

DJELOVANJE SNJEGA I VJETRA NA NOSIVE KONSTRUKCIJE

Priručnik iz predmeta Lagane i Drvene Konstrukcije

Autori:

Prof. dr sc. Vlatka Rajčić, dipl. inž. građ.

Dr. sc. Ana Mandić, dipl. inž. građ.

Dean Čizmar, dipl. inž. građ.

Zavod za konstrukcije,
Građevinski Fakultet Sveučilišta u Zagrebu



Zagreb, 2009.

Recenzenti:

prof. dr. sc. Milutin Anđelić, dipl. inž. građ.

prof. dr. sc. Darko Meštrović, dipl. inž. građ.

prof. dr. sc. Roko Žarnić, dipl. inž. građ.

Urednik:

Dean Čizmar, dipl. inž. građ.

Tehnički urednik:

Dean Čizmar, dipl. inž. građ..

Lektor:

Željko Čizmar, prof.

Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu

ISBN 978-953-6272-29-7

ISBN 978-953-6272-29-7



Korištenje naziva **sveučilišni priručnik** (Manualia universitatis studiorum Zagrabienensis) odobrio je Senat Sveučilišta u Zagrebu na prijedlog svog Povjerenstva za sveučilišno nastavnu literaturu odlukom Ur.broj: 380-04/38-09-6, donesenoj na sjednici održanoj 10. ožujka 2009. godine.

PREDGOVOR.....	4
1. UVOD	5
1.1. Definicije.....	5
1.2. Karakteristična opterećenja.....	6
1.3. Svojstva građevinskog materijala	7
2. POSTUPAK GRANIČNIH STANJA.....	10
2.1. Granično stanje nosivosti	12
2.2. Granično stanje uporabljivosti	16
3. DJELOVANJA NA KONSTRUKCIJU.....	20
4. OPTEREĆENJE SNIJEGOM.....	21
4.1. Računski primjeri određivanja opterećenja snijegom	28
5. OPTEREĆENJE VJETROM	33
5.1. Računski primjeri određivanja opterećenja vjetrom	45
6. LITERATURA.....	54

PREDGOVOR

U odnosu na dosadašnje hrvatske norme za opterećenja, odnosno djelovanja Eurokod 1 je daleko složeniji i razrađeniji.

Ovaj priručnik obrađuje djelovanja snijega i vjetra na konstrukcije, te je napravljen za studente treće godine preddiplomskog studija građevinarstva koji slušaju predmete Lagane Konstrukcije i Drvene Konstrukcije.

Priručnik je zamišljen kao nastavni materijal za ova dva predmeta no s obzirom na sadržaj može koristiti i za ostale stručne predmete te također može poslužiti stručnjacima u praksi.

1. UVOD

1.1. Definicije

Koncept pouzdanosti

Dokazi nosivosti i uporabljivosti, sadržani u novim europskim normama, zasnovani su na semi-probabilističkom pristupu. Na ovom pristupu temeljen je i EC1, norma kojoj su predmet djelovanja. Za praktične dokazne postupke, probabilistički koncept se pojednostavljuje i prevodi u semi-probabilistički postupak, uz pomoć karakterističnih vrijednosti i parcijalnih koeficijenata sigurnosti. Promjena je u novom konceptu to što su bitne utjecajne veličine sastavljajući normi utvrditi probabilističkim postupkom i one su, kao unaprijed određeni parametri, ušle u jednadžbe graničnog stanja. Karakteristične vrijednosti za djelovanja i otpornost, kada god je to moguće, s obzirom na statističke podatke, pronalazit će se kao unaprijed dogovorene fraktilne tih baznih varijabli, promatranih kao slučajne veličine.

Karakteristične veličine u jednadžbama graničnih stanja množe se parcijalnim koeficijentima, izračunatim od strane sastavljajući normi, primjenom probabilističke metode. Semi-probabilističkim postupkom na taj se način nastoji postići zahtijevani stupanj pouzdanosti, ujednačen za sve tipove konstrukcija i elemenata.

Granična stanja

Granična su stanja ona stanja koja, kad se prekorače, dovode do toga da nosiva konstrukcija više ne ispunjava projektne zahtjeve. Razlikujemo:

- granična stanja nosivosti
- granična stanja uporabljivosti (podobnosti za korištenje)

Opterećenja

Opterećenje F je:

- izravno opterećenje - sila koja djeluje na nosivu konstrukciju
- neizravno opterećenje - npr. utjecaj temperature ili skupljanje

■ Podjela prema vremenskoj promjenjivosti:

- stalna opterećenja (G) npr. vlastita težina (g)
- promjenjiva opterećenja (Q)

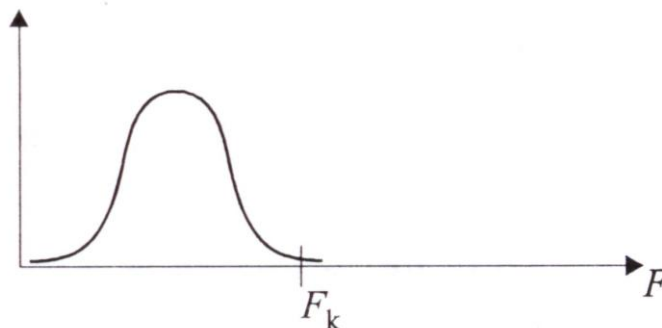
- | | |
|---|---|
| - dugotrajna | npr. opterećenja u skladištima (q) |
| - srednjetrojna | npr. prometna opterećenja (q) |
| - kratkotrajna (s) | npr. opterećenje vjetrom (w) ili snijegom |
| - trenutna | npr. horizontalni udari u potpore i zidove |
| - iznimna opterećenja (A)
opterećenja od | npr. opterećenje nastalo udarom vozila;
slijeganja temelja |

■ **Podjela prema promjenjivosti mjesta:**

- | | |
|----------------------------|----------------------|
| - stalno opterećenje | npr. vlastita težina |
| - promjenljivo opterećenje | npr. pokretni tereti |

1.2. Karakteristična opterećenja

Za karakteristično opterećenje F_k usvojena je gornja vrijednost fraktila (npr. 95% fraktila), a pripadajuća klasa trajanja opterećenja određuje se prema EC5.



Slika 1.1: Krivulja distribucije vjerojatnosti opterećenja F

■ **Reprezentativne vrijednosti promjenljivih opterećenja:**

Q_k karakteristična vrijednost

$\psi_0 Q_k$ kombinirana vrijednost

$\psi_1 Q_k$ vrijednost učestalosti

$\psi_2 Q_k$ nazovistalna vrijednost

ψ_i – vrijednosti parcijalnih koeficijenata kombinacije opterećenja

Projektna ili proračunska vrijednost opterećenja

Opći izraz za određivanje računске vrijednosti opterećenja F_d :

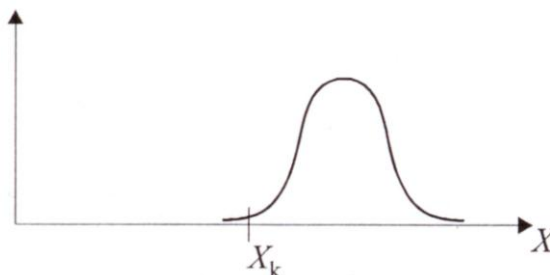
$$F_d = \gamma_r F_k \quad (1.1)$$

pri čemu je vrijednost parcijalnog koeficijenta za djelovanja γ_r određena tablično.

1.3. Svojstva građevinskog materijala

Karakteristične vrijednosti

Kao karakteristična vrijednost X_k utvrđuje se u većini slučajeva niska vrijednost fraktila (5%-fraktila). Karakteristične vrijednosti svojstava građevinskog materijala za puno drvo, lijepljeno lamelirano drvo, ploče od iverice i drvene ploče s vlaknima (vlaknatice) utvrđuje se u Nacionalnom dokumentu za primjenu ili prema ENV 338.



Slika 1.2: krivulja distribucije vjerojatnosti vrijednosti X za neki građevni materijal

Projektirane vrijednosti

$$X_d = \frac{X_k}{\gamma_M} \cdot k_{\text{mod}}$$

γ_M parcijalni koeficijent za svojstva građevinskog materijala

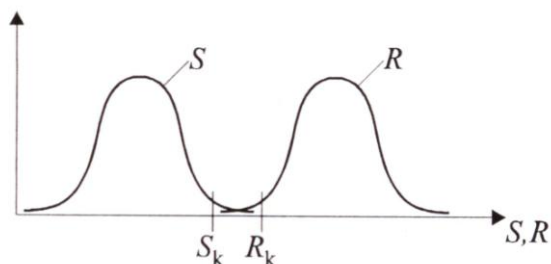
k_{mod} čimbenik modifikacije kojim se uvažava utjecaj trajanja opterećenja i vlažnosti drva

Dokaz graničnog stanja nosivosti

$$S_d \leq R_d \quad (1.3)$$

$$S_d = \gamma_G G_k + \gamma_Q (Q_{k,1} + \sum \psi_i Q_{k,i}) \quad (1.4)$$

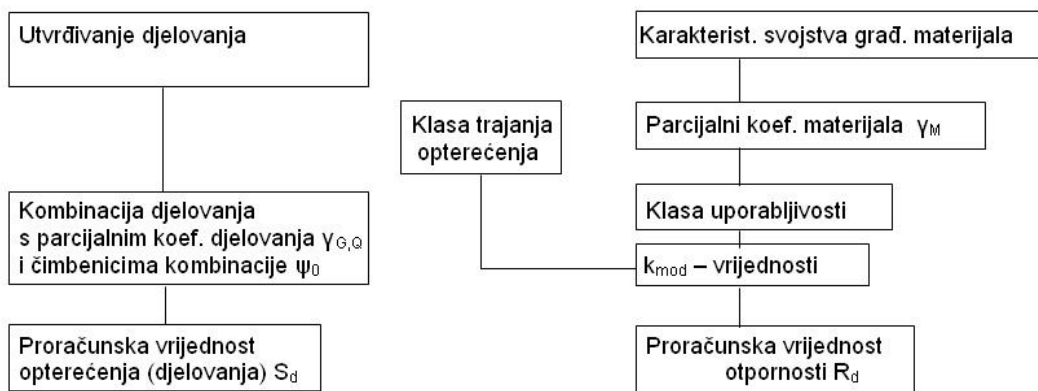
$$R_d = r (f_{i,d} E_{i,d} a_{i,d}) \quad (1.5)$$



Slika 1.3: Preklapanje krivulja distribucije vjerojatnosti otpornosti R i djelovanja S ($Z=R-S$)

Pri čemu su:

γ_G, γ_Q	parcijalni koeficijent za opterećenje
G_k	karakteristična vrijednost stalnog opterećenja
ψ_i	čimbenik kombinacije opterećenja
$Q_{k,i}$	karakteristična vrijednost promjenjivog opterećenja
$f_{i,d} = \frac{f_{i,k}}{\gamma_M} \cdot k_{\text{mod}}$	proračunska vrijednost svojstva građevnog materijala
$f_{i,k}$	karakteristična vrijednost svojstva građevnog materijala
k_{mod}	koeficijent modifikacije
γ_M	parcijalni koeficijent za svojstva građevnog materijala
$E_{i,d}; G_{i,d}$	proračunska vrijednost E-modula, G-modula itd.
$a_{i,d}$	geometrijska veličina u mjernoj jednažbi (u načelu je to nazivna vrijednost)



Slika 1.4 Dijagram dokaza graničnog stanja nosivosti

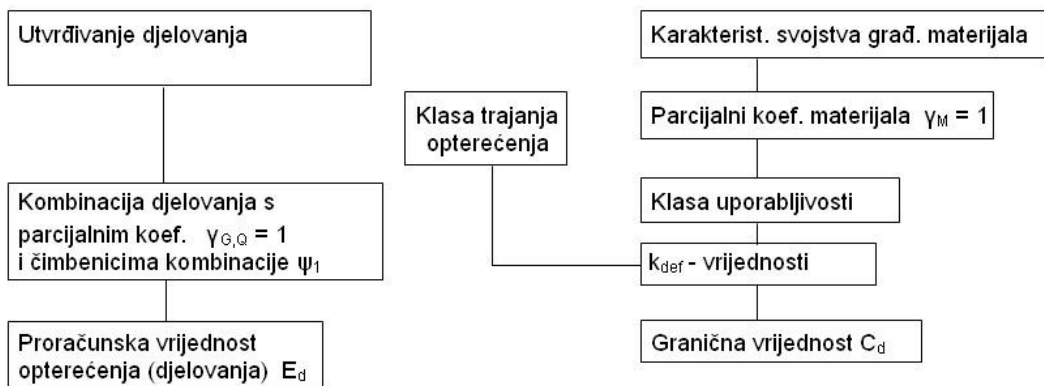
Dokaz graničnog stanja uporabljivosti

$$E_d \leq C_d \quad (1.6)$$

E_d mjerna (utvrđena) vrijednost opterećenja kombinacije

$$\sum G_{k,i} + Q_{k,1} + \sum \psi_{1,i} Q_{k,i} \quad (1.7)$$

C_d nazivna vrijednost mjerodavna za mjerenje (npr. granična vrijednost pomaka izazvanog savijanjem)



Slika 1.5 Dijagram dokaza graničnog stanja uporabljivosti

2. POSTUPAK GRANIČNIH STANJA

Temeljni zahtjevi i načela dati u normama zasnovani su na postupku graničnih stanja i vjerojatnosti pojave izvjesnog normiranog opterećenja, a obuhvaćaju:

Granično stanje nosivosti (ULS - Ultimate Limit States)

- dostizanje kritičnog opterećenja ili iscrpljenja nosivosti (kolaps konstrukcije, slom presjeka ili spoja)
- stanje koje neposredno prethodi kolapsu konstrukcije (ili nekog njenog dijela)
- stanje gubitka ravnoteže na konstrukciji (ili na bilo kojem njenom dijelu koji se smatra krutim tijelom)
- umorom materijala

Granično stanje uporabljivosti (SLS - Serviceability Limit States)

- stanje nedopustivih deformacija ili progiba konstrukcije (ili nekog njenog dijela)
- stanje u kojem definirani zahtjevi uporabljivosti prestaju vrijediti, nastaje pojava deformacija i progiba koji su uzrokom šteta i nemogućnosti djelotvorne uporabe konstrukcije, a moguća je i pojava vibracija s posljedicama u vidu materijalnih šteta, ili pak osjećajem nelagode kod ljudi

Postupak proračuna uključuje format parcijalnih koeficijenata; reprezentativne vrijednosti za opterećenja (akcije ili djelovanja) i mehanička svojstva materijala, kao i pravila projektiranja zasnovana na postupku graničnih stanja. Pravila su, međutim, iskazana u pojednostavljenom obliku i bez nužnih teorijskih objašnjenja.

Usklađivanje klasa pouzdanosti (ujednačenost razina i vidova zaštite) podrazumijeva kao mjerodavne:

- reprezentativne vrijednosti opterećenja (djelovanja, akcije)
- numeričke vrijednosti čimbenika sigurnosti i drugih elemenata sigurnosti
- zahtjeve granica uporabljivosti
- zahtjeve izbjegavanja oštećenja ili zahtjeve za ograničavanje nastalih šteta, a koje su nerazmjerne izvorno nastalim štetama
- točnost primjene i podobnost mehaničkog modela
- strogost primjene pojedinog pravila
- različite postupke provjere kvalitete

Parcijalnim se koeficijentima, za razliku od proračuna postupkom dopuštenih naprezanja, uvažava cijeli niz činitelja kao što su: trajanje i pojavnost (vrsta)

opterećenja, vlažnost, te općenito, utjecaj okoline, oblik i dimenzije presjeka, raspodjela naprezanja i, posebno, kvaliteta materijala.

Dijele se na:

- parcijalne koeficijente za opterećenja i vjerojatnosti događanja
- parcijalne koeficijente za mehanička svojstva materijala

Postupak graničnih stanja, zasnovan na faktorizaciji opterećenja i bitno restriktivnijem odnosu prema otpornosti materijala, u proračun konstrukcija uvodi realnije uporabne uvjete i ponašanje konstrukcije tijekom njena vijeka korištenja.

