
Zamjenjuje HRN EN 1991-1-4:2008,
HRN EN 1991-1-4:2008/Ispr.1:2011

Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije – Dio 1-4: Opća djelovanja – Djelovanja vjetra (EN 1991-1-4:2005+AC:2010+A1:2010)

Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-4: General actions – Wind actions
(EN 1991-1-4:2005+AC:2010+A1:2010)

Eurocode 1: Actions sur les structures – Partie 1-4: Actions générales – Actions du vent
(EN 1991-1-4:2005+AC:2010+A1:2010)

Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen – Windlasten
(EN 1991-1-4:2005+AC:2010+A1:2010)

**Europska norma EN 1991-1-4:2005 s uključenim ispravkom AC:2010 i amandmanom A1:2010
ima status hrvatske norme**

Referencijski broj: HRN EN 1991-1-4:2012 hr



HZN

Hrvatski zavod za norme
Croatian Standards Institute

Zabranjeno je umnožavanje hrvatskih norma ili njihovih dijelova



Napomena o autorskom pravu

© HZN 2012.

Sva prava pridržava HZN na temelju Zakona o normizaciji (NN 163/2003). Ako drugačije nije utvrđeno, ni jedan dio ovoga dokumenta ne smije se umnožavati ili upotrebljavati u bilo kojem obliku ili na bilo koji način, elektronički ili strojno, uključujući fotokopiranje i mikrofilm, bez pisane dozvole HZN-a čija je adresa niže navedena.

Hrvatski zavod za norme (HZN)
Adresa: Ulica grada Vukovara 78
10 000 Zagreb, CROATIA
Tel. ++ 385 1 610 60 95
Faks: ++ 385 1 610 93 21
e-pošta: hzn@hzn.hr
Web: www.hzn.hr

Izjava o odbijanju odgovornosti za PDF

PDF zapis može sadržavati ugrađene oblike znakova. U skladu s Adobeovom politikom licenciranja, ovaj se zapis smije tiskati ili pregledavati, ali se ne smije uređivati osim ako na računalu, na kojem se obavlja uređivanje, postoje licencirani i instalirani oblici ugrađenih znakova. Preuzimanjem ovog zapisa stranke prihvaćaju odgovornost nekršenja Adobeove politike licenciranja. Hrvatski zavod za norme ne prihvaća nikakvu odgovornost u tome području.

Adobe je robni žig tvrtke Adobe Systems Incorporated.

Pojedinosti o programskim proizvodima upotrijebljenim za stvaranje ovog PDF zapisa mogu se naći u općim informacijama povezanim s ovim zapisom. Parametri stvaranja PDF zapisa optimizirani su za ispis. Poduzete su sve mjere da zapis bude prikladan za uporabu. U izuzetnom slučaju otkrivanja problema povezanog s njim molimo izvijestite HZN na gore navedenoj adresi.

Nacionalni predgovor

Ovu je hrvatsku normu izdao Hrvatski zavod za norme na temelju članka 9. Zakona o normizaciji („Narodne novine“, br. 163/2003) i u skladu s Unutrašnjim pravilima za normizaciju, UPN 3, točka 5.1.3, tako što je europsku normu EN 1991-1-4:2005+AC:2010+A1:2010, *Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-4: General actions – Wind actions*, prihvatio bez ikakvih preinaka.

Ova je hrvatska norma prijevod engleske verzije europske norme EN 1991-1-4:2005+AC:2010+A1:2010.

U hrvatski tekst norme HRN EN 1991-1-4:2012 uključen je ispravak EN 1991-1-4:2005/AC:2010 tako da su na određenim mjestima u tekstu unesene izmjene, a početak i kraj izmijenjenog teksta označeni su oznakom AC AC.

U hrvatski tekst norme HRN EN 1991-1-4:2012 uključen je i amandman EN 1991-1-4:2005/A1:2010 tako da su na određenim mjestima u tekstu unesene izmjene, a početak i kraj izmijenjenog teksta označeni su oznakom A1 A1.

Hrvatski tekst norme HRN EN 1991-1-4:2012, *Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije – Dio 1-4: Opća djelovanja – Djelovanja vjetrova*, pripremio je tehnički odbor HZN/TO 548, *Konstrukcijski eurokodovi*, Hrvatskoga zavoda za norme.

Program konstrukcijskih eurokodova sadržava niz norma od kojih se norme HRN EN 1991 do HRN EN 1999 sastoje od više dijelova:

HRN EN 1990, *Eurokod: Osnove projektiranja konstrukcija*

HRN EN 1991, *Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije*

HRN EN 1992, *Eurokod 2: Projektiranje betonskih konstrukcija*

HRN EN 1993, *Eurokod 3: Projektiranje čeličnih konstrukcija*

HRN EN 1994, *Eurokod 4: Projektiranje spregnutih čelično-betonskih konstrukcija*

HRN EN 1995, *Eurokod 5: Projektiranje drvenih konstrukcija*

HRN EN 1996, *Eurokod 6: Projektiranje zidanih konstrukcija*

HRN EN 1997, *Eurokod 7: Geotehničko projektiranje*

HRN EN 1998, *Eurokod 8: Projektiranje potresne otpornosti konstrukcija*

HRN EN 1999, *Eurokod 9: Projektiranje aluminijskih konstrukcija*

Prethodno izdanje

Ova drugo izdanje norme zamjenjuje normu HRN EN 1991-1-4:2008 i ispravak HRN EN 1991-1-4:2008/Ispr.1:2011 na engleskome jeziku.

Upućivanje na druge norme

Ova norma sadržava nedatiranim upućivanjem odredbe drugih norma. Ta su upućivanja navedena na odgovarajućim mjestima u tekstu.

Napomene:

1. Izraz „europska norma“ u tekstu ove norme razumijeva se kao „hrvatska norma“.
2. Nacionalne bilješke u tekstu norme označene su oznakom NB i odgovarajućim brojem.

(prazna stranica)

Hrvatska verzija

Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije – Dio 1-4: Opća djelovanja – Djelovanja vjetra

Eurocode 1: Actions on
structures – Part 1-4:
General actions – Wind actions

Eurocode 1: Actions sur les
structures – Partie 1-4:
Actions générales – Actions du
vent – Actions thermiques

Eurocode 1: Einwirkungen
auf Tragwerke – Teil 1-4:
Allgemeine Einwirkungen –
Windlasten

Ovu je europsku normu CEN odobrio 4. lipnja 2004. godine.

Ispravak je stupio na snagu 27. siječnja 2012. godine te je uključen u normu EN 1991-1-4:2005.

Amandman A1 preinačuje europsku normu EN 1991-1-4:2005. CEN ga je odobrio 18. veljače 2010. godine.

Članovi CEN-a moraju se pridržavati CEN/CENELEC-ovih unutrašnjih propisa u kojima su utvrđeni uvjeti pod kojima se ovoj europskoj normi daje status nacionalne norme bez ikakvih promjena. Najnoviji popisi i bibliografske uputnice koje se odnose na nacionalne norme mogu se dobiti na zahtjev u Glavnome tajništvu CEN-a ili od bilo kojega njegova člana.

Ova europska norma postoji u tri službene verzije (engleskoj, francuskoj i njemačkoj). Izdanje na kojemu drugom jeziku koje je na nacionalni jezik s vlastitom odgovornošću preveo koji od članova CEN-a i o tome obavijestio Glavno tajništvo ima isti status kao i službene verzije.

Članovi su CEN-a nacionalna normirna tijela Austrije, Belgije, Bugarske, Cipra, Češke Republike, Danske, Estonije, Finske, Francuske, Grčke, Hrvatske, Irske, Islanda, Italije, Latvije, Litve, Luksemburga, Mađarske, Malte, Nizozemske, Norveške, Njemačke, Poljske, Portugala, Rumunjske, Slovačke, Slovenije, Španjolske, Švedske, Švicarske i Ujedinjenoga Kraljevstva.



EUROPSKI ODBOR ZA NORMIZACIJU
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION
EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG

Management Centre: rue de Stassart, 36 B-1050 Brussels

Sadržaj

Predgovor	5
1 Općenito	10
1.1 Područje primjene	10
1.2 Upućivanje na druge norme	11
1.3 Pretpostavke	11
1.4 Razlika između načela i pravila primjene.....	11
1.5 Proračun podržan ispitivanjem i mjerenjima	11
1.6 Definicije.....	11
1.7 Simboli.....	12
2 Proračunske situacije	18
3 Modeliranje djelovanja vjetra	18
3.1 Priroda.....	18
3.2 Prikaz djelovanja vjetra	18
3.3 Razredba djelovanja vjetra.....	18
3.4 Karakteristične vrijednosti	19
3.5 Modeli.....	19
4 Brzina vjetra i tlak ovisan o brzini	19
4.1 Osnove proračuna.....	19
4.2 Osnovne vrijednosti.....	19
4.3 Srednji vjetar	20
4.3.1 Promjene s visinom.....	20
4.3.2 Hrapavost terena	21
4.3.3 Vertikalna razvedenost terena (orografija)	23
4.3.4 Velike i znatno više susjedne konstrukcije	23
4.3.5 Blisko razmještene zgrade i prepreke.....	23
4.4 Turbulencija vjetra	23
4.5 Tlak pri vršnoj brzini	24
5 Djelovanja vjetra	25
5.1 Općenito	25
5.2 Tlak vjetra na površine	26
5.3 Sile vjetra.....	27
6 Konstrukcijski faktor $c_s c_d$	29
6.1 Općenito	29

6.2	Određivanje $c_s c_d$	29
6.3	Detaljni postupak	29
6.3.1	Konstruktivski faktor $c_s c_d$	29
6.3.2	Ocjnjivanje uporabljivosti	31
6.3.3	Titranje u zavjetrini (en: wake buffeting)	31
7	Koeficijenti tlaka i sile	31
7.1	Općenito	31
7.1.1	Odabir aerodinamičkih koeficijenata	31
7.1.2	Nesimetrični i suprotstavljeni tlakovi i sile	32
7.1.3	Učinci leda i snijega	33
7.2	Koeficijenti tlaka za zgrade	33
7.2.1	Općenito	33
7.2.2	Vertikalni zidovi zgrada s pravokutnim tlocrtom	34
7.2.3	Ravni krovovi	37
7.2.4	Jednostrešni krovovi	39
7.2.5	Dvostrešni krovovi	42
7.2.6	Zakošeni dvostrešni krovovi	45
7.2.7	Višerasponski krovovi	47
7.2.8	Valjkasti krovovi i kupole	49
7.2.9	Unutarnji tlak	50
7.2.10	Tlak na zidove ili krovove koji imaju više od jedne ovojnice	52
7.3	Krovovi nadstrešnica	53
7.4	Slobodnostojeći zidovi, parapeti, ograde i reklamni panoi	59
7.4.1	Slobodnostojeći zidovi i parapeti	59
7.4.2	Faktori zaklonjenosti za zidove i ograde	61
7.4.3	Reklamni panoi	61
7.5	Koeficijenti trenja	62
7.6	Konstruktivski elementi pravokutnog profila	63
7.7	Konstruktivski elementi s profilima oštih rubova	65
7.8	Konstruktivski elementi s pravilnim poligonalnim profilom	66
7.9	Kružni valjci	67
7.9.1	Koeficijenti vanjskog tlaka	67
7.9.2	Koeficijenti sile	69
7.9.3	Koeficijenti sile za vertikalne valjke razmještene u niz	71
7.10	Kugle	72

7.11	Rešetkaste konstrukcije i skele	73
7.12	Zastave.....	76
7.13	Proračunska vitkost λ i faktor učinka kraja (en: end-effect) ψ_λ	77
8	Djelovanja vjetra na mostove	79
8.1	Općenito	79
8.2	Odabir postupka za proračun odziva	82
8.3	Koeficijenti sile.....	82
8.3.1	Koeficijenti sile u smjeru x (opća metoda)	82
8.3.2	Sila u smjeru x – pojednostavnjena metoda	85
8.3.3	Sile vjetra na rasponskim sklopovima u smjeru z	86
8.3.4	Sile vjetra na rasponskim sklopovima u smjeru y	87
8.4	Stupovi mostova.....	87
8.4.1	Smjerovi vjetra i proračunske situacije	87
8.4.2	Učinci vjetra na stupove.....	87
Dodatak A	(obavijesni) Učinci terena.....	88
Dodatak B	(obavijesni) Postupak 1 za određivanje konstrukcijskog faktora c_{scd}.....	98
Dodatak C	(obavijesni) Postupak 2 za određivanje konstrukcijskog faktora c_{scd}.....	104
Dodatak D	(obavijesni) Vrijednosti c_s, c_d za različite vrste konstrukcija.....	107
Dodatak E	(obavijesni) Vrtložno odvajanje i aeroelastičke nestabilnosti	110
Dodatak F	(obavijesni) Dinamičke značajke konstrukcija	132
Bibliografija	142

Predgovor

Ovaj dokument (EN 1991-1-4:2005) pripremio je tehnički odbor CEN/TC 250, *Structural Eurocodes*, čije se tajništvo nalazi u BSI-ju.

Ova europska norma mora dobiti status nacionalne norme objavljivanjem istovjetnoga teksta ili objavom obavijesti o prihvaćanju najkasnije do listopada 2005., a proturječne nacionalne norme moraju se povući najkasnije do ožujka 2010.

Prema CEN/CENELEC-ovim unutrašnjim propisima, ovu europsku normu obvezala su se primijeniti nacionalna normirna tijela ovih zemalja: Austrije, Belgije, Bugarske, Cipra, Češke Republike, Danske, Estonije, Finske, Francuske, Grčke, Hrvatske, Irske, Islanda, Italije, Latvije, Litve, Luksemburga, Mađarske, Malte, Nizozemske, Norveške, Njemačke, Poljske, Portugala, Rumunjske, Slovačke, Slovenije, Španjolske, Švedske, Švicarske i Ujedinjenoga Kraljevstva.

Ovaj dokument zamjenjuje prednormu ENV 1991-2-4:1995.

Tehnički odbor CEN/TC 250 odgovoran je za sve konstrukcijske eurokodove.

Povijest programa eurokodova

Godine 1975. Komisija Europske zajednice odlučila je, na temelju članka 95. Ugovora, o programu djelovanja u području građevinarstva. Cilj programa bio je uklanjanje tehničkih prepreka trgovini i usklađivanje tehničkih specifikacija.

U okviru tog programa djelovanja Komisija je pokrenula uspostavu skupine usklađenih tehničkih pravila za proračun građevina koja bi, u prvoj fazi, služila kao druga mogućnost uz vrijedeća nacionalna pravila u državama članicama, a u konačnoj ih fazi zamijenila.

Tijekom petnaest godina Komisija je uz pomoć Upravnog odbora s predstavnicima država članica razvijala program eurokodova koji je doveo do prve generacije eurokodova 1980-ih godina.

Godine 1989. Komisija i države članice EU-a i EFTA-e odlučili su, na temelju sporazuma¹ između Komisije i CEN-a da pripremu i objavljivanje eurokodova prepuste CEN-u putem niza mandata kako bi im se osigurao budući status europskih norma (EN). To, ustvari, povezuje eurokodove s odredbama svih Komisijinih direktiva i/ili Odluka Komisije povezanih s europskim normama (npr. s Direktivom Vijeća 89/106/EEC o građevnim proizvodima (CPD) i Direktivama Vijeća 93/37/EEC, 92/50/EEC i 89/440/EEC o javnim radovima i uslugama i istovrijednim direktivama EFTA-e pokrenutim sa svrhom uspostave unutarnjeg tržišta).

Program konstrukcijskih eurokodova sadrži sljedeće norme koje se općenito sastoje od više dijelova:

EN 1990, *Eurokod: Osnove projektiranja konstrukcija*

EN 1991, *Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije*

EN 1992, *Eurokod 2: Projektiranje betonskih konstrukcija*

EN 1993, *Eurokod 3: Projektiranje čeličnih konstrukcija*

EN 1994, *Eurokod 4: Projektiranje spregnutih čelično-betonskih konstrukcija*

EN 1995, *Eurokod 5: Projektiranje drvenih konstrukcija*

¹ Sporazum između Komisije Europskih zajednica i Europskog odbora za normizaciju (CEN-a) o radu na eurokodovima za proračun zgrada i inženjerskih građevina (BC/CEN/03/89).

EN 1996, *Eurokod 6: Projektiranje zidanih konstrukcija*

EN 1997, *Eurokod 7: Geotehničko projektiranje*

EN 1998, *Eurokod 8: Projektiranje potresne otpornosti konstrukcija*

EN 1999, *Eurokod 9: Projektiranje aluminijskih konstrukcija*

Eurokodovi potvrđuju odgovornost vlasti svake države članice i osiguravaju njihovo pravo određivanja vrijednosti koje se odnose na propisivanje sigurnosnih pitanja na nacionalnoj razini kada se ona mijenjaju od države do države.

Status i područje primjene eurokodova

Države članice EU-a i EFTA-e potvrđuju da eurokodovi služe kao poredbeni (referencijski) dokumenti u sljedeće svrhe:

- kao sredstvo potvrđivanja usklađenosti zgrada i inženjerskih građevina s bitnim zahtjevima Direktive Vijeća 89/106/EEC, posebno s bitnim zahtjevom br. 1 – *Mehanička otpornost i stabilnost* i bitnim zahtjevom br. 2 – *Sigurnost u slučaju požara*
- kao osnova pri specificiranju ugovora za građevine i pripadajuće inženjerske usluge
- kao okvir za izradu usklađenih tehničkih specifikacija za građevne proizvode (europske norme, EN i europska tehnička dopuštenja, ETA).

Eurokodovi su, u mjeri u kojoj se odnose na same građevine, u izravnom odnosu s Temeljnim dokumentima² navedenim u 12. članku Direktive (CPD), iako je njihova priroda drukčija od usklađenih norma za proizvode³. Stoga, tehnička pitanja koja proizlaze iz eurokodova trebaju biti prikladno razmotrena na tehničkim odborima CEN-a i/ili radnim skupinama EOTA-e koje rade na normama za proizvode s ciljem postizanja pune spojivosti tih tehničkih specifikacija s eurokodovima.

Eurokodovi osiguravaju zajednička pravila proračuna konstrukcija za svakodnevnu upotrebu pri proračunu cijelih konstrukcija i dijelova proizvoda tradicionalne i inovativne prirode. Neobični oblici građenja ili uvjeti proračuna nisu posebno obuhvaćeni pa se u takvim slučajevima projektant upućuje na dodatno savjetovanje sa stručnjacima.

Nacionalne norme kojima se primjenjuju eurokodovi

Nacionalne norme kojima se primjenjuju eurokodovi sadržavat će cjelovit tekst eurokodova (uključujući sve dodatke) kako ih je objavio CEN, kojima smije prethoditi nacionalna naslovna stranica i nacionalni predgovor i iza kojih smije slijediti nacionalni dodatak.

Nacionalni dodatak smije sadržavati samo podatke o onim parametrima za koje je u eurokodu ostavljen slobodan odabir na nacionalnoj razini i koji se nazivaju "nacionalno određeni parametri" (NDP), a upotrebljavaju se pri proračunu zgrada i inženjerskih građevina koje se grade u dotičnoj državi, tj. kao:

² U skladu s člankom 3.3 CPD-a, bitni zahtjevi moraju dobiti konkretan oblik u temeljnim dokumentima radi ostvarenja nužne povezanosti između bitnih zahtjeva i mandata za usklađene EN-ove i ETAG/ETA-ove.

³ U skladu s člankom 12. CPD-a temeljni dokumenti moraju:

- a) dati konkretan oblik bitnim zahtjevima usklađivanjem nazivlja i tehničkih osnova te naznakom razreda ili razina za svaki zahtjev gdje je to nužno;
- b) naznačiti metode povezivanja tih razreda ili razina zahtjeva s tehničkim specifikacijama, npr. metode proračuna i provjere, tehnička pravila projektiranja itd.;
- c) poslužiti kao osnova uspostave usklađenih norma i smjernica za Europska tehnička dopuštenja.

Eurokodovi ustvari imaju sličnu ulogu u području bitnog zahtjeva br.1 i dijela bitnog zahtjeva br.2.

- vrijednosti i/ili razrede, gdje su u eurokodu navedene druge mogućnosti
- vrijednosti za koje je u eurokodu naveden samo simbol
- podatke specifične za neku državu (zemljopisne, klimatske itd.), npr. kartu opterećenja vjetrom
- postupak koji će se upotrijebiti ako su u eurokodu navedeni drugi mogući postupci

a smiju još sadržavati:

- odluke o primjeni obavijesnih dodataka
- upućivanja na neoprečne dopunske podatke radi pomoći korisniku pri primjeni eurokoda.

Veze između eurokodova i usklađenih tehničkih specifikacija za proizvode (europskih norma i europskih tehničkih dopuštenja)

Postoji potreba za dosljednošću između usklađenih tehničkih specifikacija za građevne proizvode i tehničkih pravila za građevine⁴. Nadalje, svi podaci koji se navode uz označivanje znakom CE građevnih proizvoda koji upućuju na eurokodove trebaju jasno navesti koji su nacionalno određeni parametri uzeti u obzir.

Posebni dodatni podaci za normu EN 1991-1-4

Norma EN 1991-1-4 navodi proračunske smjernice i djelovanja za konstrukcijski proračun zgrada i inženjerskih građevina za djelovanje vjetra.

Norma EN 1991-1-4 namijenjena je investitorima, projektantima, izvođačima i odgovarajućim upravnim tijelima.

Odredbe norme EN 1991-1-4 primjenjuju se uz odredbe norme EN 1990, ostale dijelove norme EN 1991 i uz norme za proračun konstrukcija EN 1992 - EN 1999.

Nacionalni dodatak uz normu EN 1991-1-4

Ova norma daje u točkama s napomenama^{NB 1)} druge postupke, vrijednosti i preporuke naznačujući gdje se smije načiniti odabir na nacionalnoj razini. Stoga nacionalna norma kojom se primjenjuje norma EN 1991-1-4 treba imati nacionalni dodatak koji sadrži sve nacionalno određene parametre koji će se upotrebljavati pri proračunu zgrada i inženjerskih građevina koje se grade u odgovarajućoj zemlji.

Nacionalni odabir dopušten je u normi EN 1991-1-4 u ovim točkama:

AC (izbrisani tekst) **AC**

1.5(2)

4.1(1)

4.2(1)P Napomena 2

4.2(2)P Napomene 1, 2, 3 i 5

4.3.1(1) Napomene 1 i 2

⁴ Vidjeti članke 3.3 i 12 Direktive kao i točke 4.2, 4.3.1, 4.3.2 i 5.2 Temeljnog dokumenta broj 1 (ID1).

^{NB 1)} Nacionalna bilješka: Pogrešno u izvorniku piše „for classes with notes“ umjesto „for clauses with notes“

4.3.2(1)

4.3.2(2)

4.3.3(1)

4.3.4(1)

4.3.5(1)

4.4(1) Napomena 2

4.5(1) Napomene 1 i 2

5.3(5)

6.1(1)

6.3.1(1) Napomena 3

6.3.2(1)

7.1.2(2)

7.1.3(1)

7.2.1(1) Napomena 2

7.2.2(1)

7.2.2(2) Napomena 1

A1

7.2.3(2)

7.2.3(4)

7.2.4(1)

7.2.4(3)

7.2.5(1)

7.2.5(3)

7.2.6(1)

7.2.6(3)

7.2.7 **A1**^{NB 2)}

7.2.8(1)

7.2.9(2)

7.2.10(3) Napomene 1 i 2

A1

7.3(6) **A1**

^{NB 2)} Nacionalna bilješka: Pogreška u izvorniku. U ovoj točki nema mogućnosti nacionalnog odabira.

7.4.1(1)

7.4.3(2)

7.6(1) Napomena 1

7.7(1) Napomena 1

7.8(1)

A1

7.9.2(2) **A1**

7.10(1) Napomena 1

7.11(1) Napomena 2

7.13(1)

7.13(2)

A1

Tablica 7.14 **A1**

8.1(1) Napomene 1 i 2

8.1(4)

8.1(5)

8.2(1) Napomena 1

8.3(1)

8.3.1(2)

8.3.2(1)

8.3.3(1) Napomena 1

8.3.4(1)

AC

8.4.2(1) **AC**

A.2(1)

E.1.3.3(1)

E.1.5.1(1) Napomene 1 i 2

E.1.5.1(3)

E.1.5.2.6(1) Napomena 1

E.1.5.3(2) Napomena 1

E.1.5.3(4)

E.1.5.3(6)

E.3(2)

1 Općenito

1.1 Područje primjene

(1) Norma EN 1991-1-4 navodi smjernice za određivanje djelovanja prirodnog vjetra za konstrukcijski proračun zgrada i inženjerskih građevina, za svako razmatrano opterećeno područje. To obuhvaća cijelu konstrukciju ili dijelove konstrukcije, ili elemente pričvršćene na konstrukciju, npr. dijelove, obložne jedinice i njihova pričvršćenja, sigurnosne i zvučne prepreke.

