = 1.293 \cdot \left(1 + \left(\frac{275}{728}\right)^2\right) = 1.478 \text{ kN/m}^2 \quad (4.3)$$



Slika 4.5: Obtežba snega na tleh za Slovenijo na nadmorski višini $A = 0\text{m}$, [3].

$$\text{A2:} \quad s_k = 1.293 \cdot \left[1 + \left(\frac{A}{728}\right)^2\right] \quad (4.4)$$

koeficient izpostavljenosti (C_e) po preglednici 5.1 in toplotni koeficient (C_t) (po poglavju 5.2[3])

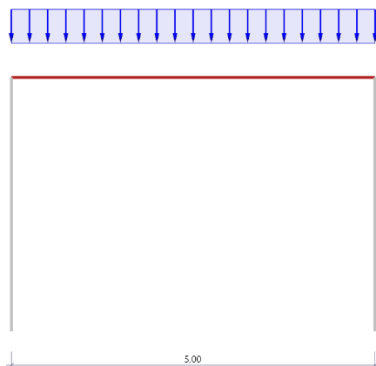
$$C_e = C_t = 1.0 \quad (4.5)$$

Karakteristična obtežba snega, ki vedno deluje navpično na vodoravno projekcijo površine:

$$s = 0.8 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot 1.478 = 1.18 \text{ kN/m}^2 \quad (4.6)$$

Snežna obtežba na nosilce strehe (podana glede na raznos ploskovne obtežbe po strešnem pravilu):

$$S_{st,prečno} = S_{st,vzdolžno} = 1.48 \text{ kN/m} \quad (4.7)$$

Slika 4.6: Prikaz obtežbe snega na strehi (*enote so v m*).

4.4 Veter – spremenljiva obtežba po SIST EN 1991-1-4 [4]

Za objekt upoštevamo, da je z vseh štirih strani zaprt (za normalno obratovanje), se nahaja v vetrni coni 1 (Maribor-predmestje), ter ga po klasifikaciji terena uvrstimo v kategorijo III. (običajno rastlinje ali stavbe – podeželje, gozd). Vpliv notranjega pritiska vetra torej ne upoštevamo v normalnem projektnem stanju (v nezgodnem projektnem stanju seveda ni zanemarljiv) po [4], glej poglavje 7.2.9.

Za vertikalne zidove pravokotne oblike lahko objekt obravnavamo s konstantnim pritiskom vetra po vsej višini objekta, saj je izpolnjen pogoj:

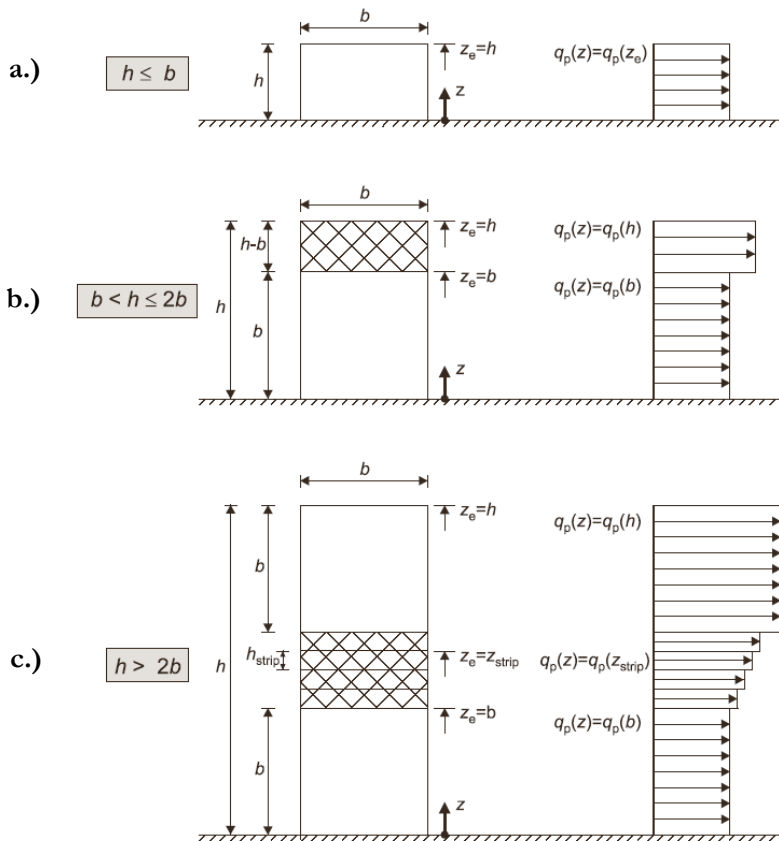
$$h = 3.5 \text{ m} < b_w = 8.8 \text{ m}$$

Zunanji pritisk vetra ob upoštevanju sunkov (w_e), po enačbi (4.8)

$$w_e = q_p(z) \cdot c_{pe} \quad (4.8)$$

Največji tlak pri sunkih vetra (q_p , makro lokacija), po enačbi (4.9)

$$q_p(z) = c_e(z) \cdot q_b = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = 1.28 \cdot 0.25 = 0.32 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad (4.9)$$



Slika 4.7: Referenčne višine na privetni strani, [4].

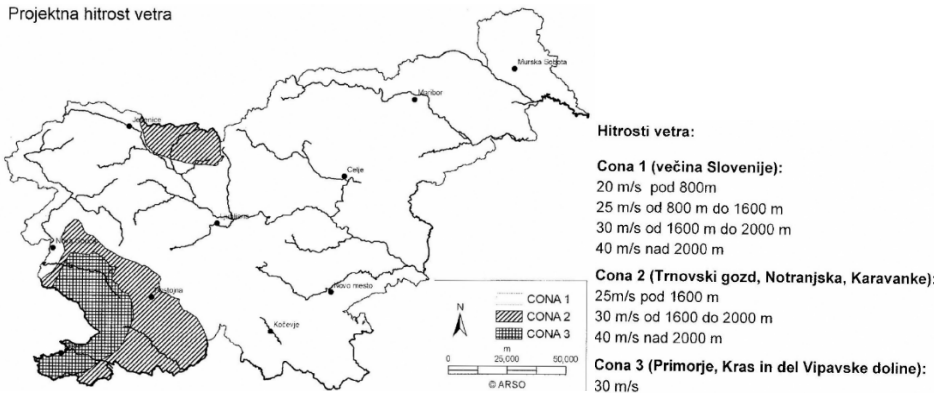
kjer je osnovni tlak vetra po enačbi (4.10)

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 = \frac{1}{2} \cdot 1.25 \cdot 20^2 = 250 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 0.25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad (4.10)$$

Kjer je osnovna hitrost vetra po enačbi (4.11)

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} = 1.0 \cdot 1.0 \cdot 20 = 20 \text{ m/s} \quad (4.11)$$

$v_{b,0} = 20 \text{ m/s}$ temeljna vrednost osnovne hitrosti vetra po nacionalnem dodatku za Slovenijo, *cona 1*, N.V. 275 m



Slika 4.8: Projektne hitrosti vetra za Slovenijo, [4].

$\rho = 1.25 \text{ kg/m}^3$ gostota zraka (po poglavju 4.5 [4] opomba 1 in 2)

$c_{dir} = 1.0$ smerni faktor (je lahko tudi drugače podan v nacionalnih dodatkih)

$c_{season} = 1.0$ faktor letnega časa (je lahko tudi drugače podan v nacionalnih dodatkih)

Srednja hitrost vetra po enačbi (4.12) (zgolj informativno – sicer je ne računamo)!

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b = 0.605 \cdot 1.0 \cdot 20 = 12.1 \text{ m/s} \quad (4.12)$$

Faktor hrapavosti terena ($c_r(z)$), mikrolokacija, po enačbah (4.13a,b)

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad \text{za } z_{min} \leq z \leq z_{max} \quad (4.13a)$$

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z_{min}}{z_0}\right) \quad \text{za } z \leq z_{min} \quad (4.13b)$$

$$k_r = 0.19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0.07} \quad (4.14)$$

kjer je za našo kategorijo terena: *ktg.* III. po preglednici 4.1 in preglednici 4.2.

Preglednica 4.1: Kategorije terena z opisi in primeri.

| Kategorija terena | Opis kategorije |
|-------------------|---|
| 0 | Razburkano odprto morje ali obalno področje, izpostavljeno proti odprtemu morju. |
| I | Jezersko ali ravninsko področje z zanemarljivim rastlinjem in brez ovir. |
| II | Področje z nizkim rastlinjem (trava) ali posameznimi ovirami (drevesi, stavbami) na razdalji najmanj 20 višin ovir. <i>Primer: Poljedelska zemljišča z ograjami in posameznimi manjšimi kmetijskimi objekti, bišami ali drevesi.</i> |
| III | Področje z običajnim rastlinjem ali stavbami ali posameznimi ovirami na razdalji največ 20 višin ovir. <i>Primer: Vasi, podeželsko okolje, stalni gozdovi, predmestja, industrijske cone.</i> |
| IV | Področje, kjer je najmanj 15 % površine pokrite s stavbami s povprečno višino več kot 15 m. <i>Primer: Urbana mestna naselja.</i> |

Preglednica 4.2: Ustrezni terenski parametri glede na kategorijo terena.

| Kategorija terena | z_0 [m] | z_{min} [m] |
|-------------------|-----------|---------------|
| 0 | 0.003 | 1.0 |
| I | 0.01 | 1.0 |
| II | 0.05 | 2.0 |
| III | 0.3 | 5.0 |
| IV | 1.0 | 10.0 |

$z_0 = 0.3$ m dolžina hrapavosti po preglednici 4.2

z_{min} minimalna računsko višina po preglednici 4.2

$$k_r = 0.19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0.07} = 0.19 \cdot \left(\frac{0.3}{0.05} \right)^{0.07} = 0.215$$

faktor terena po enačbi (4.14)

$$z = h = 3.5 \text{ m} < z_{min} \quad \text{višina objekta}$$

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln \left(\frac{z_{min}}{z_0} \right) = 0.215 \cdot \ln \left(\frac{5}{0.3} \right) = 0.605 \quad (4.15)$$

Koeficient hribovitosti terena (c_o), po [4] ; dodatek A.3

$$c_o = 1 \quad \text{za} \quad \phi < 0.05$$

$$\begin{aligned} c_o &= 1 + 2 \cdot s \cdot \phi \quad \text{za } 0.05 < \phi < 0.3 \\ c_o &= 1 + 0.6 \cdot s \quad \text{za } \phi > 0.3 \end{aligned} \quad (4.16)$$

kjer je:

s ...faktor hribovitosti kraja po sliki A.2 in sliki A.3 po [4]

$\phi = \frac{H}{L_u}$...nagib pobočja po sliki A.2 in sliki A.3 po [4]

V našem primeru ni ovir na terenu oziroma objekt je lociran na ravnem terenu:

$$c_o = 1 \quad (4.17)$$

Faktor izpostavljenosti ($c_{e(z)}$), po enačbi (4.18) z upoštevanjem turbulenc in sunkov vetra

$$c_e(z) = c_r^2 \cdot c_o^2 \cdot [1 + 7 \cdot I_v(z)] = 0.605^2 \cdot 1.0^2 \cdot [1 + 7 \cdot 0.355] = 1.28 \quad (4.18)$$

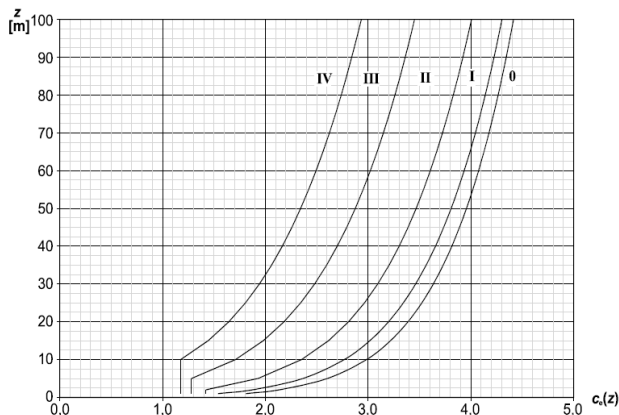
kjer je $I_v(z)$ intenziteta turbulence na višini » z « po enačbi (4.19):

$$I_v(z) = \frac{k_I}{c_o(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \quad \text{za } z_{min} \leq z \leq z_{max} \quad (4.19)$$

$k_I = 1.0$...turbulentni faktor

Opomba:

Faktor izpostavljenosti $c_{e(z)}$ za raven teren lahko odčitamo oziroma preverimo tudi iz diagrama na Sliki 4.9.

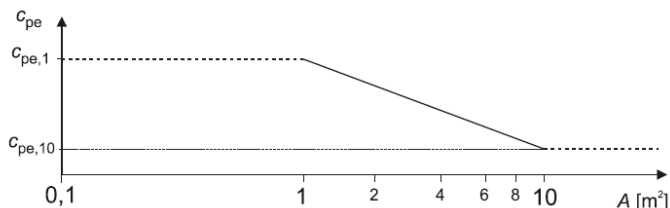


Slika 4.9: Faktor izpostavljenosti $c_c(z)$ za $c_0 = 1.0$ in $k_1 = 1.0$, [4].

Koeficienti zunanjega pritiska na stene objekta (c_{pe})

Evrokod podaja vrednosti c_{pe} za dve velikosti površin ($A = 1 \text{ m}^2$, ki jo označuje $c_{pe,1}$, in $A = 10 \text{ m}^2$, ki jo označuje $c_{pe,10}$). Vmesne vrednosti se logaritmično interpolirajo, kot je prikazano na sliki 4.10.