Projektiranje drvenih konstrukcija i nadležni kodovi EC5 normi

Organizacijska shema EC5 standarda prati tijek procesa projektiranja drvenih konstrukcija. Pravila definirana u propisima nadležna su za sve bitne parametre projektiranja drvenih konstrukcija.

Obuhvaćaju sljedeće:

- karakteristične i proračunske vrijednosti za kombinaciju opterećenja
- karakteristične i proračunske vrijednosti mehaničkih svojstava otpornosti materijala
- provjeru graničnog stanja nosivosti (za postojeću raspodjelu naprezanja)
- provjeru graničnog stanja uporabljivosti
- provjeru graničnog stanja stabilnosti glavnih nosivih elemenata i konstrukcije u cjelini (kontrola stabilizacijskog veza kao rešetkaste strukture)

Općenite postavke proračuna i pridruženi im izrazi jamče minimalno zahtijevanu razinu sigurnosti i pouzdanosti kojima se štiti konstrukcija, a pravno (i stručno) i projektant, uz uvjet da je odgovarajući kriterij provjere pravilno identificiran, protumačen i primijenjen.

2.1. Granično stanje nosivosti

Karakteristične i projektne vrijednosti za kombinaciju opterećenja

Stalna i promjenjiva opterećenja (djelovanja) - osnovne kombinacije [EC5, 2.3.2.2a] :

$$\sum \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i>1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{Q,i} \cdot Q_{k,i} \quad (2.1)$$

- $G_{k,j}$ karakteristična vrijednost stalnog opterećenja
 $Q_{k,1}$ karakteristična vrijednost prvog promjenljivog opterećenja u kombinaciji
 $Q_{k,i}$ karakteristična vrijednost ostalih promjenljivih opterećenja u kombinaciji
 $\gamma_{G,j}$ parcijalni koeficijent za stalna opterećenja
 $\gamma_{Q,i}$ parcijalni koeficijent za promjenjiva opterećenja
 $\psi_{Q,i} \equiv \psi_0, \psi_1, \psi_2$ čimbenik kombinacije opterećenja (određivanje reprezentativnih vrijednosti u slučaju više od jednog promjenljivog djelovanja; prema EC1)

Tablica 2.1 Parcijalni koeficijenti sigurnosti za stalna i promjenjiva opterećenja

	Stalno opterećenje γ_G	Promjenjiva opterećenja - γ_Q	
		Jedino ili prvo (sa svojom karakterističnom vrijednosti) u kombinaciji	Sva ostala (zadanih karakterističnih vrijednosti) u kombinaciji
Normalni parcijalni koeficijenti			
Povoljno djelovanje ($\gamma_{F,inf}$)	[1,0*]	[-**]	[-**]
Nepovoljno djelovanje	[1,35*]	[1,5]	[1,5]
Reducirani parcijalni koeficijenti			
Povoljno djelovanje	[1,0]	[-**]	[-**]
Nepovoljno djelovanje	[1,2]	[1,35]	[1,35]
	** ENV 1991 EC1; normalne proračunske situacije za građ., kad je $\gamma_{Q,inf} = 0$		

Tablica 2.2 Čimbenici kombinacija opterećenja (promjenjivi utjecaji) ψ_0, ψ_1

Vrsta promjenljivog opterećenja	Dokaz nosivosti	Dokaz uporabljivosti
	ψ_0	ψ_1
Pokretno opterećenje stropnih konstrukcija		
- Stambene prostorije, uredi, trgovine (do 50m ²), prolazi, balkoni, prostori u bolnicama	0,7	0,5
- Prostorije za skupove, garaže i javne garaže sportske dvorane, tribine, hodnici u školskim objektima, knjižnice, arhive	0,8	0,8
- Izložbeni i prodajni prostori	0,8	0,8
Opterećenje vjetrom	0,6	0,5
Opterećenje snijegom	0,7	0,2
Sva ostala promjenjiva opterećenja	0,8	0,7

Projektna ili proračunska vrijednost opterećenja je vrijednost mjerodavna za dimenzioniranje, nastala kao kombinacija različitih vrsta djelovanja. Opterećenja se međusobno razlikuju prema intenzitetu (karakterističnoj vrijednosti), trajanju i podrijetlu, te uzroku nastupanja. Iznimno je, međutim, važno uočiti da promjenjiva (korisna ili uporabna) opterećenja, kad postoje najmanje dva ili više u određenoj kombinaciji, ne mogu u svom punom intenzitetu imati jednaku vjerojatnost nastupanja.

Upravo je vjerojatnost nastupanja pojedinog promjenljivog djelovanja s punim intenzitetom (unutar cijele grupe promjenjivih utjecaja), razlog što se čimbenicima kombinacije ψ_i (tablica 2.2) reducira njihov pojedinačni utjecaj u okviru neke proračunske situacije. Uočljivo je kako su čimbenici kombinacija primjenjivi u dokazu uporabljivosti (ψ_1) manji nego oni mjerodavni za dokaz nosivosti (ψ_0) što se zasniva na činjenici da su posljedice mogućih oštećenja, nastalih nastupanjem tih dvaju graničnih stanja, različite. Pravila za primjenu čimbenika kombinacija (ψ_i) vrijede i za istovremeno nastupanje promjenljivih opterećenja snijega i vjetra.

Primjenom vrijednosti za parcijalne koeficijente sigurnosti γ danim u tablici 1.1, može se, ali samo iznimno (pojednostavljena provjera konstrukcija zgrada) , zamijeniti pojednostavljenim pravilom, kako slijedi (HRN ENV točka 9.4.5.)

- uzimajući u razmatranje samo jedno, i to najnepovoljnije promjenljivo opterećenje

$$\sum \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + 1.5 \cdot Q_{k,1} \quad (2.2)$$

- uzimajući u razmatranje sva nepovoljna promjenjiva opterećenja

$$\sum \gamma_{G,j} \cdot G_{k,i} + 1.35 \cdot \sum_{i \geq 1} Q_{k,i} \quad (2.3)$$

Mjerodavna je veća od obje izračunate vrijednosti.

Karakteristične i proračunske vrijednosti mehaničkih svojstava gradiva

Projektnu vrijednost X_d svojstva gradiva (gdje je X_k karakteristična vrijednost) definira [EC5, 2.2.3]:

$$X_d = k_{\text{mod}} \cdot \frac{X_k}{\gamma_M} \quad (2.4)$$

k_{mod} čimbenik modifikacije kojim se uzima u obzir utjecaj trajanja opterećenja i postotak vlažnosti u konstrukciji na mehaničko svojstvo čvrstoće

Tablica 2.3 Parcijalni koeficijenti sigurnosti za svojstva gradiva, γ_M [EC5, tablica 2.3.3.2]

Granično stanje nosivosti	Parcijalni koeficijent sigurnosti - γ_M
<u>Osnovne kombinacije</u>	
Drvo i gradiva na osnovi drva	[1,3]
Čelik u detaljima spojeva	[1,1]
<u>Izvanredne kombinacije</u>	[1,0]
Granična stanja uporabljivosti	[1,0]

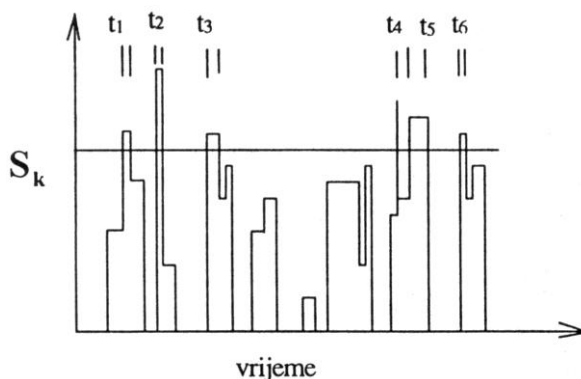
EC5 norme daju klasifikaciju gradiva prema klasama uporabljivosti (razredi vlažnosti), te podjelu opterećenja prema trajanju, što se odražava na vrijednost čimbenika modifikacije k_{mod} .

U slučaju da kombinaciju opterećenja tvore djelovanja koja pripadaju različitim razredima trajanja, za izračun projektne vrijednosti čvrstoće (u dokazu nosivosti), mjerodavan je modifikacijski čimbenik k_{mod} pridružen opterećenju najkraćeg razdoblja trajanja u kombinaciji.

Tablica 2.4 Razredi trajanja opterećenja [EC5, tablica 3.1.6]

Razred trajanja opterećenja	Stupanj akumuliranog trajanja karakterističnog opterećenja	Primjeri opterećenja
Stalno	dulje od 10 godina	vlastita težina
Dugotrajno	od 6 mjeseci do 10 godina	skladištenje
Srednjetrojno	od 1 tjedna do 6 mjeseci	pridodano opterećenje
Kratkotrajno	kraće od jednog tjedna	snijeg * i vjetar
Trenutno		izvanredno opterećenje

* U područjima s velikim snijegom u dužem vremenskom razdoblju, dio tog opterećenja treba smatrati srednjetrojnim opterećenjem



Slika 2.1 Trajanje opterećenja - karakteristični utjecaji

Nadalje, za vrijeme uporabe objekta, u drvu se uspostavlja ravnoteža vlažnosti, ovisna o mikroklimi prostora. Vlažnost ima velik utjecaj na mehanička svojstva drva što se pri dimenzioniranju mora uvažiti. EC5 stoga sadrži podjelu na razrede vlažnosti ili klase uporabljivosti prema kriteriju postotka vlažnosti drvene građe (tablica 2.5). Razredi vlažnosti su, zajedno s razredima trajanja opterećenja, osnova za utvrđivanje vrijednosti čimbenika modifikacije k_{mod} , kod graničnog stanja nosivosti (tablica 2.6), kao i čimbenika deformacije k_{def} , kod graničnog stanja uporabljivosti (tablica 2.7).

Tablica 2.5 Klase uporabljivosti ili razredi vlažnosti [EC5, 3.1.5]

Klasa uporabljivosti (razred vlažnosti)	Ravnotežna vlažnost u drvu
1	$u \leq 12\%$
2	$12\% < u \leq 20\%$
3	$u > 20\%$

Lamelirano drvo (LLD) pripada klasi uporabljivosti 1, koju definira sadržaj vlage (postotak vlažnosti) gradiva, pri temperaturi od 20°C i relativnoj vlažnosti zraka okruženja koja je svega nekoliko tjedana u godini veća od 65%, pri čemu prosječna vlažnost većine meke građe drva ne prelazi 12%.

Puno drvo (PD) ili piljena građa pripada klasi uporabljivosti 2, koju određuje sadržaj vlage gradiva pri temperaturi od 20°C i relativnoj vlažnosti zraka okoline koja je svega nekoliko tjedana u godini veća od 65%, pri čemu je prosječna vlažnost većine meke građe drva veća od 12%, ali ne prelazi 20%.

Tablica 2.6 Vrijednosti čimbenika modifikacije k_{mod} [prema EC5, tablica 3.1.7*]

Gradivo/razred trajanja opterećenja	Razred vlažnosti (klasa uporabljivosti)		
	1	2	3
Piljena (puno drvo) i lamelirana građa Furniri			
Stalno	0,60	0,60	0,50
Dugotrajno	0,70	0,70	0,55
Srednjetrojno	0,80	0,80	0,65
Kratkotrajno	0,90	0,90	0,70
Trenutno	1,10	1,10	0,90

*) Tablica 3.1.7 [EC5] sadrži i vrijednosti koeficijenta modifikacije za iverice i OSB ploče, kao i za ploče vlaknatice

2.2. Granično stanje uporabljivosti

Deformacije konstrukcije koje su posljedica djelovanja opterećenja (uzdužne sile, momenti savijanja, pomaci u čvorovima i vezama) i vlažnosti, pri čemu trajanje opterećenja izravno utječe na promjenu deformacija tijekom vremena (puzanje), moraju biti u određenim granicama. Mogućnost oštećenja površina ugrađenih materijala i elemenata konstrukcije (stropovi, razdjelni zidovi, završni slojevi itd.), treba uzeti u obzir na način da se uporabni zahtjevi moraju

poštivati, a jednako tako, izgled ne smije izazivati osjećaj nelagode (prema EC5, poglavlje 4).

Kombinacije djelovanja za granična stanja uporabljivosti treba računati prema izrazu [EC5, 4.1.a]:

$$\sum G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum_{i>1} \psi_{1,i} \cdot Q_{k,i} \quad (2.5)$$

Deformacije konstruktivnih elemenata građevine

Početna vrijednost deformacije, u_{inst} , proračunava se za svako opterećenje pojedinačno pri čemu su parcijalni koeficijenti sigurnosti za opterećenja $\gamma_{G,i} = 1$; $\gamma_{Q,i} = 1$. Elastomehanička svojstva gradiva, moduli elastičnosti (za udio progiba od normalnih naprezanja prouzročenih savijanjem) i modul posmika (za udio progiba od posmičnih naprezanja izazvanih djelovanjem poprečne sile), u proračun se uvode sa svojim srednjim vrijednostima ($E_{0,mean}$; $G_{0,mean}$).

Čimbenik modifikacije ima jediničnu vrijednost za granično stanje uporabljivosti ($k_{mod} = 1$), jednako kao i koeficijent sigurnosti za svojstva materijala ($\gamma_M = 1$), pa nemaju utjecaja na promjenu krutosti.

Tablica 2.7 Vrijednosti čimbenika deformacije k_{def} (za drvo, materijale na osnovi drva i spojeve)

Gradivo/razred trajanja opterećenja	Klasa uporabljivosti (razred vlažnosti)		
	1	2	3
Puno drvo (PD)*, lamelirano lijepljeno drvo (LLD)			
Stalno	0.60	0.80	2.00
Dugotrajno	0.50	0.50	1.50
Srednjetrojno	0.25	0.25	0.70
Kratkotrajno	0.00	0.00	0.30

*) Za puno drvo, ugrađeno u stanju gotovo zasićene vlažnosti, vrijednosti k_{def} treba povećati za 1.0

Konačna vrijednost deformacije za pojedinačno djelovanje, izračunava se prema izrazu [EC5, 4.1b]:

$$u_{fin,i} = u_{inst,i} \cdot (1 + k_{def,i}) \quad (2.6)$$

k_{def} čimbenik deformacije kojim se uzima u obzir povećanje deformacija tijekom vremena (od kombiniranih djelovanja, učinka puzanja i vlažnosti)

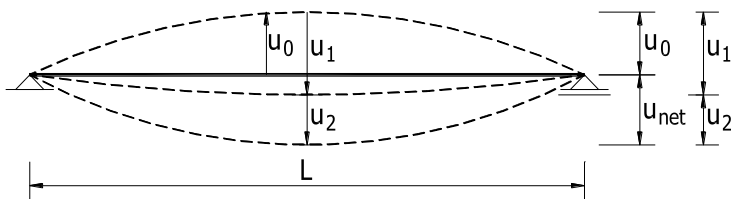
Za opterećenja koja unutar neke projektne kombinacije pripadaju različitim razredima trajanja, doprinos svakog pojedinog opterećenja izražava se posebno, i s pripadnim, vlastitim čimbenikom deformacije k_{def} , ovisnim o trajanju upravo tog opterećenja.

Za glavne nosive elemente konstrukcije koje je moguće nadvisiti, utjecaj nadvišenja u_0 povoljno djeluje na vrijednost konačne deformacije, u_{fin} . Granična vrijednost nadvišenja određuje se za kombinaciju opterećenja maksimalne računске vrijednosti $\sum G_j + \sum Q_{k,i} / 2$, gdje je $\sum G_j$ doprinos stalnog opterećenja, a $\sum Q_{k,i} / 2$ doprinos promjenjivih djelovanja.