AC

(2) Ovaj dio primjenjuje se na:

- zgrade i inženjerske građevine visine do 200 m, vidjeti i stavak (11)
- mostove s rasponima ne većim od 200 m, uz uvjet da ispunjavaju kriterije dinamičkog odziva, vidjeti stavak (12) i točku 8.2. AC

(3) Ovaj dio 1-4 norme EN 1991 namijenjen je za procjenu karakterističnih djelovanja vjetra na konstrukcije oslonjene na tlo, njihove dijelove i dodatke.

(4) Određena pitanja neophodna za određivanje djelovanja vjetra na konstrukciju ovise o lokaciji i dostupnosti i kvaliteti meteoroloških podataka, vrsti terena i slično. Ona trebaju biti određena u nacionalnom dodatku i Dodatku A, nacionalnim odabirom u napomenama teksta, gdje je to naznačeno. Zadane vrijednosti i metode dane su u glavnom tekstu, tamo gdje se u nacionalnom dodatku ne navode podaci.

(5) U Dodatku A opisuju se kategorije terena i navode pravila za učinke vertikalne razvedenosti terena (orografije), uključujući visinu pomaka, promjenu hrapavosti, utjecaj krajolika i susjednih građevina.

(6) U Dodatku B i C navode se zamjenski postupci za određivanje konstrukcijskih faktora $c_s c_d$.

(7) U Dodatku D dani su faktori $c_s c_d$ za različite vrste konstrukcija.

(8) U Dodatku E navode se pravila za odziv uzrokovan vrtloženjem i neke smjernice za druge aeroelastične učinke.

(9) U Dodatku F navode se dinamičke značajke konstrukcija s linearnim ponašanjem.

(10) U ovome dijelu 1-4 norme EN 1991 ne navode se smjernice za lokalne toplinske učinke na karakteristični vjetar, npr. jaku arktičku toplinsku prizemnu inverziju ili učinak kanaliziranja ili tornada.

AC

(11) Jarboli i dimnjaci učvršćeni uzadima obrađeni su u normi EN 1993-3-1 a rasvjetni stupovi u normi EN 40.

(12) Ovaj dio ne daje smjernice za sljedeća pitanja:

- torzijske vibracije, npr. visoke zgrade sa središnjom jezgrom
- vibriranje rasponske konstrukcije mosta zbog poprečnih turbulencija od vjetra
- djelovanje vjetra na ovješene mostove
- titranja gdje treba razmotriti više od osnovnog oblika vibracije AC

1.2 Upućivanje na druge norme

Sljedeći normativni dokumenti sadrže odredbe koje, upućivanjem na njih u ovom tekstu, čine odredbe ove europske norme. Za datirana upućivanja ne primjenjuju se naknadne dopune ili prerade bilo koje od tih publikacija. Međutim, stranama u ugovorima utemeljenim na ovoj europskoj normi preporučuje se da istraže mogućnost primjene najnovijeg izdanja dolje navedenih dokumenata. Za nedatirana upućivanja primjenjuje se najnovije izdanje dokumenta na koji se upućuje.

EN 1990, *Eurocode: Basis of structural design*

EN 1991-1-3, *Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-3: Snow loads*

EN 1991-1-6, *Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-6: Actions during execution*

EN 1991-2, *Eurocode 1: Actions on structures – Part 2: Traffic loads on bridges*

EN 1993-3-1, *Eurocode 3: Design of steel structures – Part 3-1: Masts and towers*

1.3 Pretpostavke

(1)P Opće pretpostavke norme EN 1990, točka 1.3 primjenjuju se i na normu EN 1991-1-4.

1.4 Razlika između načela i pravila primjene

(1)P Pravila u normi EN 1990, točka 1.4, primjenjuju se i na normu EN 1991-1-4.

1.5 Proračun podržan ispitivanjem i mjerenjima

(1) Osim proračuna, smiju se upotrebljavati ispitivanja u vjetrenim tunelima i/ili dokazane i primjereno potvrđene numeričke metode za iznalaženje podataka o opterećenju i odzivu, upotrebljavajući prikladne modele konstrukcije i prirodnog vjetra.

(2) Podaci o opterećenju i odzivu i parametri terena smiju se odrediti pomoću odgovarajućih podataka istraživanja u punoj veličini.

NAPOMENA: U nacionalnom dodatku smiju se dati smjernice za proračun podržan ispitivanjem i mjerenjima.

1.6 Definicije

Definicije dane u normama ISO 2394, ISO 3898 i ISO 8930, zajedno sa sljedećima, primjenjuju se i na normu EN 1991-1-4. Osim toga, za potrebe ove norme primjenjuje se osnovni popis definicija naveden u normi EN 1990, točka 1.5.

1.6.1

temeljna osnovna brzina vjetra

10-minutna srednja brzina vjetra s godišnjom vjerojatnosti^{NB 3)} premašaja 0,02, neovisno o smjeru vjetra, na visini 10 m iznad ravnoga otvorenog terena u prirodi i uzimajući u obzir učinke nadmorske visine (ako se zahtijeva)

^{NB 3)} Nacionalna bilješka: Očita pogreška u izvorniku: umjesto "rizik" (en: risk) ovdje je napisano pravilno "vjerojatnost".

1.6.2 osnovna brzina vjetra

temeljna osnovna brzina vjetra izmijenjena tako da uzme u obzir smjer razmatranog vjetra i godišnje doba (ako se zahtijeva)

1.6.3 srednja brzina vjetra

osnovna brzina vjetra izmijenjena tako da uzme u obzir učinke hrapavosti terena i učinke vertikalne razvedenosti terena (orografije)

1.6.4 koeficijent tlaka

koeficijenti vanjskog tlaka daju učinke vjetra na vanjske površine zgrada; koeficijenti unutarnjeg tlaka daju učinke vjetra na unutarnje površine zgrada

Koeficijenti vanjskog tlaka dijele se na sveukupne koeficijente i lokalne koeficijente. Lokalni koeficijenti daju koeficijente tlaka za opterećene površine čija je ploština 1 m^2 ili manja, npr. za proračun malih elemenata ili pričvršćenja; sveukupni koeficijenti daju koeficijente tlaka za opterećene površine s plošinama većim od 10 m^2 .

Neto koeficijenti tlaka daju rezultirajuće učinke vjetra na konstrukciju, konstrukcijski element ili dio po jedinici ploštine.

1.6.5 koeficijent sile

koeficijenti sile daju sveukupni učinak vjetra na konstrukciju, konstrukcijski element ili dio kao cjelinu, uključujući trenje, ako nije izričito isključeno

1.6.6 faktor odziva površine konstrukcije

faktor odziva koji obuhvaća pomanjkanje potpune korelacije tlaka na površini konstrukcije

1.6.7 faktor odziva pri rezonanciji

faktor odziva koji obuhvaća turbulencije u rezonanciji s oblikom titranja

1.7 Simboli

(1) U ovoj europskoj normi primjenjuju se sljedeći simboli.

NAPOMENA: Upotrijebljene oznake temelje se na normi ISO 3898:1999. U ovom dijelu simbol „točka“ u formulama predstavlja znak množenja. Takvo je označivanje upotrijebljeno da se izbjegne zbrka u formulama.



(2) Osnovni popis oznaka dan je u normi EN 1990, točka 1.6 a dodatne, niže navedene oznake, posebne su za normu EN 1991-1-4.

Velika latinična slova

A	ploština
A_{fr}	ploština preko koje struji vjetar
A_{ref}	referentna ploština
B^2	faktor podloge
C	faktor opterećenja vjetrom za mostove
E	Youngov modul
F_{fr}	rezultantna sila trenja
F_j	sila uzbude zbog vrtloženja u točki konstrukcije j
F_w	rezultantna sila vjetra
H	visina topografskog obilježja
I_v	intenzitet turbulencije
K	faktor oblika titranja; parametar oblika
$\boxed{AC} K_a$	parametar aerodinamičkog prigušenja \boxed{AC}
K_{iv}	faktor interferencije za vrtložno odvajanje
K_{rd}	faktor smanjenja za parapete
K_w	faktor korelacijske duljine
K_x	bezdimenzijski koeficijent
L	duljina raspona rasponske konstrukcije mosta; mjera turbulentne duljine
L_d	stvarna duljina kosine niz vjetar
L_e	proračunska duljina kosine uz vjetar
L_j	korelacijska duljina
L_u	stvarna duljina kosine uz vjetar
N	broj ciklusa od vrtložnog odvajanja
N_g	broj opterećenja za odziv zbog udara vjetra
R^2	dio rezonantnog odziva
Re	Reynoldsov broj
R_h, R_b	aerodinamički pristup
S	djelovanje vjetra
Sc	Scrutonov broj
S_L	bezdimenzijska funkcija spektralne gustoće snage

- S_t Strouhalov broj
- W_s težina konstrukcijskih dijelova koji doprinose krutosti dimnjaka
- W_t ukupna težina dimnjaka

Mala latinična slova

- a_G faktor galopirajuće nestabilnosti
- a_{IG} kombinirani parametar stabilnosti za interferencijsko galopiranje
- b širina konstrukcije (duljina površine okomito na smjer vjetra, ako drukčije nije određeno)
- c_{alt} faktor nadmorske visine
- c_d dinamički faktor
- c_{dir} faktor smjera
- $c_e(z)$ faktor izloženosti
- c_f koeficijent sile
- $c_{f,o}$ koeficijent sile konstrukcije ili konstrukcijskog elementa bez toka preko slobodnog kraja
- $c_{f,l}$ koeficijent sile odizanja
- c_{fr} koeficijent trenja
- c_{lat} aerodinamički koeficijent uzbude
- c_M koeficijent momenta
- c_p koeficijent tlaka
- 
- c_{pe} koeficijent vanjskog tlaka
- c_{pi} koeficijent unutarnjeg tlaka
- $c_{p,net}$ koeficijent neto tlaka 
- c_{prob} faktor vjerojatnosti
- c_r faktor hrapavosti
- c_o faktor vertikalne razvedenosti terena (orografije)
- c_s faktor veličine
- c_{season} faktor godišnjeg doba
- d dubina konstrukcije (duljina površine paralelne sa smjerom vjetra, ako drukčije nije određeno)
- e ekscentričnost sile ili udaljenost do ruba
- f_L bezdimenzijska frekvencija

h	visina konstrukcije
h_{ave}	visina prepreke
h_{dis}	visina pomaka
k	istovrijedna hrapavost
$\boxed{AC} k_I$	faktor turbulencije \boxed{AC}
k_p	vršni faktor
k_r	faktor terena
k_{Θ}	torzijska krutost
l	duljina horizontalne konstrukcije
m	masa po jedinici duljine
m_1	istovrijedna masa po jedinici duljine
n_i	vlastita frekvencija konstrukcije za oblik titranja i
$n_{1,x}$	osnovna frekvencija titranja u smjeru vjetra
$n_{1,y}$	osnovna frekvencija titranja okomito na smjer vjetra
$n_o^{NB 4)}$	frekvencija ovalnog vibriranja
p	godišnja vjerojatnost premašaja
q_b	tlak pri osnovnoj brzini vjetra ^{NB 5)}
q_p	tlak pri vršnoj brzini
r	polumjer
s	faktor; koordinata
t	prosječna vrijednost vremena referentne brzine vjetra, debljina ploče
v_{CG}	brzina vjetra pri kojoj počinje galopiranje
v_{CIG}	kritična brzina vjetra za interferencijsko galopiranje
v_{crit}	kritična brzina vjetra za vrtložno odvajanje
v_{div}	brzina divergencije vjetra
v_m	srednja brzina vjetra
$v_{b,0}$	temeljna vrijednost osnovne brzine vjetra
v_b	osnovna brzina vjetra

^{NB 4)} Nacionalna bilješka: U izvorniku, uz simbol za frekvenciju ovalnog vibriranja kao indeks pojavljuje se broj 0 i slovo o. U hrvatskom prijevodu, nedosljednost je ispravljena (upotrebljava se slovo o).

^{NB 5)} Nacionalna bilješka: Pogreška u izvorniku. Vidi redak ispod izraza (4.9).

- w tlak vjetra
- x horizontalni razmak gradilišta od vrha (brda)
- smjer x horizontalni smjer, okomito na raspon
- smjer y horizontalni smjer, duž raspona
- y_{\max} najveća amplituda poprečnog vjetra pri kritičnoj brzini vjetra
- z visina iznad tla
- z_{ave} prosječna visina
- smjer z vertikalni smjer
- z_0 duljina hrapavosti
- z_e, z_i referentna visina za vanjsko djelovanje vjetra; unutarnji tlak
- z_g razmak od tla do razmatranoga dijela
- z_{\max} najveća visina
- z_{\min} najmanja visina
- z_s referentna visina za određivanje faktora konstrukcije

Velika grčka slova

- Φ kosina uz vjetar
- $\Phi_{1,x}$ osnovni oblik titranja u smjeru vjetra

Mala grčka slova

- α_G parametar galopirajuće nestabilnosti
- α_{IG} kombinirani parametar stabilnosti interferencijskoga galopiranja
- δ logaritamski dekrement prigušenja
- δ_a AC logaritamski dekrement aerodinamičkog prigušenja AC
- δ_d logaritamski dekrement prigušenja zbog posebnih naprava
- δ_s AC logaritamski dekrement konstrukcijskog prigušenja AC
- ε koeficijent
- ε_0 faktor širine frekvencijskog područja
- ε_1 faktor frekvencije
- η promjenjiva veličina
- φ omjer punoće, zatvorenost (zapriječenost) nadstrešnice

λ	vitkost
μ	omjer otvora, propustljivost ovojnice
ν	učestalost premašaja; Poissonov omjer; kinematska viskoznost
θ	torzijski kut; smjer vjetra
ρ	gustoća zraka
σ_v	standardna devijacija turbulencije
$\sigma_{a,x}$	standardna devijacija ubrzanja u smjeru vjetra
ψ_{mc}	faktor smanjenja za nadstrešnice s više polja
ψ_f	faktor smanjenja koeficijenta sile za pravokutne profile sa zaobljenim uglovima
ψ_λ	faktor smanjenja koeficijenta sile za konstrukcijske elemente s učinkom kraja
$\psi_{\lambda,\alpha}$	faktor učinka kraja za kružne valjke
ψ_s	faktor zaklonjenosti za zidove i ograde
ζ	eksponent oblika titranja

Indeksi

crit	kritični
e	vanjski; izloženost
fr	trenje
i	unutarnji; broj oblika titranja
j	trenutni broj prirasta ploštine ili točka na konstrukciji
m	srednja vrijednost
p	vršna vrijednost; parapet
ref	referentna vrijednost
v	brzina vjetra
x	smjer duž vjetra
y	smjer okomito na vjetar
z	vertikalni smjer

2 Proračunske situacije

(1)P Za svaku proračunsku situaciju određenu u skladu s normom EN 1990, točka 3.2 moraju se odrediti odgovarajuća djelovanja vjetra.

(2) U skladu s normom EN 1990, točka 3.2(3)P, treba uzeti u obzir ostala djelovanja (npr. snijeg, promet ili led) koja će promijeniti učinke prouzročene vjetrom.

AC NAPOMENA: Vidjeti također norme EN 1991-1-3, EN 1991-2 i ISO 12494. **AC**

(3) U skladu s normom EN 1990, točka 3.2(3)P, treba uzeti u obzir promjene na konstrukciji tijekom etapa izvedbe (npr. različiti oblici konstrukcije i dinamičke značajke u etapama izgradnje i sl.) koje smiju promijeniti učinke vjetra.

NAPOMENA: Vidjeti također normu EN 1991-1-6.

(4) Kada se proračunom predviđa da su prozori i vrata zatvoreni tijekom olujnih uvjeta, učinke tih otvorenih prozora i vrata treba obraditi kao izvanrednu proračunsku situaciju.

NAPOMENA: Vidjeti također normu EN 1990, točka 3.2(2)P.

(5) Zamor od učinaka djelovanja vjetra treba uzeti u obzir kod konstrukcija koje su mu podložne.

NAPOMENA: Broj ciklusa opterećenja smije se uzeti iz Dodataka B, C i E.

3 Modeliranje djelovanja vjetra

3.1 Priroda

(1) Djelovanja vjetra promjenjiva su tijekom vremena i djeluju izravno kao tlak na vanjske površine zatvorenih konstrukcija i, zbog propusnosti vanjske površine, također djeluju neizravno na unutarnje površine. Djelovanja vjetra mogu također izravno djelovati na unutarnje površine otvorenih konstrukcija. Na površine djeluju tlakovi koji imaju za posljedicu sile okomite na površinu konstrukcije ili pojedinih obložnih elemenata. Osim toga, kada su velike ploštine konstrukcije izložene vjetru, sile trenja koje djeluju tangencijalno na površinu mogu biti značajne.

3.2 Prikaz djelovanja vjetra

(1) Djelovanje vjetra predstavljeno je pojednostavnjenom skupinom tlakova ili sila čiji su učinci istovrijedni ekstremnim učincima turbulentnog vjetra.

3.3 Razredba djelovanja vjetra

(1) Ako drukčije nije određeno, djelovanja vjetra treba razvrstati u promjenjiva nepomična djelovanja, vidjeti normu EN 1990, točka 4.1.1.

3.4 Karakteristične vrijednosti

(1) Djelovanja vjetra proračunana, upotrebljavajući normu EN 1991-1-4, su karakteristične vrijednosti (vidjeti normu EN 1990, točka 4.1.2). Određene su na temelju osnovne vrijednosti brzine vjetra ili tlaka ovisnog o brzini. U skladu s normom EN 1990, točka 4.1.2(7)P, osnovne vrijednosti su karakteristične vrijednosti s godišnjim vjerojatnostima premašaja 0,02, što je istovjetno srednjem povratnom razdoblju od 50 godina.

NAPOMENA: Svi koeficijenti ili modeli pomoću kojih se izvode djelovanja vjetra iz osnovnih vrijednosti odabrani su tako da proračunana djelovanja vjetra ne premašuju vjerojatnost tih osnovnih vrijednosti.

3.5 Modeli

(1) Učinci vjetra na konstrukciju (odnosno odziv konstrukcije) ovise o veličini, obliku i dinamičkim svojstvima konstrukcije. Ovaj dio norme obuhvaća dinamički odziv zbog turbulencije u smjeru vjetra u rezonanciji s osnovnim savijajućim oblikom vibriranja sa stalnim predznakom, u istom smjeru.

Odziv konstrukcije treba proračunati u skladu s 5. poglavljem iz tlaka pri vršnoj brzini, q_p , na referentnoj visini u neporemećenom polju vjetra, sile i koeficijenata tlaka i konstrukcijskih faktora $c_s c_d$ (vidjeti 6. poglavlje). Vrijednost q_p ovisi o vjetrenoj klimi, hrapavosti i vertikalnoj razvedenosti terena, i referentnoj visini. Vrijednost q_p jednaka je tlaku pri srednjoj brzini zbrojenom s doprinosom kratkotrajnih promjena tlaka.

(2) Treba razmotriti aeroelastični odziv za savitljive konstrukcije kao što su užad, stupovi, dimnjaci i mostovi.

NAPOMENA: Pojednostavnjene smjernice za aeroelastički odziv navedene su u Dodatku E.

4 Brzina vjetra i tlak ovisan o brzini

4.1 Osnove proračuna

(1) Brzina vjetra i tlak ovisan o brzini sastoje se od srednje i promjenjive komponente.

Srednju brzinu vjetra v_m treba odrediti iz osnovne brzine vjetra v_b , koja ovisi o vjetrenoj klimi opisanoj u točki 4.2, i visinskoj promjenjivosti vjetra određenoj iz hrapavosti terena i vertikalne razvedenosti kao što je opisano u točki 4.3. Tlak pri vršnoj brzini određen je u točki 4.5.

Promjenjiva komponenta vjetra predstavljena je intenzitetom turbulencije određenim u točki 4.4.

NAPOMENA: U nacionalnom dodatku smiju se pružiti nacionalni klimatski podaci iz kojih se mogu izravno dobiti srednja brzina vjetra v_m , tlak pri vršnoj brzini q_p i druge vrijednosti, za različite kategorije terena.

4.2 Osnovne vrijednosti

(1)P Temeljna vrijednost osnovne brzine vjetra $v_{b,0}$ je karakteristična 10-minutna srednja brzina vjetra, neovisno o smjeru vjetra i dobu godine, 10 m iznad tla na otvorenom terenu u prirodi s niskim raslinjem, primjerice travom, i osamljenim preprekama na razmaku najmanje 20 visina prepreke.

NAPOMENA 1: Takav teren odgovara kategoriji terena II u tablici 4.1.

NAPOMENA 2: Temeljna vrijednost osnovne brzine vjetra $v_{b,0}$, smije se odrediti u nacionalnom dodatku.

(2)P Osnovna brzina vjetra mora se proračunati iz izraza (4.1).

$$v_b = c_{dir} c_{season} v_{b,o} \quad (4.1)$$

gdje je:

v_b osnovna brzina vjetra, određena kao funkcija smjera vjetra i doba godine, 10 m iznad tla koje pripada kategoriji terena II

$v_{b,o}$ temeljna vrijednost osnovne brzine vjetra, vidjeti stavak (1)P

c_{dir} faktor smjera, vidjeti Napomenu 2

c_{season} faktor godišnjeg doba, vidjeti Napomenu 3.

NAPOMENA 1: Gdje utjecaj nadmorske visine na osnovnu brzinu vjetra v_b nije obuhvaćen određenom temeljnom vrijednošću osnovne brzine vjetra $v_{b,o}$ u nacionalnom dodatku smije se odrediti postupak da se to proračunom uzme u obzir.

NAPOMENA 2: Vrijednost faktora smjera c_{dir} za različite smjerove vjetra smije se ustanoviti u nacionalnom dodatku. Preporučena vrijednost je 1,0.

NAPOMENA 3: Vrijednost faktora godišnjeg doba, c_{season} , smije se odrediti u nacionalnom dodatku. Preporučena vrijednost je 1,0.

NAPOMENA 4: 10-minutna srednja brzina vjetra s vjerojatnošću godišnjeg premašaja p određena je množenjem osnovne brzine vjetra v_b iz točke 4.2(2)P i faktora vjerojatnosti c_{prob} danim izrazom (4.2)(N). Vidjeti također normu EN 1991-1-6.

$$c_{prob} = \left(\frac{1 - K \ln(-\ln(1-p))}{1 - K \ln(-\ln(0,98))} \right)^n \quad (4.2)(N)$$

gdje je:

K parametar oblika koji ovisi o koeficijentu varijacije ekstremnih vrijednosti

n eksponent.

NAPOMENA 5: Vrijednosti K i n smiju se odrediti u nacionalnom dodatku. Preporučene vrijednosti su 0,2 za K i 0,5 za n .

(3) Faktor godišnjeg doba c_{season} smije se upotrebljavati za privremene konstrukcije i sve konstrukcije u fazi izvođenja. Za prijenosne konstrukcije, koje se smiju upotrebljavati tijekom cijele godine, za c_{season} treba uzeti vrijednost 1,0.

NAPOMENA: Vidjeti također normu EN 1991-1-6.

4.3 Srednji vjetar

4.3.1 Promjene s visinom

(1) Srednja brzina vjetra $v_m(z)$ na visini z iznad terena ovisi o hrapavosti terena i vertikalnoj razvedenosti i osnovnoj brzini vjetra, v_b i treba je odrediti upotrebljavajući izraz (4.3).

$$v_m(z) = c_r(z) c_o(z) v_b \quad (4.3)$$

gdje je:

$c_r(z)$ faktor hrapavosti dan u točki 4.3.2

$c_o(z)$ faktor vertikalne razvedenosti, jednak 1,0 ako drukčije nije određeno u točki 4.3.3.

NAPOMENA 1: Podaci o faktoru c_o smiju biti navedeni u nacionalnom dodatku. Ako je vertikalna razvedenost obuhvaćena osnovnom brzinom vjetra, preporučena vrijednost je 1,0.

NAPOMENA 2: Proračunski grafikoni ili tablice za vrijednost $v_m(z)$ smiju se navesti u nacionalnom dodatku.

Treba uzeti u obzir utjecaj susjednih konstrukcija na brzinu vjetra (vidjeti točku 4.3.4).

4.3.2 Hrapavost terena

(1) Faktor hrapavosti, $c_r(z)$, koji obuhvaća promjenjivost srednje brzine vjetra na mjestu konstrukcije zbog:

- visine iznad tla
- hrapavosti terena uz vjetar prije konstrukcije, u smjeru vjetra koji se razmatra.

NAPOMENA: Postupak određivanja $c_r(z)$ smije se dati u nacionalnom dodatku. Preporučeni postupak za određivanje faktora hrapavosti na visini z dan je izrazom (4.4)(N) i temelji se na logaritamskom profilu brzine.

$$c_r(z) = k_r \ln\left(\frac{z}{z_o}\right) \quad \text{za} \quad z_{\min} \leq z \leq z_{\max} \quad (4.4)(N)$$

$$c_r(z) = c_r(z_{\min}) \quad \text{za} \quad z \leq z_{\min}$$

gdje je:

z_o duljina hrapavosti

k_r faktor terena ovisan o duljini hrapavosti z_o koja je proračunana izrazom

$$k_r = 0,19 \left(\frac{z_o}{z_{o,II}}\right)^{0,07} \quad (4.5)(N)$$

gdje je:

$z_{o,II} = 0,05$ m (kategorija terena II, tablica 4.1(N))

z_{\min} najmanja visina određena u tablici 4.1(N)

z_{\max} jednaka 200 m.

z_o i z_{\min} ovise o kategoriji terena. Preporučene vrijednosti navedene su u tablici 4.1(N) i te vrijednosti ovise o pet reprezentativnih kategorija terena.