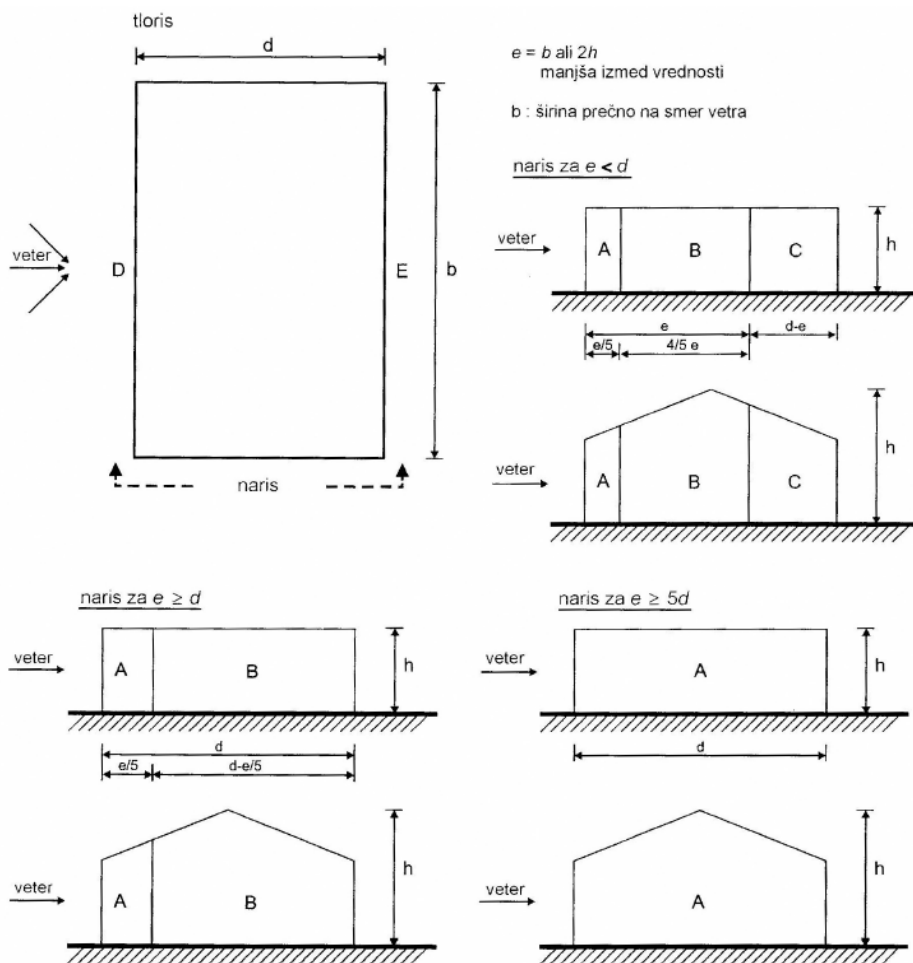
$$c_{pe} = c_{pe,1} - (c_{pe,1} - c_{pe,10}) \cdot \log_{10} A \quad (4.20)$$



Slika 4.10: Priporočeni postopek za določitev koeficienta zunanjega tlaka, [4].

Vrednosti koeficienta zunanjega tlaka so odvisne od razporeditve sten na posamezna področja od A do E, kot je prikazano na sliki 4.11. Pri tem velja, da je b širina pravokotno na smer vetra, e pa manjša vrednost po izrazu:

$$e = \min \left\{ \frac{b}{2h} \right. \quad (4.21)$$



Slika 4.11: Razdelitev vertikalnih sten na področja, [4].

Vrednosti koeficientov po posameznih področjih so podane v preglednici 4.3.

Preglednica 4.3: Priporočene vrednosti c_{pe} za vertikalne stene.

| Področje h/d | A | | B | | C | | D | | E | |
|-------------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|
| | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ |
| 5 | -1.2 | -1.4 | -0.8 | -1.1 | -0.5 | -0.5 | +0.8 | +1.0 | -0.7 | -0.7 |
| 1 | -1.2 | -1.4 | -0.8 | -1.1 | -0.5 | -0.5 | +0.8 | +1.0 | -0.5 | -0.5 |
| ≤ 0.25 | -1.2 | -1.4 | -0.8 | -1.1 | -0.5 | -0.5 | +0.8 | +1.0 | -0.3 | -0.3 |

Za vmesne vrednosti h/d se lahko uporabi linearna interpolacija!

Določimo dimenzije posameznih vetrnih con za obravnavani objekt:

$$b = 10 \text{ m} \quad d = 5 \text{ m} \quad h = 3.5 \text{ m}$$

$$e = \min \left\{ \frac{b}{2h} = \min \left\{ \frac{10}{7} = 7 \text{ m} \quad \frac{h}{d} = \frac{3.5}{5} = 0.7 \right. \right.$$

PO CONAH:

$$\textit{cona A} = e/5 \cdot h = \frac{7}{5} \cdot 3.5 = 4.9 \text{ m}^2$$

$$C_{pe}^A = -1.4 - (-1.4 + 1.2) \cdot \log_{10} 4.9 = -1.26$$

$$\textit{cona B} = (d - e/5) \cdot h = \left(5 - \frac{7}{5} \right) \cdot 3.5 = 12.6 \text{ m}^2$$

$$C_{pe}^B = -0.8$$

cona C = v obravnavanem primeru ne obstaja

$$\textit{cona D} = b \cdot h = 10 \cdot 3.5 = 35.0 \text{ m}^2$$

$$C_{pe}^D = 0.8 - \frac{(0.8 - 0.7)}{(1 - 0.25)} \cdot (1 - 0.7) = 0.76$$

$$\textit{cona E} = b \cdot h = 10 \cdot 3.5 = 35.0 \text{ m}^2$$

$$C_{pe}^E = -0.5 - \frac{(-0.5 + 0.3)}{(1 - 0.25)} \cdot (1 - 0.7) = -0.42$$

PRITISKI/SRKI: $w_e = q_p(z) \cdot c_{pe} = 0.32 \cdot c_{pe}$

$$w_e^A = q_p(z) \cdot c_{pe}^A = 0.32 \cdot -1.26 = -0.40 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \text{srk}$$

$$w_e^B = q_p(z) \cdot c_{pe}^B = 0.32 \cdot -0.8 = -0.26 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \text{srk}$$

$$w_e^D = q_p(z) \cdot c_{pe}^D = 0.32 \cdot 0.76 = 0.24 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \text{tlak}$$

$$w_e^E = q_p(z) \cdot c_{pe}^E = 0.32 \cdot -0.42 = -0.13 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \text{srk}$$

Preglednica 4.4: Prikaz rezultatov vetrne obtežbe po conah za stene.

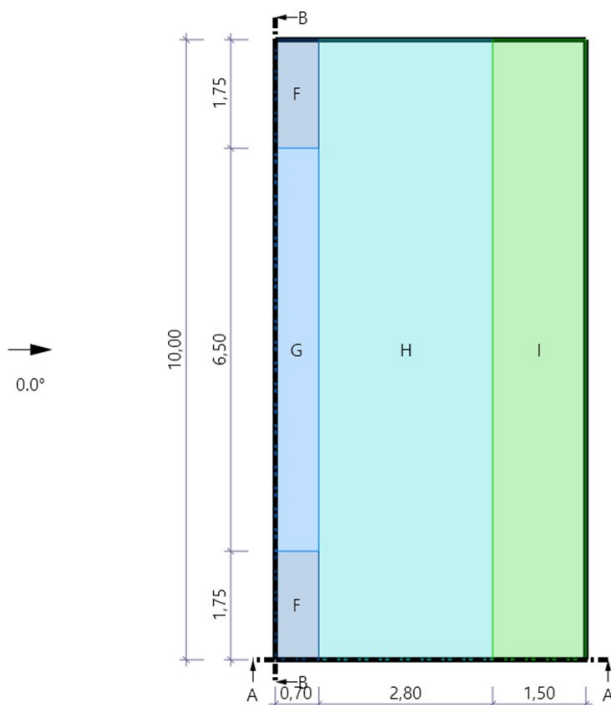
| CONA | A [m ²] | c_{pe} | W_e [kN/m ²] | |
|------|---------------------|----------|----------------------------|------|
| A | 4.9 | -1.26 | -0.40 | SRK |
| B | 12.6 | -0.8 | -0.26 | SRK |
| D | 35 | +0.76 | +0.24 | TLAK |
| E | 35 | -0.42 | -0.13 | SRK |

Koeficienti zunanje pritiska na ravno streho objekta (c_{pe})

– Smer vetra pod kotom 0°

Preglednica 4.5: Priporočene vrednosti c_{pe} za ravno streho.

| Vrsta strehe | Področje | | | | | | | |
|-----------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|
| | F | | G | | H | | I | |
| | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ |
| Ostri kapni rob | -1.8 | -2.5 | -1.2 | -2.0 | -0.7 | -1.2 | +0.2 | |
| | | | | | | | -0.2 | |

Slika 4.12: Razdelitev ravne strehe na področja $\Theta = 0^\circ$ (enote so v m).

Vir: lasten.

Določimo dimenzije posameznih vetrnih con za obravnavani objekt:

$$b = 10 \text{ m} \quad d = 5 \text{ m} \quad h = 3.5 \text{ m}$$

$$e = \min \left\{ \frac{b}{2h} = \min \left\{ \frac{10}{7} = 7 \text{ m} \right. \right.$$

PO CONAH:

$$\text{cona } F = \frac{e}{10} \cdot \frac{e}{4} = \frac{7}{10} \cdot \frac{7}{4} = 0.7 \cdot 1.75 = 1.23 \text{ m}^2$$

$$Cpe^F = -2.5 - (-2.5 + 1.8) \cdot \log_{10} 1.23 = -2.44$$

$$\text{cona } G = \left(b - 2 \cdot \frac{e}{4} \right) \cdot \frac{e}{10} = \left(10 - 2 \cdot \frac{7}{4} \right) \cdot \frac{7}{10} = 6.5 \cdot 0.7 = 4.55 \text{ m}^2$$

$$Cpe^G = -2 - (-2.0 + 1.2) \cdot \log_{10} 4.55 = -1.47$$

$$\text{cona } H = \left(\frac{e}{2} - \frac{e}{10} \right) \cdot b = \left(\frac{7}{2} - \frac{7}{10} \right) \cdot b = 2.8 \cdot 10 = 28 \text{ m}^2$$

$$Cpe^H = -0.7$$

$$\text{cona } I = \left(d - \frac{e}{2} \right) \cdot b = \left(5 - \frac{7}{2} \right) \cdot 10 = 15 \text{ m}^2$$

$$Cpe^I = \pm 0.2$$

PRITISKI/SRKI: $w_e = q_p(z) \cdot c_{pe} = 0.32 \cdot c_{pe}$

$$w_e^F = q_p(z) \cdot c_{pe}^F = 0.32 \cdot -2.44 = -0.78 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \text{srk}$$

$$w_e^G = q_p(z) \cdot c_{pe}^G = 0.32 \cdot -1.47 = -0.47 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \text{srk}$$

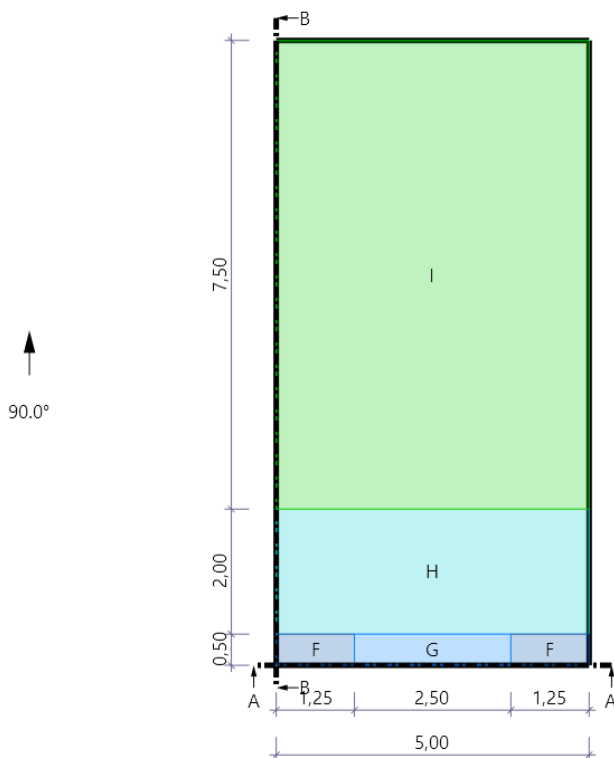
$$w_e^H = q_p(z) \cdot c_{pe}^H = 0.32 \cdot -0.7 = -0.22 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \text{srk}$$

$$w_e^I = q_p(z) \cdot c_{pe}^I = 0.32 \cdot \pm 0.2 = \pm 0.06 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \text{srk/tlak}$$

Preglednica 4.6: Prikaz rezultatov vetrne obtežbe po conah ($\Theta=0^\circ$).

| CONA | A [m ²] | c_{pe} | W_e [kN/m ²] | |
|------|---------------------|-----------|----------------------------|------------|
| F | 1.23 | -2.44 | -0.78 | SRK |
| G | 4.55 | -1.47 | -0.47 | SRK |
| H | 28 | -0.7 | -0.22 | SRK |
| I | 15 | ± 0.2 | ± 0.06 | SRK / TLAK |

– Smer vetra pod kotom 90°

Slika 4.13: Razdelitev ravne strehe na področja $\Theta=90^\circ$ (enote so v m).

Vir: lasten.