DIN 1052 (dio I) propisuje granične vrijednosti progiba kao obavezne, dok EC5 daje samo preporuku odgovarajućih vrijednosti. EC5 norma kontrolu uporabljivosti (proračun deformacija) zahtijeva samo za karakteristične presjeke i osjetljiva mjesta konstrukcije, što projektantu daje veću odgovornost. Konačna deformacija u_{fin} , izračunava se prema (EC5, dio 4.3):

$$u_{fin} = \sum u_{fin,i} = \sum u_{inst,i} \cdot (1 + k_{def,i}) - u_0 \quad (2.7)$$

- u_0 nadvišenje nosača u neopterećenom stanju
- u_1 progib nosača od stalnog opterećenja (G)
- u_2 progib nosača od promjenjivog opterećenja (Q)



Slika 5.2 Doprinos stalnog i promjenjivog opterećenja u ukupnom (netto) progibu nosača

Netto ili ukupna vrijednost progiba u odnosu na uzdužnu os nosača, u_{net} , definira se kao:

$$u_{net} = u_1 + u_2 - u_0 \quad (2.8)$$

Granične vrijednosti progiba određene su u odnosu na trenutne i konačne vrijednosti progiba. Ako posebni uvjeti ne propisuju drugačije, preporučuju se sljedeće vrijednosti (definirane u odnosu na raspon L grednog, slobodno oslonjenog nosača ili raspon L_k konzolnog nosača):

- a) u proračunskim situacijama kad se smatra pogodnijim ograničiti trenutni progib prouzročen promjenljivim opterećenjem, $u_{2,inst}$:

$$\begin{aligned} u_{2,inst} &\leq [L/300] \\ u_{2,inst} &\leq [L_k/150] \end{aligned} \quad (2.9) \quad \text{za konzole}$$

b) u proračunskim situacijama kad se smatra pravilnim ograničiti konačni progib, u_{fin} :

$$u_{2,fin} \leq [L/200] \quad (2.10)$$

$$u_{2,fin} \leq [L_k/100] \quad \text{za konzole}$$

(Mjerodavno u slučaju kad je $u_0 > u_{1,fin}$ i $u_{net} < u_2$)

$$u_{net,fin} \leq [L/200] \quad (2.11)$$

$$u_{net,fin} \leq [L_k/100] \quad \text{za konzole}$$

Granične vrijednosti progiba vrijede također i za rešetkaste nosače, a određuju se za ukupan raspon rešetke, kao i za štapove između čvorova (raspon polja rešetkastog nosača).

3. DJELOVANJA NA KONSTRUKCIJU

Pojedina djelovanja na konstrukcije: vlastita težina, uporabna opterećenja, požar, snijeg, vjetar, temperatura, djelovanja tijekom izvedbe, izvanredna djelovanja uzrokovana udarom i eksplozijom sadržana su u hrvatskim normama niza HRN ENV 1991.

Na konstrukciji djelovanja izazivaju učinke djelovanja (rezne sile), odnosno odziv konstrukcije. Djelovanja mogu biti neovisna (djelovanje snijega na tlo) ili ovisna o samoj konstrukciji (djelovanje snijega na pokrov).

Osnovni podaci o djelovanjima, na osnovi kojih se dolazi do potrebnih numeričkih vrijednosti, mogu se dobiti promatranjem (opterećenja snijegom i vjetrom), proračunom prema zakonima fizike (vlastita težina), izborom (maksimalna težina vozila na mostu) i procjenom (izvanredna djelovanja).

Podaci o djelovanjima, dobiveni promatranjem ili prema zakonima fizike obrađuju se statističkim metodama. U ovisnosti od usvojene fraktile razlikuju se nazovistalna vrijednost, česta vrijednost, vrijednost djelovanja u kombinaciji, posebno prevladavajućeg djelovanja i karakteristična vrijednost djelovanja.

Podaci dobiveni izborom ili procjenom općenito se ne izražavaju statističkim veličinama već se uvodi nazivna vrijednost djelovanja. Numeričke vrijednosti djelovanja sadrže odgovarajuće nepouzdanosti pri određivanju. Osnovni uzroci su velika promjenljivost samog djelovanja (brzina vjetra), nesavršenost modela djelovanja, posebno pri statističkoj obradbi malog broja podataka te nepoznavanje budućeg razvoja industrije (vozila i oprema). Prema tome osnovna svojstva djelovanja su vjerojatnost pojave, promjenljivost u vremenu i prostoru i druge nepouzdanosti stohastičkoga ili nestohastičkoga karaktera.

4. OPTEREĆENJE SNIJEGOM

Opterećenje snijegom je promjenljivo slobodno djelovanje. U posebnim klimatskim područjima zapusi snijega na krovovima se zbog rijetkosti pojavljivanja smatraju izvanrednim opterećenjem.

Ovaj dio eurokoda daje detaljne odredbe za proračun opterećenja snijegom na krovove, ali isključuje sljedeće slučajeve djelovanja:

- lokacije iznad 1500 m nadmorske visine,
- udarna opterećenja od snijega koji klizi niz krov ili pada s višega krova,
- opterećenja koja mogu nastati ako snijeg ili led začepe sustav odvodnje
- dodatna opterećenja vjetrom uslijed nagomilavanja leda,
- lokacije na kojima je snijeg prisutan cijele godine,
- opterećenje ledom
- bočno opterećenje snijegom izazvano smetovima,
- povećanje opterećenja uslijed padanja jake kiše na snijeg.

Opterećenja snijegom proračunavaju se na osnovi karakterističnog opterećenja s_k , koje odgovara jednolikom snijegu koji je napadao pri mirnim vremenskim uvjetima na ravno tlo. Ova se vrijednost prilagođava ovisno o:

- obliku krova,
- njegovim toplinskim karakteristikama,
- hrapavosti površine,
- količini topline koja se skuplja ispod krova,
- blizini susjednih zgrada,
- okolnom terenu,
- lokalnim meteorološkim karakteristikama (učinak vjetra na raspodjelu snijega).

Opterećenje snijegom na krov određuje se izrazom:

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

- s_k karakteristična vrijednost opterećenja od snijega na tlo (kN/m^2),
- μ_i koeficijent oblika opterećenja snijegom (učinak oblika krova),

- C_e koeficijent izloženosti, koji obično ima vrijednost 1,0,
- C_t toplinski koeficijent, koji obično ima vrijednost 1,0.

Da bi se uzeo učinak oštrog vjetrova koeficijent izloženosti C_e može se uzeti manji od 1,0, a da bi se uzeo u obzir učinak gubitka topline kroz krov toplinski koeficijent C_t može se uzeti manji od 1,0.

Opterećenje snijegom djeluje vertikalno i odnosi se na horizontalnu projekciju površine krova te se odnosi na snijeg koji je prirodno napadao.

Opterećenje snijegom na tlo zavisi od geografskog položaja i nadmorske visine lokacije koja se razmatra i daje se na nacionalnoj osnovi u obliku karata s odgovarajućom geografskom lokacijom.



Slika 4.1: Područja opterećenja snijegom u Hrvatskoj

Tablica 4.1 Karakteristične vrijednosti opterećenja snijegom s_k u kN/m^2

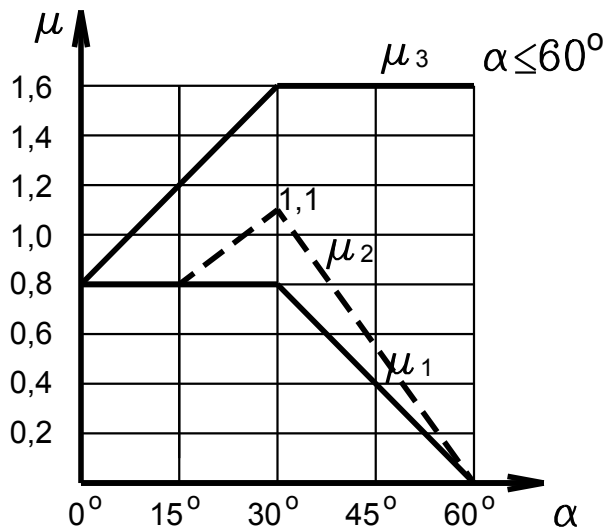
Nadmorska visina do (m)	A područje	B područje	C područje	D područje
100	1,10	1,10	0,45	0,35
200	1,30	1,40	0,80	0,50
300	1,55	1,75	1,20	0,70
400	1,80	2,20	1,65	0,90
500	2,05	2,65	2,15	1,15
600	2,35	3,15	2,70	
700	2,65	3,70	3,30	
800	2,95	4,25	3,95	
900	3,25	4,90	4,65	
1000	3,60	5,55	5,40	
1100	3,95	6,25	6,20	
1200	4,30	7,00	7,05	
1300	--	7,80	7,95	
1400	--	8,65	8,90	
1500	--	9,50	9,90	
1600	--	10,40	10,95	
1700	--	11,40	12,05	
1800	--	--	13,20	

Učinak geometrije krova uzima se u obzir s koeficijentom oblika opterećenja snijegom μ_i . Uobičajene geometrije krovova su jednostrešni, dvostrešni, višestrešni i valjkasti krovovi.

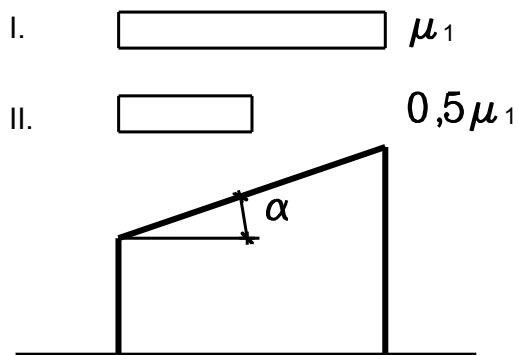
Tipične vrijednosti koeficijenta opterećenja snijegom dane su na sljedećim slikama i u tablici 4.2. Vrijednosti dane u tablici 4.2. primjenjuju se kada nije spriječeno klizanje snijega s krova. Kada postoji ograda ili druga prepreka ili kada krov završava parapetom, koeficijent oblika ne bi se trebao smanjivati ispod 0,8.

Tablica 4.2. Karakteristične vrijednosti opterećenja snijegom s_k u kN/m^2

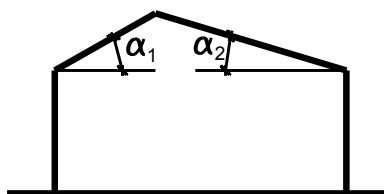
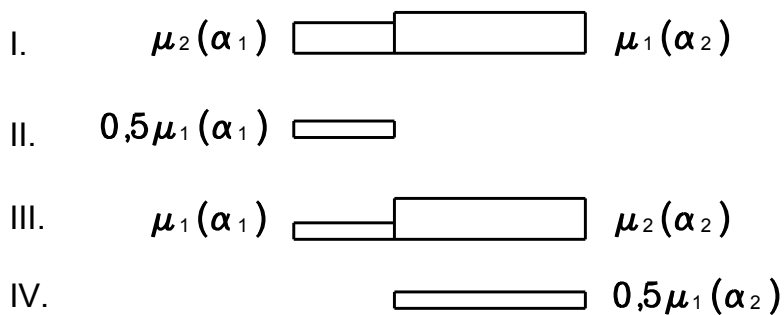
Kut nagiba krova	$0^\circ \leq \alpha \leq 15^\circ$	$15^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
μ_1	0,8	0,8	$0,8(60 - \alpha)/30$	0,0
μ_2	0,8	$0,8 + 0,6(\alpha - 15)/30$	$1,1(60 - \alpha)/30$	0,0
μ_3	$0,8 + 0,8\alpha/30$	$0,8 + 0,8\alpha/30$	1,6	Posebna pozornost



Slika 4.2: Koeficijenti oblika



Slika 4.3: Jednostrešan krov



Slika 4.4: Dvostrešan krov

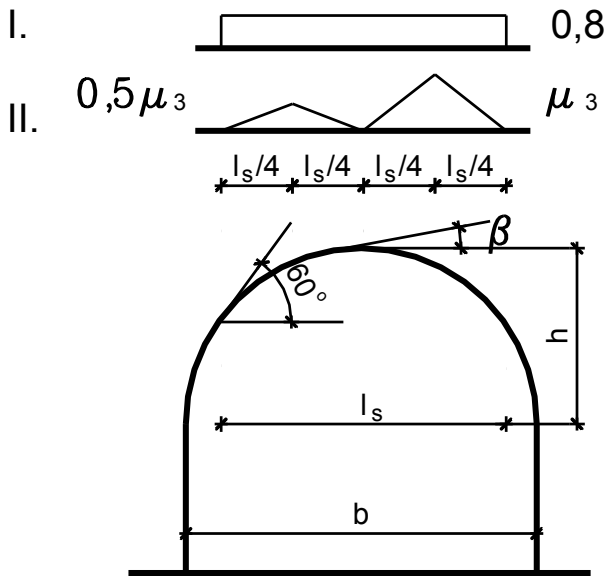
Za valjkaste krovove s $\beta \leq 60^\circ$ preporučuje se koeficijent oblika dan na slikama 5 i 6.:

$$\mu_3 = 0,2 + 10h/b \quad (4.2)$$

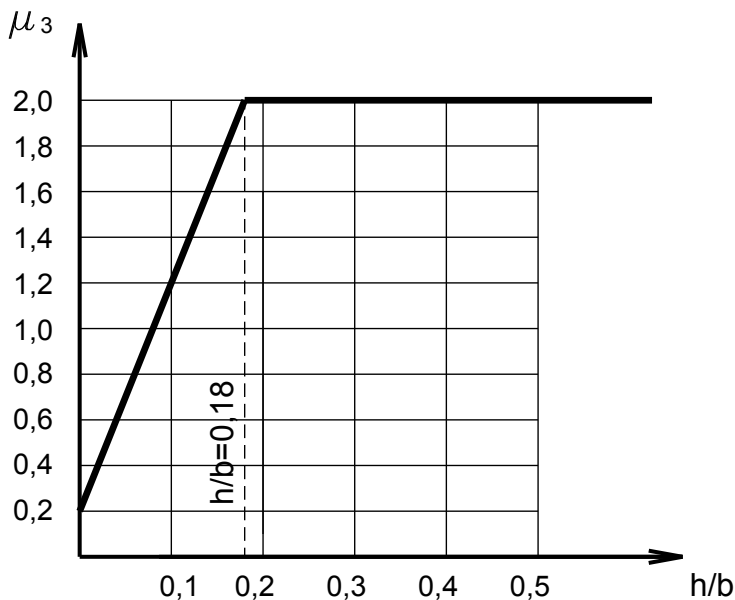
- h/b odnos visine i raspona svoda,

- l_s raspon svoda za koji je $\beta \leq 60^\circ$,

Za $\beta > 60^\circ$ koeficijenti oblika su 0.



Slika 4.5: Valjkasti krov



Slika 4.6: Koeficijenti oblika za valjkasti krov

Krovovi s naglom promjenom visine moraju se proračunati na mogućnost klizanja snijega s višeg nivoa i tada vrijedi:

$\mu_1 = 0,8$ (uz pretpostavku da je donji krov ravan kao na slici 4.7.),
(4.3)

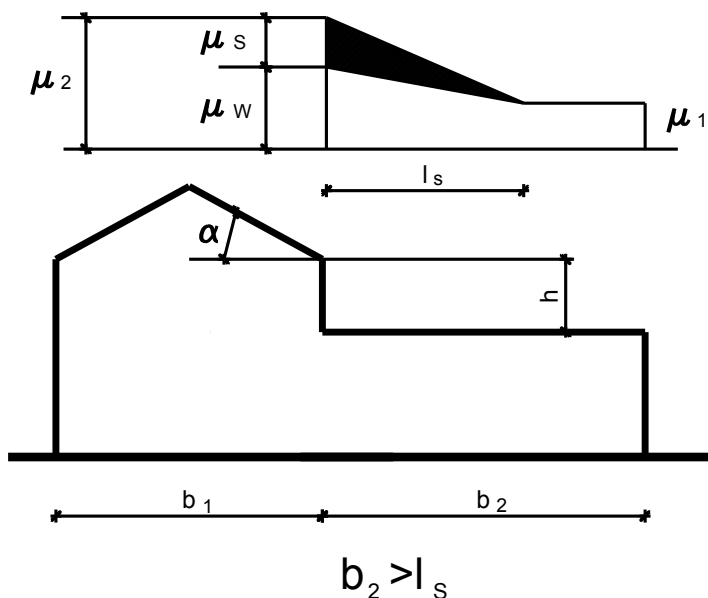
$$\mu_2 = \mu_s + \mu_w,$$

- μ_s koeficijent oblika uslijed klizanja snijega s višega krova
 $\alpha \leq 15^\circ: \mu_s = 0,$

$\alpha > 15^\circ: \mu_s = 0,5\mu_1$ (50 % maksimalnog opterećenja snijegom na susjednom nagibu gornjega krova),

- μ_w koeficijent oblika uslijed vjetrova, za $0,8 \leq \mu_w \leq 4,0$
 $\mu_w = (b_1 + b_2) / 2h \leq \gamma h / s_k,$

- γ prostorna težina snijega, 2 kN/m^3 .