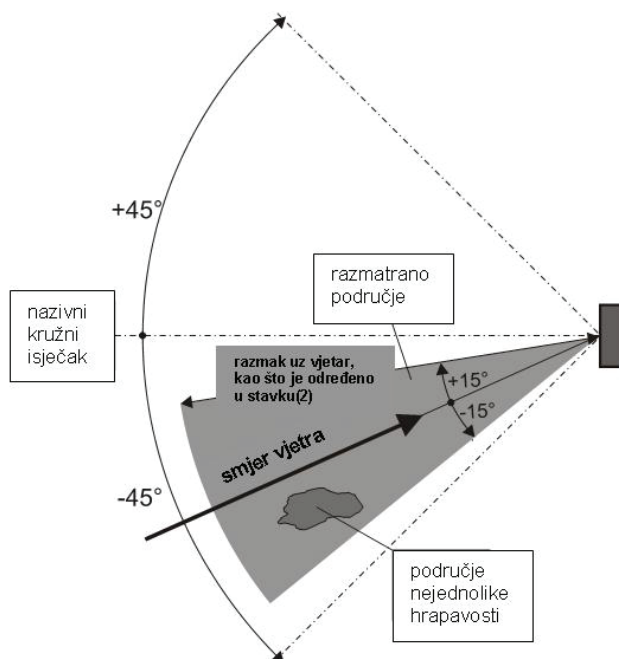
Izraz (4.4)(N) vrijedi kada je razmak uz vjetar, s jednolikom hrapavosti terena, dostatan da se profil dovoljno stabilizira, vidjeti stavak (2).

Tablica 4.1(N) – Kategorije terena i parametri terena

Kategorija terena		z_0 [m]	z_{min} [m]
0	More ili priobalna područja izložena otvorenom moru	0,003	1
I	Jezera ili ravna i horizontalno položena područja sa zanemarivom vegetacijom i bez prepreka	0,01	1
II	Područja s niskom vegetacijom, npr. travom, i izoliranim preprekama (drveće, zgrade) s razmakom najmanje 20 visina prepreke	0,05	2
III	Područja sa stalnim pokrovom od vegetacije ili zgrade ili područja s izoliranim preprekama s razmakom najviše 20 visina prepreke (npr. sela, predgrađa, stalna šuma)	0,3	5
IV	Područja s najmanje 15 % površine pokrivene zgradama čija prosječna visina premašuje 15 m	1,0	10

NAPOMENA: Kategorije terena prikazane su na slikama u točki A.1.

(2) Hrapavost terena koju treba upotrebljavati za dani smjer vjetra ovisi o hrapavosti tla i razmaku s jednoličnom hrapavosti terena u kružnom isječku oko smjera vjetra. Mala područja (manje od 10 % područja koje se razmatra) nejednolike hrapavosti smiju se zanemariti. Vidjeti sliku 4.1.



Slika 4.1 – Ocjena hrapavosti terena

NAPOMENA: Nacionalni dodatak smije odrediti definicije kružnog isječka i razmaka uz vjetar. Za preporučenu vrijednost kružnog isječka smije se uzeti 30° s odstupanjem $\pm 15^\circ$ od smjera vjetra. Preporučena vrijednost razmaka uz vjetar smije se uzeti iz točke A.2.

(3) Kada je koeficijent tlaka ili sile određen za nazivni kružni isječak, treba upotrebljavati najmanju duljinu hrapavosti unutar bilo kojeg kružnog isječka vjetra veličine 30° .

(4) Kada pri određivanju danog područja postoji izbor između dvije ili više kategorija terena, treba upotrebljavati područje s najmanjom duljinom hrapavosti.

4.3.3 Vertikalna razvedenost terena (orografija)

(1) Gdje vertikalna razvedenost terena (npr. brda, litice i sl.) povećava brzine vjetra za više od 5 %, te učinke treba uzeti u obzir upotrebljavajući faktor vertikalne razvedenosti terena c_o .

NAPOMENA: Postupak koji treba upotrebljavati za određivanje faktora c_o smije biti određen u nacionalnom dodatku. Preporučeni postupak prikazan je u točki A.3.

(2) Učinci vertikalne razvedenosti terena smiju se zanemariti kada je prosječni nagib kosine terena uz vjetar manji od 3°. Terenom uz vjetar smije se smatrati onaj koji je do udaljenosti od 10 visina izolirane orografske odlike.

4.3.4 Velike i znatno više susjedne konstrukcije

(1) Ako će konstrukcija biti smještena blizu druge konstrukcije koja je najmanje dvostruko viša od prosječne visine susjednih konstrukcija, tada može biti izložena (ovisno o svojstvima konstrukcije) povećanim brzinama vjetra za pojedine smjerove vjetra. Takve slučajeve treba uzeti u obzir.

NAPOMENA: U nacionalnom dodatku smije se odrediti postupak za obuhvaćanje takvih učinaka. Preporučena konzervativna, prva približna vrijednost dana je u točki A.4.

4.3.5 Blisko razmještene zgrade i prepreke

(1) Smije se uzeti u obzir učinak blisko razmještenih zgrada i ostalih prepreka.

NAPOMENA: U nacionalnom dodatku smije se odrediti postupak. Preporučena prva približna vrijednost dana je u točki A.5. Blisko razmještene zgrade na hrapavom terenu mijenjaju srednji tok vjetra blizu tla, kao da je razina tla podignuta na visinu koja se naziva visina pomaka h_{dis} .

4.4 Turbulencija vjetra

(1) Intenzitet turbulencije $I_v(z)$ na visini z određen je kao standardna devijacija turbulencije podijeljena sa srednjom brzinom vjetra.

NAPOMENA 1: Turbulentna komponenta brzine vjetra ima srednju vrijednost 0 i standardnu devijaciju σ_v . Standardna devijacija turbulencije σ_v smije se odrediti upotrebljavajući izraz (4.6)(N).

$$\sigma_v = k_r v_b k_1 \quad (4.6)(N)$$

Za faktor terena k_r vidjeti izraz (4.5)(N), za osnovnu brzinu vjetra v_b vidjeti izraz (4.1) i za faktor turbulencije k_1 vidjeti Napomenu 2.

NAPOMENA 2: Preporučena pravila za određivanje $I_v(z)$ dana su izrazom (4.7)(N).

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)} = \frac{k_1}{c_o(z) \ln(z/z_o)} \quad \text{za} \quad z_{\min} \leq z \leq z_{\max} \quad (4.7)(N)$$

$$I_v(z) = I_v(z_{\min}) \quad \text{za} \quad z < z_{\min}$$

gdje je:

k_1 faktor turbulencije. Vrijednost k_1 smije se odrediti u nacionalnom dodatku. Preporučena vrijednost za k_1 je 1,0.

c_0 faktor vertikalne razvedenosti terena kao što je opisano u točki 4.3.3

z_0 duljina hrapavosti dana u tablici 4.1(N).

4.5 Tlak pri vršnoj brzini

(1) Treba odrediti tlak pri vršnoj brzini $q_p(z)$ na visini z , koji obuhvaća srednje i kratkotrajne promjene brzine.

NAPOMENA 1: U nacionalnom dodatku smiju se dati pravila za određivanje $q_p(z)$. Preporučeno pravilo dano je izrazom (4.8)(N).

$$q_p(z) = [1 + 7 I_v(z)] \frac{1}{2} \rho v_m^2(z) = c_e(z) q_b \quad (4.8)(N)$$

gdje je:

ρ gustoća zraka koja ovisi o nadmorskoj visini, temperaturi i atmosferskom tlaku koji se očekuju u području tijekom oluj

$c_e(z)$ faktor izloženosti dan izrazom (4.9)(N)

$$c_e(z) = \frac{q_p(z)}{q_b} \quad (4.9)(N)$$

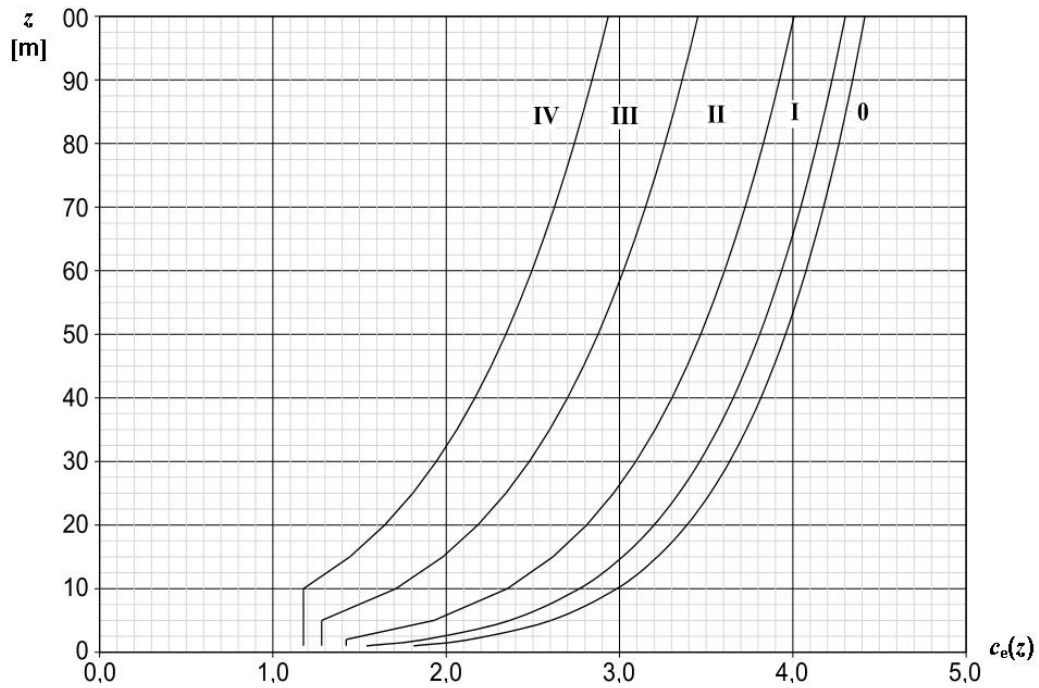
q_b tlak pri osnovnoj brzini dan izrazom (4.10)(N)

$$q_b = \frac{1}{2} \rho v_b^2 \quad (4.10)(N)$$

NAPOMENA 2: Vrijednosti za gustoću zraka ρ smiju se odrediti u nacionalnom dodatku. Preporučena vrijednost je 1,25 kg/m³.

NAPOMENA 3: Broj 7 u izrazu (4.8)(N) temelji se na vršnom faktoru jednakom 3,5 i u skladu je s vrijednostima koeficijenta tlaka i sile iz 7. poglavlja.

Za ravne terene gdje je $c_0(z)=1,0$ (vidjeti točku 4.3.3), faktor izloženosti prikazan je na slici 4.2(N) kao funkcija visine iznad terena i funkcija kategorije terena kao što je određeno u tablici 4.1(N).



Slika 4.2(N) – Grafički prikaz faktora izloženosti $c_e(z)$ za $c_o=1,0$, $k_1=1,0$

5 Djelovanja vjetra

5.1 Općenito

(1)P Djelovanja vjetra na konstrukcije i konstrukcijske elemente moraju se odrediti uzimajući u obzir i vanjski i unutarnji tlak vjetra.

NAPOMENA: Sažetak proračunskih postupaka za određivanje djelovanja vjetra prikazan je u tablici 5.1(N).

Tablica 5.1(N) – Proračunski postupci za određivanje djelovanja vjetra

Parametar	Upućivanje na
tlak pri vršnoj brzini q_p osnovna brzina vjetra v_b referentna visina z_e kategorija terena karakteristični tlak pri vršnoj brzini q_p intenzitet turbulencije I_v srednja brzina vjetra v_m koeficijent vertikalne razvedenosti $c_o(z)$ koeficijent hrapavosti $c_r(z)$	4.2(2)P 7. poglavlje tablica 4.1 4.5(1) 4.4 4.3.1 4.3.3 4.3.2
tlakovi vjetra, npr. za obloge, učvršćenja i konstrukcijske dijelove koeficijent vanjskog tlaka c_{pe} koeficijent unutarnjeg tlaka c_{pi} koeficijent neto tlaka $c_{p,net}$ vanjski tlak vjetra: $w_e = q_p c_{pe}$ unutarnji tlak vjetra: $w_i = q_p c_{pi}$	7. poglavlje 7. poglavlje 7. poglavlje 5.2(1) 5.2(2)
sile vjetra na konstrukciju, npr. za sveukupne učinke vjetra konstrukcijski faktor: $c_s c_d$ sila vjetra F_w proračunana iz koeficijenata sile sila vjetra F_w proračunana iz koeficijenata tlaka	6 5.3(2) 5.3(3)

5.2 Tlak vjetra na površine

(1) Tlak vjetra koji djeluje na vanjske površine, w_e , treba odrediti iz izraza (5.1).

$$w_e = q_p(z_e) \times c_{pe} \quad (5.1)$$

gdje je:

$q_p(z_e)$ tlak pri vršnoj brzini

z_e referentna visina za vanjski tlak dan u 7. poglavlju

c_{pe} koeficijent tlaka za vanjski tlak, vidjeti 7. poglavlje.

NAPOMENA: Vrijednost $q_p(z)$ određena je u točki 4.5.

(2) Tlak vjetra koji djeluje na unutarnje površine, w_i , treba odrediti iz izraza (5.2).

$$w_i = q_p(z_i) \times c_{pi} \quad (5.2)$$

gdje je:

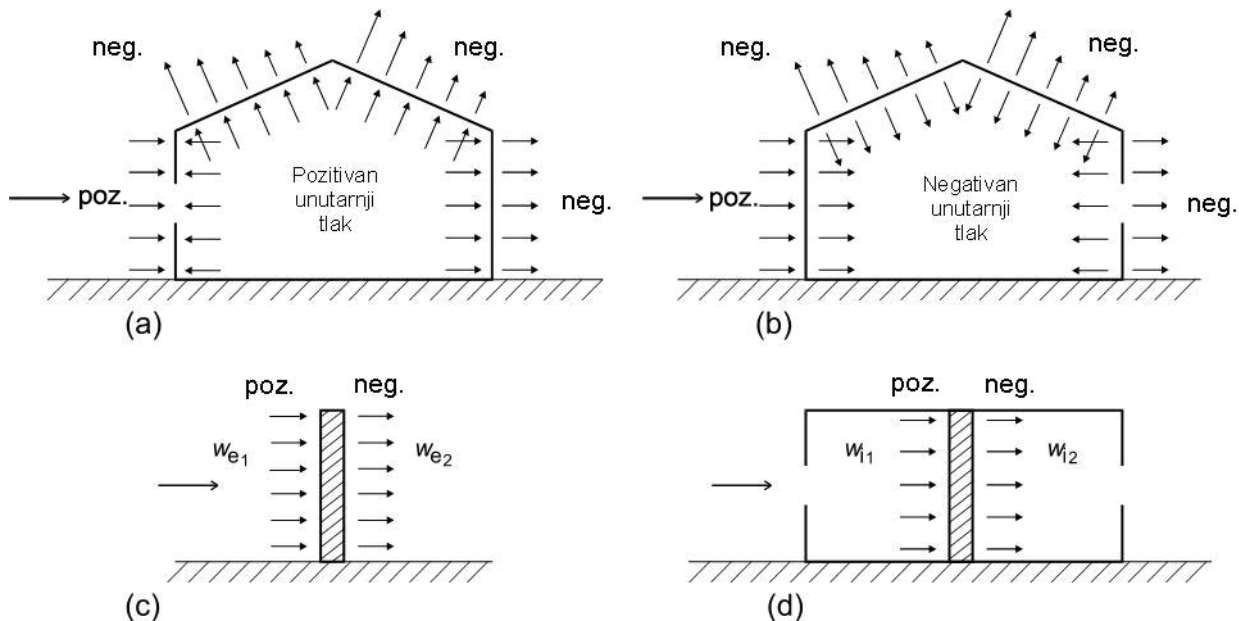
$q_p(z_i)$ tlak pri vršnoj brzini

z_i referentna visina za unutarnji tlak dan u 7. poglavlju

c_{pi} koeficijent tlaka za unutarnji tlak dan u 7. poglavlju.

NAPOMENA: Vrijednost $q_p(z)$ određena je u točki 4.5.

(3) Neto tlak na zid, krov ili element razlika je tlakova na suprotnim površinama uzimajući u obzir njihove predznake. Tlak usmjeren prema površini uzima se kao pozitivan, a usisavanje, usmjereno od površine, kao negativno. Primjeri su dani na slici 5.1.



Slika 5.1 – Tlak na površine

5.3 Sile vjetra

(1) Sile vjetra na cijelu konstrukciju ili dio konstrukcije treba odrediti:

- proračunom sila upotrebljavajući koeficijente sila (vidjeti stavak (2)) ili
- proračunom sila iz površinskih tlakova (vidjeti stavak (3)).

(2) Sila vjetra F_w koja djeluje na konstrukciju ili dio konstrukcije smije se izravno odrediti upotrebljavajući izraz (5.3)

$$F_w = c_s c_d c_f q_p(z_e) \times A_{ref} \quad (5.3)$$

ili vektorskim zbrajanjem po pojedinim konstrukcijskim elementima (kao što je pokazano u točki 7.2.2) upotrebljavajući izraz (5.4)

$$F_w = c_s c_d \sum_{\text{elementi}} c_f \times q_p(z_e) \times A_{ref} \quad (5.4)$$

gdje je:

$c_s c_d$ konstrukcijski faktor određen u 6. poglavlju

c_f koeficijent sile za konstrukciju ili konstrukcijski element, naveden u 7. poglavlju i 8. poglavlju

$q_p(z_e)$ tlak pri vršnoj brzini (određen u točki 4.5) na referentnoj visini z_e (određenoj u 7. poglavlju ili 8. poglavlju)

A_{ref} referentna ploština konstrukcije ili konstrukcijskog elementa, navedena u 7. poglavlju i 8. poglavlju.

NAPOMENA: U 7. poglavlju navedene su vrijednosti koeficijenta sile c_f za konstrukcije ili konstrukcijske elemente kao što su prizme, valjci, krovovi, reklamni panoi, ploče i rešetkaste konstrukcije i sl. Te vrijednosti obuhvaćaju učinke trenja. U 8. poglavlju navedene su vrijednosti koeficijenta sile c_f za mostove.

(3) Sila vjetra F_w , koja djeluje na konstrukciju ili konstrukcijski element smije se odrediti vektorskim zbrajanjem sila $F_{w,e}$, $F_{w,i}$ i F_{fr} proračunanim iz unutarnjih i vanjskih tlakova upotrebljavajući izraze (5.5) i (5.6) i sila trenja koje nastaju trenjem vjetra paralelno s vanjskom površinom, proračunanih upotrebljavajući izraz (5.7).

Vanjske sile:

$$F_{w,e} = c_s c_d \sum_{\text{površine}} w_e A_{ref} \quad (5.5)$$

Unutarnje sile:

$$F_{w,i} = \sum_{\text{površine}} w_i A_{ref} \quad (5.6)$$

Sile trenja:

$$F_{fr} = c_{fr} \times q_p(z_e) \times A_{fr} \quad (5.7)$$

gdje je:

$c_s c_d$ konstrukcijski faktor određen u 6. poglavlju

w_e vanjski tlak na pojedinu površinu na visini z_e , dan izrazom (5.1)

w_i unutarnji tlak na pojedinu površinu na visini z_i , dan izrazom (5.2)

A_{ref} referentna ploština pojedine površine

c_{fr} koeficijent trenja izveden u točki 7.5

A_{fr} ploština vanjske površine paralelne s vjetrom, dana u točki 7.5.

NAPOMENA 1: Za elemente (npr. zidovi, krovovi), sila vjetra postaje jednaka razlici vanjskih i unutarnjih zultantnih sila.

NAPOMENA 2: Sile trenja F_{fr} djeluju u smjeru komponente vjetra paralelne vanjskim površinama.

(4) Učinci trenja vjetra na površinu mogu se zanemariti kada je ukupna ploština svih površina paralelnih (ili pod malim kutom) s vjetrom jednaka ili manja četverostrukoj ukupnoj ploštini svih vanjskih površina okomitih na vjetar (izloženih vjetru ili u zavjetrini).

(5) Pri zbrajanju sila vjetra koje djeluju na konstrukcije zgrada, smije se uzeti u obzir pomanjkanje korelacije tlakova između strana izloženih vjetru i strana u zavjetrini.

NAPOMENA: U nacionalnom dodatku smije se odrediti primjenjuje li se to pomanjkanje korelacije općenito ili se ograničava na zidove kao što je opisano u točki 7.2.2(3). Preporučeno je uzeti u obzir pomanjkanje korelacije samo za zidove (vidjeti točku 7.2.2(3)).

6 Konstrukcijski faktor $c_s c_d$

6.1 Općenito

(1) Konstrukcijski faktor $c_s c_d$ treba obuhvatiti učinke djelovanja vjetra od neistovremene pojave vršnog tlaka vjetra na površinu (c_s) zajedno s učinkom od titranja konstrukcije zbog turbulencije (c_d).

NAPOMENA: Konstrukcijski faktor $c_s c_d$ smije se razdvojiti na faktor veličine c_s i dinamički faktor c_d , prema točki 6.3. Podatak o tome smije li se konstrukcijski faktor razdvojiti ili ne, smije se dati u nacionalnom dodatku.

6.2 Određivanje $c_s c_d$

(1) Faktor $c_s c_d$ smije se odrediti ovako:

- za zgrade niže od 15 m, vrijednost $c_s c_d$ smije se uzeti da je 1,0.
- za pročelja i krovne elemente koji imaju vlastitu frekvenciju veću od 5 Hz, vrijednost $c_s c_d$ smije se uzeti da je 1,0.
- za okvirne zgrade koje imaju konstrukcijske zidove i koje su niže od 100 m i čija visina je manja od 4 dužine u smjeru vjetra, vrijednost $c_s c_d$ smije se uzeti da je 1,0.
- za dimnjake s kružnim poprečnim presjekom čija je visina manja od 60 m i 6,5 puta promjer, vrijednost $c_s c_d$ smije se uzeti da je 1,0.
- zamjenski, za gore nabrojane slučajeve a), b), c) i d), vrijednost $c_s c_d$ smije se proračunati kao u točki 6.3.1.
- za inženjerske građevine (osim mostova koji se razmatraju u 8. poglavlju) i dimnjake izvan ograničenja danih u c) i d), vrijednost $c_s c_d$ treba odrediti prema točki 6.3 ili uzeti iz Dodatka D.

NAPOMENA 1: Vlastite frekvencije elemenata pročelja i krovova smiju se proračunati upotrebljavajući dodatak F (ostakljene konstrukcije raspona manjih od 3 m obično imaju vlastite frekvencije veće od 5 Hz).

NAPOMENA 2: Slike u Dodatku D daju vrijednosti faktora $c_s c_d$ za različite vrste konstrukcija. Te slike daju anvelope za sigurne vrijednosti proračunane iz modela koji zadovoljavaju uvjete iz točke 6.3.1.

6.3 Detaljni postupak

6.3.1 Konstrukcijski faktor $c_s c_d$

(1) Detaljni postupak određivanja konstrukcijskog faktora $c_s c_d$ dan je izrazom (6.1). Taj postupak može se upotrebljavati samo ako su ispunjeni uvjeti dani u točki 6.3.1(2).

$$c_s c_d = \frac{1 + 2 k_p I_v(z_s) \sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7 I_v(z_s)} \quad (6.1)$$

gdje je:

z_s referentna visina za određivanje konstrukcijskog faktora $c_s c_d$, vidjeti sliku 6.1. Za konstrukcije kod kojih slika 6.1 nije primjenjiva, z_s smije biti jednak h , visini konstrukcije.

k_p vršni faktor određen kao omjer najveće vrijednosti kolebajućeg dijela odziva i njegove standardne devijacije

I_v intenzitet turbulencije određen u točki 4.4

B^2 faktor podloge koji obuhvaća pomanjkanje pune korelacije tlaka na površini konstrukcije

R^2 faktor rezonantnog odziva koji obuhvaća pojavu turbulencije u rezonanciji s oblikom vibriranja.