Določimo dimenzije posameznih vetrnih con za obravnavani objekt:

$$b = 5 \text{ m} \quad d = 10 \text{ m} \quad h = 3.5 \text{ m}$$

$$e = \min \left\{ \frac{b}{2h} = \min \left\{ \frac{5}{7} = 5 \text{ m} \quad \frac{h}{d} = \frac{3.5}{10} = 0.35 \right. \right.$$

PO CONAH:

$$\text{cona } F = \frac{e}{10} \cdot \frac{e}{4} = \frac{5}{10} \cdot \frac{5}{4} = 0.5 \cdot 1.25 = 0.625 \text{ m}^2$$

$$c_{pe}^F = -2.5 - (-2.5 + 1.8) \cdot \log_{10} 0.625 = -2.64$$

$$\text{cona } G = \left(b - 2 \cdot \frac{e}{4}\right) \cdot \frac{e}{10} = \left(5 - 2 \cdot \frac{5}{4}\right) \cdot \frac{5}{10} = 2.5 \cdot 0.5 = 1.25 \text{ m}^2$$

$$c_{pe}^G = -2 - (-2.0 + 1.2) \cdot \log_{10} 1.25 = -1.92$$

$$\text{cona } H = \left(\frac{e}{2} - \frac{e}{10}\right) \cdot b = \left(\frac{5}{2} - \frac{5}{10}\right) \cdot b = 2 \cdot 5 = 10 \text{ m}^2$$

$$c_{pe}^H = -0.7$$

$$\text{cona } I = \left(d - \frac{e}{2}\right) \cdot b = \left(10 - \frac{5}{2}\right) \cdot 5 = 37.5 \text{ m}^2$$

$$c_{pe}^I = \pm 0.2$$

PRITISKI/SRKI: $w_e = q_p(z) \cdot c_{pe} = 0.32 \cdot c_{pe}$

$$w_e^F = q_p(z) \cdot c_{pe}^F = 0.32 \cdot -2.64 = -0.84 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \text{srk}$$

$$w_e^G = q_p(z) \cdot c_{pe}^G = 0.32 \cdot -1.92 = -0.61 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \text{srk}$$

$$w_e^H = q_p(z) \cdot c_{pe}^H = 0.32 \cdot -0.7 = -0.22 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \text{srk}$$

$$w_e^I = q_p(z) \cdot c_{pe}^I = 0.32 \cdot \pm 0.2 = \pm 0.06 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \text{srk/tlak}$$

Preglednica 4.7: Prikaz rezultatov vetrne obtežbe po conah ($\Theta=90^\circ$).

| CONA | A [m ²] | c _{pe} | W _e [kN/m ²] | |
|------|---------------------|-----------------|-------------------------------------|------------|
| F | 0.625 | -2.64 | -0.84 | SRK |
| G | 1.25 | -1.92 | -0.61 | SRK |
| H | 10 | -0.22 | -0.22 | SRK |
| I | 37.5 | ± 0.2 | ± 0.06 | SRK / TLAK |

4.5 Analiza potresne obtežbe po SIST EN 1998-1 [5]

V danem primeru je konstrukcija enostavne geometrijske zasnove simetrična v obeh glavnih tlorisnih smereh ter pravilna po višini. Torej lahko skladno s standardom obravnavamo konstrukcijo v dveh ločenih med seboj pravokotnih smereh in tako

tudi porazdelimo potresni vpliv v obliki nadomestne (ekvivalentne) vodoravne statične obtežbe.

Določitev togosti prečnega in vzdolžnega okvirja

Togost posameznega okvirja v svoji ravnini določimo v skladu z osnovami mehanike linijskih konstrukcij kot vsoto upogibnih togosti vseh stebrov v ravnini obravnavanega okvirja (kjer za najenostavnejši »pešč« račun predpostavimo, da je upogibna togost prečke T-prereza neskončna napram togosti stebra). Ob uporabi programa za statično analizo konstrukcij bi horizontalno togost oziroma podajnost okvirja določili enostavno iz reakcije na enotin pomik zgorjnjega vogalnega vozlišča.

Nearmiranega zidovja (opečni polnilni zid) ne smemo v potresni analizi upoštevati kot dodatek vodoravni togosti po SIST EN 1998-1 [5] poglavje 4.3.6.1(5) in poglavje 4.3.1(8) ter preglednica 9.2.

AB stebri $b/h = 25/25$ cm

$$K_{\text{preč.okv.}} = \sum_1^n k_i = 2 \cdot \frac{12 \cdot EI_{\text{steb.}}}{L_{\text{steb.}}^3} = 2 \cdot \frac{12 \cdot 10091.15}{3.5^3} = 5648.69 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad (4.22)$$

kjer velja:

$$E_{cm} = 31 \text{ GPa} = 3100 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 31 \cdot 10^6 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \begin{array}{l} \text{modul elastičnosti} \\ \text{betona C25/30 (SIST} \\ \text{EN 1992-1-1)} \end{array}$$

$$I_{\text{steb.}} = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{0.25^4}{12} = 3.255 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4 \quad \begin{array}{l} \text{vztrajnostni moment} \\ \text{prečnega prereza stebra} \end{array}$$

$$K_{\text{vzd.okv.}} = \sum_1^n k_i = 3 \cdot \frac{12 \cdot EI_{\text{steb.}}}{L_{\text{steb.}}^3} = 3 \cdot \frac{12 \cdot 10091.15}{3.5^3} = 8473.03 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad (4.23)$$

Določitev mase, ki pripada prečnemu in vzdolžnemu okvirju

Sodelujočo maso določimo s pomočjo enačbe (4.24):

$$W = \sum G_{k,j} + \sum \psi_{E,i} \cdot G_{k,i} \quad (4.24)$$

kjer $\psi_{E,i}$ določimo v skladu z enačbo (4.25):

$$\psi_{E,i} = \phi \cdot \psi_{2,i} \quad (4.25)$$

kjer določimo ϕ v skladu s preglednico 4.8 in $\psi_{2,i}$ v skladu preglednico 4.9.

Preglednica 4.8: Vrednosti koeficienta ϕ za spremenljive obtežbe.

| Vrsta spremenljivega vpliva | Etaža | ϕ |
|-----------------------------|---------------------------|--------|
| kategorije A - C | vrhna etaža (streha) | 1.0 |
| | namensko povezane etaže | 0.8 |
| | namensko nepovezane etaže | 0.5 |
| kategorije D - F in arhivi | | 1.0 |

Preglednica 4.9: Priporočene vrednosti redukcijskih koeficientov Ψ za stavbe.

| Vrsta obtežbe | Ψ_0 | Ψ_1 | Ψ_2 |
|---|----------|----------|----------|
| <i>1. Koristne obtežbe v stavbah</i> | | | |
| kategorija A: bivalni prostori | 0.7 | 0.5 | 0.3 |
| kategorija B: pisarne | 0.7 | 0.5 | 0.3 |
| kategorija C: stavbe, kjer se zbirajo ljudje | 0.7 | 0.7 | 0.6 |
| kategorija D: trgovine | 0.7 | 0.7 | 0.6 |
| kategorija E: skladišča | 1.0 | 0.9 | 0.8 |
| kategorija F: prometne površine vozila teže do 30 kN | 0.7 | 0.7 | 0.6 |
| kategorija G: prometne površine vozila teže med 30 kN in 160kN | 0.7 | 0.5 | 0.3 |
| kategorija H: strehe | 0 | 0 | 0 |
| <i>2. Klimatske obtežbe</i> | | | |
| obtežba snega na stavbah (Finska, Islandija, Norveška, Švedska) | 0.7 | 0.5 | 0.2 |
| obtežba snega (države CEN nad 1000 m.n.v.) | 0.7 | 0.5 | 0.2 |
| obtežba snega (države CEN pod 1000 m.n.v.) | 0.5 | 0.2 | 0 |
| obtežba vetra na stavbah | 0.6 | 0.2 | 0 |
| spremembe temperature (ne pri požaru) | 0.6 | 0.5 | 0 |

$$\psi_{E,H} = 1.0 \cdot 0 = 0 \quad \text{koristna}$$

$$\psi_{E,S} = 1.0 \cdot 0 = 0 \quad \text{sneg}$$

$$\psi_{E,W} = 1.0 \cdot 0 = 0 \quad \text{veter}$$

Teža strehe glede na sestavo in obtežbe je podana:

$$W_{strehe} = \sum G_{k,strehe} = 451.16 \text{ kN} \Rightarrow M_{strehe} = 45.116 \text{ t} \quad (4.26)$$

Določitev lastnih nihajnih časov (frekvenc) prečnemu in vzdolžnemu okvirju

Krožna frekvenca konstrukcije v prečni smeri (kjer lahko togost konstrukcije upoštevamo kot vsoto togosti okvirjev (3) v prečni smeri zaradi neskončne togosti AB-plošče v svoji ravnini in simetrije konstrukcije):

$$\omega_{1,preč.} = \sqrt{\frac{k}{M_{strehe}}} = \sqrt{\frac{3 \cdot 5648.69}{45.116}} = 19.38 \text{ rad/s} \quad (4.27)$$

Lastna frekvenca konstrukcije je:

lastni nihajni čas (perioda) konstrukcije v prečni smeri:

$$\begin{aligned} \nu_{1,preč.} &= \frac{\omega}{2\pi} = \frac{19.381}{2\pi} = 3.085 \text{ Hz} \\ T_{1,preč.} &= \frac{1}{\nu} = \frac{1}{3.085 \text{ s}^{-1}} = 0.324 \text{ s} \end{aligned} \quad (4.28)$$

lastni nihajni čas (perioda) konstrukcije v vzdolžni smeri (2 okvirja) je:

$$\begin{aligned} \omega_{1,vzd.} &= \sqrt{\frac{k}{M_{strehe}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 8473.03}{45.116}} = 19.381 \text{ rad/s} & \nu_{1,vzd.} &= \frac{\omega}{2\pi} = \frac{19.381}{2\pi} = \\ & & & 3.085 \text{ Hz} \\ T_{1,vzd.} &= \frac{1}{\nu} = \frac{1}{3.085 \text{ s}^{-1}} = 0.324 \text{ s} \end{aligned}$$

Določitev lastnega nihajnega časa po približni metodi po enačbi (4.29):

Izračun osnovnega nihajnega časa (T_1) je v splošnem stvar dinamike konstrukcij in ga na tem mestu ne bomo posebej obravnavali. Poenostavljeno pa EN 1998-1:2004 dopušča, da za stavbe, visoke do 40 m, lahko približno upoštevamo:

$$T_1 = C_t \cdot H^{3/4} \quad (4.29)$$

kjer je H višina objekta v metrih, merjena od vrha temeljev ali od vrha toge kleti, za C_t pa velja:

- $C_t = 0.085$ za prostorske jeklene okvirje,
- $C_t = 0.075$ za prostorske betonske okvirje,
- $C_t = 0.050$ za vse druge konstrukcije.

$$T_{1,preč.} = T_{1,vzd.} = C_t \cdot H^{\frac{3}{4}} = 0.075 \cdot 3.5^{\frac{3}{4}} = 0.192 \text{ s}$$

Kot lahko vidimo, je ta metoda za ta naš primer neuporabna.

Določitev nadomestne potresne statične sile po [5]:

Metodo z vodoravnimi silami je možno uporabiti za stavbe, pri katerih višje nihajne oblike v nobeni od glavnih smeri ne vplivajo pomembno na odziv. Ta zahteva je v splošnem izpolnjena, če sta izpolnjena sledeča dva pogoja:

osnovni nihajni čas v dveh glavnih smereh ustreza sledeči neenačbi (4.30):

$$T_1 \leq \begin{cases} 4 \cdot T_C \\ 2.0 \text{ s} \end{cases} \quad (4.30)$$

Za obravnavani primer: $0.324 \text{ s} \leq \begin{cases} 4 \cdot 0.6 \text{ s} = 2.4 \text{ s} \\ 2.0 \text{ s} \end{cases}$ ustreza, kjer T_C odčitamo iz preglednice 2.11, ki pripada priporočenemu elastičnemu spektru tipa 1

konstrukcija ustreza merilom za pravilnost po višini (poglavje 4.2.3.3 v [5])

V našem primeru ustreza.

Celotni horizontalni potresni vpliv (sila)

Celotna potresna prečna sila po [5] poglavje 4.3.3.2.2,

$$F_b = S_d(T_1) \cdot m \cdot \lambda = \quad (4.31)$$

$$= S_d(T_1) \cdot m \cdot \lambda = 0.641 \cdot 45.116 \cdot 1.0 = 28.92 \text{ kN} = F_{b,preč.} = F_{b,vzd.}$$

kjer je ordinata v projektnem spektru

$$\begin{aligned} S_d(T_1) &= a_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q} = \\ &= (0.075 \cdot 9.81) \cdot 1.15 \cdot \frac{2.5}{3.3} = 0.641 \end{aligned} \quad (4.32)$$

Preglednica 4.10: Vrednosti parametrov za elastični spekter odziva tipa 1 ($M_s > 5.5$).

| Tip tal | S | T_B [s] | T_C [s] | T_D [s] |
|---------|------|-----------|-----------|-----------|
| A | 1.00 | 0.15 | 0.4 | 2.0 |
| B | 1.20 | 0.15 | 0.5 | 2.0 |
| C | 1.15 | 0.20 | 0.6 | 2.0 |
| D | 1.35 | 0.20 | 0.8 | 2.0 |
| E | 1.40 | 0.15 | 0.5 | 2.0 |

Za obravnavani primer – tla tipa C (preglednica 4.10) določimo sledeče parametre:

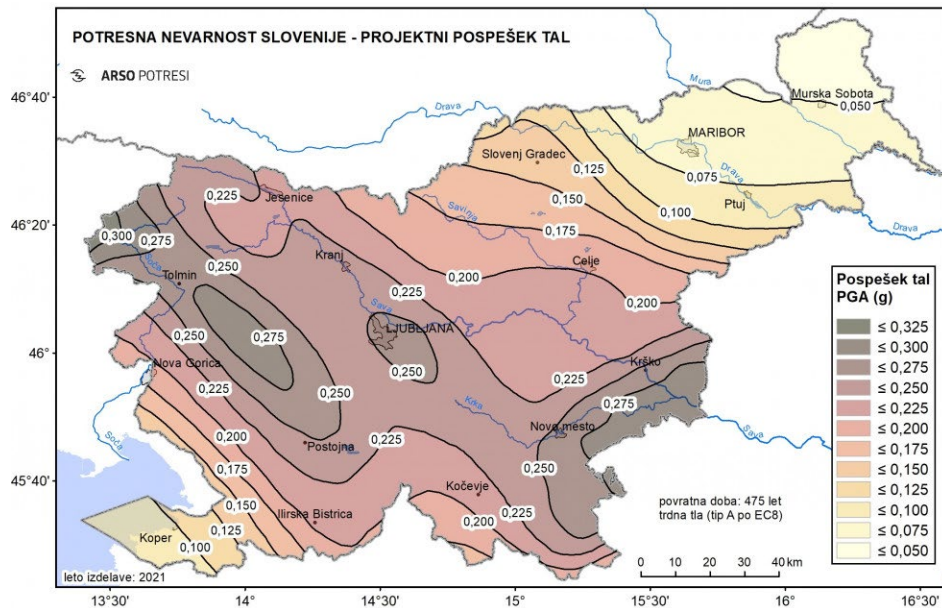
$$S = 1.15 \quad T_B = 0.20 \quad T_C = 0.60 \quad T_D = 2.0$$

$$T_B = 0.20 \leq T_1 = 0.322 \leq T_C = 0.60 \quad \text{torej izberemo enačbo}$$

$$T_B \leq T \leq T_C: S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q} \quad (4.33)$$

Horizontalni projektni pospešek tal: $a_g = a \cdot g_{grav.} = 0.075 \cdot 9.81 = 0.7357 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
za Maribor ($a=0.075g$) ga odčitamo iz slike 4.14.