Slika 4.7: Krovovi s naglom promjenom visine

Lokalni učinci od opterećenja snijegom dani su na sljedeća tri primjera.

U vjetrorenim uvjetima može se dogoditi zapuh snijega na bilo kojem krovu s preprekom koja uzrokuje područje aerodinamične sjene u kojoj se snijeg nakuplja.

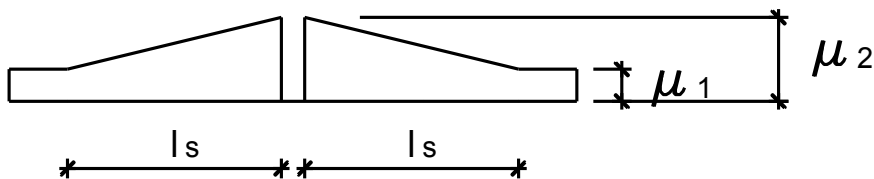
Pri tome vrijedi:

$$\square \mu_1 = 0,8,$$

$$\mu_2 = \gamma \cdot h / s_k, \quad 0,8 \leq \mu_2 \leq 2,0$$

(4.4)

$$l_s = 2h, \quad 5 \leq l_s \leq 15 \text{ m.}$$



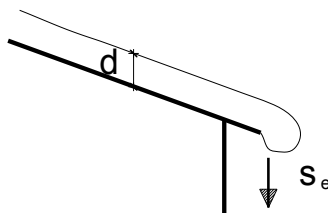
Slika 4.8: Područje aerodinamične sjene

U proračunu onih dijelova krova koji su konzolno prepušteni preko zidova, mora se uzeti u obzir snijeg koji visi preko ruba krova, kao dodatak opterećenja na tom dijelu krova. Pri tome se opterećenje na rubu krova po metru dužnom određuje prema:

$$s_e = k \cdot s^2 / \gamma$$

(4.5)

- γ prostorna težina snijega, 3 kN/m^3 ,
- s najteži slučaj opterećenja bez zaluha za odgovarajući tip krova $s = \mu_i \cdot s_k$,
- k koeficijent kojim se uzima u obzir nepravilan oblik snijega i koji iznosi od 0,0 do 2,5.



Slika 4.9: Konzolno prepušteni dijelovi

Pod određenim uvjetima snijeg može skliznuti s kosog ili zakrivljenog krova te izazvati silu uslijed klizajuće mase (koeficijent trenja uzima se nula) na snjegobrane i slične prepreke:

$$F_s = s \cdot b \cdot \sin \alpha,$$

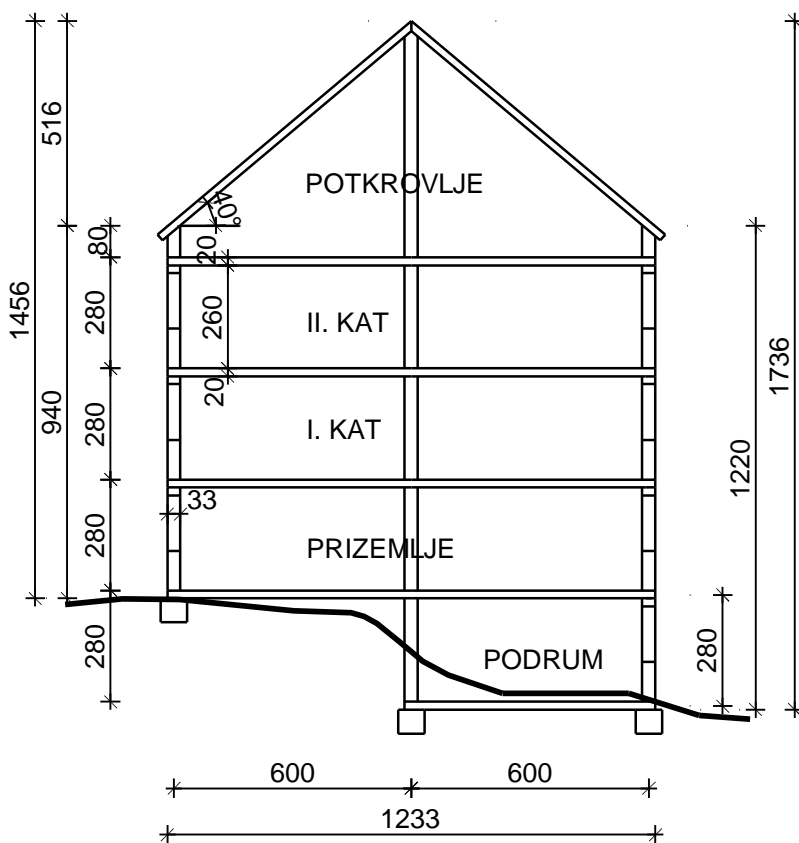
(4.6)

- s opterećenje snijegom koje odgovara površini krova s kojega bi snijeg mogao kliznuti,
- b horizontalni razmak snjegobrana na krovu,
- α nagib krova, mjeren od horizontale

4.1. Računski primjeri određivanja opterećenja snijegom

Primjer 1.

Zgrada s jednostranim podrumom, prizemljem, 2 kata i potkrovljem nalazi se u Ogulinu na nadmorskoj visini od 310 m.



Slika 4.10: Poprečni presjek

Zgrada u Ogulinu nalazi se u II. području opterećenja snijegom za koje pri prvoj većoj nadmorskoj visini od 400 m vrijedi karakteristično opterećenje snijegom $s_k = 2,20 \text{ kN/m}^2$.

Uspoređeno s uporabnim opterećenjem na krovu neprohodnom osim za uobičajeno održavanje i popravak, opterećenje snijegom je mjerodavno.

Koeficijenti oblika opterećenja snijegom određuju se za dvostrešni krov s jednakim nagibima $\alpha_1 = \alpha_2 = 40^\circ$

$$\mu_1(\alpha = 40^\circ) = 0,8(60 - 40) / 30 = 0,54$$

$$\mu_2(\alpha = 40^\circ) = 1,1(60 - 40) / 30 = 0,74.$$

Uz pretpostavku da gubitak topline kroz krov nema bitnog učinka na snježni pokrov, toplinski koeficijent se uzima $C_t = 1,0$, a uz uobičajenu topografiju, gdje je izloženost vjetru uobičajena, koeficijent izloženosti iznosi $C_e = 1,0$.

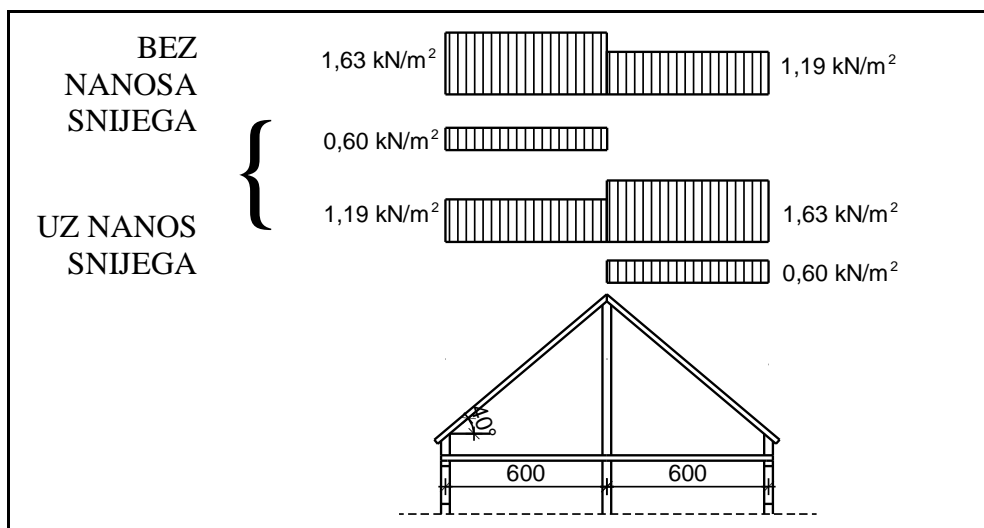
Opterećenja snijegom na krov stoga iznose

$$s = \mu_1(\alpha) \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,54 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 2,2 = 1,19 \text{ kN/m}^2$$

$$s = \mu_2(\alpha) \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,74 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 2,2 = 1,63 \text{ kN/m}^2$$

$$s = 0,5\mu_1(\alpha) \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,60 \text{ kN/m}^2,$$

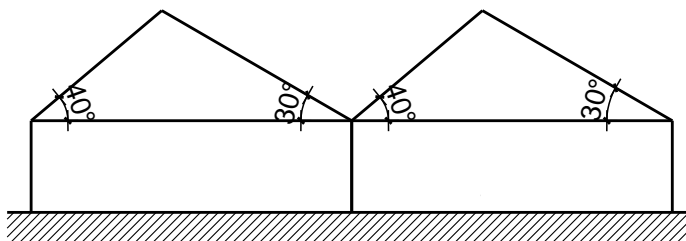
a njihova raspodjela prikazana je na slici 4.11.



Slika 4.11: Raspodjela snijega

Primjer 2.

Zgrada s višestrešnim krovom nalazi se u blizini Gospića na nadmorskoj visini od oko 660 m.



Slika 4.12: Shematski prikaz krovišta

Zgrada se nalazi u II. području opterećenja snijegom za koje pri nadmorskoj visini od 700 m vrijedi karakteristično opterećenje snijegom $s_k = 3,70 \text{ kN/m}^2$.

Za različite nagibe α_1 i α_2 višestrešnoga krova prema hrvatskoj normi potrebno je uzeti u obzir načine određivanja koeficijenata oblika za dvostrešni krov s različitim nagibima. Način određivanja koeficijenata za višestrešni krov s jednakim nagibom dviju srednjih ploha krova prilagoditi primjeru višestrešnoga krova s različitim nagibom srednjih ploha krova (odredit će se srednja vrijednost kuta nagiba).

Za višestrešne krovove uzimaju se u obzir ili jednolična ili nesimetrična opterećenja snijegom izvedena iz pravila za dvostrešni krov pa koeficijenti oblika iznose:

$$\begin{aligned}\mu_1(\alpha_1 = 40^\circ) &= 0,8(60 - 40) / 30 = 0,53 \\ \mu_1(\alpha_2 = 30^\circ) &= 0,8 \\ \mu_2(\alpha_1 = 40^\circ) &= 1,1(60 - 40) / 30 = 0,73 \\ \mu_2(\alpha_2 = 30^\circ) &= 0,8 + 0,6(30 - 15) / 30 = 1,1\end{aligned}$$

ili opterećenja zbog zapuha na višestrešnom krovu pa koeficijenti oblika iznose:

$$\begin{aligned}\mu_1(\alpha_1 = 40^\circ) &= 0,8(60 - 40) / 30 = 0,53 \\ \mu_1(\alpha_2 = 30^\circ) &= 0,8 \\ \mu_3(\alpha = 35^\circ) &= 1,6.\end{aligned}$$

Uz pretpostavku da gubitak topline kroz krov nema bitnog učinka na snježni pokrov, toplinski koeficijent se uzima $C_t = 1,0$, a uz uobičajenu topografiju, gdje je izloženost vjetru uobičajena, koeficijent izloženosti iznosi $C_e = 1,0$.

Opterećenja snijegom na krov izvedena iz pravila za dvostrešni krov stoga iznose:

$$s_I = \mu_2(\alpha_1) \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,73 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 3,7 = 2,71 \text{ kN/m}^2$$

$$s_I = \mu_1(\alpha_2) \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 3,7 = 2,96 \text{ kN/m}^2$$

$$s_{II} = 0,5\mu_1(\alpha_1) \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,5 \cdot 0,53 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 3,7 = 0,98 \text{ kN/m}^2$$

$$s_{III} = \mu_1(\alpha_1) \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,53 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 3,7 = 1,96 \text{ kN/m}^2$$

$$s_{III} = \mu_2(\alpha_2) \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 1,1 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 3,7 = 4,07 \text{ kN/m}^2$$

$$s_{IV} = 0,5\mu_1(\alpha_2) \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,5 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 3,7 = 1,48 \text{ kN/m}^2,$$

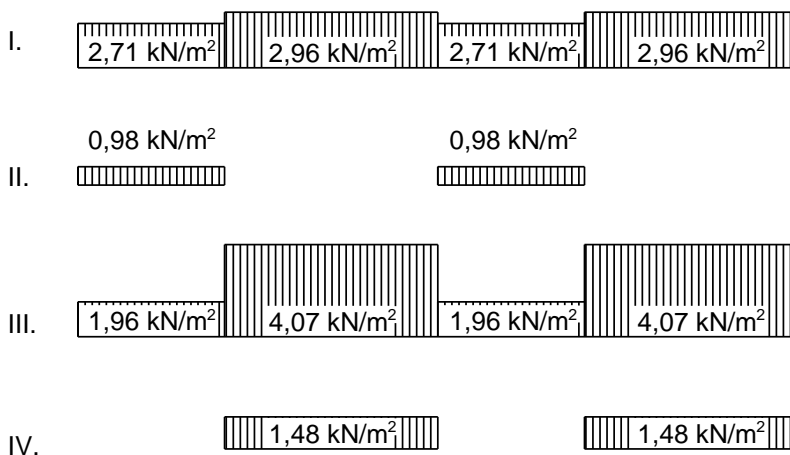
a opterećenja snijegom na krov izvedena iz pravila za višestrešni krov stoga iznose:

$$s = \mu_1(\alpha_1) \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,53 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 3,7 = 1,96 \text{ kN/m}^2$$

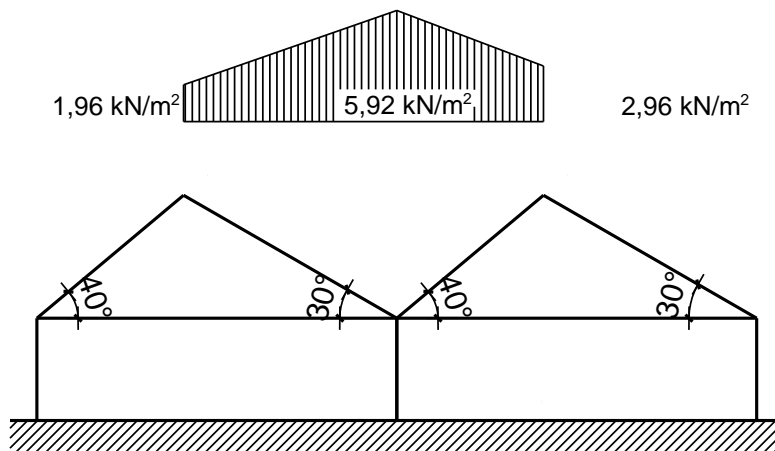
$$s = \mu_1(\alpha_2) \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 3,7 = 2,96 \text{ kN/m}^2$$

$$s = \mu_3(\alpha) \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 1,6 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 3,7 = 5,92 \text{ kN/m}^2.$$

IZVEDENO IZ PRAVILA ZA DVOSTREŠNI KROV



IZVEDENO IZ PRAVILA ZA VIŠESTREŠNI KROV



Slika 4.13: Opterećenja na krov

5. OPTEREĆENJE VJETROM

Opterećenje vjetrom je promjenljivo slobodno djelovanje. Pojednostavnjeni postupak proračuna vjetrovog opterećenja može se koristiti za zgrade i dimnjake visine manje od 200 m i znači da se djelovanje vjetra uzima kao zamjenjujuće statičko opterećenje.

Ovdje je prikazan samo pojednostavnjeni proračun i to za stalne konstrukcije. Privremene konstrukcije mogu se proračunati na manje opterećenje vjetra.

Za zgrade tlakovi vjetra djeluju okomito na površine zgrade.