NAPOMENA 1: Faktor veličine c_s obuhvaća učinke smanjenja djelovanja vjetra zbog neistovremene pojave vršnog tlaka vjetra na površinu i smije se odrediti iz izraza (6.2)(N):

$$c_s = \frac{1 + 7 I_v(z_s) \sqrt{B^2}}{1 + 7 I_v(z_s)} \quad (6.2)(N)$$

NAPOMENA 2: Dinamički faktor c_d obuhvaća povećanje učinka vibracija zbog turbulencije u rezonanciji s konstrukcijom i smije se odrediti iz izraza (6.3)(N):

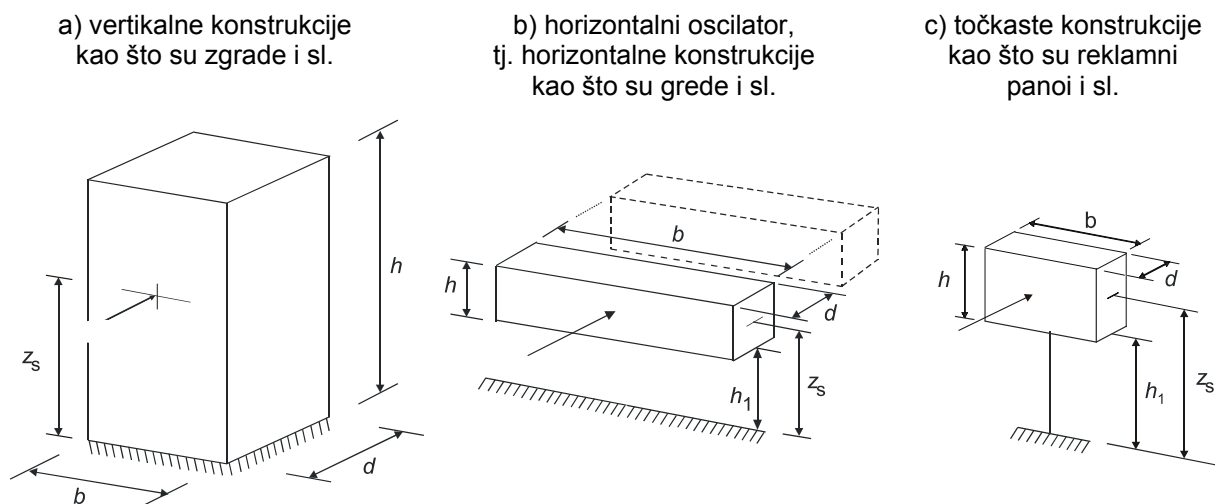
$$c_d = \frac{1 + 2 k_p I_v(z_s) \sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7 I_v(z_s) \sqrt{B^2}} \quad (6.3)(N)$$

NAPOMENA 3: Postupak koji treba upotrebljavati za određivanje k_p , B i R smije se dati u nacionalnom dodatku. Preporučeni postupak pokazan je u dodatku B. Zamjenski postupak pokazan je u Dodatku C. Kao pokazatelj korisnicima, razlike vrijednosti faktora $c_s c_d$, upotrebljavajući Dodatak C i Dodatak B, ne premašuju približno 5 %.

(2)P Izraz (6.1) mora se upotrijebiti samo ako su ispunjeni svi niže navedeni zahtjevi:

- oblik konstrukcije odgovara jednom od općih oblika prikazanih na slici 6.1
- znatna su samo titranja osnovnog oblika u smjeru vjetra i taj oblik ima stalni predznak.

NAPOMENA: Doprinosi odzivu drugog ili viših oblika titranja u smjeru vjetra je zanemariv.



NAPOMENA: Također vrijede ograničenja dana u točki 1.1(2).

$$z_s = 0,6 h \geq z_{\min}$$

$$z_s = h_1 + \frac{h}{2} \geq z_{\min}$$

$$z_s = h_1 + \frac{h}{2} \geq z_{\min}$$

Slika 6.1 – Opći oblici konstrukcija obuhvaćenih ovim postupkom. Također su prikazane dimenzije konstrukcije i referentne visine koje se upotrebljavaju.

6.3.2 Ocjenjivanje uporabljivosti

(1) Za ocjenjivanje uporabljivosti, treba upotrebljavati najveći pomak u smjeru vjetra i standardnu devijaciju karakterističnog ubrzanja konstrukcije u smjeru vjetra na visini z . Za najveći pomak u smjeru vjetra, treba upotrebljavati istovrijednu statičku silu vjetra određenu u točki **AC** 5.3. **AC**

NAPOMENA: U nacionalnom dodatku smije se odrediti metoda određivanja najvećeg pomaka u smjeru vjetra i standardne devijacije ubrzanja u smjeru vjetra. Preporučena metoda dana je u Dodatku B. Zamjenska metoda dana je u Dodatku C.

6.3.3 Titranje u zavjetrini (en: wake buffeting)

(1) Za vitke zgrade ($h/d > 4$) i dimnjake ($h/d > 6,5$) postavljene u paru ili skupini treba uzeti u obzir učinak povećanja turbulencije u zavjetrini susjednih građevina (titranje u zavjetrini).

(2) Učinci titranja u zavjetrini smiju se smatrati zanemarivima ako je barem jedan od uvjeta u nastavku ispunjen:

- razmak između dvije zgrade ili dimnjaka je 25 puta veći od dimenzije okomito na vjetar zgrade ili dimnjaka koji se nalazi uz vjetar
- vlastita frekvencija zgrade smještene niz vjetar je veća od 1 Hz.

NAPOMENA: Ako nije ispunjen nijedan od uvjeta iz točke 6.3.3(2) preporučuje se ispitivanje u vjetrenom tunelu ili savjet stručnjaka.

7 Koeficijenti tlaka i sile

7.1 Općenito

(1) Ovo poglavlje treba upotrebljavati za određivanje odgovarajućih aerodinamičkih koeficijenata za konstrukcije. Ovisno o konstrukciji, odgovarajući aerodinamički koeficijenti će biti:

- koeficijenti unutarnjeg i vanjskog tlaka, vidjeti točku 7.1.1(1)
- koeficijenti neto tlaka, vidjeti točku 7.1.1(2)
- koeficijenti trenja, vidjeti točku 7.1.1(3)
- koeficijenti sile, vidjeti točku 7.1.1(4).

7.1.1 Odabir aerodinamičkih koeficijenata

(1) Koeficijente tlaka treba odrediti za:

- zgrade, upotrebljavajući točku 7.2 za unutarnje i za vanjske tlakove, i
- kružne valjke, upotrebljavajući točku 7.2.9 za unutarnje tlakove i točku 7.9.1 za vanjske tlakove.

NAPOMENA 1: Koeficijenti vanjskog tlaka daju učinke vjetra na vanjske površine zgrada; koeficijenti unutarnjeg tlaka daju učinke vjetra na unutarnje površine zgrada.

NAPOMENA 2: Koeficijenti vanjskog tlaka dijele se na sveukupne koeficijente i lokalne koeficijente. Lokalni koeficijenti daju koeficijente tlaka za opterećene ploštine od 1 m^2 . Smiju se upotrebljavati za proračun malih elemenata i učvršćenja. Sveukupni koeficijenti daju koeficijente tlaka za opterećene ploštine od 10 m^2 . Smiju se upotrebljavati za opterećene ploštine veće od 10 m^2 .

(2) Neto koeficijent tlaka treba odrediti za:

- krovove nadstrešnica, upotrebljavajući točku 7.3
- slobodnostojeće zidove, parapete i ograde, upotrebljavajući točku 7.4.

NAPOMENA: Koeficijenti neto tlaka daju ukupne učinke vjetra na konstrukciju, konstrukcijski element ili dio po jedinici ploštine.

(3) Treba odrediti koeficijente trenja za zidove i površine definirane u točkama 5.3(3) i (4), upotrebljavajući točku 7.5.

(4) Koeficijente sile treba odrediti za:

- reklamne panoe, upotrebljavajući točku 7.4.3
- konstrukcijske elemente pravokutnog poprečnog presjeka, upotrebljavajući točku 7.6
- konstrukcijske elemente s profilima oštih rubova, upotrebljavajući točku 7.7
- konstrukcijske elemente s pravilnim poligonalnim profilom, upotrebljavajući točku 7.8
- kružne valjke, upotrebljavajući točke 7.9.2 i 7.9.3
- kugle, upotrebljavajući točku 7.10
- rešetkaste konstrukcije i skele, upotrebljavajući točku 7.11
- zastave, upotrebljavajući točku 7.12.

Smije se primijeniti faktor smanjenja koji ovisi o proračunskoj vitkosti konstrukcije, upotrebljavajući točku 7.13.

NAPOMENA: Koeficijenti sile daju sveukupni učinak vjetra na konstrukciju, konstrukcijski element ili dio u cjelini, uključujući trenje ako izričito nije izuzeto.

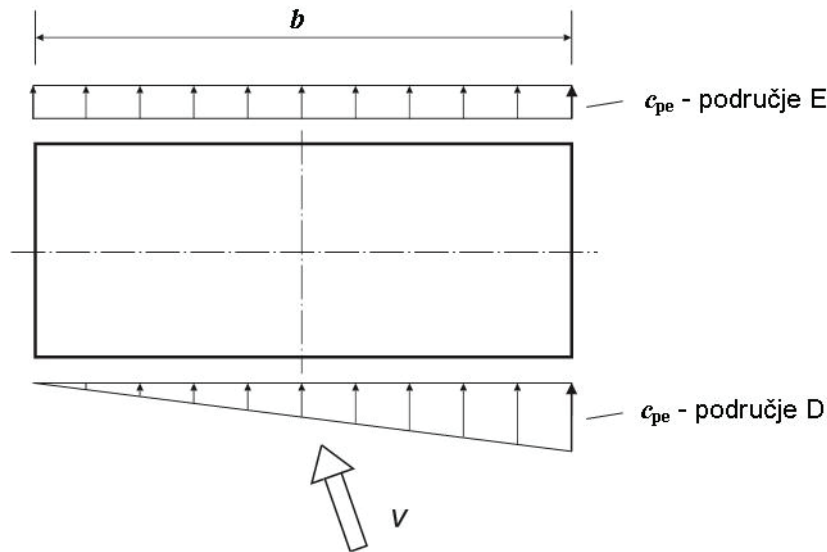
7.1.2 Nesimetrični i suprotstavljeni tlakovi i sile

(1) Ako trenutna kolebanja vjetra koji struji preko površine mogu značajno povećati nesimetričnost opterećenja i ako je vjerojatno da je konstrukcijski oblik osjetljiv na takvo opterećenje (npr. torzija u nazivno simetričnim zgradama s jednom jezgrom), tada te učinke treba uzeti u obzir.

(2) Za slobodnostojeće nadstrešnice i reklamne panoe, treba upotrebljavati točke 7.3 i 7.4.

NAPOMENA: U nacionalnom dodatku smiju se dati postupci za ostale konstrukcije. Preporučeni postupci su:

- a) Za tlocrtno pravokutne konstrukcije koje su osjetljive na torzijske učinke, treba upotrebljavati raspodjelu tlaka prikazanu na slici 7.1(N) za prikaz torzijskih učinaka od vjetra koji djeluje pod kutom ili zbog pomanjkanja korelacije između sila vjetra koje djeluju na različitim mjestima na konstrukciji.



Slika 7.1(N) – Raspodjela tlaka koja se upotrebljava za obuhvaćanje torzijskih učinaka. Područja i vrijednosti koeficijenta c_{pe} dani su u tablici 7.1 i slici 7.5.

- b) Za ostale slučajeve, nesimetričnost opterećenja treba uzeti tako da se proračunsko djelovanje vjetra potpuno ukloni s onih dijelova konstrukcije gdje će takvo djelovanje uzrokovati povoljan učinak.

7.1.3 Učinci leda i snijega

(1) Ako led ili snijeg mijenjaju geometrijski oblik konstrukcije tako da mijenjaju referentne ploštine ili oblik, te učinke treba uzeti u obzir.

NAPOMENA: Daljnje informacije smiju se dati u nacionalnom dodatku.

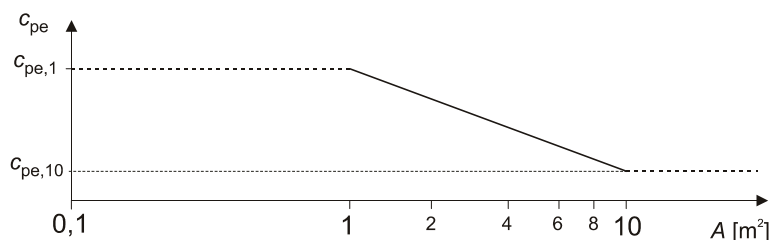
7.2 Koeficijenti tlaka za zgrade

7.2.1 Općenito

(1) Koeficijenti vanjskog tlaka c_{pe} za zgrade i dijelove zgrada ovise o veličini opterećene ploštine A (ploština konstrukcije) preko koje se prenosi djelovanje vjetra na dio koji se proračunava. Koeficijenti vanjskog tlaka dani su tablično za opterećene ploštine A od 1 m^2 i 10 m^2 , za odgovarajuće oblike zgrada, kao $c_{pe,1}$ za lokalne koeficijente i $c_{pe,10}$ za sveukupne koeficijente.

NAPOMENA 1: Vrijednosti koeficijenta $c_{pe,1}$ predviđene su za proračun malih elemenata i učvršćenja s plošinom po elementu 1 m^2 ili manjom, kao što su obložni elementi i krovni elementi. Vrijednosti za $c_{pe,10}$ smiju se upotrebljavati za proračun cjelokupne nosive konstrukcije zgrada.

NAPOMENA 2: U nacionalnom dodatku smije se odrediti postupak za proračun koeficijenata vanjskog tlaka za ploštine veće od 1 m^2 temeljeno na koeficijentima vanjskog tlaka $c_{pe,1}$ i $c_{pe,10}$. Preporučeni postupak za opterećene ploštine do 10 m^2 prikazan je na slici 7.2(N).



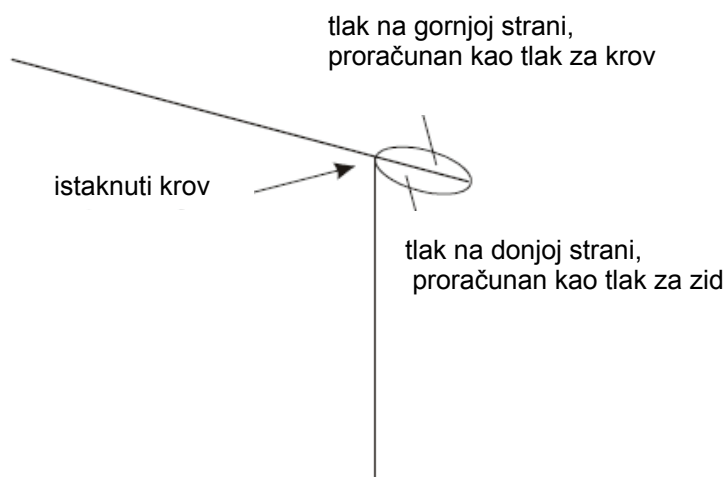
Slika se temelji na sljedećem:

$$\text{za } 1 \text{ m}^2 < A < 10 \text{ m}^2 \quad c_{pe} = c_{pe,1} - (c_{pe,1} - c_{pe,10}) \log_{10} A$$

Slika 7.2(N) – Preporučeni postupak određivanja koeficijenta vanjskog tlaka c_{pe} za zgrade s opterećenom ploštinom između 1 m^2 i 10 m^2

(2) Vrijednosti koeficijenata $c_{pe,1}$ i $c_{pe,10}$ u tablicama 7.1 do 7.5 treba upotrebljavati za ortogonalne smjerove vjetra 0° , 90° i 180° . Te vrijednosti predstavljaju najnepovoljnije vrijednosti dobivene u rasponu smjera vjetra $\theta = \pm 45^\circ$ na svaku stranu od odgovarajućega ortogonalnog smjera.

(3)^{NB 6)} Za istaknute dijelove krova, tlak na donjoj strani strehe jednak je tlaku na području vertikalnog zida neposredno ispod istaka krova; tlak na gornjoj strani strehe jednak je tlaku proračunanom za krov.



Slika 7.3 – Prikaz odgovarajućih tlakova za istake krovova

7.2.2 Vertikalni zidovi zgrada s pravokutnim tlocrtom

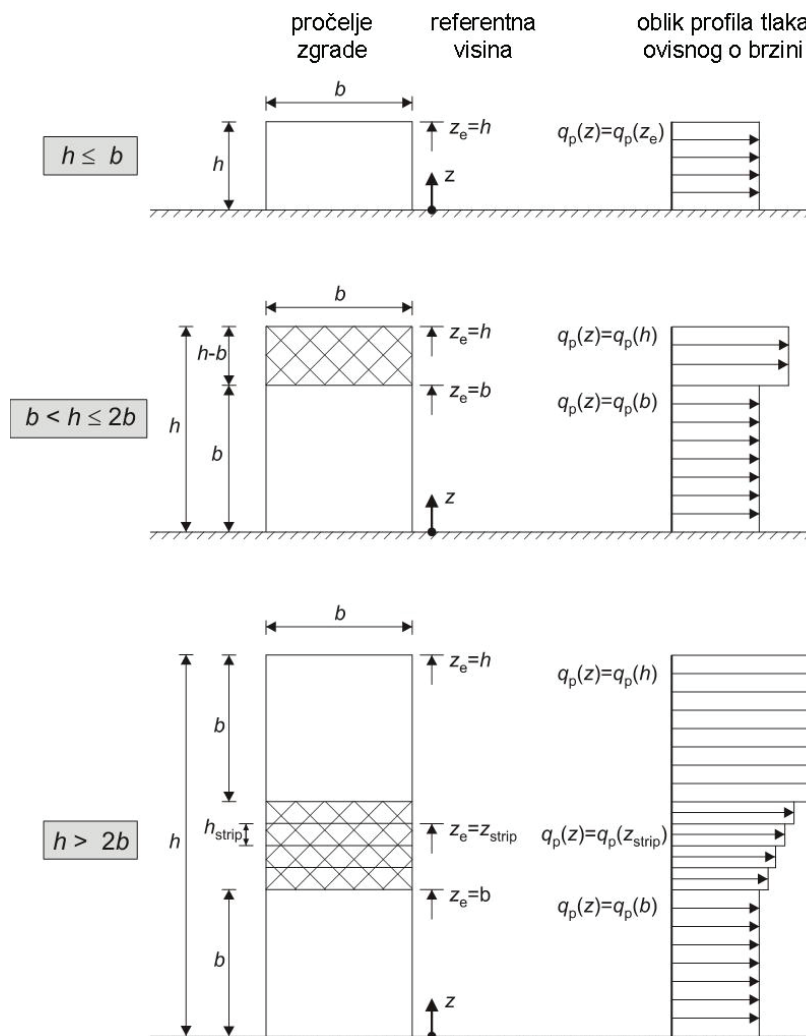
(1) Referentne visine, z_e , za zidove zgrada s pravokutnim tlocrtom na strani vjetra (područje D, vidjeti sliku 7.5) ovise o omjeru h/b i uvijek se odnose na gornji rub odgovarajućih dijelova zida. Referentne visine prikazane su na slici 7.4 za naredna tri slučaja:

- zgrade čija je visina h manja od b , proračunavaju se kao da se sastoje od jednog dijela
- zgrade čija je visina h veća od b , ali manja od $2b$, smiju se proračunati kao da se sastoje od dvaju dijelova koji obuhvaćaju: donji dio koji se proteže od tla do visine jednake b i gornji dio koji čini ostatak visine zida

^{NB 6)} Nacionalna bilješka: Zbog očite pogreške u izvorniku, broj (2) zamijenjen je brojem (3)

- zgrade čija je visina h veća od $2b$ smiju se proračunati kao da se sastoje od više dijelova koji obuhvaćaju: donji dio koji se proteže od tla prema gore, do visine jednake b ; gornji dio koji se proteže od vrha prema dolje i visina mu je jednaka b i srednje područje, između gornjeg i donjeg dijela, koje se smije podijeliti u horizontalne trakove visine h_{strip} kao što je pokazano na slici 7.4.

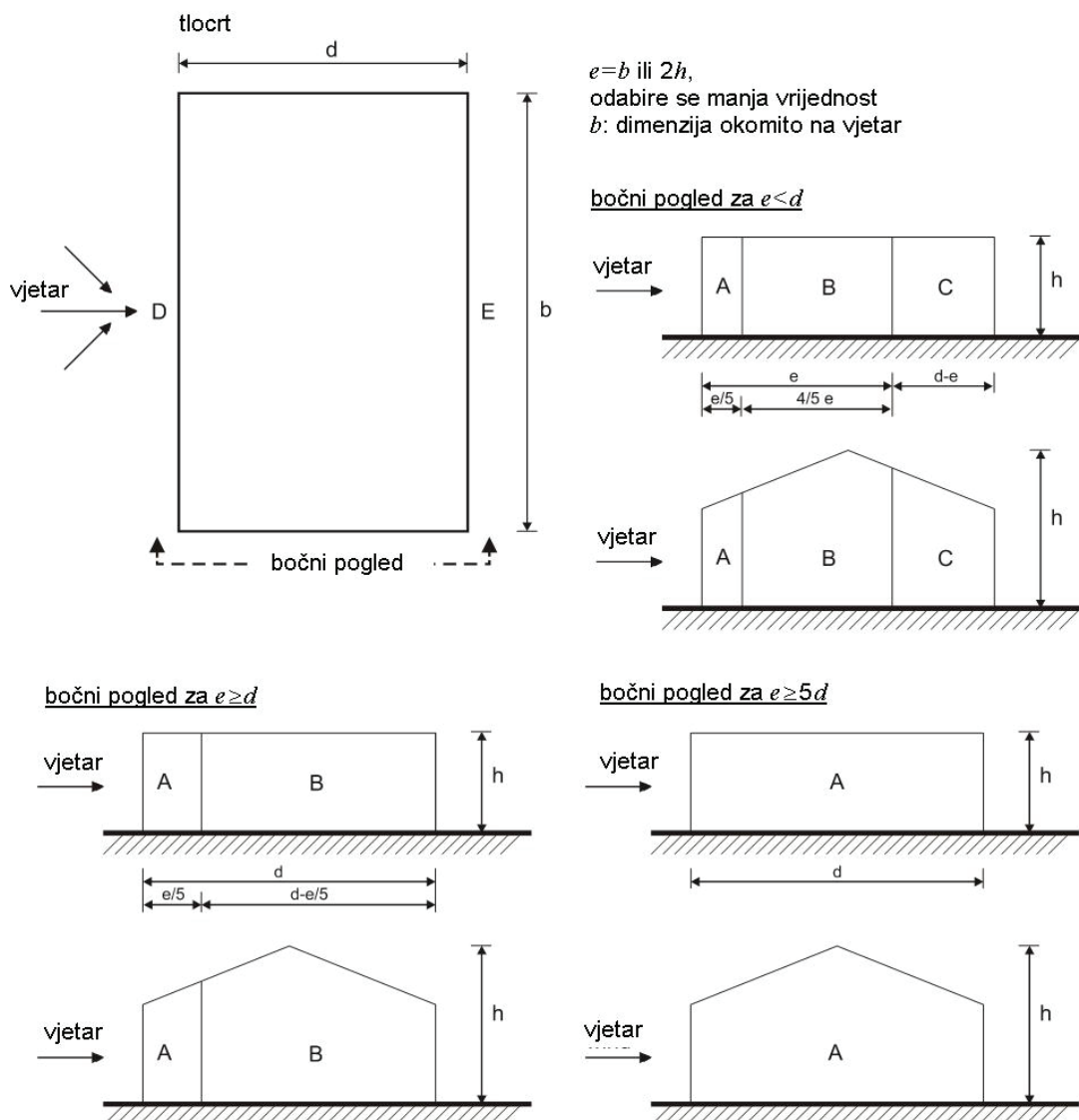
NAPOMENA: Pravila za raspodjelu tlaka zavisnog o brzini na zidove u zavjtrini i bočne zidove (područja A, B, C i E, vidjeti sliku 7.5) smiju se odrediti u nacionalnom dodatku ili za pojedini projekt. Preporučeni postupak je da se za referentnu visinu uzme visina zgrade.



NAPOMENA: Treba pretpostaviti da je tlak ovisan o brzini jednoliko raspodijeljen na svakom razmatranom horizontalnom traku.

Slika 7.4 – Referentna visina, z_e , ovisna o h i b , i odgovarajuća raspodjela profila tlaka ovisnog o brzini

(2) Koeficijenti vanjskog tlaka $c_{pe,10}$ i $c_{pe,1}$ za područja A, B, C, D i E određeni su na slici 7.5.



Slika 7.5 – Legenda za vertikalne zidove

NAPOMENA: Vrijednosti koeficijenta $c_{pe,10}$ i $c_{pe,1}$ smiju se odrediti u nacionalnom dodatku. Preporučene vrijednosti navedene su u tablici 7.1(N) u ovisnosti o omjeru h/d . Za međuvrijednosti h/d smije se upotrebljavati linearna interpolacija. Vrijednosti u tablici 7.1(N) također se upotrebljavaju za zidove zgrada s kosim krovovima, kao što su dvostrešni i jednosrešni krovovi.

Tablica 7.1(N) – Preporučene vrijednosti koeficijenta vanjskog tlaka za vertikalne zidove tlocrtno pravokutnih zgrada

Područje	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		+0,8	+1,0	-0,7	
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,5	
$\leq 0,25$	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,7	+1,0	-0,3	

NAPOMENA: Za zgrade čiji je omjer $h/d > 5$, ukupno opterećenje vjetrom smije se temeljiti na odredbama iz točaka 7.6 do 7.8 i 7.9.2.