Faktor obnašanja q , ki upošteva vpliv viskoznega dušenja, določimo za različne materiale in konstrukcijske sisteme v ustreznih delih standarda SIST EN 1998-1 [5]. Vrednost faktorja obnašanja je lahko različna za različne vodoravne smeri konstrukcije, medtem ko mora biti v vseh smereh uporabljena ista opredelitev duktilnosti. Za obravnavano enoetažno AB okvirno konstrukcijo (mešani sistem) ga določimo po poglavju 5.2.2.2, enačba (2.34). Glede izbire vrste konstrukcije je izpolnjen pogoj po poglavju 5.2.2.1(5) glede najmanjše torzijske togosti in izberemo b) mešani sistem ekvivalenten okvirnemu.



Slika 4.14: Potresna nevarnost Slovenije – projektni pospešek tal tipa A za povratno dobo $R = 475$ let.

Vir: lasten.

$$q_{preč.} = q_{vzd.} = q_0 \cdot k_w = (3.0 \cdot 1.1) \cdot 1.0 = 3.3 \quad (4.34)$$

(za obe smeri izberemo enakega)

kjer velja:

$$q_0 = 3.0 \cdot \frac{\alpha_u}{\alpha_1} = 3.0 \cdot 1.1 = 3.3$$

osnovni faktor obnašanja (glej preglednico 5.1 v [5])

$$\frac{\alpha_u}{\alpha_1} = 1.1 \quad \text{faktor duktilnosti oz. plastičnih členkov za enoetažne stavbe}$$

$$k_w = 1.0 \quad \text{faktor rušenja pri stenastih sistemih}$$

korekcijski faktor za določitev efektivne modalne mase znaša $\lambda = 1.0$

Celotni vertikalni potresni vpliv (sila)

Za navpično komponento potresnega vpliva je spekter odziva podan po enakih izrazih kot za horizontalno komponento po enačbah (3.13)-(3.16) v [5], kjer so parametri $S = 1.0$ in a_g nadomesti a_{gv} , katerega razmerje najdemo skupaj z ostalimi parametri v preglednici 4.11.

Preglednica 4.11: Priporočene vrednosti za vertikalno komponentno spektra odziva.

| Tip spektra | a_{vg} / a_g | T_B [s] | T_C [s] | T_D [s] |
|-------------|----------------|-----------|-----------|-----------|
| Tip 1 | 0.90 | 0.05 | 0.15 | 1.0 |
| Tip 2 | 0.45 | 0.05 | 0.15 | 1.0 |

V skladu s standardom znaša za obravnavani primer vertikalni projektni pospešek tal:

$$a_{vg} = 0.9 \cdot a_g = 0.9 \cdot 0.981 = 0.883 \frac{m}{s^2} \leq 0.25 \cdot g = 0.25 \cdot 9.81 = 2.453 \frac{m}{s^2}$$

ker je pogoj izpolnjen že v osnovi (poglavje 4.3.3.5.2 v [5]), navpične komponente potresnega vpliva ni potrebno upoštevati.

Razporeditev potresnega vpliva po okvirjih (horizontalna razporeditev)

Enakomerno porazdelitev horizontalnega potresnega vpliva na okvirje v vsaki obravnavani (glavni) smeri posebej lahko dosežemo v primeru, ko je konstrukcija popolnoma simetrična in ko je prekladna konstrukcija oz. etažna diafragma »neskončno« toga v svoji ravnini. To pomeni, da mora konstrukcija imeti visoko stopnjo simetrije in togosti v horizontalni ravnini, kar omogoča enakomerno razporejanje potresnih vplivov na okvirje v vsaki smeri posebej.

Tako znašajo posamezni potresni vplivi na prečni in vzdolžni okvir:

$$F_{b,preč.okvir} = \frac{F_{b,preč.}}{\text{št.okv.}} = \frac{28.92}{3} = 9.64 \text{ kN} \quad (4.35)$$

$$F_{b,vzd.okvir} = \frac{F_{b,vzd.}}{\text{št.okv.}} = \frac{28.92}{2} = 9.64 \text{ kN} \quad (4.36)$$

4.6 Kombiniranje obtežb oz. obremenitev po SIST EN 1990 [1]

MEJNO STANJE NOSILNOSTI – MSN

Za obravnavani primer preverimo kombinacijo vplivov za stalna in začasna projektna stanja po enačbi (4.37):

$$E_d = \sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} \cdot G_{kj} + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \sum_{i \geq 2} \gamma_{Qi} \cdot \Psi_{0i} \cdot Q_{ki} \quad (4.37)$$

kjer veljajo sledeči faktorji na obtežbe oz. obremenitve:

$\gamma_{G,j} = 1.35$ za neugodne stalne vplive oziroma,

$\gamma_{G,j} = 1.00$ za ugodne stalne vplive,

$\gamma_{Q,1} = 1.50$ za neugodne spremenljive vplive oziroma,

$\gamma_{Q,1} = 0.00$ za ugodne spremenljive vplive,

$\gamma_{Q,i} = 1.50$ za neugodne spremenljive vplive oziroma,

$\gamma_{Q,i} = 0.00$ za ugodne spremenljive vplive,

$\Psi_{0,i} \dots$ faktorji po preglednici 1.2.

Za obravnavani primer izhajajo sledeče kombinacije (če faktoriramo direktno obtežbo):

$$1.35 \cdot g + 1.5 \cdot s + 1.5 \cdot 0.6 \cdot w_e + 1.5 \cdot 0.0 \cdot q_H \quad (\text{merodajna})$$

$$1.35 \cdot g + 1.5 \cdot w_e + 1.5 \cdot 0.5 \cdot s + 1.5 \cdot 0.0 \cdot q_H$$

$$1.35 \cdot g + 1.5 \cdot q_H + 1.5 \cdot 0.5 \cdot s + 1.5 \cdot 0.6 \cdot w_e$$

$$1.0 \cdot g + 1.5 \cdot w_e \quad (\text{veter na strehi je srk, ker je ravna!})$$

Za obravnavani primer preverimo kombinacijo s potresno obtežbo po enačbi (4.38):

$$E_d = \sum_{j \geq 1} G_{kj} + \gamma_I \cdot A_{Ed} + \sum_{i \geq 1} \Psi_{2i} \cdot Q_{ki} \quad (4.38)$$

$\Psi_{2,i} \dots$ faktorji po preglednici 1.2

Za obravnavani primer izhajajo sledeče kombinacije (če faktoriramo direktno obtežbo):

$$g + F_{b,preč.okvir} + 0.0 \cdot s + 0.0 \cdot w_e + 0.0 \cdot q_H \quad \text{za prečni okvir}$$

$$g + F_{b,vzd.okvir} + 0.0 \cdot s + 0.0 \cdot w_e + 0.0 \cdot q_H \quad \text{za vzdolžni okvir}$$

MEJNO STANJE UPORABNOSTI – MSU

Za obravnavani primer preverimo kombinacijo vplivov za karakteristično obtežno kombinacijo po enačbi (4.439):

$$E = \sum_{j \geq 1} G_{kj} + Q_{k1} + \sum_{i \geq 2} \Psi_{0i} \cdot Q_{ki} \quad (4.39)$$

$\Psi_{0,i} \dots$ faktorji po preglednici 1.2

Za mejna stanja uporabnosti so delni faktorji vplivov enaki 1.0 in ravno tako so delni faktorji za lastnosti materialov enaki 1.0 (npr. moduli elastičnosti), če ni v standardih določeno drugače.

Za obravnavani primer izhajajo sledeče kombinacije (kontrola trenutnih povosov in vibracij):

$$g + s + 0.6 \cdot w_e + 0.0 \cdot q_H \quad \text{oziroma}$$

$$g + s + 0.0 \cdot q_H \quad \text{(merodajna za vertikalne pomike)}$$

$$g + w_e + 0.5 \cdot s + 0.0 \cdot q_H \quad \text{(merodajna za horizontalne pomike)}$$

$$g + q_H + 0.5 \cdot s + 0.6 \cdot w_e \quad \text{oziroma } g + q_H + 0.5 \cdot s$$

Za obravnavani primer preverimo kombinacijo vplivov za pogosto obtežno kombinacijo po enačbi (4.40):

$$E = \sum_{j \geq 1} G_{kj} + \Psi_{11} \cdot Q_{k1} + \sum_{i \geq 2} \Psi_{2i} \cdot Q_{ki} \quad (4.40)$$

$\Psi_{0,i}$ in $\Psi_{1,i} \dots$ faktorji po preglednici 1.2

Kombinacija se praviloma uporablja v mostogradnji, zato je na tem mestu za obravnavan primer neuporabna.

Za obravnavani primer preverimo kombinacijo vplivov za navidezno stalno obtežno kombinacijo po enačbi (4.41):

$$E = \sum_{j \geq 1} G_{kj} + \sum_{i \geq 2} \Psi_{2i} \cdot Q_{ki} \quad (4.41)$$

$\Psi_{2,i} \dots$ faktorji po preglednici 1.2

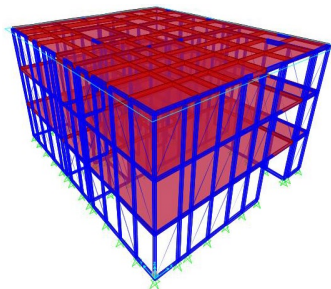
Za obravnavani primer izhajajo sledeče kombinacije, ki se nanašajo na streho objekta (kontrola končnih povosov – lezenje):

$$g + 0 \cdot s + 0 \cdot w_e + 0 \cdot q_H$$

5 Določitev obtežb za trietazni večnamenski leseni stanovanjski objekt

5.1 Zasnova

- Objekt je pravokotne oblike, tlorisnih dimenzij 11,30 m x 13,80 m, etažna višina 2,5 m
- Ravna streha kategorije H (dostopna le za normalno vzdrževanje in popravila)
- Stanovanjski večnamenski objekt (kategorije A – bivalni prostori)
- Vetrna cona 1 (Lj – predmestje n. v. 296 m), kategorija terena III., ravni teren
- Potresna cona Lj: $a_g = 0,250g$, tip tal B



Slika 5.1: Prikaz prostorskega modela konstrukcije.

Vir: lasten.

Preglednica 5.1: Fizikalne lastnosti uporabljenih materialov.

| | $E_{0,mean}$ [kN/cm ²] | G_{mean} [kN/cm ²] | $f_{m,k}$ [kN/cm ²] | $f_{t,0,k}$ [kN/cm ²] | $f_{c,0,k}$ [kN/cm ²] | ρ_m [kg/m ³] |
|------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| Les C24 | 1100 | 69 | 2.4 | 1.4 | 2.1 | 420 |
| MVP 15 mm Fermacell | 380 | 160 | 0.41 | 0.24 | 0.85 | 1150 |
| OSB | 350 | 24 | 2 | 2 | 2 | 600 |
| Steklo | 7000 | 69 | 12 | 12 | 50 | 2500 |

Preglednica 5.2: Dimenzije uporabljenih materialov.

| | |
|--|--------------------------------------|
| Mavčno vlaknena plošča (MVP) | |
| Prerez: | $t/b = 15 \text{ cm}/125 \text{ cm}$ |
| Višina: | $H = 2.50 \text{ m}$ |
| Leseni pokončniki (masivni les C24) | |
| Prerez: | $d/c = 6 \text{ cm}/16 \text{ cm}$ |
| | $a/c = 6 \text{ cm}/16 \text{ cm}$ |
| Sponke tip KG750 | |
| Premer sponke: | $d = 1.53 \text{ cm}$ |
| Dolžina sponke: | $l = 50 \text{ mm}$ |
| Efektivna razdalja: | $s_{eff} = 7.5 \text{ cm}$ |

Za prikazan prostorski model konstrukcije je nosilnost stenskega elementa upoštevana preko fiktivnega premera diagonale krožnega preseka, na sliki 5.1 prikazana kot diagonala posameznega stenskega elementa. Stenski elementi brez diagonal so nenosilni.

5.2 Analiza obtežbe po SIST EN 1991-1 [2]

Stalna obtežba (z upoštevanom lastno težo) po SIST EN 1991-1-1

- Streha: $g = 1.609 \text{ kN/m}^2$
- Strop: $g = 1.945 \text{ kN/m}^2$
- Zunanja stena: $g = 0.795 \text{ kN/m}^2$
- Notranja stena: $g = 0.675 \text{ kN/m}^2$
- Okno: $g = 0.580 \text{ kN/m}^2$

Koristna obtežba – spremenljiva obtežba po SIST EN 1991-1-1 [2]

Določitev koristne obtežbe strehe (po poglavju 6.3.4 v [2])

streha *ktg.* H dostopna le za normalno vzdrževanje in popravila

$$q_k = 0.4 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Določitev koristne obtežbe talne plošče (po poglavju 6.3.1 v [2])

Tla (kategorija A – tla na splošno)

$$q_k = 2 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

5.3 Veter – spremenljiva obtežba po SIST EN 1991-1-4 [4]

Za objekt upoštevamo, da je z vseh štirih strani zaprt (za normalno obratovanje), se nahaja v veterni coni 1 (Ljubljana-predmestje) ter ga po klasifikaciji terena uvrstimo v kategorijo III. (običajno rastlinje ali stavbe – podeželje, gozd). Vpliv notranjega pritiska vetra torej ne upoštevamo v normalnem projektnem stanju (v nezgodnem projektnem stanju seveda ni zanemarljiv) po [4], glej poglavje 7.2.9.