Tlak vjetra na vanjske površine w_e te tlak vjetra na unutrašnje površine proračunava se po izrazima:

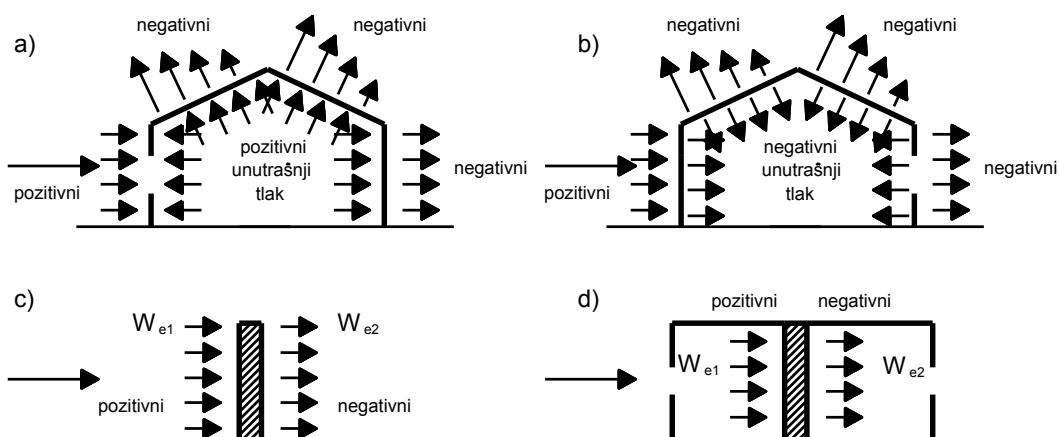
$$w_e = q_{ref} \cdot c_e(z_e) \cdot c_{pe} \quad (5.1)$$

$$w_i = q_{ref} \cdot c_e(z_i) \cdot c_{pi},$$

gdje su

q_{ref} poredbeni tlak srednje brzine vjetra,
 $c_e(z_e)$, $c_e(z_i)$ koeficijenti izloženosti,
 c_{pe} i c_{pi} koeficijenti vanjskog i unutrašnjeg tlaka.

Neto tlak na površinu je algebarski zbroj unutrašnjeg i vanjskog tlaka. Objašnjenje pojedinih članova ovog izraza dato je u nastavku.



Slika 5.1: Shema vanjskog i unutrašnjeg tlaka

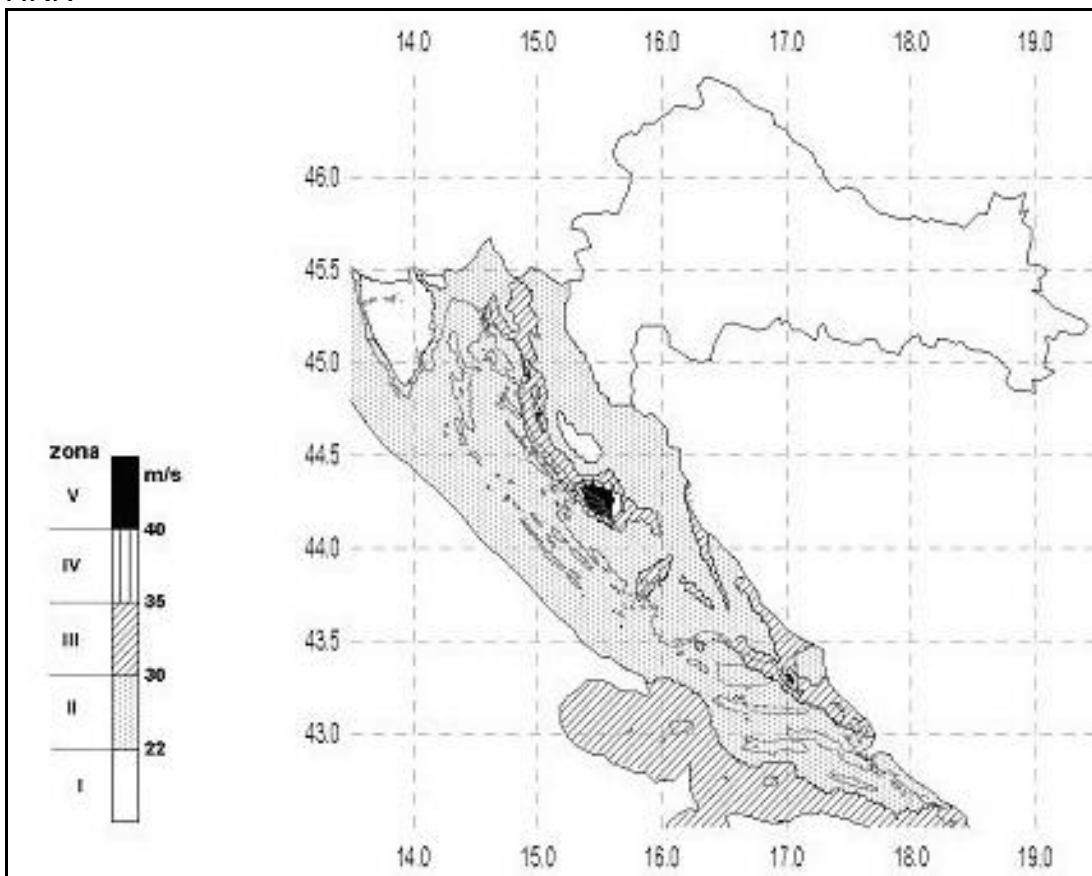
Poredbeni tlak srednje brzine vjetra određuje se izrazom:

$$q_{\text{ref}} = \frac{\rho}{2} v_{\text{ref}}^2 \quad (5.2)$$

v_{ref} poredbena brzina vjetra,

ρ gustoća zraka.

Poredbena brzina vjetra određuje se prema osnovnoj vrijednosti poredbene brzine vjetra $v_{\text{ref},0}$ koja je prikazana u zemljovidu Hrvatske za područja opterećenja vjetrom u nacionalnom dodatku za primjenu norme HRN



Slika 5.2: Podjela RH na zone

Tablica 5.1. Poredbene brzine vjetra s obzirom na zonu

Područje	I.	II.	III.	IV.	V.
$v_{\text{ref},0}$ (m/s)	22,0	30,0	35,0	40,0	50,0

Tablica 5.2. Oznake regije, opis i pripadajuće područje opterećenja vjetrom

Oznaka regije	Opis regije	Područje opterećenja vjetrom
P1	zapadna unutrašnjost (od Požeške kotline do zapadne granice Hrvatske)	I
P2	istočna unutrašnjost (od Požeške kotline do istočne granice Hrvatske)	I
P3	Gorski Kotar i unutrašnjost Istre	I, II
P4	Lika	I, II
P5	Velebit i planinsko zaleđe južnojadranskog priobalja	II, III, IV, V
P6	obala Istre	II
P7	sjevernojadransko priobalje (od Opatije do Zadra)	II, III, IV
P8	sjevernojadranski otoci (od Krka do Paga)	II, III
	mostovi Krk i Pag	IV
P9	južnojadransko priobalje (južno od Zadra)	II, III
	područje Makarske	V
P10	južnojadranski otoci (južno od Paga)	II, III

Koeficijent izloženosti uzima u obzir učinke hrapavosti terena, topografije i visine iznad tla, na srednju brzinu vjetra i turbulenciju.

$$c_e(z) = c_r^2(z) \cdot c_t^2(z) \cdot [1 + 2 \cdot g \cdot I_v(z)] \quad (5.3)$$

- g udarni koeficijent (koeficijent vrška),
- $I_v(z)$ mjera uzburkanosti (jačina vrtloženja),
 $I_v(z) = k_T / c_r(z) c_t(z)$
- $c_r(z)$ koeficijent hrapavosti,
 $c_r(z) = c_r(z_{\min})$, za $z < z_{\min}$,
 $c_r(z) = k_T \ln(z/z_0)$, za $z_{\min} < z \leq 200$ m,
- k_T koeficijent terena (zemljišta),
- $c_t(z)$ koeficijent topografije (topografski koeficijent).

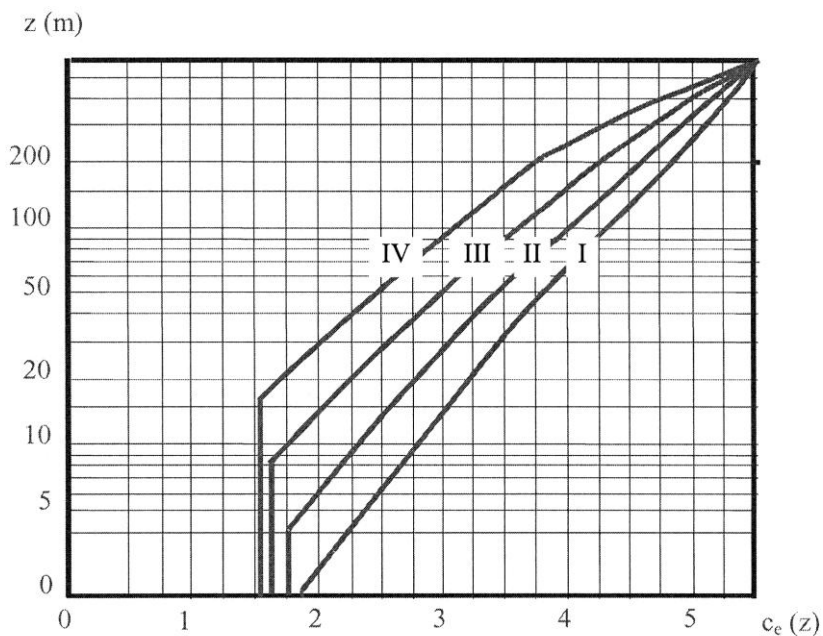
Duljina hrapave plohe z_0 , minimalna visina z_{\min} i koeficijent zemljišta prikazani su u tablici 5.3. i koriste se za određivanje koeficijenta hrapavosti.

Za ravno zemljište kada je $c_t(z) = 1,0$ koeficijent izloženosti se može odrediti iz slike 5.3 vezano uz visinu i kategoriju terena. Teren se

uglavnom smatra ravnim, osim za lokacije blizu izdvojenih brežuljaka i strmih nagiba.

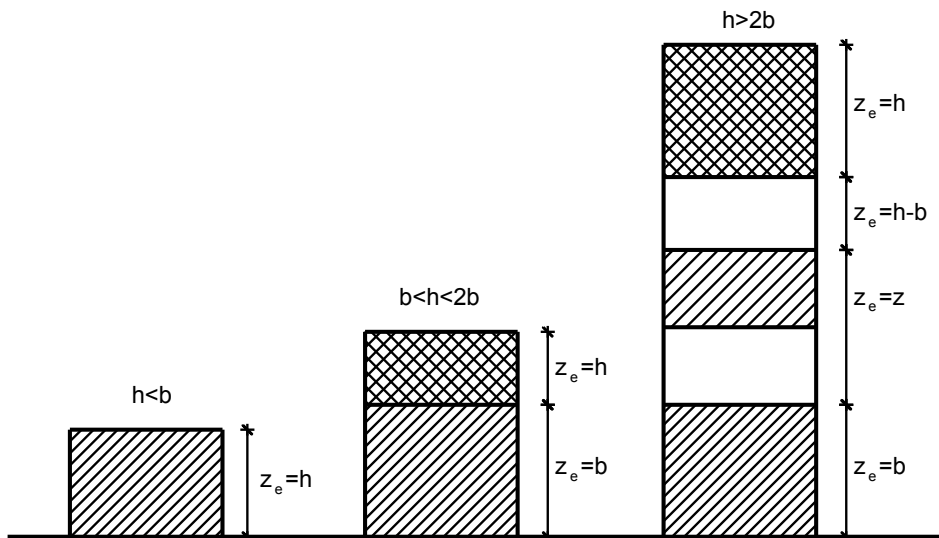
Tablica 5.3. Koeficijent terena s obzirom na kategoriju zemljišta

	Kategorija zemljišta	k_T	z_0 [m]	z_{min} [m]
I.	Otvoreno more ili jezero, s najmanje 5 km otvorene površine u smjeru vjetra i ravnica bez prepreka	0,17	0,01	2
II.	Ograđeno poljoprivredno zemljište gospodarske zgrade, kuće i drveće	0,19	0,05	4
III.	Predgrađa gradova ili industrijska područja i šume	0,22	0,3	8
IV.	Gradska područja u kojima je najmanje 15% površine izgrađeno i čija prosječna visina prelazi 15 m	0,24	1	16



Slika 5.3: Koeficijent izloženosti

Poredbena visina z_e za zidove zgrada pravokutnog tlocrta daje se ovisno o odnosu visine i širine zgrade h/b .



Slika 5.4: Poredbena visina

Tablica 5.4. Poredbena visina

a)	Građevine čija je visina h manja od širine b valja ispitati kao jednodjelne s poredbenom visinom z_e jednakom samoj visina građevine h .
b)	Građevine čija je visina h veća od širine b , ali manja od dvostruke širine b valja podijeliti u dva visinska područja: <ul style="list-style-type: none"> • niži dio visine jednake širini b u kojem je poredbena visina z_e jednaka b, • gornji dio preostale visine u kojem je poredbena visina z_e jednaka h.
c)	Građevine čija je visina h veća od širine dvostruke širine b valja promatrati kao višedjelne: <ul style="list-style-type: none"> • najniži dio visine jednake širini b u kojem je poredbena visina z_e jednaka b, • najviši dio koji se proteže od vrha prema dolje za visinu jednaku širini b u kojem je poredbena visina z_e jednaka samoj visini građevine h, • srednji dio razdijeljen u toliko dijelova za koje je najveći vertikalni razmak jednak širini b i u kojima je poredbena visina promjenljiva od najmanje z_e jednako b do z_e jednako $h - b$

Koeficijenti vanjskog tlaka c_{pe} za zgrade i njihove pojedine dijelove ovise o veličini opterećene ploštine A i dani su za opterećene ploštine od 1 m^2 i 10 m^2 u odgovarajućim tablicama kao vrijednosti $c_{pe,1}$ i $c_{pe,10}$. Za ploštine veličine između 1 i 10 m^2 koeficijenti se dobivaju linearnom interpolacijom.

Koeficijenti se primjenjuju kako bi se odredio raspored vanjskog tlaka i dani su u slikama i tablicama za:

- vertikalne zidove zgrada pravokutnoga tlocrta (slika 5.5),
- ravne krovove nagiba manjeg od $\pm 4^\circ$ (slika 5.6),
- jednostrešne krovove (slika 5.7),
- dvostrešne krovove (slika 5.8),
- četverostrešne krovove (slika 5.9),
- pilaste krovove,
- svodove i kupole.

U slikama 5.5 do 5.10 je vidljiva podjela po područjima, a u pripadnim tablicama koeficijenti za različita područja, za različite smjerove puhanja vjetra te za različite odnose dimenzija odnosno nagibe krovova.

Uz sve slike vrijedi napomena da sile trenja valja odrediti za vrlo dugačke građevine odnosno krovove. Za sve krovove (slike 5.5 do 5.9) poredbena visina z_e uzima se jednaka visini h .

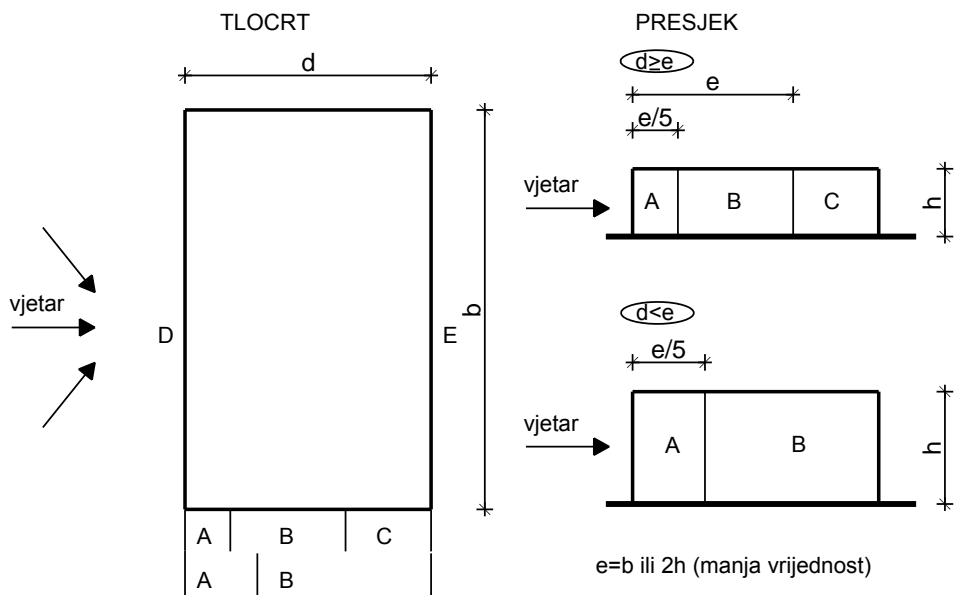
Koeficijenti unutarnjeg tlaka za zgrade bez unutrašnjih pregrada vezani su uz koeficijent otvora μ koji se definira kao omjer sume ploština otvora na zavjetrenoj strani i stranama paralelno djelovanju vjetra i sume ploština otvora na svim stranama, strani izloženoj vjetru, zavjetrenoj strani i stranama paralelno djelovanju vjetra.