(3) U slučajevima kada su sile vjetra koje djeluju na konstrukciju određene primjenom koeficijenata tlaka c_{pe} istovremeno na zidove zgrade izložene vjetru i zidove u zavjetrini (područja D i E), smije se uzeti u obzir manjak korelacije između tlakova vjetra na izloženoj strani i strani u zavjetrini.

NAPOMENA: Manjak korelacije između tlakova vjetra na izloženoj strani i strani u zavjetrini smije se uzeti u obzir kao u nastavku. Za zgrade s omjerima $h/d \geq 5$, ukupna sila množi se s 1. Za zgrade s omjerima $h/d \leq 1$, ukupna sila množi se s 0,85. Za međuvrijednosti h/d smije se upotrebljavati linearna interpolacija.

7.2.3 Ravni krovovi

(1) Kao ravni krovovi definirani su oni koji imaju kosinu (α) – $5^\circ < \alpha < 5^\circ$.

A1

(2) Krov treba podijeliti na područja.

NAPOMENA: Područja se smiju definirati u nacionalnom dodatku. Preporučena područja dana su na slici 7.6. **A1**

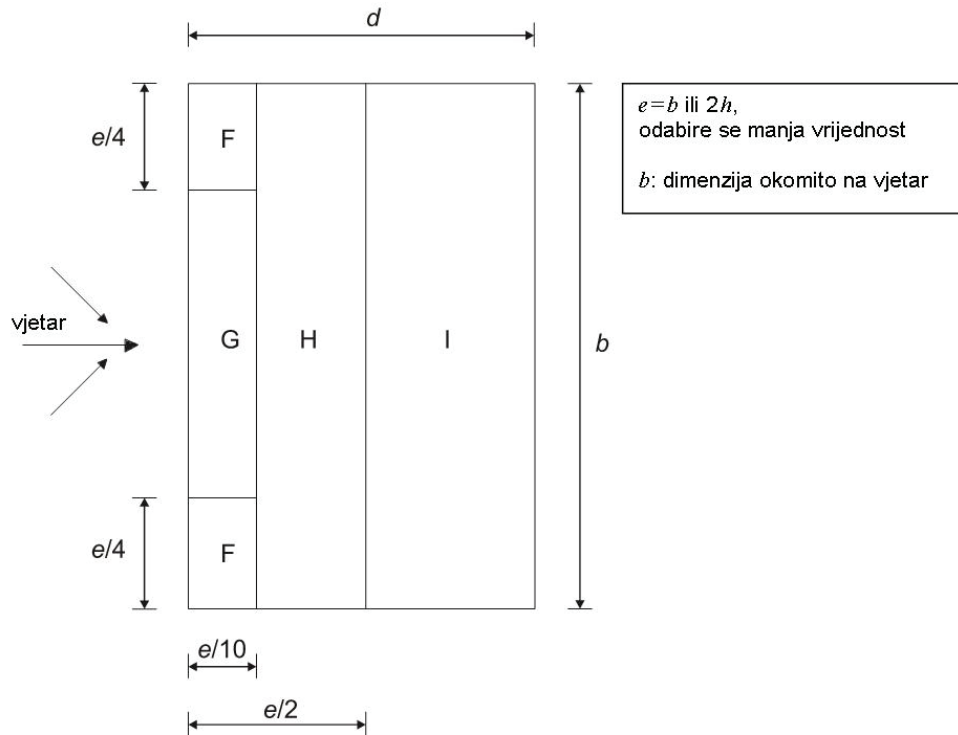
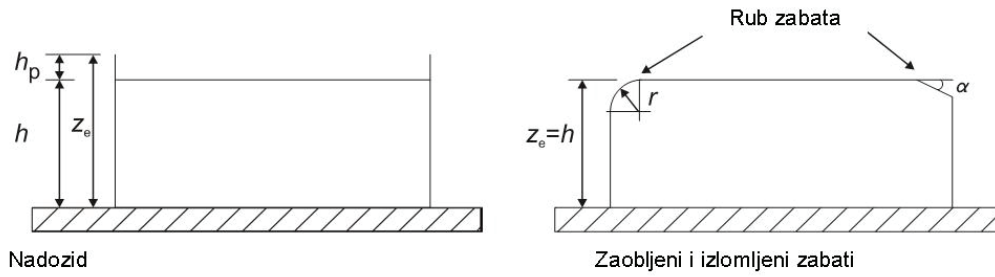
(3) Za referentnu visinu za ravne krovove i krovove sa zaobljenim ili izlomljenim zabatima, treba uzeti h . Za referentnu visinu za ravne krovove s nadozidima, treba uzeti $h + h_p$, vidjeti sliku 7.6.

A1

(4) Koeficijente tlaka treba definirati za svako područje.

NAPOMENA 1: Koeficijenti tlaka smiju se utvrditi u nacionalnom dodatku. Preporučene vrijednosti dane su u tablici 7.2(N)

NAPOMENA 2: Koeficijent ukupnog tlaka za parapet treba odrediti prema točki 7.4. **A1**



Slika 7.6 – Legenda za ravne krovove

A1) Tablica 7.2(N) – Preporučene vrijednosti koeficijenta vanjskog tlaka za ravne krovove

Vrsta krova		Područje							
		F		G		H		I	
		$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
Oštri zabati		-1,8	-2,5	-1,2	-2,0	-0,7	-1,2	+0,2	-0,2
S nadozidima	$h_p/h = 0,025$	-1,6	-2,2	-1,1	-1,8	-0,7	-1,2	+0,2	-0,2
	$h_p/h = 0,05$	-1,4	-2,0	-0,9	-1,6	-0,7	-1,2	+0,2	-0,2
	$h_p/h = 0,10$	-1,2	-1,8	-0,8	-1,4	-0,7	-1,2	+0,2	-0,2
Zaobljeni zabati	$r/h = 0,05$	-1,0	-1,5	-1,2	-1,8	-0,4		+0,2	-0,2
	$r/h = 0,10$	-0,7	-1,2	-0,8	-1,4	-0,3		+0,2	-0,2
	$r/h = 0,20$	-0,5	-0,8	-0,5	-0,8	-0,3		+0,2	-0,2
Izlomljeni zabati	$\alpha = 30^\circ$	-1,0	-1,5	-1,0	-1,5	-0,3		+0,2	-0,2
	$\alpha = 45^\circ$	-1,2	-1,8	-1,3	-1,9	-0,4		+0,2	-0,2
	$\alpha = 60^\circ$	-1,3	-1,9	-1,3	-1,9	-0,5		+0,2	-0,2

NAPOMENA 1: Za krovove s nadozidima ili zaobljenim zabatima, smije se upotrebljavati linearna interpolacija za međuvrijednosti h_p/h i r/h .

NAPOMENA 2: Za krovove s izlomljenim zabatima, smije se upotrebljavati linearna interpolacija između $\alpha = 30^\circ$, 45° i $\alpha = 60^\circ$. Za $\alpha > 60^\circ$ smije se upotrebljavati linearna interpolacija između vrijednosti za $\alpha = 60^\circ$ i vrijednosti za ravne krovove s oštrim (izlomljenim) zabatima.

NAPOMENA 3: U području I, gdje su dane i pozitivne i negativne vrijednosti, u obzir **A1)** treba **A1)** uzeti obje vrijednosti.

NAPOMENA 4: Za sami izlomljeni zabat, koeficijenti vanjskog tlaka dani su u tablici 7.4a „Koeficijenti vanjskog tlaka za dvostrešne krovove; smjer vjetra 0° “, područje F i G, ovisno o nagibu izlomljenog zabata.

NAPOMENA 5: Za sami zaobljeni zabat, koeficijenti vanjskog tlaka dani su linearnom interpolacijom duž krivulje, između vrijednosti na zidu i na krovu.

A1) NAPOMENA 6: Za mansardne strehe čije su horizontalne dimenzije manje od $e/10$ treba uzeti vrijednosti za oštre strehe. Za definiciju e vidjeti sliku 7.6 **A1)**

A1)

7.2.4 Jednostrešni krovovi

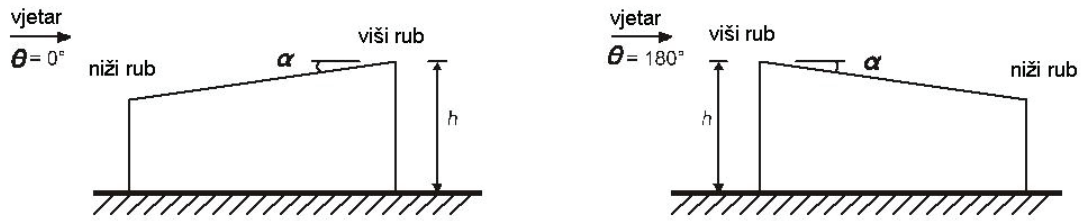
A1) (1) Krov, uključujući i njegove istaknute dijelove, treba podijeliti na područja.

NAPOMENA: Područja se smiju definirati u nacionalnom dodatku. Preporučena područja dana su na slici 7.7.

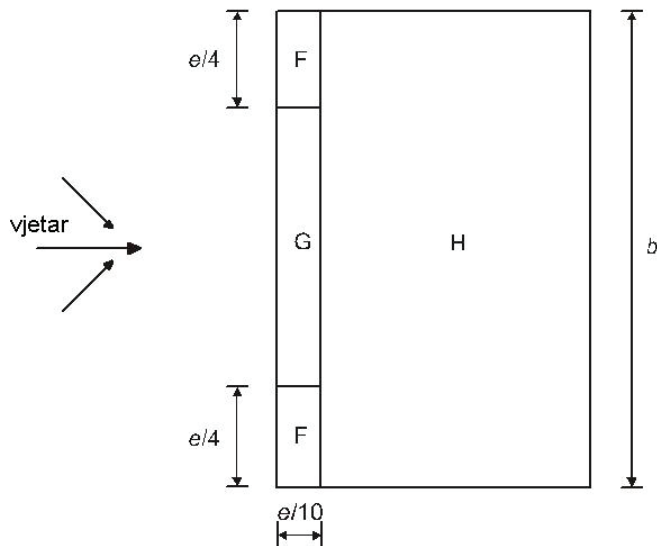
(2) Referentnu visinu z_c treba uzeti jednaku h .

(3) Koeficijente tlaka za svako područje treba definirati za svako područje.

NAPOMENA: Koeficijenti tlaka smiju se odrediti u nacionalnom dodatku. Preporučene vrijednosti dane su u tablicama 7.3a(N) i 7.3b(N). **A1)**



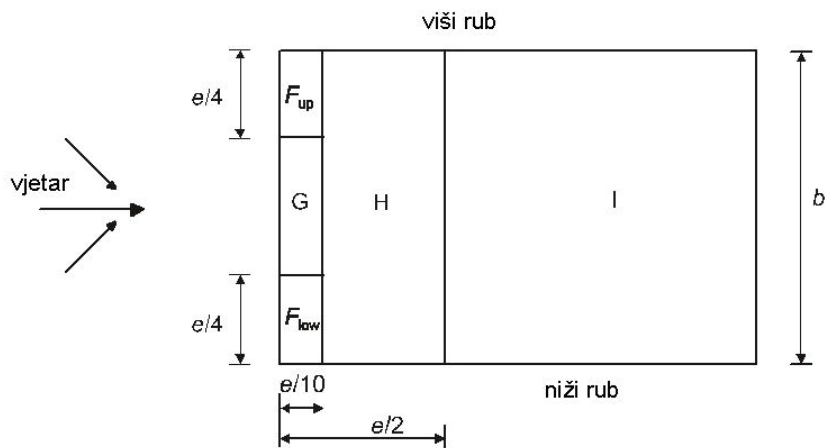
(a) općenito



(b) smjerovi vjetra $\theta=0^\circ$ i $\theta=180^\circ$

$e=b$ ili $2h$,
 odabire se manja vrijednost

b : dimenzija okomito na vjetar



(c) smjer vjetra $\theta=90^\circ$

Slika 7.7 – Legenda za jednostrešne krovove

A1) Tablica 7.3a(N) – Preporučene vrijednosti koeficijenata vanjskog tlaka za jednostrešne krovove

Nagib α	Područje za smjer vjetra $\theta = 0^\circ$						Područje za smjer vjetra $\theta = 180^\circ$					
	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
	+0,0		+0,0		+0,0							
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°	-0,0		-0,0		-0,0		-0,6	-1,3	-0,5		-0,7	
	+0,7		+0,7		+0,6							
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	

A1) Tablica 7.3b(N) – Preporučene vrijednosti koeficijenata vanjskog tlaka za jednostrešne krovove

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

NAPOMENA 1: Pri $\theta = 0^\circ$ (vidjeti tablicu (a)) tlak se naglo mijenja između pozitivnih i negativnih vrijednosti oko nagiba $\alpha = +5^\circ$ do $+45^\circ$, stoga su navedene i pozitivne i negativne vrijednosti. Za takve krovove treba uzeti u obzir dva slučaja: jedan sa svim pozitivnim vrijednostima i jedan sa svim negativnim vrijednostima. Ne dopušta se miješanje pozitivnih i negativnih vrijednosti na jednom pročelju.

NAPOMENA 2: Za međuvrijednosti nagiba smije se upotrebljavati linearna interpolacija između vrijednosti istog predznaka. Vrijednosti 0,0 dane su za potrebe interpolacije.

A1

7.2.5 Dvostrešni krovovi



(1) Krov, uključujući i njegove istaknute dijelove, treba podijeliti na područja

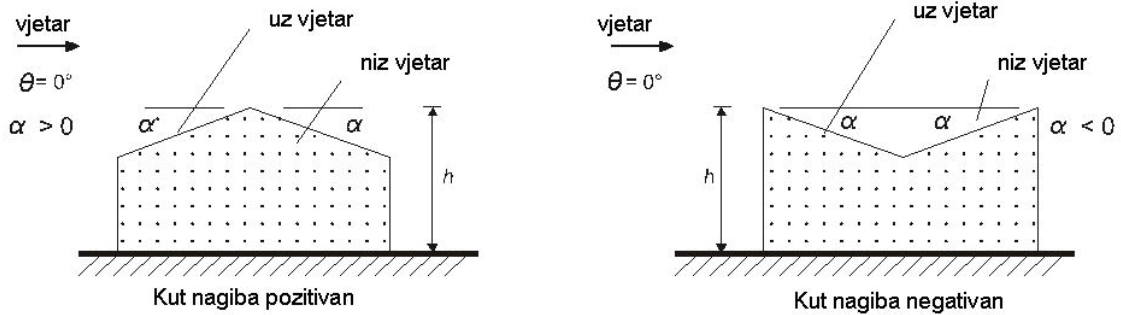
NAPOMENA: Područja se smiju definirati u nacionalnom dodatku. Preporučena područja dana su na slici 7.8.

(2) Referentnu visinu z_e treba uzeti jednaku h .

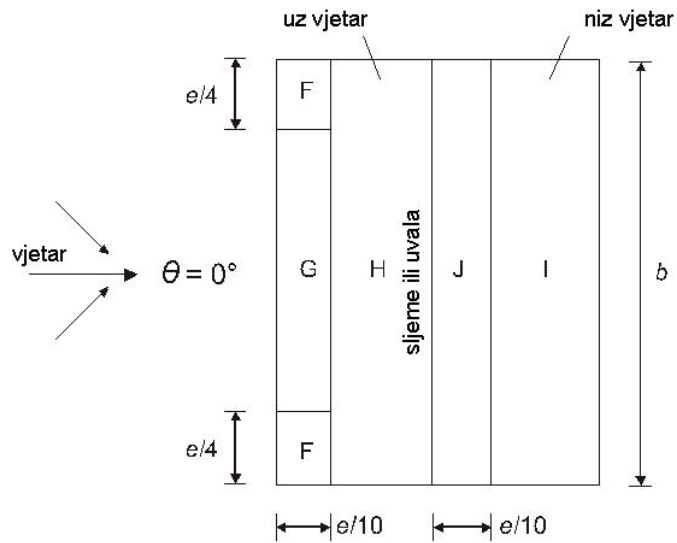
(3) Koeficijente tlaka treba definirati za svako područje.

NAPOMENA: Koeficijenti tlaka smiju se odrediti u nacionalnom dodatku. Preporučene vrijednosti dane su u tablicama 7.4a(N) i 7.4b(N).





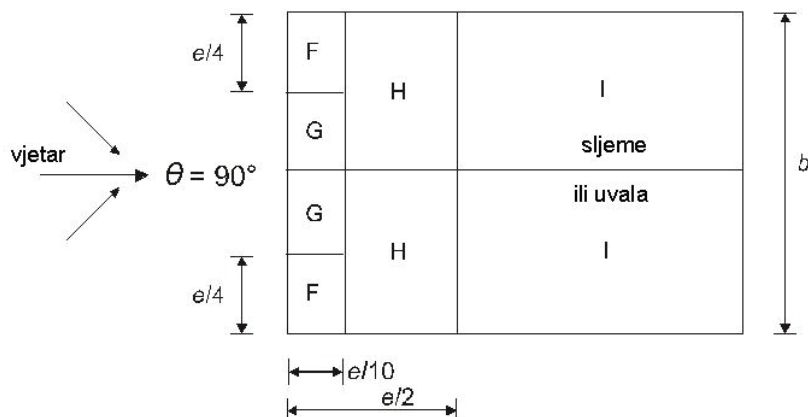
(a) općenito



(b) smjer vjetra $\theta=0^\circ$

$e=b$ ili $2h$,
odabire se manja vrijednost

b : dimenzija okomito na vjetar



(c) smjer vjetra $\theta=90^\circ$

Slika 7.8 – Legenda za dvostrešne krovove

A1) Tablica 7.4a(N) – Preporučene vrijednosti koeficijenta vanjskog tlaka za dvostrešne krovove

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

NAPOMENA 1: Pri $\theta = 0^\circ$ tlak se naglo mijenja između pozitivnih i negativnih vrijednosti na strani uz vjetar oko kuta $\alpha = -5^\circ$ do $+45^\circ$, stoga su navedene i pozitivne i negativne vrijednosti. Za takve krovove treba uzeti u obzir četiri slučaja gdje su najmanje vrijednosti svih područja F, G i H kombinirane s najvećim ili najmanjim vrijednostima područja I i J. Nije dopušteno miješanje pozitivnih i negativnih vrijednosti na istom pročelju.

NAPOMENA 2: Smije se upotrebljavati linearna interpolacija vrijednosti istog predznaka za međuvrijednosti kutova nagiba istog predznaka. (Ne interpolira se za kutove između $\alpha = -5^\circ$ i $\alpha = +5^\circ$ već se upotrebljavaju podaci za ravne krovove iz točke 7.2.3). Vrijednosti 0,0 dane su za potrebe interpolacije.

A1

A1) Tablica 7.4b(N) – Preporučene vrijednosti koeficijenta vanjskog tlaka za dvostrešne krovove

Nagib α	Područje za smjer vjetra $\theta = 90^\circ$							
	F		G		H		I	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
-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	-0,6	
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	

A1

7.2.6 Zakošeni dvostrešni krovovi

A1)

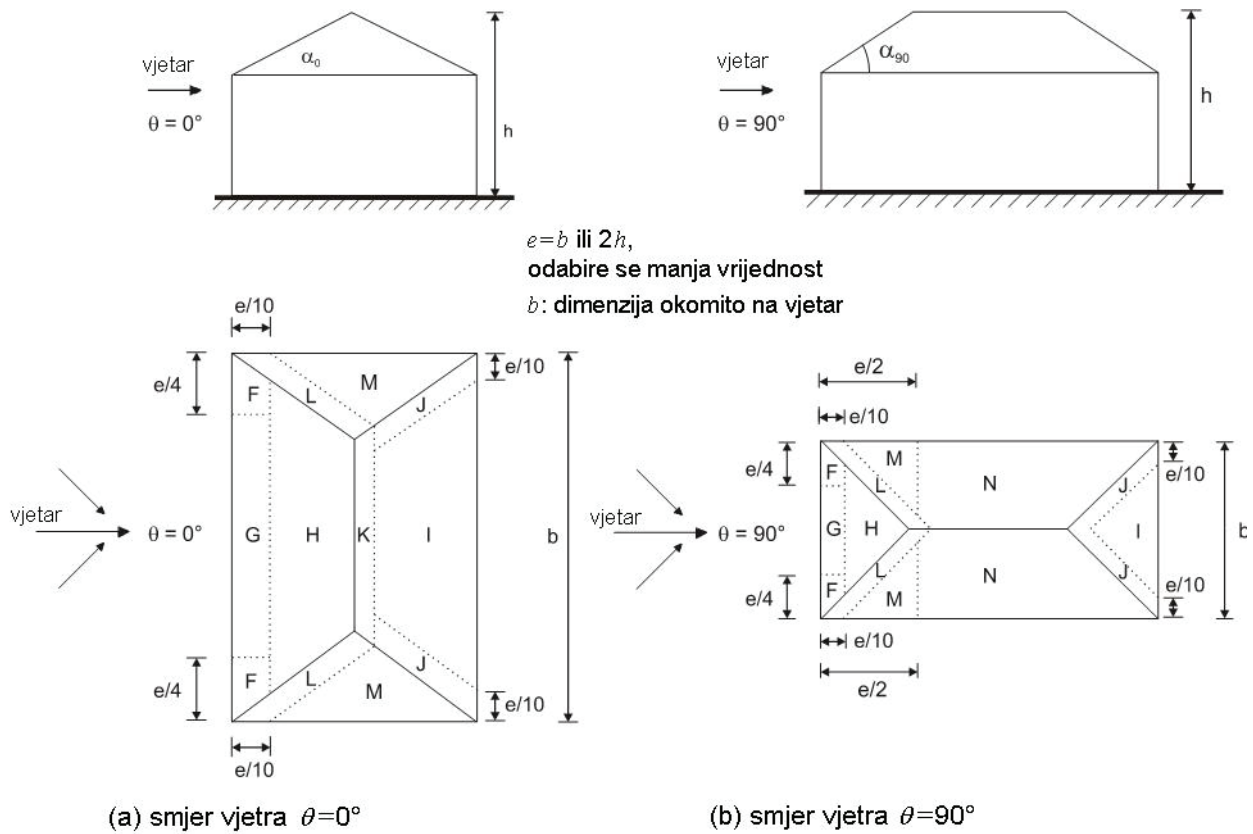
(1) Krov, uključujući i njegove istaknute dijelove, treba podijeliti na područja

NAPOMENA: Područja se smiju definirati u nacionalnom dodatku. Preporučena područja dana su na slici 7.9.

(2) Referentnu visinu z_e treba uzeti jednaku h .

(3) Koeficijente tlaka treba definirati za svako područje.

NAPOMENA: Koeficijenti tlaka smiju se odrediti u nacionalnom dodatku. Preporučene vrijednosti dane su u tablici 7.5(N). A1



Slika 7.9 – Legenda za zakošene dvostrešne krovove

A1 Tablica 7.5(N) – Preporučene vrijednosti koeficijenata vanjskog tlaka za zakošene dvostrešne krovove zgrada

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

NAPOMENA 1: Pri $\theta = 0^\circ$ tlak se naglo mijenja između pozitivnih i negativnih vrijednosti na strani uz vjetar oko nagiba $\alpha = +5^\circ$ do $+45^\circ$, stoga su navedene i pozitivne i negativne vrijednosti. Za takve krovove treba uzeti u obzir dva slučaja: jedan sa svim pozitivnim vrijednostima i jedan sa svim negativnim vrijednostima. Ne dopušta se miješanje pozitivnih i negativnih vrijednosti na jednom pročelju.

NAPOMENA 2: Za međuvrijednosti nagiba, smije se upotrebljavati linearna interpolacija za nagibe istog predznaka. Vrijednosti 0,0 dane su za potrebe interpolacije.

NAPOMENA 3: Nagib strane uz vjetar uvijek određuje koeficijente tlaka.

A1

7.2.7 Višerasponski krovovi

(1) Koeficijenti tlaka za smjerove vjetra 0° , 90° i 180° za svaki raspon višerasponskog krova smiju se odrediti iz koeficijenata tlaka za svaki pojedini raspon.

Faktore prilagodbe tlakova (lokalni i globalni) za smjerove vjetra 0° i 180° na svakom rasponu treba odrediti iz:

- točke 7.2.4 za jednostrešne krovove, prilagođeni za njihov položaj, prema slici 7.10a i b
- točke 7.2.5 za dvostrešne krovove za $\alpha < 0^\circ$, prilagođeni za njihov položaj, prema slici 7.10c i d.

(2) Područja F/G/J treba uzeti u obzir samo za stranu uz vjetar. Područja H i I treba uzeti u obzir za svaki raspon višerasponskog krova.

(3) Referentnu visinu z_e treba uzeti jednaku visini konstrukcije, h , vidjeti sliku 7.10.