Za vertikalne zidove pravokotne oblike lahko objekt obravnavamo s konstantnim pritiskom vetra po vsej višini objekta, saj je izpolnjen pogoj:

$$h = 7.50 \text{ m} < b_w = 11.30 \text{ m}$$

Zunanji pritisk vetra ob upoštevanju sunkov (w_e), po enačbi (5.1).

$$w_e = q_p(z) \cdot c_{pe} \quad (5.1)$$

Največji tlak pri sunkih vetra (q_p , makro lokacija), po enačbi (5.2)

$$q_p(z) = c_e(z) \cdot q_b = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = 1.52 \cdot 0.25 = 0.38 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad (5.2)$$

Kjer je osnovni tlak vetra po enačbi (5.3)

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 = \frac{1}{2} \cdot 1.25 \cdot 20^2 = 250 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 0.25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad (5.3)$$

Kjer je osnovna hitrost vetra po enačbi (5.4)

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} = 1.0 \cdot 1.0 \cdot 20 = 20 \text{ m/s} \quad (5.4)$$

$v_{b,0} = 20 \text{ m/s}$ temeljna vrednost osnovne hitrosti vetra po nacionalnem dodatku za Slovenijo, *cona 1*, N.V. 296 m

$\rho = 1.25 \text{ kg/m}^3$ gostota zraka (po poglavju 4.5 v nacionalnem dodatku opomba 1 in 2)

$c_{dir} = 1.0$ smerni faktor (je lahko tudi drugače podan v nacionalnih dodatkih)

$c_{season} = 1.0$ faktor letnega časa (je lahko tudi drugače podan v nacionalnih dodatkih)

Srednja hitrost vetra po enačbi (5.5) (zgolj informativno – sicer je ne računamo)!

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b = 0.692 \cdot 1.0 \cdot 20 = 13.84 \text{ m/s} \quad (5.5)$$

Faktor hrapavosti terena ($c_r(z)$), mikrolokacija, po enačbah (5.6a,b)

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad \text{za} \quad z_{min} \leq z \leq z_{max} \quad (5.6a)$$

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z_{min}}{z_0}\right) \quad \text{za} \quad z \leq z_{min} \quad (5.6b)$$

$$k_r = 0.19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0.07} \quad (5.7)$$

kjer je za našo kategorijo terena: *klg.III.* po preglednici 5.3.

Preglednica 5.3: Ustrezni terenski parametri glede na kategorijo terena.

| Kategorija terena | z_0 [m] | z_{min} [m] |
|-------------------|-----------|---------------|
| 0 | 0.003 | 1.0 |
| I | 0.01 | 1.0 |
| II | 0.05 | 2.0 |
| III | 0.3 | 5.0 |
| IV | 1.0 | 10.0 |

$$\begin{aligned}
 z_0 &= 0.3 \text{ m} && \text{dolžina hrapavosti po preglednici 5.3} \\
 z_{\min} &= 5 \text{ m} && \text{minimalna računsko višina po preglednici 5.3} \\
 k_r &= 0.19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0.07} = 0.19 \cdot \left(\frac{0.3}{0.05}\right)^{0.07} = 0.215 && \text{faktor terena po enačbi 5.7} \\
 z &= 7.5 \text{ m} > z_{\min} && \text{višina objekta}
 \end{aligned}$$

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z_{\min}}{z_0}\right) = 0.215 \cdot \ln\left(\frac{7.5}{0.3}\right) = 0.692 \quad (5.8)$$

Koeficient hribovitosti terena (c_o), po [4]; dodatek A.3

$$\begin{aligned}
 c_o &= 1 \quad \text{za } \phi < 0.05 \\
 c_o &= 1 + 2 \cdot s \cdot \phi \quad \text{za } 0.05 < \phi < 0.3 \\
 c_o &= 1 + 0.6 \cdot s \quad \text{za } \phi > 0.3
 \end{aligned} \quad (5.9)$$

kjer je:

s ...faktor hribovitosti kraja po sliki A.2 in sliki A.3 po [4]

$\phi = \frac{H}{L_u}$...nagib pobočja po sliki A.2 in sliki A.3 po [4]

V našem primeru ni ovir na terenu oziroma objekt je lociran na ravnem terenu:

$$c_o = 1 \quad (5.10)$$

- Faktor izpostavljenosti ($c_e(z)$), po enačbi (5.11) z upoštevanjem turbulenc in sunkov vetra

$$c_e(z) = c_r^2 \cdot c_o^2 \cdot [1 + 7 \cdot I_v(z)] = 0.692^2 \cdot 1.0^2 \cdot [1 + 7 \cdot 0.311] = 1.52 \quad (5.11)$$

kjer je $I_v(z)$ intenziteta turbulence na višini » z « po enačbi (5.12):

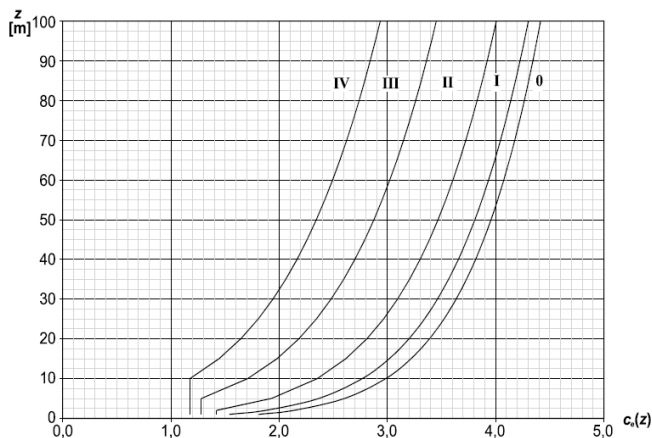
$$I_v(z) = \frac{k_I}{c_o(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \quad \text{za } z_{\min} \leq z \leq z_{\max} \quad (5.12)$$

$k_I = 1.0$...turbulentni faktor

Opomba:

Faktor izpostavljenosti $c_{e(z)}$ za raven teren lahko odčitamo oziroma preverimo tudi iz diagrama na Sliki 5.2.

Kontrolno odčitamo približno 1.5.



Slika 5.2: Faktor izpostavljenosti $c_e(z)$ za $c_0 = 1.0$ in $k_1 = 1.0$, [4].

Koeficienti zunanega pritiska na stene objekta (c_{pe})

Evrokod podaja vrednosti c_{pe} za dve velikosti površin ($A = 1 \text{ m}^2$, ki jo označuje $c_{pe,1}$, in $A = 10 \text{ m}^2$, ki jo označuje $c_{pe,10}$). Vmesne vrednosti se logaritmično interpolirajo po enačbi 5.13.

$$c_{pe} = c_{pe,1} - (c_{pe,1} - c_{pe,10}) \cdot \log_{10} A \quad (5.13)$$

Vrednosti koeficienta zunanega tlaka so odvisne od razporeditve sten na posamezna področja od A do E. Pri tem velja, da je b širina pravokotno na smer vetra, e pa manjša vrednost po izrazu:

$$e = \min \left\{ \begin{array}{l} b \\ 2h \end{array} \right. \quad (5.14)$$

Vrednosti koeficientov po posameznih področjih so podane v preglednici 5.4.

Preglednica 5.4: Priporočene vrednosti c_{pe} za vertikalne stene.

| Področje h/d | A | | B | | C | | D | | E | |
|-------------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|
| | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ |
| 5 | -1.2 | -1.4 | -0.8 | -1.1 | -0.5 | -0.5 | +0.8 | +1.0 | -0.7 | -0.7 |
| 1 | -1.2 | -1.4 | -0.8 | -1.1 | -0.5 | -0.5 | +0.8 | +1.0 | -0.5 | -0.5 |
| ≤ 0.25 | -1.2 | -1.4 | -0.8 | -1.1 | -0.5 | -0.5 | +0.8 | +1.0 | -0.3 | -0.3 |

Za vmesne vrednosti h/d se lahko uporabi linearna interpolacija!

Določimo dimenzije posameznih vetrnih con za obravnavani objekt:

$$b = 13.80 \text{ m} \quad d = 11.30 \text{ m} \quad h = 7.5 \text{ m}$$

$$e = \min \left\{ \frac{b}{2h} = \min \left\{ \frac{13.80}{15} = 13.80 \text{ m} > d \quad \frac{h}{d} = \frac{7.5}{11.30} = 0.66 \right. \right.$$

PO CONAH:

$$\text{cona } A = e/5 \cdot h = \frac{13.80}{5} \cdot 7.5 = 20.7 \text{ m}^2$$

$$c_{pe}^A = -1.2$$

$$\text{cona } B = (d - e/5) \cdot h = \left(11.30 - \frac{13.80}{5} \right) \cdot 7.5 = 64.05 \text{ m}^2$$

$$c_{pe}^B = -0.8$$

$$\text{cona } D = b \cdot h = 13.80 \cdot 7.5 = 103.5 \text{ m}^2$$

$$c_{pe}^D = +0.8$$

$$\text{cona } E = b \cdot h = 13.80 \cdot 7.5 = 103.5 \text{ m}^2$$

$$c_{pe}^E = -0.5 - \frac{(-0.5 + 0.3)}{(1 - 0.25)} \cdot (1 - 0.66) = -0.41$$

PRITISKI/SRKI: $w_e = q_p(z) \cdot c_{pe} = 0.38 \cdot c_{pe}$

$$w_e^A = q_p(z) \cdot c_{pe}^A = 0.38 \cdot -1.2 = -0.46 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \text{srk}$$

$$w_e^B = q_p(z) \cdot c_{pe}^B = 0.38 \cdot -0.8 = -0.30 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \text{srk}$$

$$w_e^D = q_p(z) \cdot c_{pe}^D = 0.38 \cdot +0.8 = +0.30 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \text{tlak}$$

$$w_e^E = q_p(z) \cdot c_{pe}^E = 0.38 \cdot -0.41 = -0.16 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \text{srk}$$

Linijska obtežba vetra na steno:

$$\text{prva etaža: } w_{e,1+2} = w_e \cdot \left(\frac{h_1}{2} + \frac{h_2}{2} \right) = w_e \cdot 2.5$$

$$\text{druga etaža: } w_{e,2+3} = w_e \cdot \left(\frac{h_2}{2} + \frac{h_3}{2} \right) = w_e \cdot 2.5$$

$$\text{tretja etaža: } w_{e,3} = w_e \cdot \left(\frac{h_3}{2} \right) = w_e \cdot 1.25$$

Preglednica 5.5: Prikaz rezultatov vetrne obtežbe na stene po conah W_x ($\Theta=0^\circ$).

| CONA | A [m ²] | c_{pe} | W_e [kN/m ²] | $W_{e,1+2}$ [kN/m] | $W_{e,2+3}$ [kN/m] | $W_{e,3}$ [kN/m] | |
|------|---------------------|----------|----------------------------|--------------------|--------------------|------------------|------|
| A | 20.7 | -1.2 | -0.46 | -1.15 | -1.15 | -0.57 | SRK |
| B | 64.05 | -0.8 | -0.30 | -0.75 | -0.75 | -0.38 | SRK |
| D | 103.5 | +0.8 | +0.30 | +0.75 | +0.75 | +0.38 | TLAK |
| E | 103.5 | -0.41 | -0.16 | -0.40 | -0.40 | -0.20 | SRK |

Veter na steno: $w_{D+E} = 0,46 \text{ kN/m}^2$

Horizontalna sila vetra na steno:

višina pritličja, prvega nadstropja, drugega nadstropja: $h_1 = h_2 = h_3 = 2,5 \text{ m}$

Horizontalna sila na pritličje:

$$\begin{aligned} W_{x,1} &= w_{D+E} \cdot A = w_{D+E} \cdot \left(\frac{h_1}{2} + \frac{h_2}{2} \right) \cdot b = \\ &= 0.46 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot \left(\frac{2.5 \text{ m}}{2} + \frac{2.5 \text{ m}}{2} \right) \cdot 13.80 \text{ m} = 15.87 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$W_{x,1,d} = W_{x,1} \cdot \gamma_q = 15.87 \text{ kN} \cdot 1.50 = 23.81 \text{ kN}$$

Horizontalna sila na prvo nadstropje:

$$W_{x,2} = w_{D+E} \cdot A = w_{D+E} \cdot \left(\frac{h_2}{2} + \frac{h_3}{2} \right) \cdot b =$$

$$= 0.46 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot \left(\frac{2.5 \text{ m}}{2} + \frac{2.5 \text{ m}}{2} \right) \cdot 13.80 \text{ m} = 15.87 \text{ kN}$$

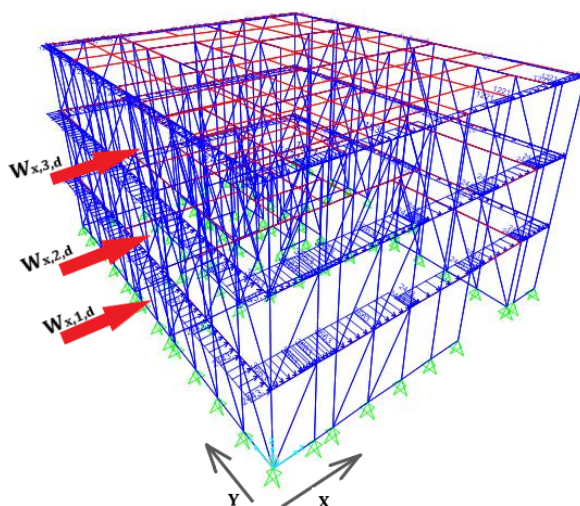
$$W_{x,2,d} = W_{x,2} \cdot \gamma_q = 15.87 \text{ kN} \cdot 1.50 = 23.81 \text{ kN}$$

Horizontalna sila na drugo nadstropje:

$$W_{x,3} = w_{D+E} \cdot A = w_{D+E} \cdot \frac{h_3}{2} \cdot b =$$

$$= 0.46 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot \frac{2.5 \text{ m}}{2} \cdot 13.80 \text{ m} = 7.94 \text{ kN}$$

$$W_{x,3,d} = W_{x,3} \cdot \gamma_q = 7.94 \text{ kN} \cdot 1.50 = 11.91 \text{ kN}$$



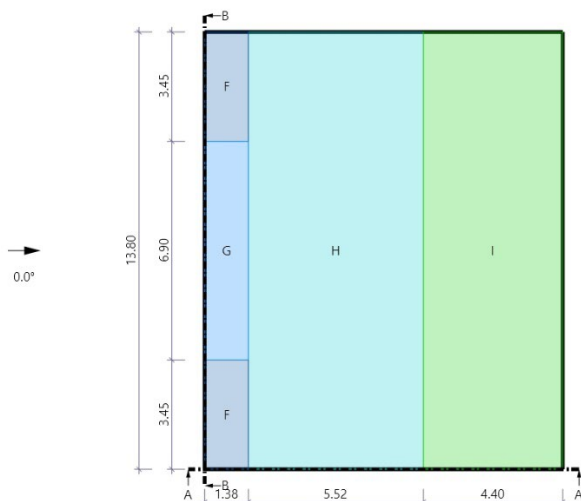
Slika 5.3: Prikaz linijske obtežbe vetra ter horizontalnih sil vetra na stene objekta v smeri x.
Vir: lasten.