U slučaju ravnomjernog rasporeda otvora, za zgrade približno kvadratnog tlocrta, mora se koristiti vrijednost $c_{pi} = -0,25$.

Za zatvorene zgrade s unutrašnjim pregradama ekstremne vrijednosti su $c_{pi} = 0,8$, ili $c_{pi} = -0,5$.

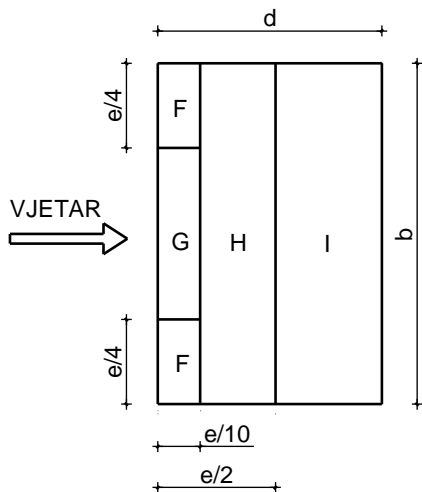
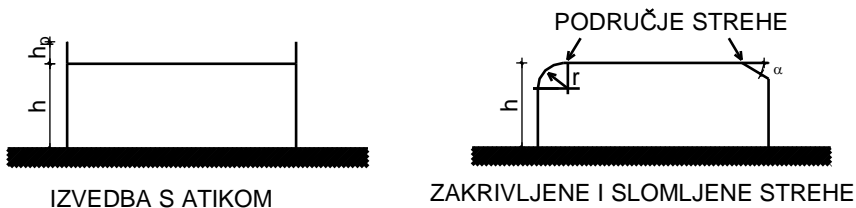
Tablica 5.5. Koeficijenti trenja

Površina	Koeficijenti trenja c_{fr}
glatka (npr. čelik, glatki beton)	0,01
hrapava (npr. hrapavi beton, krovna ljepenka)	0,02
vrlo hrapava (npr. valovita, rebrasta, nabrana)	0,04



	Područje									
	A		B		C		D		E	
d/h	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
≤ 1	-1,0	-1,3	-0,8	-1,0	-0,5	-0,5	+0,8	+1,0	-0,3	-0,3
≥ 4	-1,0	-1,3	-0,8	-1,0	-0,5	-0,5	+0,6	+1,0	-0,3	-0,3

Slika 5.5: Koeficijenti vanjskog tlaka za vertikalne zidove zgrada pravokutnoga tlocrta

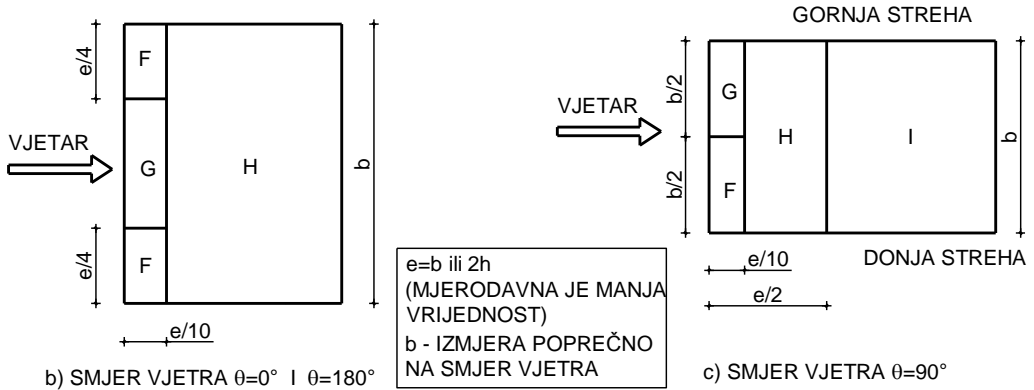
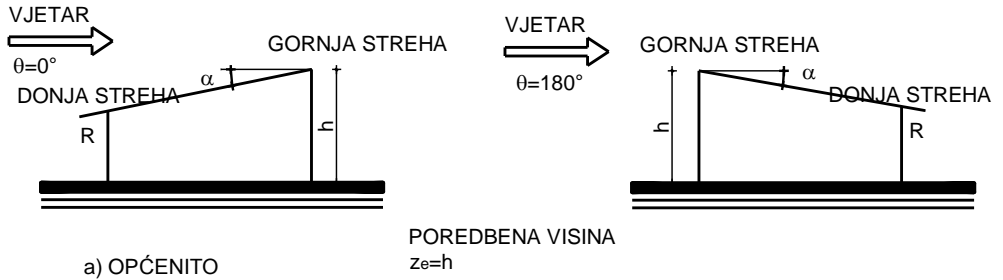


POREDBENA VISINA
 $z_e = h$

$e = b$ ili $2h$
 (MJERODAVNA JE MANJA
 VRIJEDNOST)
 b - IZMJERA POPREČNO
 NA SMJER VJETRA

		Područje							
		F		G		H		I	
		$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
strehe oštih rubova		-1,8	-2,5	-1,2	-2,0	-0,7	-1,2	$\pm 0,2$	
sa zaštitnim zidom	$h_p/h = 0,025$	-1,6	-2,2	-1,1	-1,8	-0,7	-1,2	$\pm 0,2$	
	$h_p/h = 0,05$	-1,4	-2,0	-0,9	-1,6	-0,7	-1,2	$\pm 0,2$	
	$h_p/h = 0,10$	-1,2	-1,8	-0,8	-1,4	-0,7	-1,2	$\pm 0,2$	
zaobljene strehe	$r/h = 0,05$	-1,0	-1,5	-1,2	-1,8	-0,4		$\pm 0,2$	
	$r/h = 0,1$	-0,7	-1,2	-0,8	-1,4	-0,3		$\pm 0,2$	
	$r/h = 0,2$	-0,5	-0,8	-0,5	-0,8	-0,3		$\pm 0,2$	
mansardaste strehe	$\alpha = 30^\circ$	-1,0	-1,5	-1,0	-1,5	-0,3		$\pm 0,2$	
	$\alpha = 45^\circ$	-1,2	-1,8	-1,3	-1,9	-0,4		$\pm 0,2$	
	$\alpha = 60^\circ$	-1,3	-1,9	-1,3	-1,9	-0,5		$\pm 0,2$	

Slika 5.6: Koeficijenti vanjskog tlaka za ravne krovovi nagiba manjeg od $\pm 4^\circ$



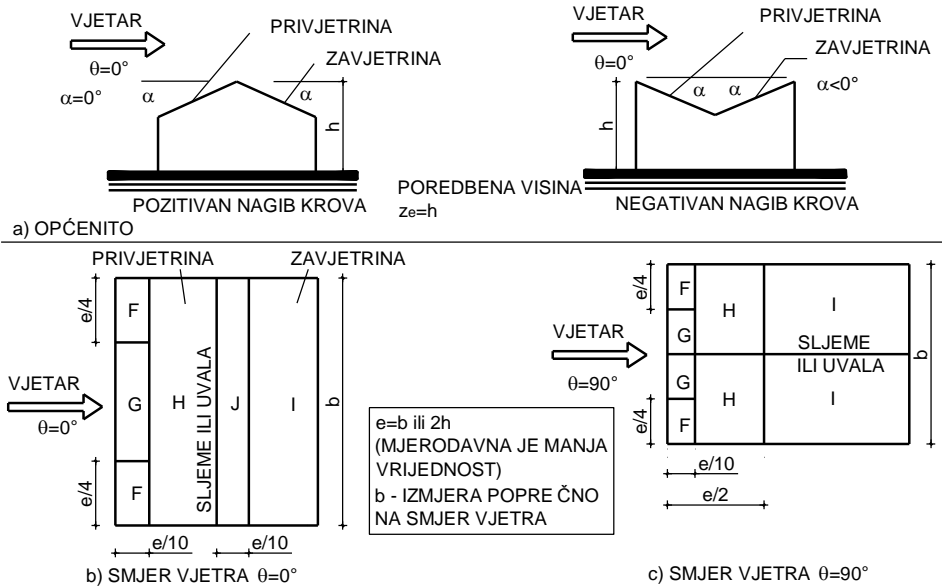
Nagib α	Smjer vjetra $\theta = 0^\circ$						Smjer vjetra $\theta = 180^\circ$					
	Područje						Područje					
	F		G		H		F		G		H	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
5°	-1,7	-2,5	-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	-2,3	-2,5	-1,3	-2,0	-0,8	-1,2
15°	-0,9	-2,0	-0,8	-1,5	-0,3		-2,5	-2,8	-1,3	-2,0	-0,9	-1,2
	+0,2		+0,2		+0,2							
30°	-0,5	-1,5	-0,5	-1,5	-0,2		-1,1	-2,3	-0,8	-1,5	-0,8	
	+0,7		+0,7		+0,4							
45°	+0,7		+0,7		+0,6		-0,6	-1,3	-0,5		-0,7	
60°	+0,7		+0,7		+0,7		-0,5	-1,0	-0,5		-0,5	
75°	+0,8		+0,8		+0,8		-0,5	-1,0	-0,5		-0,5	

Nagib α	Smjer vjetra $\theta = 90^\circ$							
	Područje							
	F		G		H		I	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
5°	-1,6	-2,2	-1,8	-2,0	-0,6	-1,2	-0,5	
15°	-1,3	-2,0	-1,9	-2,5	-0,8	-1,2	-0,7	-1,2
30°	-1,2	-2,0	-1,5	-2,0	-1,0	-1,3	-0,8	-1,2
45°	-1,2	-2,0	-1,4	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2
60°	-1,2	-2,0	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,7	-1,2
75°	-1,2	-2,0	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,5	

Kod $\theta = 0^\circ$ i nagiba strehe od $\alpha = +15^\circ$ do $+30^\circ$ tlak se brzo mijenja između + i - vrijednosti tako da su dane obje

Može se upotrijebiti linearna interpolacija za međukutove nagiba ako su vrijednosti istog predznaka

Slika 5.7: Koeficijenti vanjskog tlaka za jednostrešne krovove

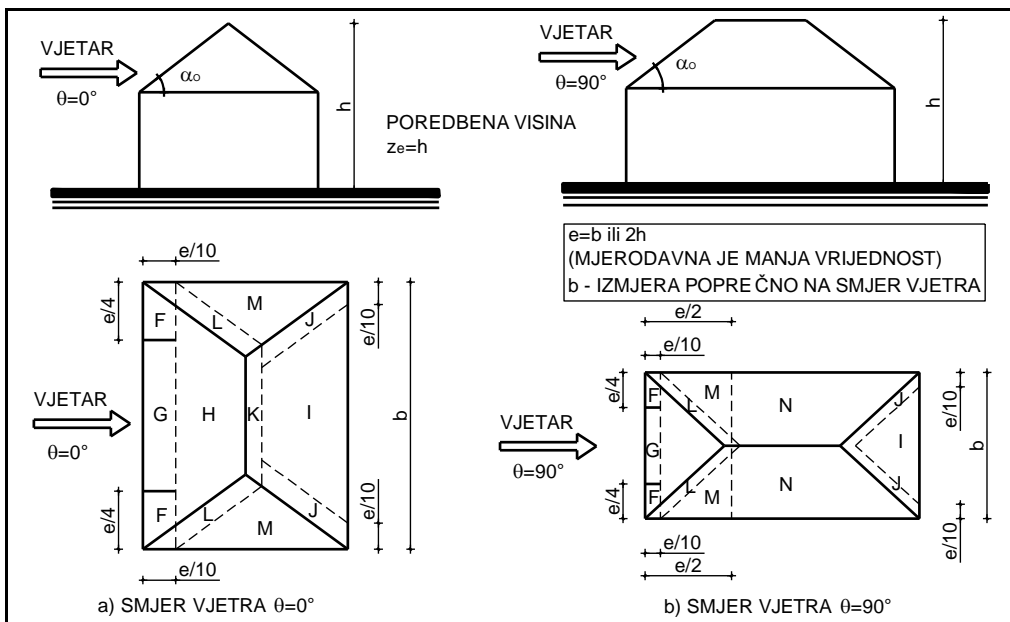


Smjer vjetra $\theta = 0^\circ$										
Nagib α	F		G		H		I		J	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
-45°	-0,6		-0,6		-0,8		-0,7		-1,0	-1,5
-30°	-1,1	-2,0	-0,8	-1,5	-0,8		-0,6		-0,8	-1,4
-15°	-2,5	-2,8	-1,3	-2,0	-0,9		-0,5		-0,7	-1,2
-5°	-2,3	-2,5	-1,2	-2,0	-0,8		-0,3		-0,3	
5°	-1,7	-2,5	-1,2	-2,0	-0,6		-0,3		-0,3	
15°	-0,9	-2,0	-0,8	-1,5	-0,3		-0,4		-1,0	-1,5
30°	+0,2		+0,2		+0,2		-0,4		-0,5	
	-0,5	-1,5	-0,5	-1,5	-0,2		-0,4		-0,5	
45°	+0,7		+0,7		+0,4		-0,2		-0,3	
60°	+0,7		+0,7		+0,6		-0,2		-0,3	
75°	+0,7		+0,7		+0,7		-0,2		-0,3	
75°	+0,8		+0,8		+0,8		-0,2		-0,3	

Smjer vjetra $\theta = 90^\circ$										
Nagib α	F		G		H		I			
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
-45°	-1,4	-2,0	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2		
-30°	-1,5	-2,1	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2		
-15°	-1,9	-2,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,2	-0,8	-1,2		
-5°	-1,8	-2,5	-1,2	-2,0	-0,7	-1,2	-0,6	-1,2		
5°	-1,6	-2,2	-1,3	-2,0	-0,7	-1,2	-0,5			
15°	-1,3	-2,0	-1,3	-2,0	-0,6	-1,2	-0,5			
30°	-1,1	-1,5	-1,4	-2,0	-0,8	-1,2	-0,5			
45°	-1,1	-1,5	-1,4	-2,0	-0,9	-1,2	-0,5			
60°	-1,1	-1,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,0	-0,5			
75°	-1,1	-1,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,0	-0,5			

Vrijede iste napomene kao i za sl. 4.17

Slika 5.8: Koeficijenti vanjskog tlaka za dvostrešne krovove



α_0 za $\theta = 0^\circ$ α_{90} za $\theta = 90^\circ$	Smjer vjetra $\theta = 0^\circ$ i $\theta = 90^\circ$									
	F		G		H		I		J	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
5°	-1,7	-2,5	-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	-0,3		-0,6	
15°	-0,9	-2,0	-0,8	-1,5	-0,3		-0,5	-1,0	-1,5	
	+0,2		+0,2		+0,2					
30°	-0,5	-1,5	-0,5	-1,5	-0,2		-0,4	-0,7	-1,2	
	+0,5		+0,7		+0,4					
45°	+0,7		+0,7		+0,6		-0,3		-0,6	
60°	+0,7		+0,7		+0,7		-0,3		-0,6	
75°	+0,8		+0,8		+0,8		-0,3		-0,6	

α_0 za $\theta = 0^\circ$ α_{90} za $\theta = 90^\circ$	Smjer vjetra $\theta = 0^\circ$ i $\theta = 90^\circ$							
	K		L		M		N	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
5°	-0,6		-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	-0,4	
15°	-1,2	-2,0	-1,4	-2,0	-0,6	-1,2	-0,3	
30°	-0,5		-1,4	-2,0	-0,8	-1,2	-0,2	
45°	-0,3		-1,3	-2,0	-0,8	-1,2	-0,2	
60°	-0,3		-1,2	-2,0	-0,4		-0,2	
75°	-0,3		-1,2	-2,0	-0,4		-0,2	

Kod $\theta = 0^\circ$ i nagiba strehe od $\alpha = +15^\circ$ do $+30^\circ$ tlak se brzo mijenja na privjetrenoj strani između pozitivnih i negativnih vrijednosti dako da su dane obje

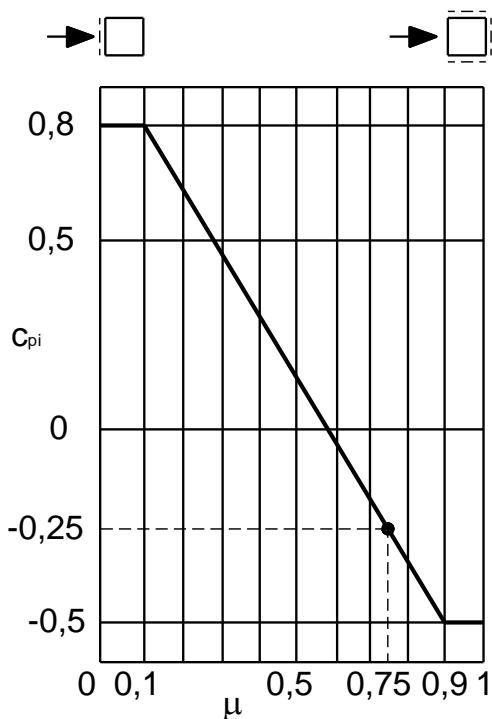
Može se upotrijebiti linearna interpolacija za međukutove nagiba ako su vrijednosti istog predznaka

Kut nagiba krova na privjetrenoj strani mjerodavan je za koeficijent tlaka

Slika 5.9: Koeficijenti vanjskog tlaka za četvorostrešne krovove

Koeficijent unutarnjeg tlaka c_{pi} za zgrade bez unutarnjih pregrada funkcija je omjera otvora μ .

$$\mu = \frac{\sum \text{ploha otvora u zavjetrini i na stranama usporednim sa smjerom vjetra}}{\sum_i \text{ploha otvora u privjetrenoj strani, na strani u zavjetrini stranama usporednim sa smjerom vjetra}}$$



Poredbena visina z_i bez unutarnjih podjela i katova srednja je visina jednolično raspodijeljenih mjerodavnih otvora po visini. Otvor je mjerodavan ako je omjer njegove ploštine i ploštine ostalih otvora veći od 10.