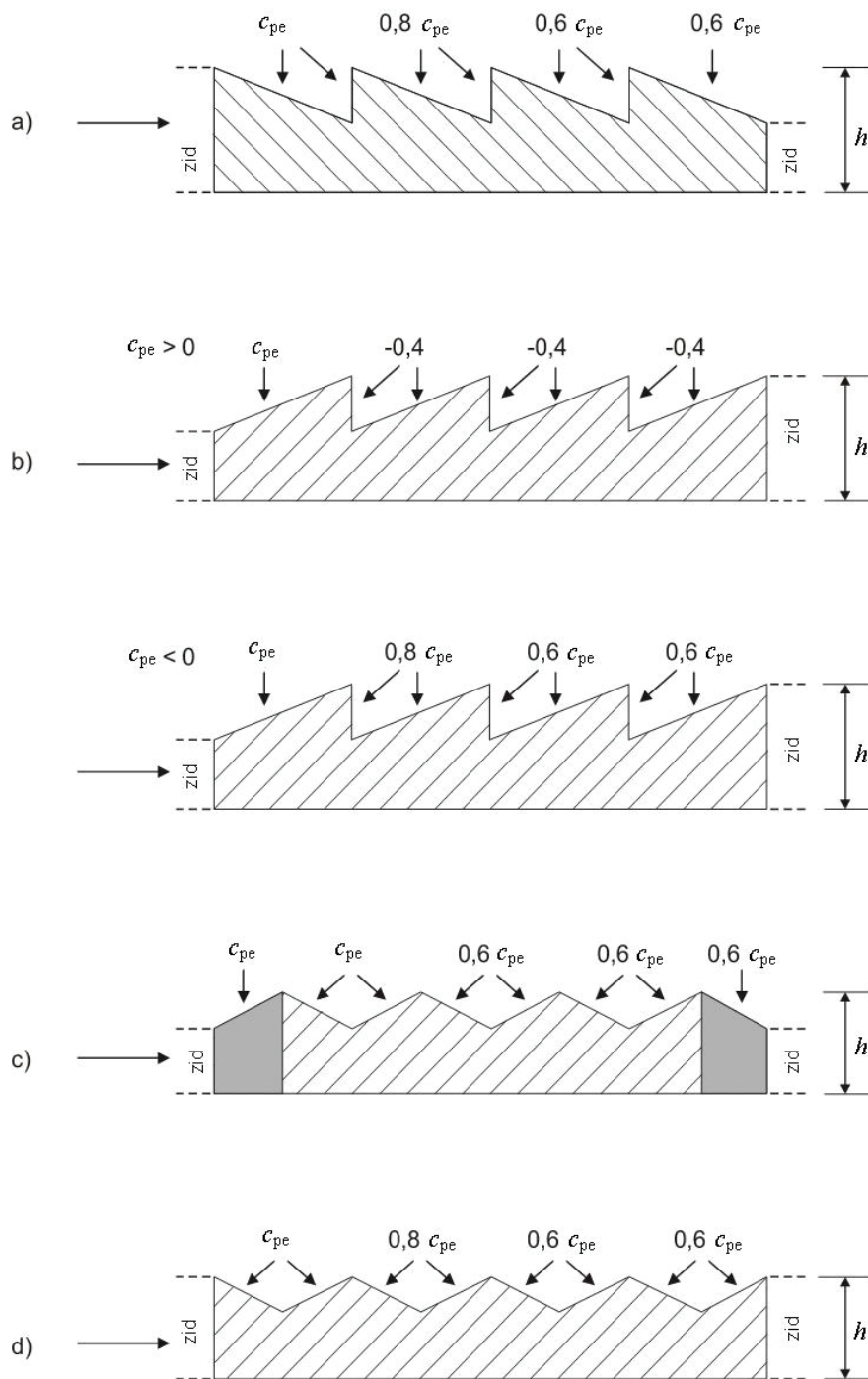
A1

(4) Za višerasponske krovove, kada nema porasta ukupne horizontalne sile, za djelovanja vjetra okomito na plohe višerasponskih krovova, treba uzeti najmanji faktor hrapavosti 0,05 (neovisno o hrapavosti konstrukcije). Stoga svaki višerasponski krov mora biti proračunan na sljedeću najmanju ukupnu horizontalnu silu:

$$0,05 q_{p,z_e} A_{Shed}$$

gdje je:

A_{Shed} ploština osnovice svakog višerasponskog krova. **A1**



NAPOMENA 1: Za postavu pod b), treba razmotriti dva slučaja, ovisno o predznaku koeficijenta tlaka c_{pe} na prvom krovu.

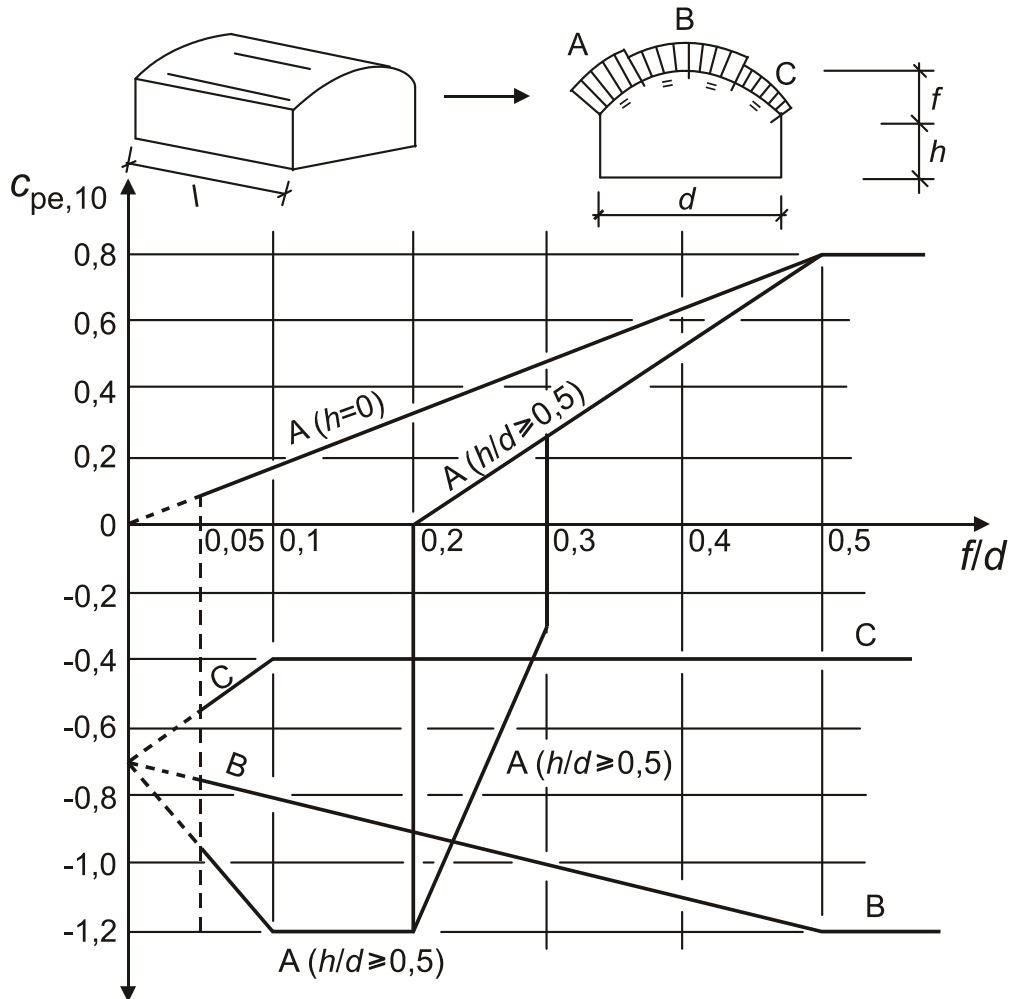
NAPOMENA 2: Za postavu pod c), prvi c_{pe} je c_{pe} za jednostrešni krov, drugi i svi sljedeći c_{pe} su c_{pe} za dvostrešne krovove s uvalom.

Slika 7.10 – Legenda za višestrešne krovove

7.2.8 Valjkasti krovovi i kupole

(1) Ovaj dio se primjenjuje na kružne valjkaste krovove i kupole.

NAPOMENA: Vrijednosti koeficijenata $c_{pe,10}$ i $c_{pe,1}$ koje treba upotrebljavati za kružne valjkaste krovove i kupole smiju se odrediti u nacionalnom dodatku. Preporučene vrijednosti za $c_{pe,10}$ za različita područja prikazane su na slikama 7.11(N) i 7.12(N). Referentnu visinu treba uzeti $z_e = h + f$.

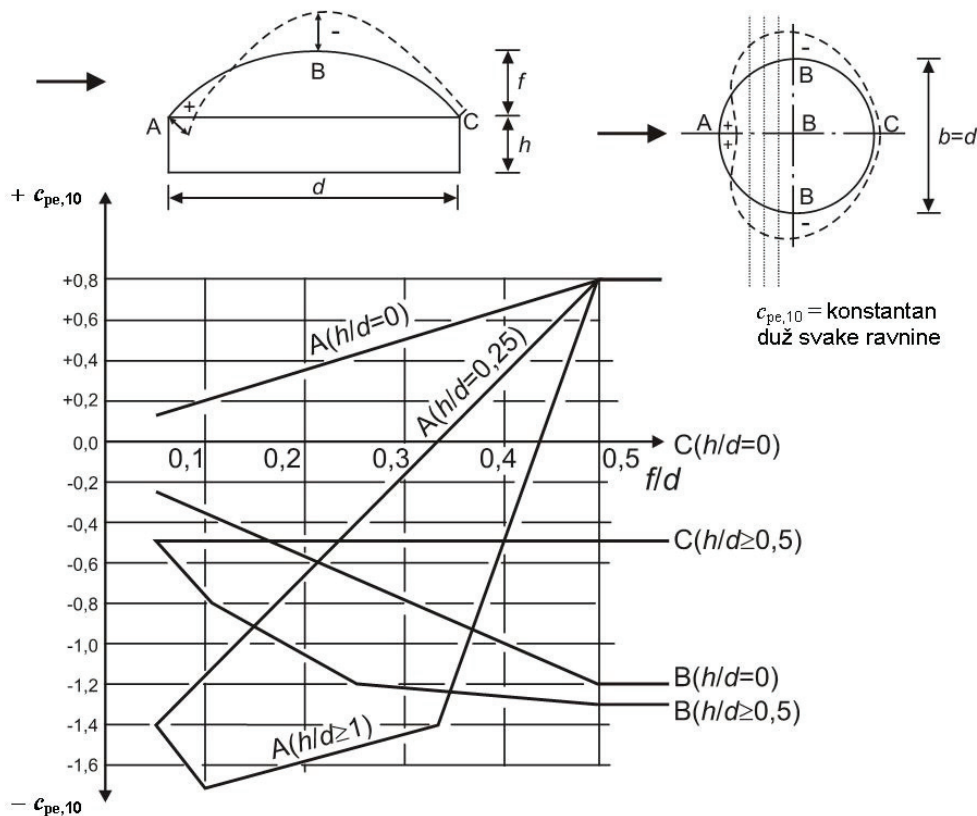


AC

Za područje A:

- za $0 < h/d < 0,5$, koeficijent $c_{pe,10}$ određuje se linearnom interpolacijom
- za $0,2 \leq f/d \leq 0,3$ i $h/d \geq 0,5$ treba uzeti u obzir dvije vrijednosti koeficijenta $c_{pe,10}$
- dijagram nije primjenjiv za ravne krovove. AC

Slika 7.11 – Preporučene vrijednosti koeficijenata vanjskog tlaka $c_{pe,10}$ za valjkaste krovove s pravokutnom osnovicom



Koeficijent $c_{pe,10}$ je konstantan duž kružnica, na presjecištima kugle i ravnina okomitih na vjetar; kao prva približna vrijednost može se odrediti linearnom interpolacijom između vrijednosti A, B i C duž kružnica paralelnih s vjetrom. Na isti način, linearnom interpolacijom na slici iznad, mogu se pronaći vrijednosti koeficijenta $c_{pe,10}$ u A ako je $0 < h/d < 1$ i u B ili C ako je $0 < h/d < 0,5$.

Slika 7.12 – Preporučene vrijednosti koeficijenata vanjskog tlaka $c_{pe,10}$ za kupole s kružnom osnovicom

(2) Koeficijente tlaka za zidove zgrada s pravokutnim tlocrtima i valjkastim krovovima treba uzeti prema točki 7.2.2.

7.2.9 Unutarnji tlak

(1) P Mora se uzeti u obzir da unutarnji i vanjski tlakovi djeluju u isto vrijeme. Najgora kombinacija vanjskih i unutarnjih tlakova mora se razmotriti za svaku kombinaciju mogućih otvora i ostalih putova istjecanja.

(2) Vrijednost koeficijenta unutarnjeg tlaka, c_{pi} , ovisi o veličini i rasporedu otvora u ovojnici zgrade. Kada je na najmanje dvije strane zgrade (pročelja ili krov) ukupna ploština otvora na svakoj strani veća od 30 % ploštine te strane, djelovanja na konstrukciju ne treba proračunavati prema pravilima iz ovog dijela već treba upotrebljavati točke 7.3 i 7.4.

NAPOMENA: Otvori zgrade obuhvaćaju male otvore, kao što su: otvoreni prozori, ventilatori, dimnjaci i sl., kao i pozadinsku propusnost poput istjecanja oko vrata, prozora, instalacija i kroz ovojnicu zgrade. Pozadinska propusnost je obično unutar raspona 0,01 % do 0,1 % ploštine pročelja. U nacionalnom dodatku smiju se dati dodatni podaci.

(3) Kada bi utjecaj vanjskog otvora, kao što je vrata ili prozor, bio prevladavajući u slučaju da je otvoren, ali se smatra da je zatvoren za granično stanje nosivosti, tijekom jakih oluja, situaciju s otvorenim vratima ili prozorom treba uzeti kao izvanrednu proračunsku situaciju u skladu s normom EN 1990.

NAPOMENA: Provjera za izvanrednu proračunsku situaciju je važna za visoke unutarnje zidove (s velikim rizikom od opasnosti) kada zid mora prenijeti puno vanjsko djelovanje vjetra zbog otvora u ovojnici zgrade.

(4) Pročelje zgrade treba smatrati prevladavajućim kada je ploština otvora na tom pročelju najmanje dvostruko veća od ploštine otvora i istjecanja na ostalim pročeljima zgrade.

NAPOMENA: To se može primijeniti i na pojedine obujme unutar zgrade.

(5) Za zgrade s prevladavajućim pročeljem, unutarnji tlak treba uzeti da je postotak vanjskog tlaka na otvorima prevladavajućeg pročelja. Treba upotrebljavati vrijednosti dane u izrazima (7.1) i (7.2).

Kada je ploština otvora na prevladavajućem pročelju dvostruko veća od ploštine otvora na svim drugim pročeljima, tada je koeficijent unutarnjeg tlaka

$$c_{pi} = 0,75 c_{pe} \quad (7.1)$$

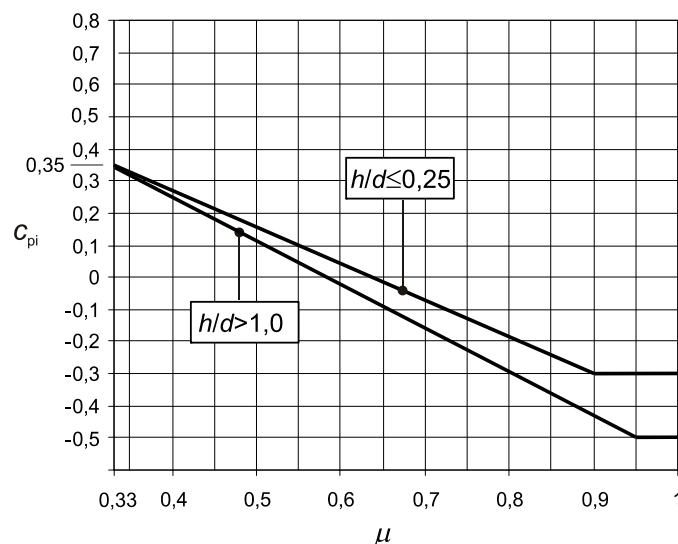
Kada je ploština otvora na prevladavajućem pročelju barem tri puta veća od ploštine otvora na svim drugim pročeljima, tada je koeficijent unutarnjeg tlaka

$$c_{pi} = 0,90 c_{pe} \quad (7.2)$$

gdje je c_{pe} vrijednost koeficijenta vanjskog tlaka na otvorima prevladavajućeg pročelja. Kada su ti otvori smješteni u područjima s različitim vrijednostima vanjskog tlaka, treba upotrebljavati vaganu prosječnu vrijednost koeficijenta c_{pe} .

Kada je ploština otvora na prevladavajućem pročelju između 2 i 3 ploštine otvora na preostalim pročeljima, smije se upotrebljavati linearna interpolacija za proračun koeficijenta c_{pi} .

(6) Za zgrade bez prevladavajućeg pročelja, koeficijent unutarnjeg tlaka c_{pi} treba odrediti iz slike 7.13. Koeficijent c_{pi} je funkcija omjera visine i dubine zgrade, h/d , i omjera otvora μ za svaki smjer vjetra θ , koji treba odrediti iz izraza (7.3).



NAPOMENA: Za vrijednosti između $h/d = 0,25$ i $h/d = 1,0$ smije se upotrebljavati linearna interpolacija.

Slika 7.13 – Koeficijenti unutarnjeg tlaka za jednoliko raspoređene otvore

$$\mu = \frac{\sum \text{ploština svih otvora gdje je } c_{pi} \text{ negativan ili } -0,0}{\sum \text{ploština svih otvora}} \quad (7.3)$$

NAPOMENA 1: Ovo se primjenjuje na pročelja i krov zgrada s unutarnjim zidovima i bez njih.

NAPOMENA 2: Tamo gdje za neki određeni slučaj nije moguća procjena vrijednosti μ ili ju se smatra neopravdanom, za c_{pi} treba odabrati nepovoljniju vrijednost između +0,2 i -0,3.

(7) Referentna visina z_i za unutarnje tlakove treba biti jednaka referentnoj visini z_e za vanjske tlakove (vidjeti točku 5.1(1)P) na pročeljima koja svojim otvorima doprinose stvaranju unutarnjeg tlaka. Ako postoji više otvora, treba upotrebljavati najveću vrijednost z_e za određivanje z_i .

(8) Vrijednost koeficijenta unutarnjeg tlaka za otvorene silose i dimnjake treba temeljiti na izrazu (7.4):

$$c_{pi} = - 0,60 \quad (7.4)$$

Vrijednost koeficijenta unutarnjeg tlaka za ventilirane spremnike s malim otvorima treba temeljiti na izrazu (7.5):

$$c_{pi} = - 0,40 \quad (7.5)$$

Referentna visina z_i jednaka je visini konstrukcije.

7.2.10 Tlak na zidove ili krovove koji imaju više od jedne ovojnice

(1) Silu vjetra treba proračunati odvojeno za svaku ovojnicu.

(2) Propusnost μ neke ovojnice određena je kao omjer ukupne ploštine otvora i ukupne ploštine ovojnice. Ovojnica se smatra nepropusnom ako je vrijednost μ manja od 0,1 %.

(3) Ako je samo jedna ovojnica propusna, tada silu vjetra na nepropusnu ovojnicu treba odrediti iz razlike vanjskog i unutarnjeg tlaka vjetra, kao što je opisano u točki 5.2(3). Ako je više od jedne ovojnice propusno, tada sila vjetra na svaku ovojnicu ovisi o:

- relativnoj krutosti ovojnice
- vanjskim i unutarnjim tlakovima
- razmaku između ovojnica
- propusnosti ovojnice
- otvorima na krajevima sloja koji se nalazi između ovojnica.

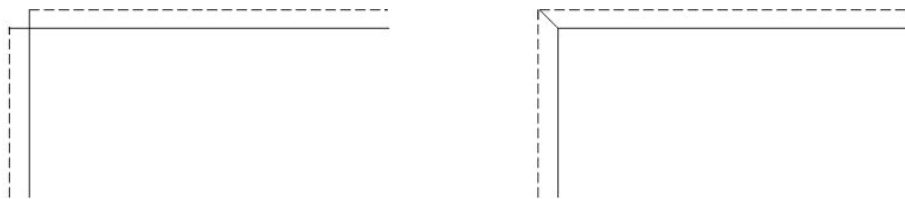
NAPOMENA 1: U nacionalnom dodatku smiju se odrediti vrijednosti za učinke vjetra na vanjske zidove i krovove koji imaju više od jedne ovojnice. Kao prva približna vrijednost preporučeno je da se tlak vjetra na najkruću ovojnicu smije uzeti kao razlika vanjskih i unutarnjih tlakova.

NAPOMENA 2: U nacionalnom dodatku smiju se odrediti pravila za slučajeve kada su krajevi sloja koji se nalazi između ovojnica nepropusni (slika 7.14(a)) i kada je slobodni razmak između ovojnica manji od 100 mm (materijal za toplinsku izolaciju obuhvaćen ovojnicom, kada nema toka zraka unutar izolacije). Kao prvo približenje, smiju se upotrebljavati sljedeća pravila:

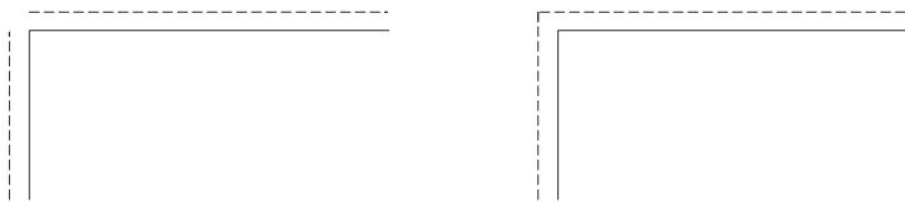
- za zidove i krovove s nepropusnom unutarnjom ovojnicom i propusnom vanjskom ovojnicom s približno jednoliko raspoređenim otvorima, sila vjetra na vanjsku ovojnicu smije se proračunati iz izraza $c_{p,net} = 2/3 c_{pe}$ za nadtlak i $c_{p,net} = 1/3 c_{pe}$ za podtlak. Sila vjetra na unutarnju ovojnicu smije se izračunati iz izraza $c_{p,net} = c_{pe} - c_{pi}$

- za zidove i krovove s nepropusnom unutarnjom ovojnicom i nepropusnom krućom vanjskom ovojnicom, sila vjetra na vanjsku ovojnicu smije se proračunati iz izraza $c_{p,net} = c_{pe} - c_{pi}$
- za zidove i krovove s propusnom unutarnjom ovojnicom s približno jednoliko raspoređenim otvorima i nepropusnom vanjskom ovojnicom, sila vjetra na vanjsku ovojnicu smije se proračunati iz izraza $c_{p,net} = c_{pe} - c_{pi}$ i sila vjetra na unutarnju ovojnicu iz izraza $c_{p,net} = 1/3 c_{pi}$
- za zidove i krovove s nepropusnom vanjskom ovojnicom i nepropusnom krućom unutarnjom ovojnicom, sila vjetra na vanjsku ovojnicu smije se proračunati iz izraza $c_{p,net} = c_{pe}$ i sila vjetra na unutarnju ovojnicu iz izraza $c_{p,net} = c_{pe} - c_{pi}$.

Ako ulazak zraka omogućava zračnom sloju prijenos učinaka na druga pročelja zgrade gdje se ne nalazi odgovarajući zid (slika 7.14(b)), tada ova pravila ne vrijede.



a) rubovi sloja koji se nalazi između ovojnica zatvoreni



b) rubovi sloja koji se nalazi između ovojnica otvoreni

Slika 7.14 – Detalji ugla za vanjske zidove koji imaju više od jedne ovojnice

7.3 Krovovi nadstrešnica

(1) Krov nadstrešnice definiran je kao krov konstrukcije koja nema stalne zidove, kao što su benzinske crpke, štagljevi i sl.

(2) Stupanj zatvorenosti (zapriječenosti) ispod krova nadstrešnice prikazan je na slici 7.15. On ovisi o zatvorenosti φ , koji predstavlja omjer ploštine vjerojatne, stvarne prepreke i ploštine poprečnog presjeka ispod nadstrešnice, gdje su obje ploštine u ravnini okomitoj na smjer vjetra.

NAPOMENA: $\varphi=0$ predstavlja praznu nadstrešnicu, a $\varphi=1$ predstavlja nadstrešnicu potpuno zatvorenu sadržajem na strani niz vjetar (to nije zatvorena zgrada).

(3) Sveukupni koeficijenti sile, c_f , i koeficijenti neto tlaka, $c_{p,net}$, dani u tablicama 7.6 do 7.8 za $\varphi=0$ i $\varphi=1$ obuhvaćaju kombinirane učinke vjetra koji djeluje i na gornje i na donje površine nadstrešnice, za sve smjerove vjetra. Međuvrijednosti se smiju pronaći linearnom interpolacijom.

(4) Na mjestima niz vjetar od položaja najveće zapriječenosti, treba upotrebljavati vrijednosti $c_{p,net}$ za $\varphi=0$.

(5) Sveukupni koeficijent sile predstavlja ukupnu silu. Koeficijent neto tlaka predstavlja najveći lokalni tlak za sve smjerove vjetra i treba ga upotrebljavati za proračun elemenata krova i učvršćenja.