Koeficienti zunanega pritiska na ravno streho objekta (c_{pe})

Smer vetra pod kotom 0° (W_x)

Preglednica 5.6: Priporočene vrednosti c_{pe} za ravno streho.

| Vrsta strehe | Področje | | | | | | | |
|-----------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|
| | F | | G | | H | | I | |
| | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ |
| Ostri kapni rob | -1.8 | -2.5 | -1.2 | -2.0 | -0.7 | -1.2 | +0.2 | -0.2 |



Slika 5.4: Razdelitev ravne strehe na področja $\Theta=0^\circ$ (enote so v m).

Vir: lasten.

Določimo dimenzije posameznih vetrnih con za obravnavani objekt:

$$b = 13.80 \text{ m} \quad d = 11.30 \text{ m} \quad h = 7.5 \text{ m}$$

$$e = \min \left\{ \frac{b}{2h} \right\} = \min \left\{ \frac{13.80}{15} \right\} = 13.80 \text{ m}$$

PO CONAH:

$$\text{cona } F = \frac{e}{10} \cdot \frac{e}{4} = \frac{13.80}{10} \cdot \frac{13.80}{4} = 1.38 \cdot 3.45 = 4.76 \text{ m}^2$$

$$C_{pe}^F = -2.5 - (-2.5 + 1.8) \cdot \log_{10} 4.76 = -2.03$$

$$\text{cona } G = \left(b - 2 \cdot \frac{e}{4} \right) \cdot \frac{e}{10} = \left(13.80 - 2 \cdot \frac{13.80}{4} \right) \cdot \frac{13.80}{10} = 6.9 \cdot 1.38 = 9.52 \text{ m}^2$$

$$C_{pe}^G = -2 - (-2.0 + 1.2) \cdot \log_{10} 9.52 = -1.22$$

$$\text{cona } H = \left(\frac{e}{2} - \frac{e}{10} \right) \cdot b = \left(\frac{13.80}{2} - \frac{13.80}{10} \right) \cdot 13.80 = 5.52 \cdot 13.80 = 76.18 \text{ m}^2$$

$$C_{pe}^H = -0.7$$

$$\text{cona I} = \left(d - \frac{e}{2}\right) \cdot b = \left(11.30 - \frac{13.80}{2}\right) \cdot 13.80 = 60.72 \text{ m}^2$$

$$C_{pe}^H = \pm 0.2$$

PRITISKI/SRKI: $w_e = q_p(z) \cdot c_{pe} = 0.32 \cdot c_{pe}$

$$w_e^F = q_p(z) \cdot c_{pe}^F = 0.38 \cdot -2.03 = -0.77 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \text{srk}$$

$$w_e^G = q_p(z) \cdot c_{pe}^G = 0.38 \cdot -1.22 = -0.46 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \text{srk}$$

$$w_e^H = q_p(z) \cdot c_{pe}^H = 0.38 \cdot -0.7 = -0.27 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \text{srk}$$

$$w_e^I = q_p(z) \cdot c_{pe}^I = 0.38 \cdot \pm 0.2 = \pm 0.08 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \text{srk/tlak}$$

Preglednica 5.7: Prikaz rezultatov vetrne obtežbe na strehi po conah W_x ($\Theta=0^\circ$).

| CONA | A [m ²] | c_{pe} | W_x [kN/m ²] | |
|------|---------------------|-----------|----------------------------|------------|
| F | 4.76 | -2.03 | -0.77 | SRK |
| G | 9.52 | -1.22 | -0.46 | SRK |
| H | 76.18 | -0.7 | -0.27 | SRK |
| I | 60.72 | ± 0.2 | ± 0.08 | SRK / TLAK |

Enake vrednosti vetrne obtežbe veljajo tudi v smeri vetra W_x ($\Theta=180^\circ$).

Smer vetra pod kotom 90° (W_y)

Določimo dimenzije posameznih vetrnih con za obravnavani objekt:

$$b = 11.30 \text{ m} \quad d = 13.80 \text{ m} \quad h = 7.5 \text{ m}$$

$$e = \min \left\{ \frac{b}{2h} = \min \left\{ \frac{11.30}{15} = 11.30 \text{ m} < d \quad \frac{h}{d} = \frac{7.5}{13.80} = 0.54 \right. \right.$$

PO CONAH:

$$\text{cona A} = e/5 \cdot h = \frac{11.30}{5} \cdot 7.5 = 16.95 \text{ m}^2$$

$$C_{pe}^A = -1.2$$

$$\text{cona B} = (4e/5) \cdot h = \left(\frac{4 \cdot 11.30}{5}\right) \cdot 7.5 = 67.80 \text{ m}^2$$

$$c_{pe}^B = -0.8$$

$$\text{cona C} = (d-e) \cdot h = (13.80-11.30) \cdot 7.5 = 18.75 \text{ m}^2$$

$$c_{pe}^C = -0.5$$

$$\text{cona D} = b \cdot h = 11.30 \cdot 7.5 = 84.75 \text{ m}^2$$

$$c_{pe}^D = +0.8$$

$$\text{cona E} = b \cdot h = 11.30 \cdot 7.5 = 84.75 \text{ m}^2 \quad c_{pe}^E = -0.5 - \frac{(-0.5+0.3)}{(1-0.25)} \cdot$$

$$(1 - 0.54) = -0.38$$

PRITISKI/SRKI: $w_e = q_p(z) \cdot c_{pe} = 0.38 \cdot c_{pe}$

$$w_e^A = q_p(z) \cdot c_{pe}^A = 0.38 \cdot -1.2 = -0.46 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \text{srk}$$

$$w_e^B = q_p(z) \cdot c_{pe}^B = 0.38 \cdot -0.8 = -0.30 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \text{srk}$$

$$w_e^C = q_p(z) \cdot c_{pe}^C = 0.38 \cdot -0.5 = -0.19 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \text{srk}$$

$$w_e^D = q_p(z) \cdot c_{pe}^D = 0.38 \cdot +0.8 = +0.30 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \text{tlak}$$

$$w_e^E = q_p(z) \cdot c_{pe}^E = 0.38 \cdot -0.38 = -0.14 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \text{srk}$$

Linijska obtežba vetra na steno:

$$\text{prva etaža: } w_{e,1+2} = w_e \cdot \left(\frac{h_1}{2} + \frac{h_2}{2}\right) = w_e \cdot 2.5$$

$$\text{druga etaža: } w_{e,2+3} = w_e \cdot \left(\frac{h_2}{2} + \frac{h_3}{2}\right) = w_e \cdot 2.5$$

$$\text{tretja etaža: } w_{e,3} = w_e \cdot \left(\frac{h_3}{2}\right) = w_e \cdot 1.25$$

Preglednica 5.8: Prikaz rezultatov vetrne obtežbe na stene po conah W_y ($\Theta=90^\circ$).

| CONA | A [m ²] | c_{pe} | W_e [kN/m ²] | $W_{e,1+2}$ [kN/m] | $W_{e,2+3}$ [kN/m] | $W_{e,3}$ [kN/m] | |
|------|------------------------|----------|-------------------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|------|
| A | 16.95 | -1.2 | -0.46 | -1.15 | -1.15 | -0.58 | SRK |
| B | 67.80 | -0.8 | -0.30 | -0.75 | -0.75 | -0.38 | SRK |
| C | 18.75 | -0.5 | -0.19 | -0.48 | -0.48 | -0.24 | SRK |
| D | 84.75 | +0.8 | +0.30 | +0.75 | +0.75 | +0.38 | TLAK |
| E | 84.75 | -0.38 | -0.14 | -0.35 | -0.35 | -0.18 | SRK |

Veter na steno: $w_{D+E} = 0,44 \text{ kN/m}^2$

Horizontalna sila vetra na steno:

višina pritličja, prvega nadstropja, drugega nadstropja: $b_1 = b_2 = b_3 = 2,5 \text{ m}$

Horizontalna sila na pritličje:

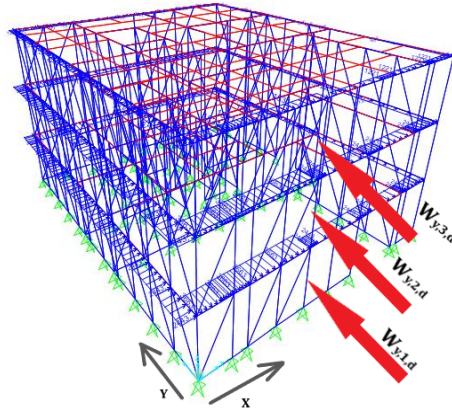
$$\begin{aligned}W_{y,1} &= w_{D+E} \cdot A = w_{D+E} \cdot \left(\frac{h_1}{2} + \frac{h_2}{2}\right) \cdot b = \\&= 0,44 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot \left(\frac{2,5 \text{ m}}{2} + \frac{2,5 \text{ m}}{2}\right) \cdot 11,30 \text{ m} = 12,43 \text{ kN} \\W_{y,1,d} &= W_{y,1} \cdot \gamma_q = 12,43 \text{ kN} \cdot 1,50 = 18,65 \text{ kN}\end{aligned}$$

Horizontalna sila na prvo nadstropje:

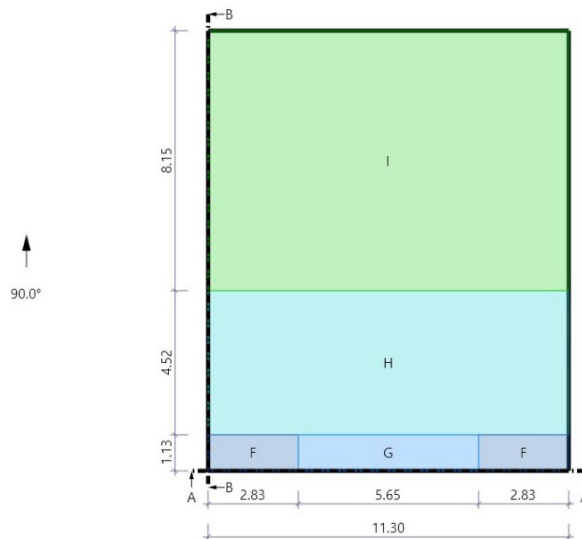
$$\begin{aligned}W_{y,2} &= w_{D+E} \cdot A = w_{D+E} \cdot \left(\frac{h_2}{2} + \frac{h_3}{2}\right) \cdot b = \\&= 0,44 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot \left(\frac{2,5 \text{ m}}{2} + \frac{2,5 \text{ m}}{2}\right) \cdot 11,30 \text{ m} = 12,43 \text{ kN} \\W_{y,2,d} &= W_{y,2} \cdot \gamma_q = 12,66 \text{ kN} \cdot 1,50 = 18,65 \text{ kN}\end{aligned}$$

Horizontalna sila na drugo nadstropje:

$$\begin{aligned}W_{y,3} &= w_{D+E} \cdot A = w_{D+E} \cdot \frac{h_3}{2} \cdot b = \\&= 0,44 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot \frac{2,5 \text{ m}}{2} \cdot 11,30 \text{ m} = 6,22 \text{ kN} \\W_{y,3,d} &= W_{y,3} \cdot \gamma_q = 6,22 \text{ kN} \cdot 1,50 = 9,32 \text{ kN}\end{aligned}$$



Slika 5.5: Prikaz linijske obtežbe vetra ter horizontalnih sil vetra na stene objekta v smeri y.
Vir: lasten.



Slika 5.6: Razdelitev ravne strehe na področja $\Theta=90^\circ$ (enote so v m).
Vir: lasten.

PO CONAH:

$$cona F = \frac{e}{10} \cdot \frac{e}{4} = \frac{11.30}{10} \cdot \frac{11.30}{4} = 1.13 \cdot 2.825 = 3.19 \text{ m}^2$$

$$Cpe^F = -2.5 - (-2.5 + 1.8) \cdot \log_{10} 3.19 = -2.15$$

$$\begin{aligned} \text{cona } G &= \left(b - 2 \cdot \frac{e}{4}\right) \cdot \frac{e}{10} = \left(11.30 - 2 \cdot \frac{11.30}{4}\right) \cdot \frac{11.30}{10} = 5.65 \cdot 1.13 \\ &= 6.38 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$C_{pe}^G = -2 - (-2.0 + 1.2) \cdot \log_{10} 6.38 = -1.36$$

$$\text{cona } H = \left(\frac{e}{2} - \frac{e}{10}\right) \cdot b = \left(\frac{11.30}{2} - \frac{11.30}{10}\right) \cdot 11.30 = 4.52 \cdot 11.30 = 51.08 \text{ m}^2$$

$$C_{pe}^H = -0.7$$

$$\text{cona } I = \left(d - \frac{e}{2}\right) \cdot b = \left(13.80 - \frac{11.30}{2}\right) \cdot 11.30 = 92.09 \text{ m}^2$$

$$C_{pe}^I = \pm 0.2$$

$$\text{PRITISKI/SRKI: } w_e = q_p(z) \cdot c_{pe} = 0.38 \cdot c_{pe}$$

$$w_e^F = q_p(z) \cdot c_{pe}^F = 0.38 \cdot -2.15 = -0.82 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \text{srk}$$

$$w_e^G = q_p(z) \cdot c_{pe}^G = 0.38 \cdot -1.36 = -0.52 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \text{srk}$$

$$w_e^H = q_p(z) \cdot c_{pe}^H = 0.38 \cdot -0.7 = -0.27 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \text{srk}$$

$$w_e^I = q_p(z) \cdot c_{pe}^I = 0.38 \cdot \pm 0.2 = \pm 0.08 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \text{srk/tlak}$$

Preglednica 5.9: Prikaz rezultatov vetrne obtežbe na strehi po conah W_y ($\Theta=90^\circ$)

| CONA | A [m ²] | c_{pe} | W_e [kN/m ²] | |
|------|---------------------|-----------|----------------------------|------------|
| F | 3.19 | -2.15 | -0.82 | SRK |
| G | 6.38 | -1.36 | -0.52 | SRK |
| H | 51.08 | -0.7 | -0.27 | SRK |
| I | 92.09 | ± 0.2 | ± 0.08 | SRK / TLAK |

Enake vrednosti vetrne obtežbe veljajo tudi v smeri vetra W_{-y} ($\Theta=-90^\circ$).