Poredbena visina z_i zgrada bez vertikalnih unutarnjih podjela, ali s horizontalnim podjelama u raznim katovima srednja je visina promatrane razine.

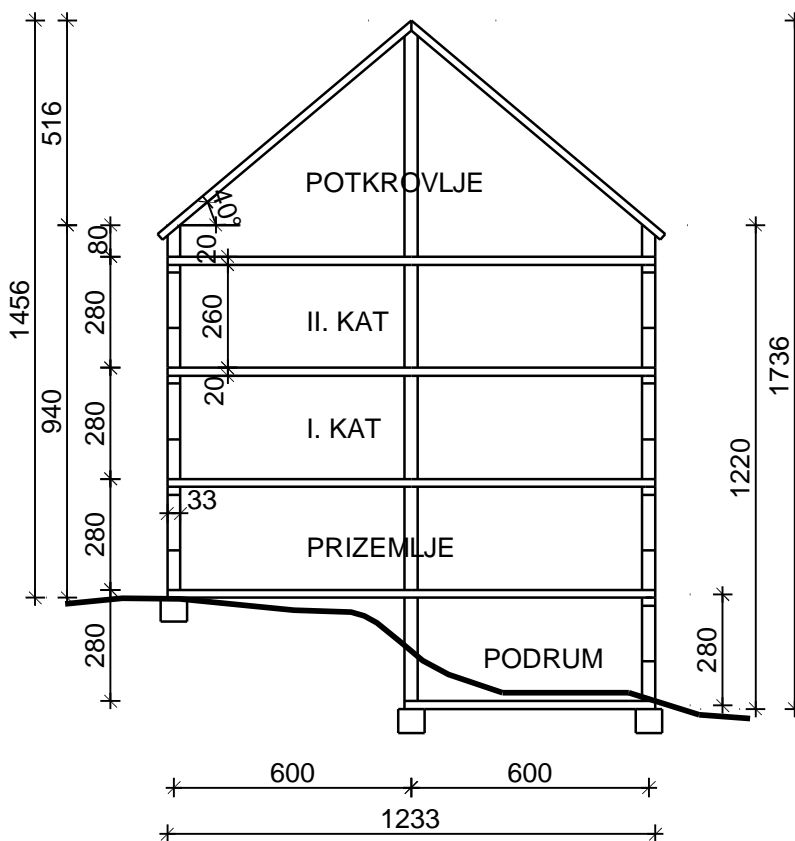
Za zatvorene građevine s unutarnjim pregradama i otvorima za prozore upotrebljavaju se najveće vrijednosti koeficijenta unutarnjeg tlaka: $c_{pi} = 0,8$ ili $c_{pi} = -0,5$

Slika 5.10: Koeficijenti vanjskog tlaka za zgrade s otvorima u vanjskim zidovima

5.1. Računski primjeri određivanja opterećenja vjetrom

Primjer 1.

Zgrada s jednostranim podrumom, prizemljem, 2 kata i potkrovljem nalazi se u Ogulinu na nadmorskoj visini od 310 m.



Slika 5.11: Poprečni presjek

Ogulin spada u I područje vjetrene karte Hrvatske gdje je poredbena brzina vjetra $v_{ref,0} = 22$ m/s.

Ova brzina dodatno se korigira s obzirom na nadmorsku visinu koeficijentom :

$$c_{ALT} = 1 + 0,001 \cdot a_s = 1 + 0,001 \cdot 310 = 1,31.$$

Poredbena brzina vjetra iznosi:

$$v_{ref} = 22 \cdot 1,31 = 28,82 \text{ m/s.}$$

Poredbeni tlak srednje brzine vjetra iznosi:

$$q_{\text{ref}} = \frac{\rho}{2} v_{\text{ref}}^2 = \frac{1,25}{2 \cdot 1000} (28,82)^2 = 0,52 \text{ kN/m}^2$$

Promatra se djelovanje vjetra na fasadni zid dakle na širinu od 19,20 m. Kako je visina fasadnog zida $h = 9,4$ m manja od širine zgrade 19,20 m na koju puše vjetar, poredbena visina iznosi $z_e = h = 9,4$ m za cijelu visinu zgrade. Stražnji zid je visine 12,20 m što je također manje od širine 19,20 m, i za njega možemo koristiti poredbenu visinu $z_e = h = 12,2$ m.

Zgradu ćemo podijeliti po područjima u kojima se određuju koeficijenti vanjskog tlaka c_{pe} . Potrebno je podijeliti zidove te dvostrešni krov po područjima.

Uz $d = 12,33$ m, $b = 19,2$ m; $2h = 21,6$ m $\rightarrow e = 19,2$ m $\rightarrow d < e$ pa zid paralelno sa smjerom puhanja vjetra dijelimo na dva područja A i B, a koeficijente vanjskog tlaka za zidove odredimo za $d/h = 12,33/10,8 = 1,14$ linearnom interpolacijom. Ploštine područja A, B, D i E i pripadni koeficijenti vanjskog tlaka vidljivi su na slici 5.12.

Dvostrešni krov nagiba 40° dijeli se na područja F, G, H, J, I te se koeficijenti vanjskog tlaka očitavaju za smjer vjetra 0° . Za ploštine između 1,0 i 10,0 m² koeficijenti se određuju linearnom interpolacijom, a ona se koristi i za međukutove (30° - 45°). Ploštine i odgovarajući koeficijenti prikazani su na slici 5.12.

Za zatvorene građevine s unutarnjim pregradama i otvorima za prozore upotrebljavaju se najveće vrijednosti koeficijenata unutarnjeg tlaka $c_{pi} = 0,8$ ili $c_{pi} = -0,5$. Razmotrit ćemo obje vrijednosti.

Zgrada je smještena u dijelu grada u kojem zgrade ne prelaze visinu od 15 m pa možemo smatrati da se nalazi na zemljištu III kategorije (predgrađa gradova ili industrijska područja i šume).

Najveća visina cijele konstrukcije nad tlom $h = 17,36$ m je manja od širine na koju puše vjetar 19,20 m pa se kao poredbena visina može koristiti visina $z_e = h = 17,36$ m čime smo na strani sigurnosti. Uz najveću visinu $z_e = h = 17,36$ m nad tlom koeficijent izloženosti iznosi na tlu III kategorije $c_e(z) = 2,2$.

Tlak vjetra na vanjske površine iznosi:

$$w_e = q_{\text{ref}} \cdot c_e(z_e) \cdot c_{pe}$$

$$w_e(A) = 0,52 \cdot 2,2 \cdot (-1,0) = -1,15 \text{ kN/m}^2$$

$$w_e(B) = 0,52 \cdot 2,2 \cdot (-0,8) = -0,92 \text{ kN/m}^2$$

$$w_e(D) = 0,52 \cdot 2,2 \cdot (+0,8) = +0,92 \text{ kN/m}^2$$

$$w_e(E) = 0,52 \cdot 2,2 \cdot (-0,3) = -0,34 \text{ kN/m}^2$$

$$w_e(F) = 0,52 \cdot 2,2 \cdot (+0,7) = +0,80 \text{ kN/m}^2$$

$$w_e(G) = 0,52 \cdot 2,2 \cdot (+0,7) = +0,80 \text{ kN/m}^2$$

$$w_e(H) = 0,52 \cdot 2,2 \cdot (+0,54) = +0,62 \text{ kN/m}^2$$

$$w_e(J) = 0,52 \cdot 2,2 \cdot (-0,37) = -0,42 \text{ kN/m}^2$$

$$w_e(I) = 0,52 \cdot 2,2 \cdot (-0,27) = -0,31 \text{ kN/m}^2$$

a tlak vjetra na unutarnje površine:

$$w_i = q_{\text{ref}} \cdot c_e(z_i) \cdot c_{pi}$$

$$w_i(+) = 0,52 \cdot 2,2 \cdot (+0,8) = +0,92 \text{ kN/m}^2$$

$$w_i(-) = 0,52 \cdot 2,2 \cdot (-0,5) = -0,57 \text{ kN/m}^2$$

Opterećenje od vjetra odredi se algebarskim zbrajanjem vanjskog i unutrašnjeg tlaka, vodeći računa o dvije moguće kombinacije s unutarnjim tlakom (+) ili (-).

(1) s najvećim unutrašnjim tlakom (+):

$$w_1(D) = (+0,92 - 0,92) = +0,0 \text{ kN/m}^2$$

$$w_1(F \text{ ili } G) = (+0,80 - 0,92) = -0,12 \text{ kN/m}^2$$

$$w_1(H) = (+0,62 - 0,92) = -0,3 \text{ kN/m}^2$$

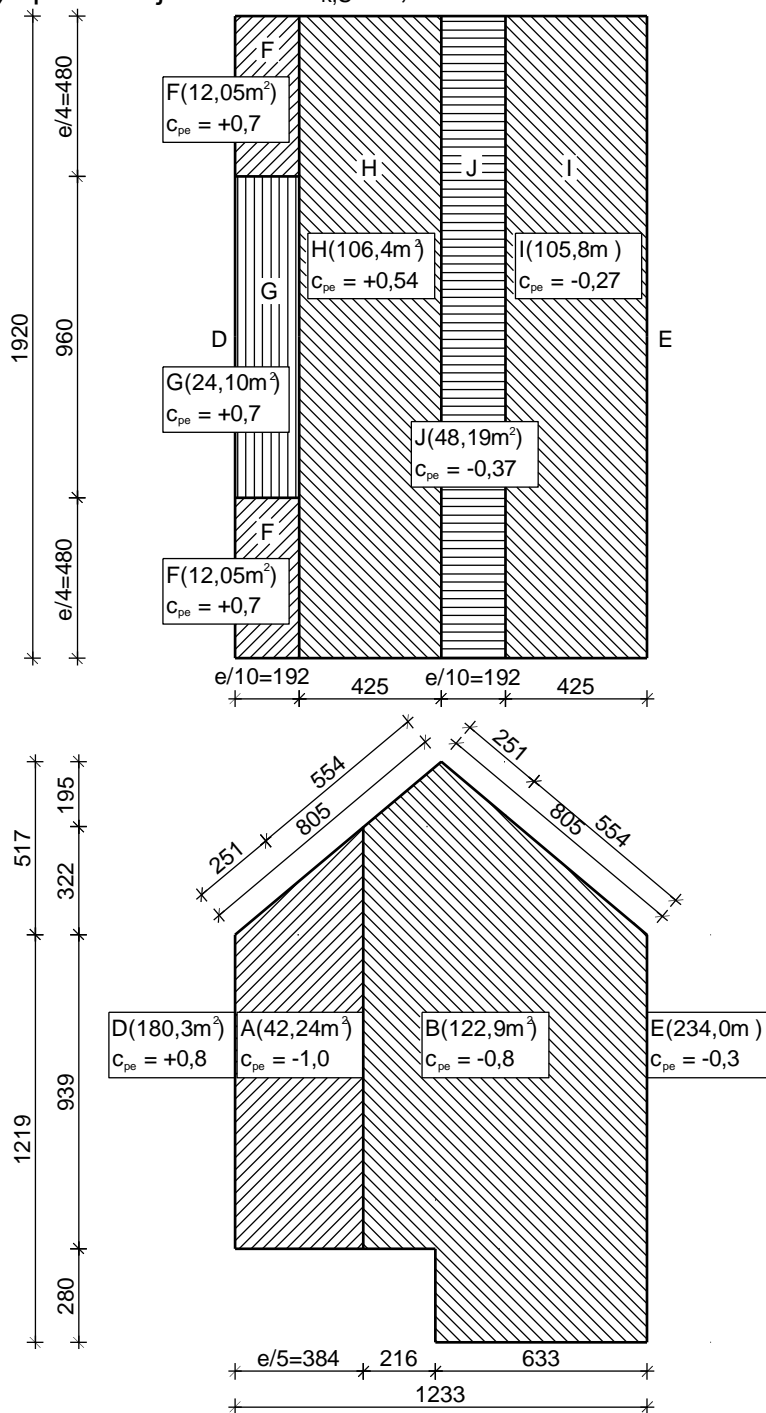
$$w_1(J) = (-0,42 - 0,92) = -1,34 \text{ kN/m}^2$$

$$w_1(I) = (-0,31 - 0,92) = -1,23 \text{ kN/m}^2$$

$$w_1(E) = (-0,34 - 0,92) = -1,26 \text{ kN/m}^2$$

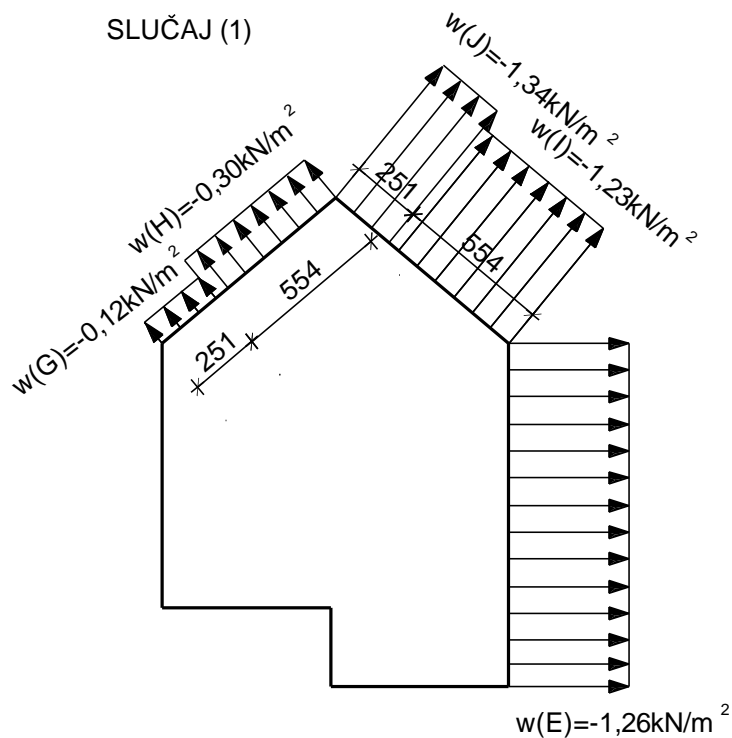
Mjerodavno opterećenje vjetrom na fasadni zid prizemlja dobiveno je za slučaj (2) opterećenja i iznosi $w_{k,F} = 1,49 \text{ kN/m}^2$.