(6) Svaka nadstrešnica treba biti sposobna prenijeti slučajeve opterećenja kao u nastavku:

A1

- za jednostrešne nadstrešnice (tablica 7.6), položaj središta tlaka treba definirati kao razmak od ruba izloženog vjetru

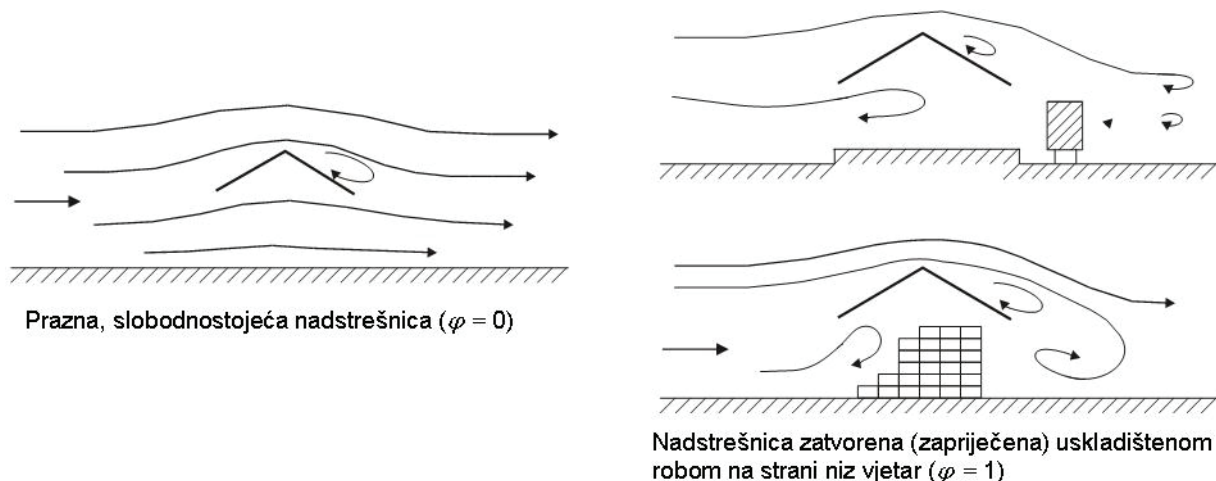
NAPOMENA: Položaj se smije navesti u nacionalnom dodatku. Preporučeni je položaj pokazan na slici 7.16(N). **A1**

- za dvostrešne nadstrešnice (tablica 7.7), središte tlaka treba uzeti u središtu svake kosine (slika 7.17). Osim toga, dvostrešna nadstrešnica treba biti sposobna prenijeti najveće ili najmanje opterećenje na jednoj kosini, dok je druga kosina neopterećena
- za dvostrešne nadstrešnice s više polja, opterećenje u svakoj uvali smije se proračunati primjenjujući faktor smanjenja ψ_{mc} naveden u tablici 7.8 na vrijednosti koeficijenta $c_{p,net}$ navedene u tablici 7.7.

Za nadstrešnice s dvostrukom ovojnicom, nepropusnu ovojnicu i njezina učvršćenja treba proračunati upotrebljavajući $c_{p,net}$, a propusnu ovojnicu i njezina učvršćenja s $1/3 c_{p,net}$.

(7) Treba uzeti u obzir sile trenja (vidjeti točku 7.5).

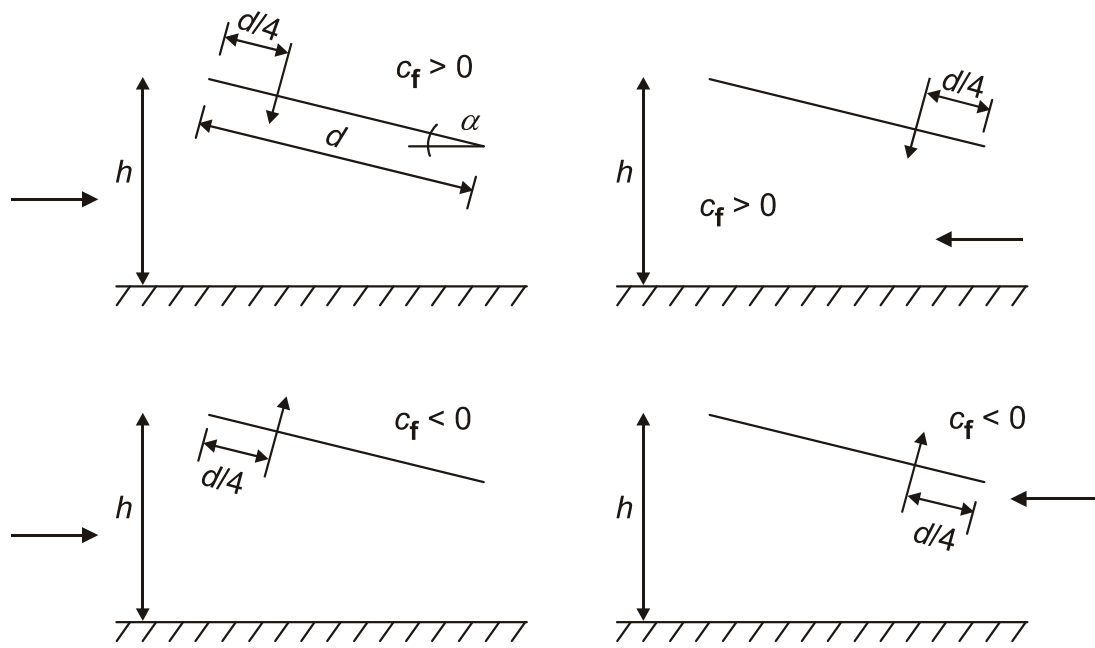
(8) Referentnu visinu z_e treba uzeti jednaku h kao što je pokazano na slikama 7.16(N) i 7.17.



Slika 7.15 – Tok zraka preko krovova nadstrešnica

Tablica 7.6 – Vrijednosti koeficijenata $c_{p,net}$ i c_f za jednostrešne nadstrešnice

		Koeficijenti neto tlaka $c_{p,net}$ tlocrt			
Nagib krova α	Zapriječenost φ	Koeficijenti sveukupne sile c_f	Područje A	Područje B	Područje C
0°	Najveća vrijednost, svi φ	+ 0,2	+ 0,5	+ 1,8	+ 1,1
	Najmanja vrijednost, $\varphi = 0$	- 0,5	- 0,6	- 1,3	- 1,4
	Najmanja vrijednost, $\varphi = 1$	- 1,3	- 1,5	- 1,8	- 2,2
5°	Najveća vrijednost, svi φ	+ 0,4	+ 0,8	+ 2,1	+ 1,3
	Najmanja vrijednost, $\varphi = 0$	- 0,7	- 1,1	- 1,7	- 1,8
	Najmanja vrijednost, $\varphi = 1$	- 1,4	- 1,6	- 2,2	- 2,5
10°	Najveća vrijednost, svi φ	+ 0,5	+ 1,2	+ 2,4	+ 1,6
	Najmanja vrijednost, $\varphi = 0$	- 0,9	- 1,5	- 2,0	- 2,1
	Najmanja vrijednost, $\varphi = 1$	- 1,4	AC - 1,6 AC	- 2,6	- 2,7
15°	Najveća vrijednost, svi φ	+ 0,7	+ 1,4	+ 2,7	+ 1,8
	Najmanja vrijednost, $\varphi = 0$	- 1,1	- 1,8	- 2,4	- 2,5
	Najmanja vrijednost, $\varphi = 1$	- 1,4	- 1,6	- 2,9	- 3,0
20°	Najveća vrijednost, svi φ	+ 0,8	+ 1,7	+ 2,9	+ 2,1
	Najmanja vrijednost, $\varphi = 0$	- 1,3	- 2,2	- 2,8	- 2,9
	Najmanja vrijednost, $\varphi = 1$	- 1,4	- 1,6	- 2,9	- 3,0
25°	Najveća vrijednost, svi φ	+ 1,0	+ 2,0	+ 3,1	+ 2,3
	Najmanja vrijednost, $\varphi = 0$	- 1,6	- 2,6	- 3,2	- 3,2
	Najmanja vrijednost, $\varphi = 1$	- 1,4	- 1,5	- 2,5	- 2,8
30°	Najveća vrijednost, svi φ	+ 1,2	+ 2,2	+ 3,2	+ 2,4
	Najmanja vrijednost, $\varphi = 0$	- 1,8	- 3,0	- 3,8	- 3,6
	Najmanja vrijednost, $\varphi = 1$	- 1,4	- 1,5	- 2,2	- 2,7
NAPOMENA: + vrijednosti označavaju neto djelovanje vjetra prema dolje - vrijednosti označavaju neto djelovanje vjetra prema gore					



Slika 7.16(N) – Položaj središta sile za jednostrešne nadstrešnice

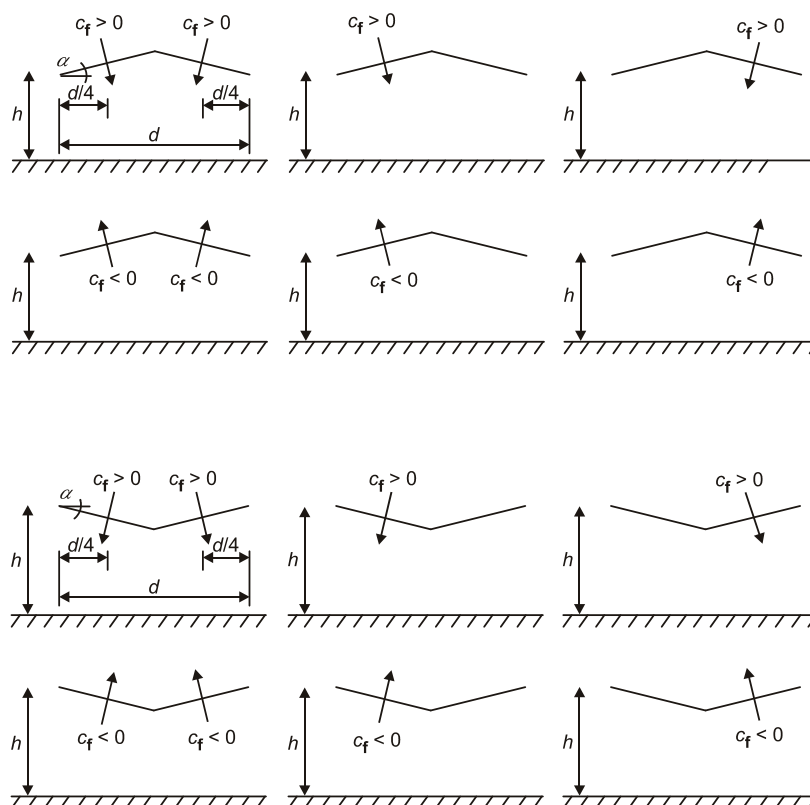
Tablica 7.7 – Vrijednosti koeficijenta $c_{p,net}$ i c_f za dvostrešne nadstrešnice

			Koeficijenti neto tlaka $c_{p,net}$ tlocrt			
Nagib krova α	Zapriječenost φ	Koeficijenti sveukupne sile c_f				
			Područje A	Područje B	Područje C	Područje D
- 20°	Najveća vrijednost, svi φ	+ 0,7	+ 0,8	+ 1,6	+ 0,6	+ 1,7
	Najmanja vrijednost, $\varphi = 0$	- 0,7	- 0,9	- 1,3	- 1,6	- 0,6
	Najmanja vrijednost, $\varphi = 1$	- 1,3	- 1,5	- 2,4	- 2,4	- 0,6
- 15°	Najveća vrijednost, svi φ	+ 0,5	+ 0,6	+ 1,5	+ 0,7	+ 1,4
	Najmanja vrijednost, $\varphi = 0$	- 0,6	- 0,8	- 1,3	- 1,6	- 0,6
	Najmanja vrijednost, $\varphi = 1$	- 1,4	- 1,6	- 2,7	- 2,6	- 0,6
- 10°	Najveća vrijednost, svi φ	+ 0,4	+ 0,6	+ 1,4	+ 0,8	+ 1,1
	Najmanja vrijednost, $\varphi = 0$	- 0,6	- 0,8	- 1,3	- 1,5	- 0,6
	Najmanja vrijednost, $\varphi = 1$	- 1,4	- 1,6	- 2,7	- 2,6	- 0,6
- 5°	Najveća vrijednost, svi φ	+ 0,3	+ 0,5	+ 1,5	+ 0,8	+ 0,8
	Najmanja vrijednost, $\varphi = 0$	- 0,5	- 0,7	- 1,3	- 1,6	- 0,6
	Najmanja vrijednost, $\varphi = 1$	- 1,3	- 1,5	- 2,4	- 2,4	- 0,6
+ 5°	Najveća vrijednost, svi φ	+ 0,3	+ 0,6	+ 1,8	+ 1,3	+ 0,4
	Najmanja vrijednost, $\varphi = 0$	- 0,6	- 0,6	- 1,4	- 1,4	- 1,1
	Najmanja vrijednost, $\varphi = 1$	- 1,3	- 1,3	- 2,0	- 1,8	- 1,5
+ 10°	Najveća vrijednost, svi φ	+ 0,4	+ 0,7	+ 1,8	+ 1,4	+ 0,4
	Najmanja vrijednost, $\varphi = 0$	- 0,7	- 0,7	- 1,5	- 1,4	- 1,4
	Najmanja vrijednost, $\varphi = 1$	- 1,3	- 1,3	- 2,0	- 1,8	- 1,8
+ 15°	Najveća vrijednost, svi φ	+ 0,4	+ 0,9	+ 1,9	+ 1,4	+ 0,4
	Najmanja vrijednost, $\varphi = 0$	- 0,8	- 0,9	- 1,7	- 1,4	- 1,8
	Najmanja vrijednost, $\varphi = 1$	- 1,3	- 1,3	- 2,2	- 1,6	- 2,1
+ 20°	Najveća vrijednost, svi φ	+ 0,6	+ 1,1	+ 1,9	+ 1,5	+ 0,4
	Najmanja vrijednost, $\varphi = 0$	- 0,9	- 1,2	- 1,8	- 1,4	- 2,0
	Najmanja vrijednost, $\varphi = 1$	- 1,3	- 1,4	- 2,2	- 1,6	- 2,1

Tablica 7.7 – Vrijednosti koeficijenta $c_{p,net}$ i c_f za dvostrešne nadstrešnice (nastavak)

			Koeficijenti neto tlaka $c_{p,net}$ tlocrt			
Nagib krova α	Zapriječenost φ	Koeficijenti sveukupne sile c_f	Područje A	Područje B	Područje C	Područje D
			+ 25°	Najveća vrijednost, svi φ Najmanja vrijednost, $\varphi = 0$ Najmanja vrijednost, $\varphi = 1$	+ 0,7 - 1,0 - 1,3	+ 1,2 - 1,4 - 1,4
+ 30°	Najveća vrijednost, svi φ Najmanja vrijednost, $\varphi = 0$ Najmanja vrijednost, $\varphi = 1$	+ 0,9 - 1,0 - 1,3	+ 1,3 - 1,4 - 1,4	+ 1,9 - 1,9 - 1,8	+ 1,6 - 1,4 - 1,4	+ 0,7 - 2,0 - 2,0

NAPOMENA: + vrijednosti označavaju neto djelovanje vjetrova prema dolje
- vrijednosti označavaju neto djelovanje vjetrova prema gore

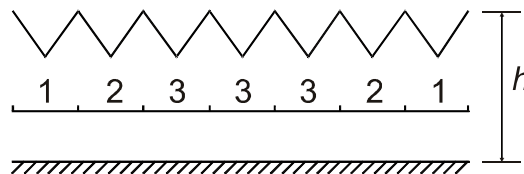


Slika 7.17 – Raspodjela opterećenja proračunanih iz koeficijenta sile za dvostrešne nadstrešnice

(9) Opterećenja na svaku kosinu nadstrešnica, kao što je pokazano na slici 7.18, određena su upotrebljavajući faktore smanjenja ψ_{mc} dane u tablici 7.8 za sveukupnu silu i koeficijente neto tlaka za pojedinačne dvostrešne nadstrešnice.

Tablica 7.8 – Faktori smanjenja ψ_{mc} za nadstrešnice s više polja

Uvala	Položaj	Faktori ψ_{mc} za sve φ	
		najveća vrijednost (prema dolje) koeficijenti sile i koeficijenti tlaka	najmanja vrijednost (prema gore) koeficijenti sile i koeficijenti tlaka
1	rubno polje	1,0	0,8
2	drugo polje	0,9	0,7
3	treće i naredna polja	0,7	0,7



Slika 7.18 – Nadstrešnice s više polja

7.4 Slobodnostojeći zidovi, parapeti, ograde i reklamni panoi

(1) Vrijednosti ukupnih koeficijenata tlaka $c_{p,net}$ za slobodnostojeće zidove i parapete ovise o omjeru punoće φ . Za pune zidove omjer punoće φ treba biti 1,0 i za zidove koji su popunjeni 80 % (odnosno, imaju 20 % otvora) $\varphi = 0,8$. Prošupljene zidove i ograde s omjerom punoće $\varphi \leq 0,8$ treba obraditi kao ravninske rešetke u skladu s točkom 7.11.

NAPOMENA: Za parapete i bukobrane mostova, vidjeti 8. poglavlje.

7.4.1 Slobodnostojeći zidovi i parapeti

(1) Za slobodnostojeće zidove i parapete ukupne koeficijente tlaka $c_{p,net}$ treba odrediti za područja A, B, C i D kako je pokazano na slici 7.19.

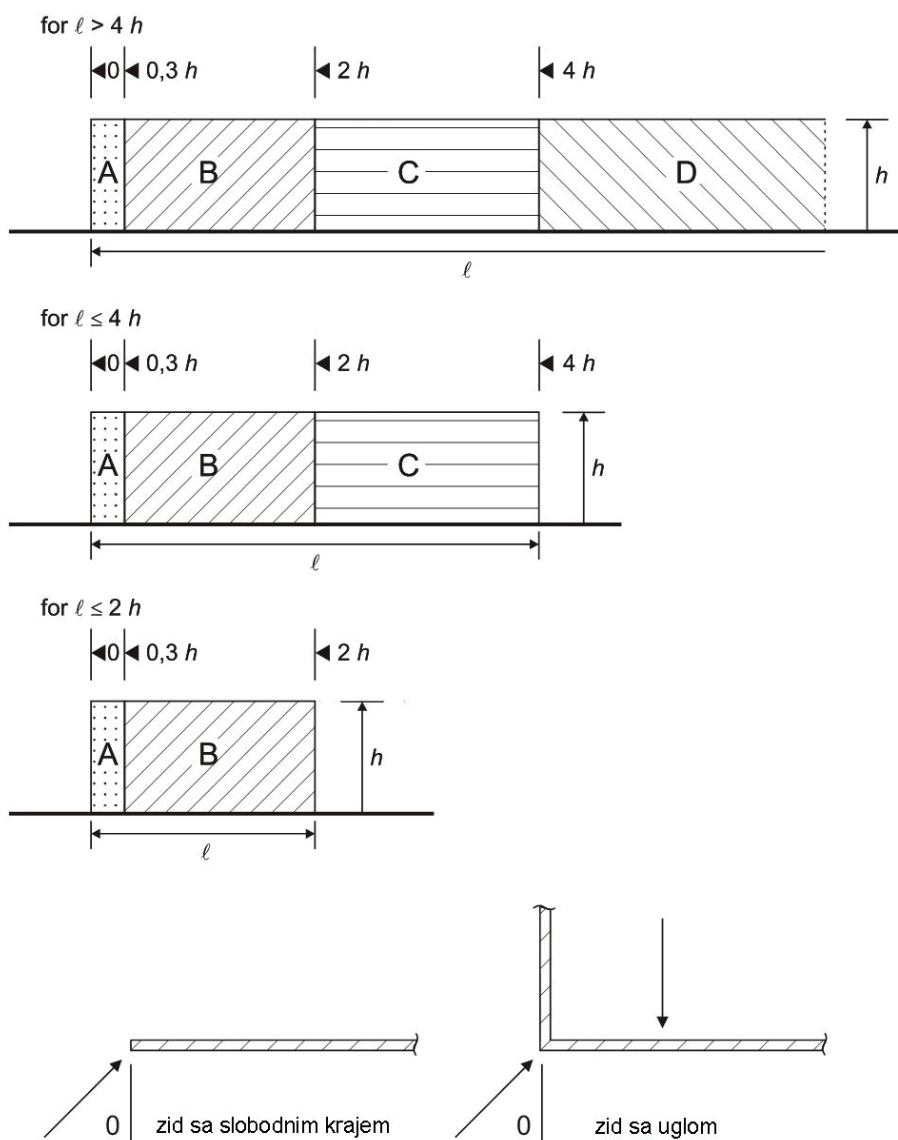
NAPOMENA: Vrijednosti ukupnih koeficijenata tlaka $c_{p,net}$ za slobodnostojeće zidove i parapete smiju se odrediti u nacionalnom dodatku. Preporučene vrijednosti su dane u tablici 7.9(N) za dva omjera punoće, vidjeti točku 7.4(1). Te preporučene vrijednosti odnose se na smjer vjetrova koji djeluje pod kutom na zid sa slobodnim krajem (vidjeti sliku 7.19) i, u slučaju kada se zid nastavlja iza ugla, na dva suprotna smjera označena na slici 7.19. Referentna ploština u oba slučaja je bruto ploština. Smije se upotrebljavati linearna interpolacija za omjere punoće između 0,8 i 1,0.

Tablica 7.9(N)– Preporučeni koeficijenti tlaka $c_{p,net}$ za slobodnostojeće zidove i parapete

Punoća	Područje		A	B	C	D
$\varphi = 1$	Slobodni kraj zida	$l/h \leq 3$	2,3	1,4	1,2	1,2
		$l/h = 5$	2,9	1,8	1,4	1,2
		$l/h \geq 10$	3,4	2,1	1,7	1,2
	Zid se nastavlja iz ugla u duljini $\geq h^a$		2,1	1,8	1,4	1,2
$\varphi = 0,8$			1,2	1,2	1,2	1,2

^{a)} Smije se upotrebljavati linearna interpolacija za duljine iza ugla između 0,0 i h

(2) Za referentnu visinu za slobodnostojeće zidove treba uzeti $z_e = h$, vidjeti sliku 7.19. Za referentnu visinu za parapete u zgradama treba uzeti $z_e = (h + h_p)$, vidjeti sliku 7.6.



Slika 7.19 – Legenda za područja slobodnostojećih zidova i parapeta

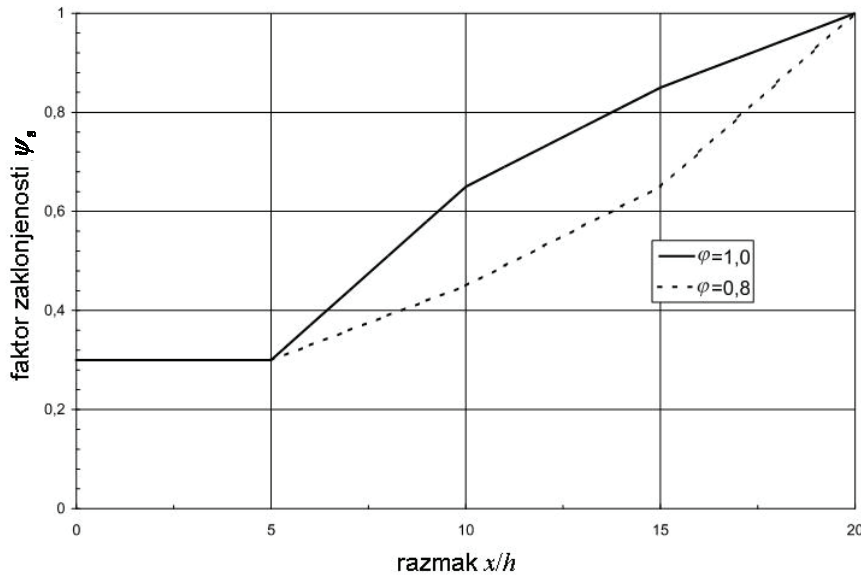
7.4.2 Faktori zaklonjenosti za zidove i ograde

(1) Ako postoje drugi zidovi ili ograde u pravcu uz vjetar koji su jednake visine ili viši od promatranog zida ili ograde visine h , tada se uz koeficijente neto tlaka za zidove i rešetkaste ograde može upotrebljavati dodatni faktor zaklonjenosti. Vrijednost faktora zaklonjenosti ψ_s ovisi o razmaku x između zidova ili ograda i o punoći φ zida ili ograde koja se nalazi u pravcu uz vjetar. Vrijednosti ψ_s prikazane su na slici 7.20.

Ukupni koeficijent neto tlaka na zaklonjenom zidu, $c_{p,net,s}$, dan je izrazom (7.6):

$$c_{p,net,s} = \psi_s c_{p,net} \quad (7.6)$$

(2) Faktor zaklonjenosti ne treba primijeniti na rubna područja unutar razmaka h mjereno od slobodnog kraja zida.