5.4 Analiza potresne obtežbe po SIST EN 1998-1 [5]

Določitev masne matrike

LASTNE TEŽE

- Streha: $g = 1.609 \text{ kN/m}^2$
- Strop: $g = 1.945 \text{ kN/m}^2$
- Zunanja stena: $g = 0.795 \text{ kN/m}^2$

- Notranja stena: $g = 0.675 \text{ kN/m}^2$
- Okno: $g = 0.580 \text{ kN/m}^2$

Izračun G_1 :

| | |
|----------------------------|--|
| Notranje stene (pritličje) | $G = 0.5 \cdot 0.675 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 2.50 \text{ m} \cdot (15 \cdot 1.25 \text{ m}) = 15.82 \text{ kN}$ |
| Zunanje stene (pritličje) | $G = 0.5 \cdot 0.795 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 2.50 \text{ m} \cdot (23 \cdot 1.25 \text{ m}) = 28.58 \text{ kN}$ |
| Notranje stene (1. nad.) | $G = 0.5 \cdot 0.675 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 2.50 \text{ m} \cdot (10 \cdot 1.25 \text{ m}) = 10.55 \text{ kN}$ |
| Zunanje stene (1. nad.) | $G = 0.5 \cdot 0.795 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 2.50 \text{ m} \cdot (23 \cdot 1.25 \text{ m}) = 28.58 \text{ kN}$ |
| Okna (pritličje) | $G = 0.5 \cdot 0.58 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 2.50 \text{ m} \cdot (12 \cdot 1.25 \text{ m}) = 10.87 \text{ kN}$ |
| Okna (1. nad.) | $G = 0.5 \cdot 0.58 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 2.50 \text{ m} \cdot (12 \cdot 1.25 \text{ m}) = 10,87 \text{ kN}$ |
| Strop | $G = 1.945 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 155.94 \text{ m}^2 = 383.30 \text{ kN}$ |

$$\sum G_1 = 488.57 \text{ kN}$$

Izračun G_2 :

| | |
|--------------------------|--|
| Notranje stene (1. nad.) | $G = 0.5 \cdot 0.675 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 2.50 \text{ m} \cdot (10 \cdot 1.25 \text{ m}) = 10.55 \text{ kN}$ |
| Zunanje stene (1. nad.) | $G = 0.5 \cdot 0.795 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 2.50 \text{ m} \cdot (23 \cdot 1.25 \text{ m}) = 28.58 \text{ kN}$ |
| Notranje stene (2. nad.) | $G = 0.5 \cdot 0.675 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 2.50 \text{ m} \cdot (10 \cdot 1.25 \text{ m}) = 10.55 \text{ kN}$ |
| Zunanje stene (2. nad.) | $G = 0.5 \cdot 0.795 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 2.50 \text{ m} \cdot (23 \cdot 1.25 \text{ m}) = 28.58 \text{ kN}$ |
| Okna (1. nad.) | $G = 0.5 \cdot 0.58 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 2.50 \text{ m} \cdot (12 \cdot 1.25 \text{ m}) = 10.87 \text{ kN}$ |
| Okna (2. nad.) | $G = 0.5 \cdot 0.58 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 2.50 \text{ m} \cdot (12 \cdot 1.25 \text{ m}) = 10.87 \text{ kN}$ |
| Strop | $G = 1.945 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 155.94 \text{ m}^2 = 383.30 \text{ kN}$ |

$$\sum G_2 = 483.30 \text{ kN}$$

Izračun G_3 :

$$\begin{aligned} \text{Notranje stene (2. nad.)} \quad G &= 0.5 \cdot 0.675 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 2.50 \text{ m} \cdot (10 \cdot 1.25 \text{ m}) \\ &= 10.55 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Zunanje stene (2. nad.)} \quad G &= 0.5 \cdot 0.795 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 2.50 \text{ m} \cdot (23 \cdot 1.25 \text{ m}) \\ &= 28.58 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Okna (2. nad.)} \quad G &= 0.5 \cdot 0.58 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 2.50 \text{ m} \cdot (12 \cdot 1.25 \text{ m}) \\ &= 10.87 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{Streha} \quad G = 1.609 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 155.94 \text{ m}^2 = 250.91 \text{ kN}$$

$$\sum G_3 = 300.91 \text{ kN}$$

KORISTNA OBTEŽBA

Koristno obtežbo določimo po [4], preglednica 5.11:

- a) Tla (kategorija A – bivalni prostori)

$$q_k = 2.0 \text{ kN/m}^2$$

- b) Streha (kategorija H – strehe, dostopne le za normalno vzdrževanje in popravila)

$$q_k = 0.4 \text{ kN/m}^2 \quad Q_k = 1 \text{ kN}$$

Koristna obtežba stropa:

$$Q_{\text{stropa}} = 2.0 \text{ kN/m}^2 \cdot A = 2.0 \text{ kN/m}^2 \cdot 155.94 \text{ m}^2 = 311.88 \text{ kN}$$

Pri določanju projektnega potresnega vpliva je potrebno upoštevati mase, povezane z vsemi težnostnimi silami, ki so vključene v naslednji kombinaciji vplivov ([5], pogl. 3.2.4):

$$\sum G_{k,j} + \sum \psi_{E,i} \cdot Q_{k,i}$$

kjer je:

$G_{k,j}$ - skupna lastna in stalna obtežba

$Q_{k,i}$ - koristna obtežba

$\psi_{E,i}$ - koeficient za kombinacijo za spremenljivi vpliv i

Koeficient za kombinacijo $\psi_{E,i}$ določimo po [5], pogl. 4.2.4:

$$\psi_{E,i} = \phi \cdot \psi_{2,i}$$

– Priporočene vrednosti za ϕ ([5], preglednica 5.10):

| | |
|--|--------------|
| Vrhnja etaža – streha | $\phi = 1.0$ |
| Stanovanjski objekti, etaže zasedene neodvisno | $\phi = 0.5$ |
| Stanovanjski objekti, etaže povezane | $\phi = 0.8$ |

– Priporočene vrednosti faktorjev ψ za stavbe ([1], preglednica 1.2):

| | |
|---------------------|-------------------|
| Objekt kategorija A | $\psi_{2i} = 0.3$ |
| Streha kategorija H | $\psi_{2i} = 0.0$ |
| Obtežba vetra | $\psi_{2i} = 0.0$ |

Preglednica 5.10: Vrednosti koeficienta ϕ za spremenljive obtežbe.

| Vrsta spremenljivega vpliva | Etaža | ϕ |
|-----------------------------|---------------------------|--------|
| kategorije A – C | vrhnja etaža (streha) | 1.0 |
| | namensko povezane etaže | 0.8 |
| | namensko nepovezane etaže | 0.5 |
| kategorije D - F in arhivi | | 1.0 |

Skupna masa:

– 1. etaža (pritličje):

$$\begin{aligned} \sum G_{k,j} + \sum \psi_{E,i} \cdot Q_{k,i} &= G_1 + 0.5 \cdot 0.3 \cdot Q_{strop} = 488.57 \text{ kN} + 0.5 \cdot 0.3 \cdot 311.88 \text{ kN} \\ &= 535.35 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$m_1 = 54572 \text{ kg}$$

– 2. etaža (prvo nastropje):

$$\begin{aligned} \sum G_{k,j} + \sum \psi_{E,i} \cdot Q_{k,i} &= G_2 + 0.8 \cdot 0.3 \cdot Q_{strop} \\ &= 483.3 \text{ kN} + 0.8 \cdot 0.3 \cdot 311.88 \text{ kN} = 558.15 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$m_2 = 56896 \text{ kg}$$

– 3. etaža (drugo nadstropje):

$$\sum G_{k,j} + \sum \psi_{E,i} \cdot Q_{k,i} = G_3 + 1.0 \cdot 0.0 \cdot Q_{streha} + 1.0 \cdot 0.0 \cdot Q_{veter} \\ = 300.91 \text{ kN}$$

$$m_3 = 30674 \text{ kg}$$

Masna matrika:

$$[M] = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix} \text{ kg} = \begin{bmatrix} 54572 & 0 & 0 \\ 0 & 56896 & 0 \\ 0 & 0 & 30674 \end{bmatrix} \text{ kg}$$

Skupna masa objekta:

$$M = m_1 + m_2 + m_3 = 54572 + 56896 + 306740 = 142142 \text{ kg}$$

Določitev lastnega nihajnega časa po približni metodi po [5], enačba(5.15):

Izračun osnovnega nihajnega časa (T_1) je v splošnem stvar dinamike konstrukcij in ga na tem mestu ne bomo posebej obravnavali. Poenostavljeno pa SIST EN 1998-1 dopušča, da za stavbe, visoke do 40 m, lahko približno upoštevamo:

$$T_1 = C_t \cdot H^{\frac{3}{4}} = 0.085 \cdot 7.5^{\frac{3}{4}} = 0.385 \text{ s} \quad (5.15)$$

kjer je H višina objekta v metrih, merjena od vrha temeljev ali od vrha toge kleti, za C_t pa velja:

$C_t = 0.085$ za prostorske jeklene okvirje (za prostorske lesene okvirje privzamemo enako)

$C_t = 0.075$ za prostorske betonske okvirje

$C_t = 0.050$ za vse druge konstrukcije

Za primerjavo, prva nihajna oblika, preračunana s programom SAP 2000, znaša $T_1 = 0.479 \text{ s}$.

Potresno obtežbo določimo v skladu z [5], poglavje 4.3.3.2.2:

$$F_b = S_d(T_1) \cdot m \cdot \lambda \quad (5.16)$$

kjer je:

$S_d(T_1)$ – ordinata v projektnem spektru pri nihajnem času T_1

T_1 – osnovni nihajni čas konstrukcije za translacijsko gibanje v obravnavani smeri

m – celotna masa stavbe nad temelji ali togo kletjo

λ – korekcijski faktor ($\lambda = 1,0$)

Projektni spekter določimo po [5], poglavje 3.2.2.5:

$$0 \leq T \leq T_B: S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \left[\frac{2}{3} + \frac{T}{T_B} \cdot \left(\frac{2,5}{q} - \frac{2}{3} \right) \right] \quad (5.17)$$

$$T_B \leq T \leq T_C: S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \quad (5.18)$$

$$T_C \leq T \leq T_D: S_d(T) \left\{ \begin{array}{l} = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \left[\frac{T_C}{T} \right] \\ \geq \beta \cdot a_g \end{array} \right\} \quad (5.19)$$

$$T_D \leq T: S_d(T) \left\{ \begin{array}{l} = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \left[\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right] \\ \geq \beta \cdot a_g \end{array} \right\} \quad (5.20)$$

kjer je:

$S_d(T)$ – projektni spekter

q – faktor obnašanja

a_g – projektni pospešek tal

S – faktor tal

T_B – spodnja meja nihajnega časa na območju spektra, kjer ima spektralni pospešek konstantno vrednost

T_C – zgornja meja nihajnega časa na območju spektra, kjer ima spektralni pospešek konstantno vrednost

T – izračunan nihajni čas

Za obravnavani primer – tla tipa B (preglednica 5.11) določimo sledeče parametre:

$$S = 1.20 \quad T_B = 0.15 \quad T_C = 0.5 \quad T_D = 2.0$$

$$T_B = 0.15 \leq T_1 = 0.385 \leq T_C = 0.5 \quad \text{torej izberemo enačbo}$$

$$T_B \leq T \leq T_C: S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q}$$

Preglednica 5.11: Vrednosti parametrov za elastični spekter odziva tipa 1 ($M_s > 5.5$).

| Tip tal | S | T_B [s] | T_C [s] | T_D [s] |
|---------|------|-----------|-----------|-----------|
| A | 1.00 | 0.15 | 0.4 | 2.0 |
| B | 1.20 | 0.15 | 0.5 | 2.0 |
| C | 1.15 | 0.20 | 0.6 | 2.0 |
| D | 1.35 | 0.20 | 0.8 | 2.0 |
| E | 1.40 | 0.15 | 0.5 | 2.0 |

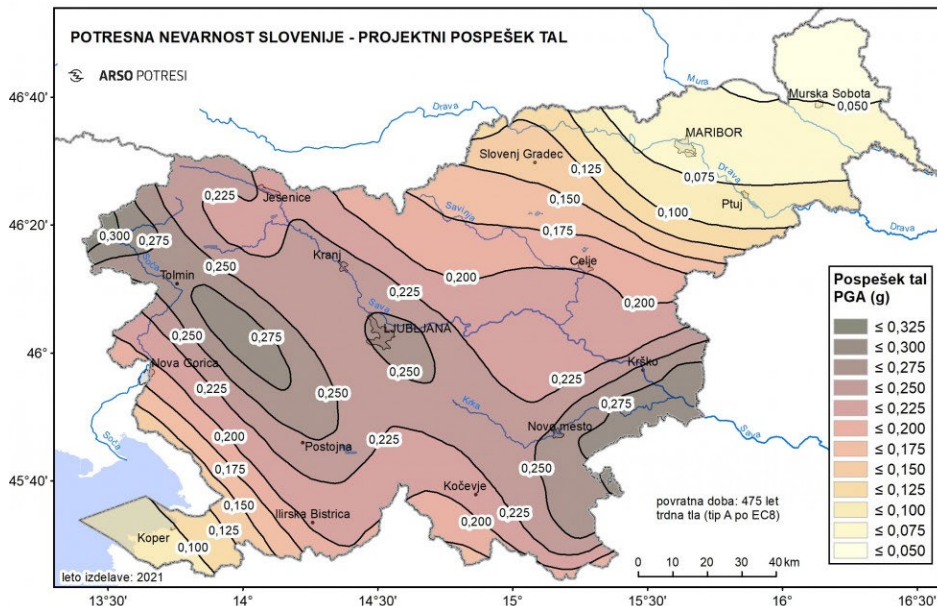
Horizontalni projektni pospešek tal: $a_g = a \cdot g_{grav.} = 0.250 \cdot 9.81 = 2.453 \frac{m}{s^2}$
za Ljubljano ($a=0.250g$) ga odčitamo iz slike 5.7.

$$\begin{aligned} F_b &= S_d(T_1) \cdot m \cdot \lambda = \\ &= S_d(T_1) \cdot m \cdot \lambda = 2.453 \cdot \frac{142142}{1000} \cdot 1.0 = 348.67 \text{ kN} \end{aligned}$$

kjer je ordinata v projektnem spektru

$$\begin{aligned} S_d(T_1) &= a_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q} = \\ &= (0.250 \cdot 9.81) \cdot 1.20 \cdot \frac{2.5}{3} = 2.453 \end{aligned}$$

Faktor obnašanja $q = 3$ za montažne okvirne stenske elemente.