Mjerodavno opterećenje vjetrom na stražnji zid podruma dobiveno je za slučaj (1) opterećenja i iznosi $w_{k,S} = -1,26 \text{ kN/m}^2$.

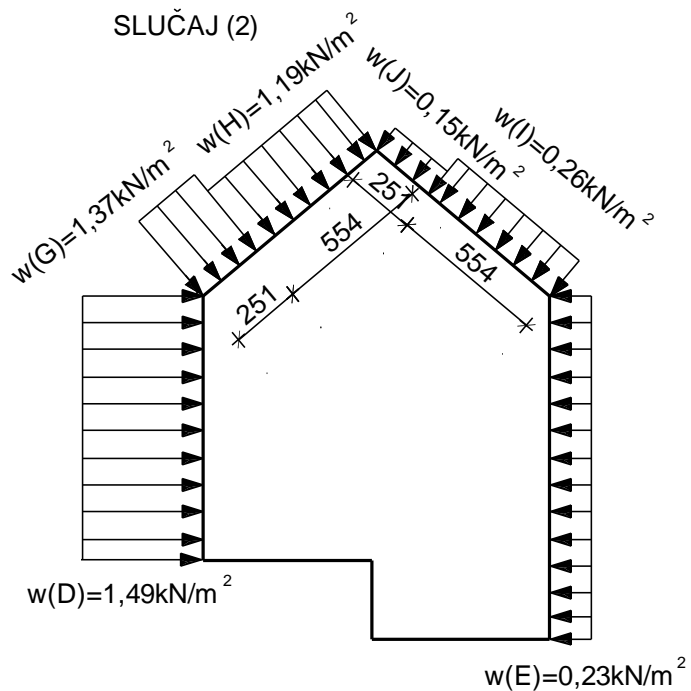


Slika 5.12: Podjela zgrade sa zidovima i dvostrešnim krovom po područjima i odgovarajući koeficijenti vanjskog tlaka

SLUČAJ (1)



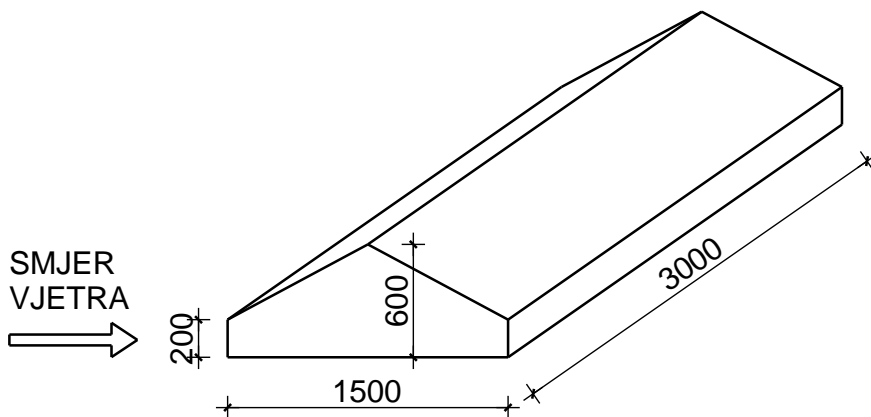
SLUČAJ (2)



Slika 5.13: Opterećenje vjetrom na zgradu s dvostrešnim krovom u kN/m^2

Primjer 2.

Zgrada sa zidovima i dvostrešnim krovom smještena je na zemljištu ograđenom gospodarskim zgradama, kućama i drvećem. Na tom području je utvrđena poredbena brzina vjetra $v_{ref} = 39$ m/s.



Slika 5.14: Prikaz zgrade

Poredbeni tlak srednje brzine vjetra iznosi:

$$q_{ref} = \frac{\rho}{2} v_{ref}^2 = \frac{1,25}{2 \cdot 1000} (39)^2 = 0,95 \text{ kN/m}^2.$$

Promatramo djelovanje vjetra okomito na širinu zgrade od 30,0 m.

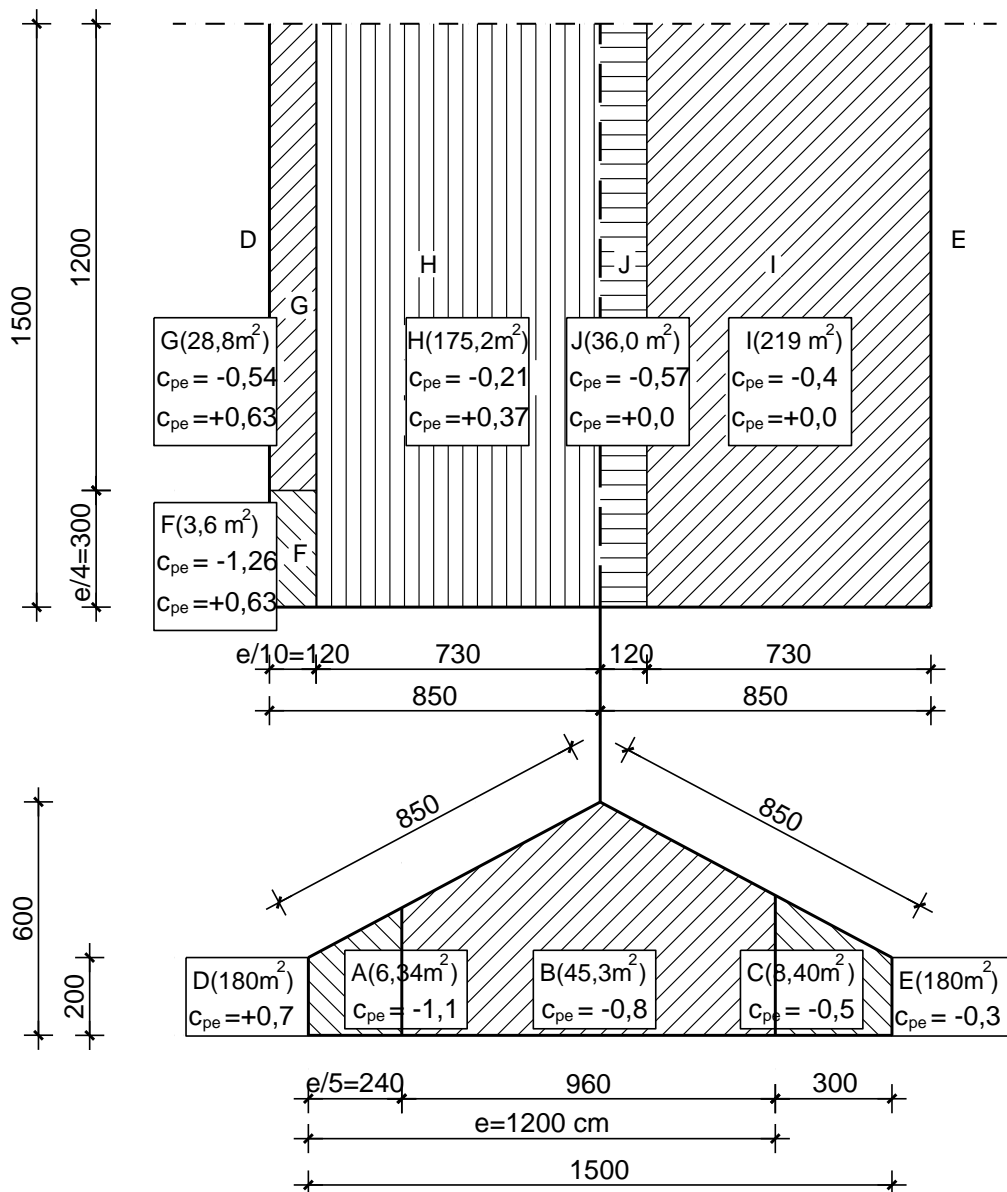
Kako je visina konstrukcije $h = 6,0$ m manja od širine zgrade 30,0 m na koju puše vjetar, poredbena visina $z_e = h = 6,0$ m.

Zgradu ćemo podijeliti po područjima u kojima se određuju koeficijenti vanjskog tlaka c_{pe} . Potrebno je podijeliti zidove te dvostrešni krov po područjima.

Uz $d = 15,0$ m, $b = 30,0$ m; $2h = 12,0$ m $\rightarrow e = 12,0$ m $\rightarrow d > e$ pa

Zid paralelno sa smjerom puhanja vjetra dijelimo na tri područja A, B i C, a koeficijente vanjskog tlaka za zidove odredimo za $d/h = 15,0/6,0 = 2,5$ linearnom interpolacijom

POLA KROVA - ZA DRUGU POLOVICU VRIJEDI SIMETRICNO OPTERECENJE



Slika 5.15: Podjela zgrade sa zidovima i dvostrešnim krovom po područjima i odgovarajući koeficijenti vanjskog tlaka

Dvostrešni krov nagiba 28° dijeli se na zone F, G, H, J, I te se koeficijenti vanjskog tlaka očitavaju za smjer vjetrova 0°. Za ploštine između 1,0 i 10,0 m² koeficijenti se određuju linearnom interpolacijom, a ona se koristi i za međukutove (15°-30°).

Zbroj svih otvora hale na zavjetrenoj strani i stranama paralelno djelovanju vjetrova je 75% ukupnih otvora na cijeloj zgradi.

Za koeficijent otvora $\mu = 0,75$ očitavamo koeficijent unutarnjeg tlaka $c_{pi} = -0,25$.

Zgrada se nalazi na terenu II. kategorije pa uz visinu $z = 6,0$ m nad tlom koeficijent izloženosti iznosi $c_e(z) = 2,0$.

Tlak vjetra na vanjske površine iznosi:

$$w_e = q_{ref} \cdot c_e(z_e) \cdot c_{pe}$$

$$w_e(A) = 0,95 \cdot 2,0 \cdot (-1,1) = -2,09 \text{ kN/m}^2$$

$$w_e(B) = 0,95 \cdot 2,0 \cdot (-0,8) = -1,52 \text{ kN/m}^2$$

$$w_e(C) = 0,95 \cdot 2,0 \cdot (-0,5) = -0,95 \text{ kN/m}^2$$

$$w_e(D) = 0,95 \cdot 2,0 \cdot (+0,7) = +1,33 \text{ kN/m}^2$$

$$w_e(E) = 0,95 \cdot 2,0 \cdot (-0,3) = -0,57 \text{ kN/m}^2$$

$$w_e(F+) = 0,95 \cdot 2,0 \cdot (+0,63) = +1,20 \text{ kN/m}^2$$

$$w_e(F-) = 0,95 \cdot 2,0 \cdot (-1,26) = -2,39 \text{ kN/m}^2$$

$$w_e(G+) = 0,95 \cdot 2,0 \cdot (+0,63) = +1,20 \text{ kN/m}^2$$

$$w_e(G-) = 0,95 \cdot 2,0 \cdot (-0,54) = -1,03 \text{ kN/m}^2$$

$$w_e(H+) = 0,95 \cdot 2,0 \cdot (+0,37) = +0,71 \text{ kN/m}^2$$

$$w_e(H-) = 0,95 \cdot 2,0 \cdot (-0,21) = -0,40 \text{ kN/m}^2$$

$$w_e(J) = 0,95 \cdot 2,0 \cdot (-0,57) = -1,08 \text{ kN/m}^2$$

$$w_e(I) = 0,95 \cdot 2,0 \cdot (-0,4) = -0,76 \text{ kN/m}^2$$

a tlak vjetra na unutarnje površine:

$$w_i = q_{ref} \cdot c_e(z_i) \cdot c_{pi}$$

$$w_i = 0,95 \cdot 2,0 \cdot (-0,25) = -0,48 \text{ kN/m}^2.$$

Opterećenje od vjetra odredi se algebarskim zbrajanjem vanjskog i unutrašnjeg tlaka, vodeći računa o dvije moguće kombinacije vanjskih tlakova na privjetrenoj i zavjetrenoj strani dvostrešnoga krova.

Moguća opterećenja vjetrom za dio krova G i H s privjetrene i dio krova J i I sa zavjetrene strane iznose:

$$w_2(G+) = (+1,2 + |-0,48|) = +1,68 \text{ kN/m}^2$$

$$w_2(H+) = (+0,7 + |-0,48|) = +1,18 \text{ kN/m}^2$$

$$w_2(J-) = (-1,08 + |-0,48|) = -0,6 \text{ kN/m}^2$$

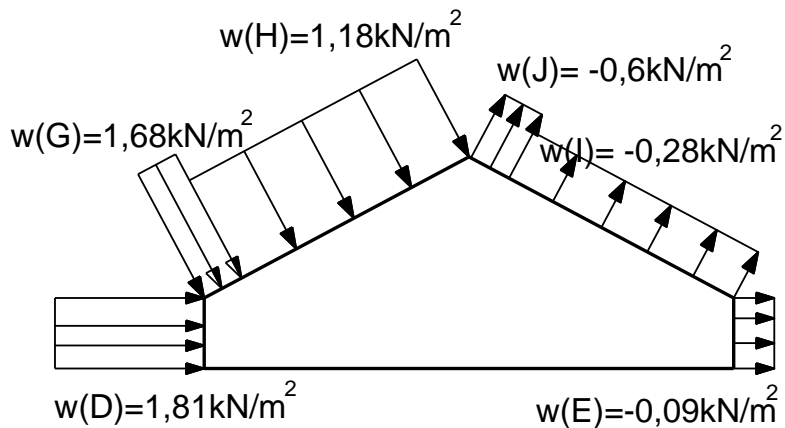
$$w_2(I-) = (-0,76 + |-0,48|) = -0,28 \text{ kN/m}^2$$

$$w_4(G+) = (-1,03 + |-0,48|) = -0,55 \text{ kN/m}^2$$

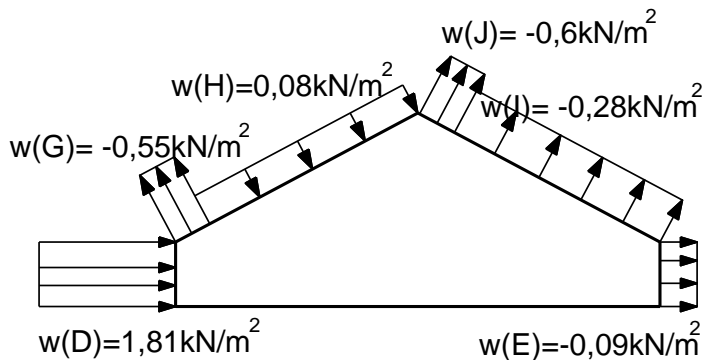
$$w_4(H+) = (-0,4 + |-0,48|) = +0,08 \text{ kN/m}^2$$

$$w_4(J-) = (-1,08 + |-0,48|) = -0,6 \text{ kN/m}^2$$

$$w_4(I-) = (-0,76 + |-0,48|) = -0,28 \text{ kN/m}^2 .$$



Slika 5.16: Opterećenje vjetrom na zgradu s dvostrešnim krovom u srednjem području u kN/m^2 (slučaj 1)



Slika 5.17: Opterećenje vjetrom na zgradu s dvostrešnim krovom u srednjem području u kN/m^2 (slučaj 2)

6. LITERATURA

1. Bjelanović, A.; Rajčić, V: Drvene konstrukcije prema europskim normama, Hrvatska sveučilišna naklada, Zagreb, II izdanje, 2007.
2. Radić, J. i suradnici, Zidane konstrukcije - priručnik, Hrvatska sveučilišna naklada, Zagreb, 2007.
3. Radić, J. i suradnici, Betonske konstrukcije – riješeni primjeri, Hrvatska sveučilišna naklada, Zagreb, 2006.
4. HRN ENV 1991-2-3: 2005: Djelovanja na konstrukcije – Opterećenje snijegom, Nacionalni dokument za primjenu u RH, Zagreb, 2005.
5. HRN ENV 1991-2-3: 2005: Djelovanja na konstrukcije – Opterećenje vjetrom, Nacionalni dokument za primjenu u RH, Zagreb, 2005.
6. EN 1995-1-1: Eurocode – Design of timber structures: Common rules and rules for buildings, European committee for standardization, Brussels, 2003.