Slika 5.7: Potresna nevarnost Slovenije – projektni pospešek tal tipa A za povratno dobo $R = 475$ let.

Vir: lasten.

Celotni vertikalni potresni vpliv (sila)

Za navpično komponento potresnega vpliva je spekter odziva podan po enakih izrazih kot za horizontalno komponento po enačbah, (5.17)-(5.20), kjer so parametri $S = 1.0$ in a_g nadomesti a_{gv} , katerega razmerje najdemo skupaj z ostalimi parametri v preglednici 5.12.

Preglednica 5.12: Priporočene vrednosti za vertikalno komponentno spektra odziva.

| Tip spektra | a_{vg}/a_g | T_B [s] | T_C [s] | T_D [s] |
|-------------|--------------|-----------|-----------|-----------|
| Tip 1 | 0.90 | 0.05 | 0.15 | 1.0 |
| Tip 2 | 0.45 | 0.05 | 0.15 | 1.0 |

V skladu s standardom znaša za obravnavani primer vertikalni projektni pospešek tal:

$$a_{vg} = 0.9 \cdot a_g = 0.9 \cdot 0.981 = 0.883 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \leq 0.25 \cdot g = 0.25 \cdot 9.81 = 2.453 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

ker je pogoj izpolnjen že v osnovi (poglavje 4.3.3.5.2 v [5]), navpične komponente potresnega vpliva ni potrebno upoštevati.

Razporeditev potresnega vpliva (sil) po modelu konstrukcije

- Razporeditev potresnega vpliva po etažah oz. mestih koncentriranih mas po metodi ekvivalentne konzole (po metodi dinamike – po osnovni nihajni obliki)

$$F_i = F_b \cdot \frac{s_i \cdot m_i}{\sum s_j \cdot m_j} \quad (5.21)$$

kjer je:

F_i ... vodoravna potresna sila v i-ti etaži

F_b ... celotna vodoravna potresna sila

s_i, s_j ... horizontalna pomika mas m_i in m_j v osnovni nihajni obliki

m_i, m_j ...mase posameznih etaž

- Razporeditev potresnega vpliva po etažah oz. mestih koncentriranih mas po približni metodi, kjer se predpostavijo vodoravni pomiki, ki linearno naraščajo z višino

$$F_i = F_b \cdot \frac{z_i \cdot m_i}{\sum z_j \cdot m_j} \quad (5.22)$$

kjer je:

z_i, z_j ... kota mas m_i in m_j nad nivojem delovanja potresnega vpliva (to je nad temeljem ali nad togo kletjo)

Smer x:

Pritličje:

$$\begin{aligned} F_{x1} &= F_{bx} \cdot \frac{z_1 \cdot m_1}{z_1 \cdot m_1 + z_2 \cdot m_2 + z_3 \cdot m_3} = \\ &= 348.67 \text{ kN} \cdot \frac{2.5 \cdot 54572}{2.5 \cdot 54572 + 5 \cdot 56896 + 7.5 \cdot 30674} \\ &= 73.07 \text{ kN} \end{aligned}$$

Prvo nadstropje:

$$\begin{aligned}
 F_{x2} &= F_{bx} \cdot \frac{z_2 \cdot m_2}{z_1 \cdot m_1 + z_2 \cdot m_2 + z_3 \cdot m_3} = \\
 &= 348.67 \text{ kN} \cdot \frac{5 \cdot 56896}{2.5 \cdot 54572 + 5 \cdot 56896 + 7.5 \cdot 30674} \\
 &= 152.37 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Drugo nadstropje:

$$\begin{aligned}
 F_{x3} &= F_{bx} \cdot \frac{z_3 \cdot m_3}{z_1 \cdot m_1 + z_2 \cdot m_2 + z_3 \cdot m_3} = \\
 &= 348.67 \text{ kN} \cdot \frac{7.5 \cdot 30674}{2.5 \cdot 54572 + 5 \cdot 56896 + 7.5 \cdot 30674} \\
 &= 123.22 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Smer y:

Pritličje: $F_{y1} = F_{x1} = 73.07 \text{ kN}$

Prvo nadstropje: $F_{y2} = F_{x2} = 152.37 \text{ kN}$

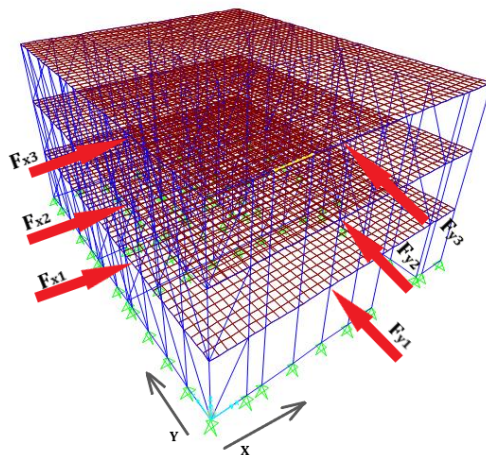
Drugo nadstropje: $F_{y3} = F_{x3} = 123.22 \text{ kN}$

Celotna horizontalna sila na pritličje v smeri x in y:

$$F_{H,d} = \gamma_{potres} \cdot F_{H,k} \rightarrow \gamma_{potres} = 1,0$$

$$\begin{aligned}
 F_{H,x,d} &= F_{x,1} + F_{x,2} + F_{x,3} = 73.07 \text{ kN} + 152.37 \text{ kN} + 123.22 \text{ kN} \\
 &= 348.66 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$F_{H,y,d} = F_{y,1} + F_{y,2} + F_{y,3} = F_{H,x,d} = 348.66 \text{ kN}$$



Slika 5.8: Prikaz potresnih horizontalnih sil na etaže objekta v smeri x in y.

Vir: lasten.

Literatura

- [1] Slovenski inštitut za standardizacijo, SIST EN 1990:2004, Evrokod – Osnove projektiranja konstrukcij (osnova EN 1990:2000, Eurocode – Basis of structural design), Ljubljana, september 2004.
- [2] Slovenski inštitut za standardizacijo, SIST EN 1991-1-1:2004, Evrokod 1: Vplivi na konstrukcije - 1-1. del: Splošni vplivi – Prostorninske teže, lastna teža, koristne obtežbe stavb (istoveten z EN 1991-1-1:2000, Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-1: General actions – Densities, self-weight, imposed loads for buildings), Ljubljana, september 2004.
- [3] Slovenski inštitut za standardizacijo, SIST EN 1991-1-3:2004, Evrokod 1: Vplivi na konstrukcije - 1-3. del: Splošni vplivi – Obtežba snega (istoveten z EN 1991-1-3:2003, Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-3: General actions – Snow loads), Ljubljana, julij 2003.
- [4] Slovenski inštitut za standardizacijo, SIST EN 1991-1-4:2005, Evrokod 1: Vplivi na konstrukcije - 1-4. del: Splošni vplivi – Vplivi vetra (istoveten z EN 1991-1-4:2005, Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-4: General actions – Wind actions), Ljubljana, april 2005.
- [5] Slovenski inštitut za standardizacijo, SIST EN 1998-1:2005, Evrokod 8: Projektiranje potresnoodpornih konstrukcij – 1.del: Splošna pravila, potresni vplivi in pravila za stavbe (istoveten z EN 1998-1:2004, Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings); Ljubljana, maj 2005.
- [6] Slovenski inštitut za standardizacijo, SIST EN 1992-1-1:2005, Evrokod 2: Projektiranje betonskih konstrukcij – 1-1.del: Splošna pravila in pravila za stavbe (istoveten z EN 1992-1-1:2004, Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings); Ljubljana, maj 2005.
- [7] Premrov M., Kozem Šilih E. Osnove projektiranja konstrukcij. Maribor: Univerzitetna založba Univerze: Fakulteta za gradbeništvo, prometno inženirstvo in arhitekturo, 2017.

OSNOVE PROJEKTIRANJA KONSTRUKCIJ: ZBIRKA VAJ

ERIKA KOZEM ŠILIH, MATEJA DRŽEČNIK

Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo, prometno inženirstvo in arhitekturo,
Maribor, Slovenija
erika.kozem@um.si, mateja.drzecnik@um.si

Zbirka vaj "Osnove projektiranja konstrukcij – zbirka vaj" je namenjena dodiplomskim študentom Fakultete za gradbeništvo, prometno inženirstvo ter arhitekturo pri študiju gradbeništva. Prav tako je uporabna za univerzitetne programe gradbeništva, gospodarskega inženirstva ter arhitekture. Celotna zbirka vaj temelji na evropskih standardih in se osredotoča na ključne vidike projektiranja konstrukcij. Publikacija vključuje razlage in rešene primere v skladu s standardi, kot so SIST EN 1990:2004, SIST EN 1991-1-1:2004, SIST-EN 1991-1-3:2004, SIST-EN 1991-1-4:2004 in SIST-EN 1998-1 2005. Te vaje so zasnovane za razumevanje osnovnih konceptov projektiranja konstrukcij, analize obtežb ter potresnega inženirstva, kar je bistveno za razumevanje obnašanja gradbenih konstrukcij. Za dodatna pojasnila in teoretično razlago rešenih primerov se avtorici sklicujeta na učbenik "Osnove projektiranja konstrukcij". Avtorici upata, da bo ta zbirka vaj koristna študentom pri izobraževanju, poglobitvi znanja s področja projektiranja gradbenih konstrukcij in jim bo služila kot vodnik za uspešen študij in prihodnje delo v gradbenem sektorju.

DOI
[https://doi.org/
10.18690/um.fgpa.2.2023](https://doi.org/10.18690/um.fgpa.2.2023)

ISBN
978-961-286-794-2

Ključne besede:
projektiranje,
konstrukcija,
analiza obtežb,
mejno stanje nosilnosti,
mejno stanje uporabnosti



Univerzitetna založba
Univerze v Mariboru

DOI
[https://doi.org/
10.18690/um.fgpa.2.2023](https://doi.org/10.18690/um.fgpa.2.2023)

ISBN
978-961-286-794-2

Keywords:
structural design,
construction,
load analysis,
ultimate limit state,
serviceability limit state

BASIS OF STRUCTURAL DESIGN: EXERCISE BOOK

ERIKA KOZEM ŠILIH, MATEJA DRŽEČNIK

University of Maribor, Faculty of Civil Engineering, Transportation Engineering and
Architecture, Maribor, Slovenia
erika.kozem@um.si, mateja.drzecnik@um.si

The "Basis of Structural Design - Exercise Book" is intended for students of civil engineering, transportation engineering and architecture. The complete set of exercises is based on European standards and focuses on the most important aspects of structural design. The publication includes explanations and solved examples in accordance with standards such as SIST EN 1990:2004, SIST EN 1991-1-1:2004, SIST-EN 1991-1-3:2004, SIST-EN 1991-1-4:2004, and SIST-EN 1998-1 2005. These exercises are intended to provide an understanding of the basic concepts of structural design, load analysis, and earthquake engineering that are essential to understanding the behaviour of structures. For further clarification and theoretical explanation of the solved examples, the authors refer the reader to the textbook "Basis of Structural Design." The authors hope that this collection of practise problems will be useful to students in their education to deepen their knowledge of structural design and serve as a guide for successful study and future work in civil engineering.



Publikacija se povsem ujema z učnim programom predmetov »Osnove projektiranja konstrukcij«, ki se izvajata na UN in VS stopnji študija. Računski primer pritličnega objekta zadostuje stopnji zahtevnosti tematike na VS stopnji študija, računski primer trietažnega objekta pa zahtevnosti stopnji izvedbe predmeta na UN stopnji. Publikacija z rešenimi računskimi primeri tudi tematsko lepo dopolnjuje leta 2017 že izdan univerzitetni učbenik z naslovom »Osnove projektiranja konstrukcij« (v seznamu literature naveden kot referenca [7]), kjer pa so obravnavane izključno teoretične osnove tematike osnov projektiranja gradbenih konstrukcij brez vsakršnjih rešenih praktičnih računskih primerov.

prof. dr. **Miroslav Premrov**
Univerza v Mariboru

Publikacija je namenjena spoznavanju študentov z določevanjem vplivov po pravilih Eurocode standardov za statično analizo konstrukcij. Obravnava vplive vetra, snega in potresa. Pokaže tudi pravila kombiniranja različnih vplivov za določitev projektnih obtežb, ki so merodajne za mejno stanje nosilnosti in za mejno stanje uporabnosti.

prof. dr. **Boštjan BRANK**
Univerza v Ljubljani



Univerza v Mariboru

Fakulteta za gradbeništvo,
prometno inženirstvo in arhitekturo