Slika 7.20 – Faktor zaklonjenosti ψ_s za zidove i ograde za vrijednosti φ između 0,8 i 1,0

7.4.3 Reklamni panoi

(1) Za reklamne panoje postavljene na visini od tla z_g većoj od $h/4$ (vidjeti sliku 7.21), koeficijenti sile dani su izrazom (7.7):

$$c_f = 1,80 \quad (7.7)$$

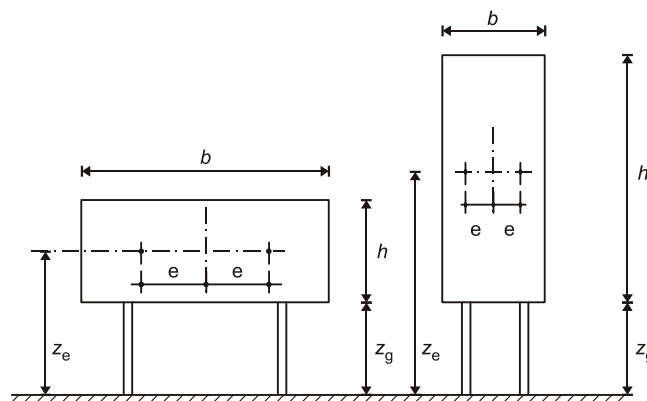
Izraz (7.7) vrijedi i kada je z_g manje od $h/4$ i $b/h \leq 1$.

(2) Ukupnu silu okomitu na reklamni pano treba uzeti da djeluje u visini središta reklamnog panoa s horizontalnom ekscentričnošću e .

NAPOMENA: Vrijednost horizontalne ekscentričnosti e smije se odrediti u nacionalnom dodatku. Preporučena vrijednost je

$$e = \pm 0,25 b \quad (7.8)(N)$$

(3) Reklamne panoje postavljene na visini od tla z_g manjoj od $h/4$ i $b/h \leq 1$ treba razmatrati kao rubne zidove, vidjeti točku 7.4.1.



NAPOMENA 1: Referentna visina: $z_e = z_g + h/2$

NAPOMENA 2: Referentna ploština: $A_{ref} = b h$

Slika 7.21 – Legenda za reklamne panoe

Treba provjeriti nestabilnosti zbog divergencije i uvijajućeg treperenja.

7.5 Koeficijenti trenja

(1) Treba uzeti u obzir trenje za slučajeve određene u točki 5.3(3).

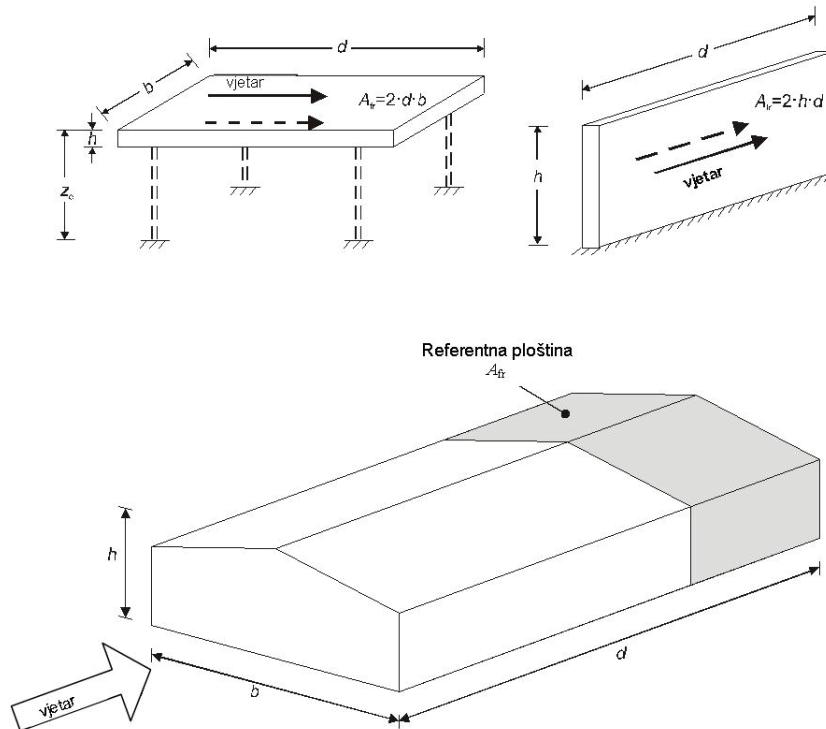
(2) Treba upotrebljavati koeficijente trenja c_{fr} za zidove i krovne površine navedene u tablici 7.10.

(3) Referentna ploština A_{fr} prikazana je na slici 7.22. Sile trenja treba nanijeti na dio vanjske površine paralelne s vjetrom, smještene na razmaku većem od $2b$ ili $4h$ (upotrebljava se manja vrijednost) od streha ili uglova koji se nalaze uz vjetar.

(4) Za referentnu visinu konstrukcije z_e treba uzeti visinu konstrukcije iznad tla ili visinu zgrade h , vidjeti sliku 7.22.

Tablica 7.10 – Koeficijenti trenja c_{fr} za zidove, parapete i krovne površine

Površina	Koeficijent trenja c_{fr}
Glatka (npr. čelik, glatki beton)	0,01
Gruba (npr. grubi beton, katranske ploče)	0,02
Vrlo gruba (npr. valovite, rebraste i naborane površine)	0,04



Slika 7.22 – Referentna ploština za trenje

7.6 Konstrukcijski elementi pravokutnog profila

(1) Koeficijent sile c_f za konstrukcijske elemente pravokutnog profila s vjetrom koji puše okomito na površinu treba odrediti iz izraza (7.9):

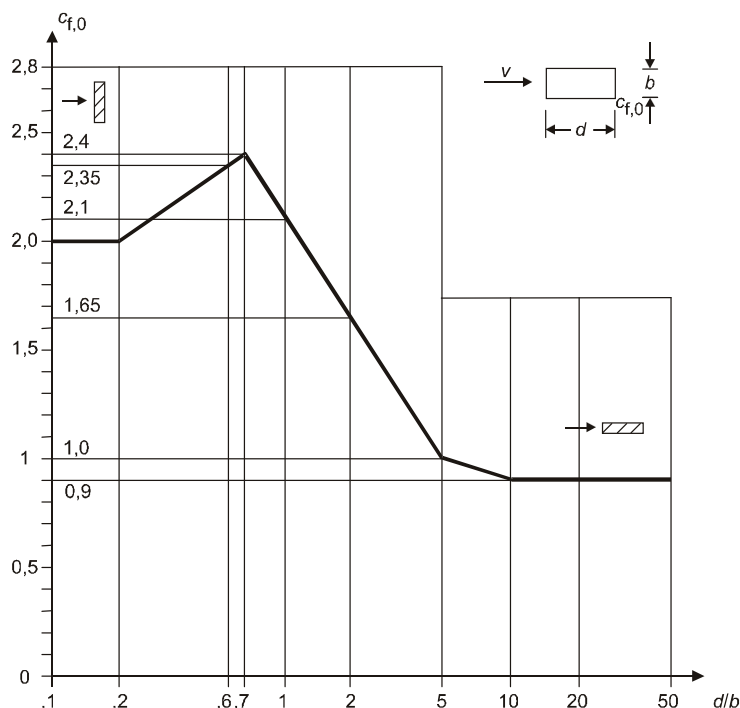
$$c_f = c_{f,0} \psi_r \psi_\lambda \quad (7.9)$$

gdje je:

$c_{f,0}$ koeficijent sile za pravokutne profile s oštrim uglovima i bez toka preko slobodnog kraja, kao što je pokazano na slici 7.23

ψ_r faktor smanjenja za kvadratne profile sa zaobljenim uglovima. ψ_r ovisi o Reynoldsovu broju, vidjeti Napomenu 1.

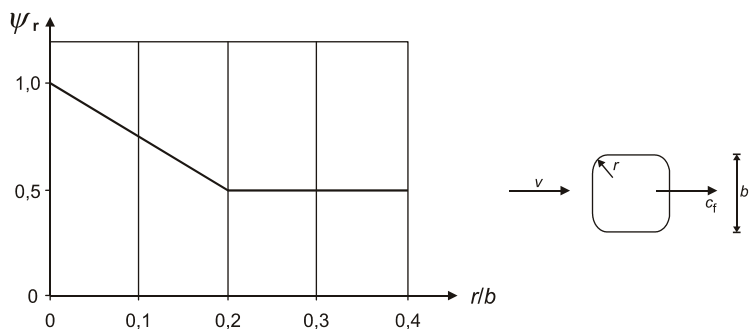
ψ_λ faktor učinka kraja za elemente s tokom preko slobodnog kraja, kao što je određeno u točki 7.13.



Slika 7.23 – Koeficijenti sile $c_{f,0}$ za pravokutne profile s oštrim uglovima i bez toka preko slobodnog kraja

NAPOMENA 1: Vrijednosti ψ_f smiju se odrediti u nacionalnom dodatku. Preporučene približne vrijednosti gornje granice faktora ψ_f prikazane su na slici 7.24(N). Podaci za sliku 7.24(N) dobiveni su u uvjetima slabe turbulencije. Ti koeficijenti smatraju se sigurnima.

NAPOMENA 2: Slika 7.24(N) smije se upotrebljavati i za zgrade s $h/d > 5,0$.



Slika 7.24(N) – Faktor smanjenja ψ_f za kvadratne profile sa zaobljenim uglovima^{NB 7)}

(2) Referentnu ploštinu A_{ref} treba odrediti iz izraza (7.10)

$$A_{ref} = l b \quad (7.10)$$

gdje je:

l duljina razmatranog konstrukcijskog elementa.

^{NB 7)} Nacionalna bilješka: Očita pogreška i nedosljednost u izvorniku gdje piše 'cross-section' umjesto 'section' tj. profil ovdje je ispravljena.

Referentna visina z_e jednaka je najvećoj visini iznad tla za razmatrani profil.

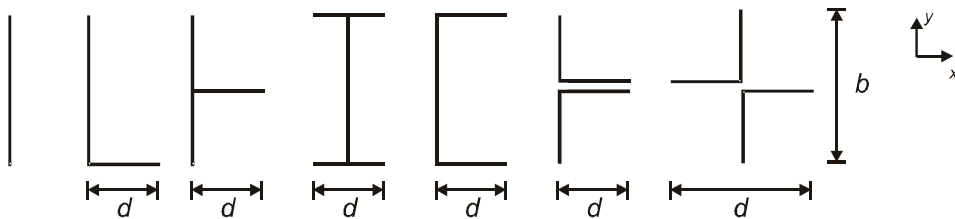
(3) Za pločaste profile ($d/b < 0,2$), sile odizanja za određene kutove djelovanja vjetra mogu povećati vrijednosti koeficijenta sile c_f i do 25 %.

7.7 Konstrukcijski elementi s profilima oštih rubova

(1) Koeficijent sile c_f za konstrukcijske elemente s profilima oštih rubova (npr. elementi s poprečnim presjecima kao što su prikazani na slici 7.25) treba odrediti upotrebljavajući izraz (7.11).

$$c_f = c_{f,0} \psi_\lambda \quad (7.11)$$

gdje je ψ_λ faktor učinka kraja (vidjeti točku 7.13).



Slika 7.25 – Konstrukcijski profili s oštrim rubovima

NAPOMENA 1: U nacionalnom dodatku smije se odrediti $c_{f,0}$. Za sve elemente bez toka preko slobodnog kraja preporučena vrijednost je 2,0. Ta vrijednost temelji se na mjerenjima u uvjetima slabe turbulencije. Pretpostavlja se da je to sigurna vrijednost.

NAPOMENA 2: Izraz (7.11) i slika 7.25 smiju se upotrebljavati i za zgrade s $h/d > 5$.

(2) Referentne ploštine (vidjeti sliku 7.25) treba uzeti kao u nastavku:

u smjeru x: $A_{\text{ref},x} = l b$

(7.12)

u smjeru y: $A_{\text{ref},y} = l d$

gdje je:

l duljina razmatranog konstrukcijskog elementa.

(3) Za sve slučajeve treba uzeti referentnu visinu z_e jednaku najvećoj visini iznad tla za razmatrani profil.

7.8 Konstrukcijski elementi s pravilnim poligonalnim profilom

(1) Koeficijent sile c_f konstrukcijskih elemenata s pravilnim poligonalnim profilom s 5 ili više strana treba odrediti iz izraza (7.13).

$$c_f = c_{f,0} \psi_\lambda \quad (7.13)$$

gdje je:

ψ_λ faktor učinka kraja kao što je određeno u točki 7.13

$c_{f,0}$ koeficijent sile za konstrukcijske elemente bez toka preko slobodnog kraja.

NAPOMENA: Vrijednosti koeficijenta $c_{f,0}$ smiju se odrediti u nacionalnom dodatku. Preporučene konzervativne vrijednosti koje se temelje na mjerjenjima u uvjetima slabe turbulencije navedene su u tablici 7.11.

Tablica 7.11(N) – Koeficijenti sile $c_{f,0}$ za pravilne poligonalne profile^{NB 8)}

AC

Broj strana	Profili	Obrada površine i uglova	Reynoldsov broj $Re^{(a)}$	$c_{f,0}$
5	Peterokut	sve	sve vrijednosti	1,80
6	Šesterokut	sve	sve vrijednosti	1,60
8	Osmerokut	glatka površina ^(b) $r/b < 0,075$	$Re \leq 2,4 \times 10^5$	1,45
			$Re \leq 3,0 \times 10^5$	1,30
		glatka površina ^(b) $r/b \geq 0,075$	$Re \leq 2,0 \times 10^5$	1,30
			$Re \geq 2,4 \times 10^5$	1,10
10	Deseterokut	sve	sve vrijednosti	1,30
12	Dvanaesterokut	glatka površina ^(c) zaobljeni uglovi	$2,0 \times 10^5 < Re < 1,2 \times 10^6$	0,90
		sve drugo	$Re < 4,0 \times 10^5$	1,30
			$Re > 4,0 \times 10^5$	1,10
16–18	Šesnaesterokut do osamnaesterokut	glatka površina ^(c) zaobljeni uglovi	$Re < 2,0 \times 10^5$	uzeti kao kružni valjak, vidjeti točku (7.9)
			$2 \times 10^5 \leq Re < 1,2 \times 10^6$	0,70

^(a) Reynoldsov broj za $v = v_m$ gdje je v_m dan u točki 4.3, definiran je u točki 7.9.

^(b) r = polumjer ugla, b = promjer opisane kružnice, vidjeti sliku 7.26

^(c) Iz ispitivanja u vjetrovom tunelu na modelima profila s galvaniziranom čeličnom površinom i profila gdje je $b = 0,3$ m i polumjer zaobljenja ugla $0,06 b$.

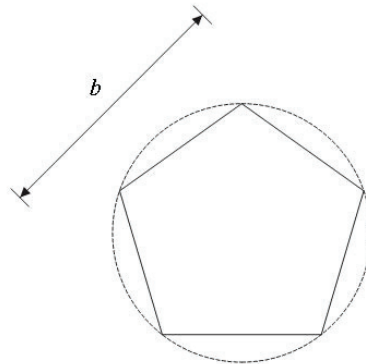
AC

^{NB 8)} Nacionalna bilješka: U izvorniku nisu označeni brojevi uz napomene u posljednjem retku tablice, što je ovdje ispravljeno.

AC

(2) Za zgrade gdje je $h/d > 5$, koeficijent c_f smije se odrediti iz izraza (7.13).

NAPOMENA: Vidjeti i tablicu 7.11(N) i sliku 7.26(N). AC



Slika 7.26(N) – Pravilni poligonalni profil

(3) Referentnu ploštinu A_{ref} treba odrediti iz izraza (7.14).

$$A_{ref} = l b \quad (7.14)$$

gdje je:

l duljina razmatranoga konstrukcijskog elementa

b promjer opisane kružnice, vidjeti sliku 7.26.

(4) Referentna visina z_e jednaka je najvećoj visini iznad tla profila koji se razmatra.

7.9 Kružni valjci

7.9.1 Koeficijenti vanjskog tlaka

(1) Koeficijenti tlaka za profile ovise o Reynoldsovu broju Re koji je određen u izrazu (7.15):

$$Re = \frac{b v(z_e)}{\nu} \quad (7.15)$$

gdje je:

b promjer

ν kinematska viskoznost zraka ($\nu = 15 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$)

$v(z_e)$ vršna brzina vjetra određena u Napomeni 2 uz sliku 7.27, na visini z_e .

(2) Koeficijente vanjskog tlaka c_{pe} za kružne valjke treba odrediti iz izraza (7.16).

$$c_{pe} = c_{p,0} \psi_{\lambda\alpha} \quad (7.16)$$

gdje je:

$c_{p,0}$ koeficijent vanjskog tlaka bez toka preko slobodnog kraja (vidjeti stavak (3))

$\psi_{\lambda\alpha}$ faktor učinka kraja (vidjeti stavak (4)).

(3) Koeficijent vanjskog tlaka $c_{p,0}$ prikazan je na slici 7.27 za razne vrijednosti Reynoldsova broja kao funkcija kuta α .

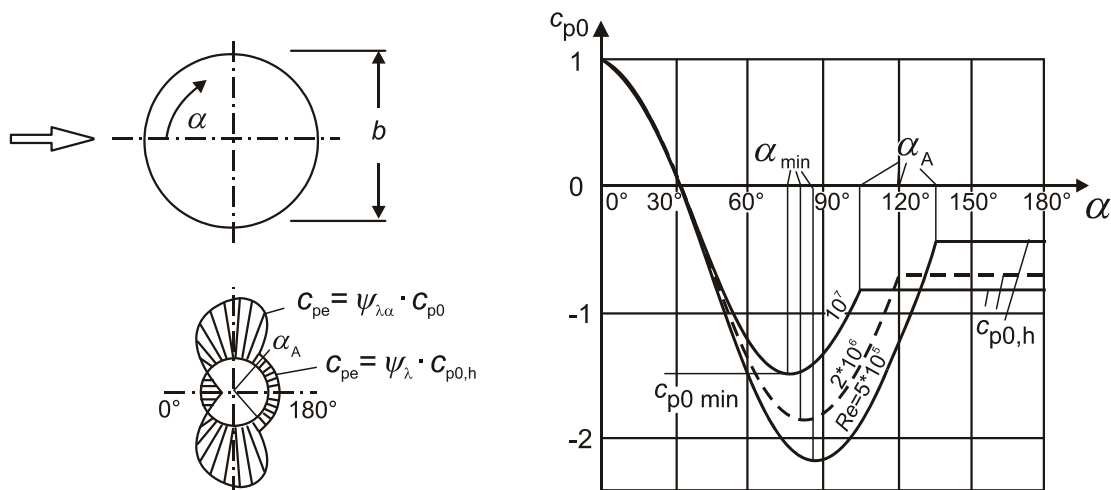
(4) Faktor učinka kraja $\psi_{\lambda\alpha}$ dan je izrazom (7.17).

$$\begin{aligned} \psi_{\lambda\alpha} &= 1 & \text{za } 0^\circ \leq \alpha \leq \alpha_{\min} \\ \psi_{\lambda\alpha} &= \psi_\lambda + (1 - \psi_\lambda) \cos\left(\frac{\pi}{2} \left(\frac{\alpha - \alpha_{\min}}{\alpha_A - \alpha_{\min}}\right)\right) & \text{za } \alpha_{\min} \leq \alpha \leq \alpha_A \\ \psi_{\lambda\alpha} &= \psi_A & \text{za } \alpha_A \leq \alpha \leq 180^\circ \end{aligned} \quad (7.17)$$

gdje je:

α_A položaj razdvajanja toka (vidjeti sliku 7.27)

ψ_λ faktor učinka kraja (vidjeti točku 7.13).



NAPOMENA 1: Međuvrijednosti se smiju linearno interpolirati.

NAPOMENA 2: Tipične vrijednosti na slici iznad navedene su u tablici 7.12. Slika i tablica temelje se na Reynoldsovu broju gdje je $v = \sqrt{\frac{2 q_p}{\rho}}$ i q_p određen u točki 4.5.

NAPOMENA 3: Slika iznad temelji se na istovrijednoj hrapavosti k/b manjoj od 5×10^{-4} . Tipične vrijednosti visine hrapavosti k navedene su u tablici 7.13.

Slika 7.27 – Raspodjela tlaka za kružne valjke za različite vrijednosti Reynoldsovih brojeva i bez učinka kraja

Tablica 7.12 – Tipične vrijednosti za raspodjelu tlaka za kružne valjke, za različite vrijednosti Reynoldsovih brojeva i bez učinka kraja

Re	α_{\min}	$c_{po,\min}$	α_A	$c_{po,h}$
5×10^5	85	- 2,2	135	- 0,4
2×10^6	80	- 1,9	120	- 0,7
10^7	75	- 1,5	105	- 0,8

gdje je:

α_{\min} položaj najmanjeg tlaka u [°]
 $c_{po,\min}$ vrijednost najmanjeg koeficijenta tlaka
 α_A položaj razdvajanja toka u [°]
 $c_{po,h}$ koeficijent tlaka u podnožju

(5) Referentnu ploštinu A_{ref} treba odrediti iz izraza (7.18):

$$A_{ref} = l b \quad (7.18)$$

(6) Referentna visina z_c jednaka je najvećoj visini iznad tla poprečnog presjeka koji se razmatra.

7.9.2 Koeficijenti sile

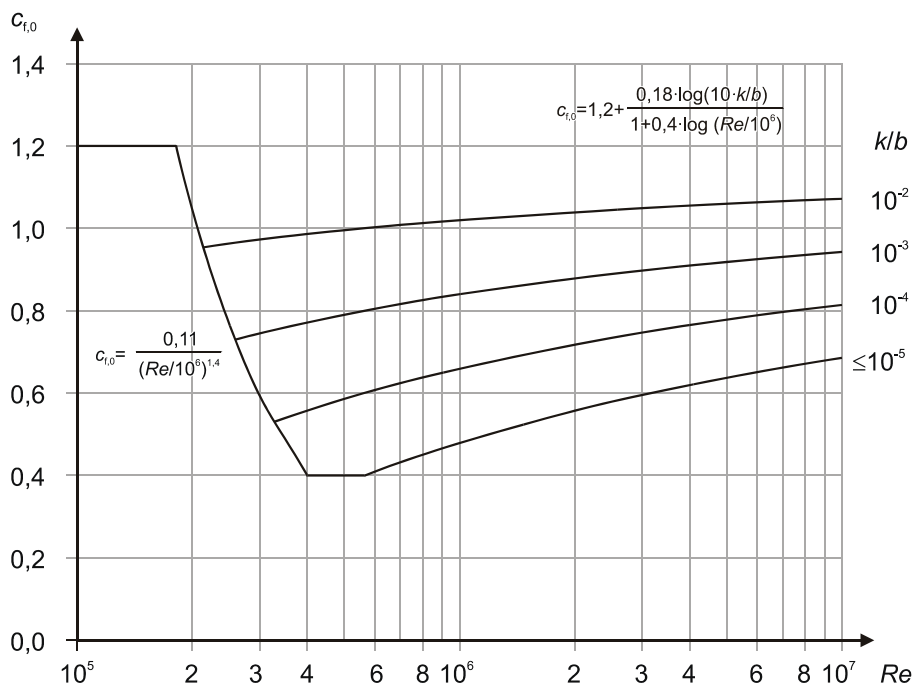
(1) Koeficijente sile c_f za konačne kružne valjke treba odrediti iz izraza (7.19).

$$c_f = c_{f,o} \psi_\lambda \quad (7.19)$$

gdje je:

$c_{f,o}$ koeficijent sile za valjke bez toka preko slobodnog kraja (vidjeti sliku 7.28)

ψ_λ faktor učinka kraja (vidjeti točku 7.13).



Slika 7.28 – Koeficijent sile $c_{f,0}$ za kružne valjke bez toka preko slobodnog kraja i za različite istovrijedne hrapavosti k/b

NAPOMENA 1: Slika 7.28 smije se upotrebljavati i za zgrade s $h/d > 5,0$

NAPOMENA 2: Slika 7.28 temelji se na Reynoldsovu broju gdje je $v = \sqrt{\frac{2 q_p}{\rho}}$ i q_p određen u točki 4.5.

A1

(2) Vrijednosti istovrijedne hrapavosti površine k za nove površine navedene su u tablici 7.13.

NAPOMENA: Za stare se površine vrijednosti istovrijedne hrapavosti površine k smiju dati u nacionalnom dodatku. **A1**

(3) Vrijednost koeficijenta $c_{f,0}$ za užad jednaka je 1,2 za sve vrijednosti Reynoldsova broja Re .

Tablica 7.13 – Istovrijedna hrapavost površine k

Vrsta površine	Istovrijedna hrapavost [mm]	Vrsta površine	Istovrijedna hrapavost [mm]
staklo	0,0015	glatki beton	0,2
uglačani metal	0,002	blanjano drvo	0,5
fina boja	0,006	grubi beton	1,0
prskana boja	0,02	grubo rezano drvo	2,0
sjajni čelik	0,05	hrđa	2,0
lijevano željezo	0,2	ziđe	3,0
galvanizirani čelik	0,2		

(4) Referentnu ploštinu A_{ref} treba odrediti izrazom (7.20).

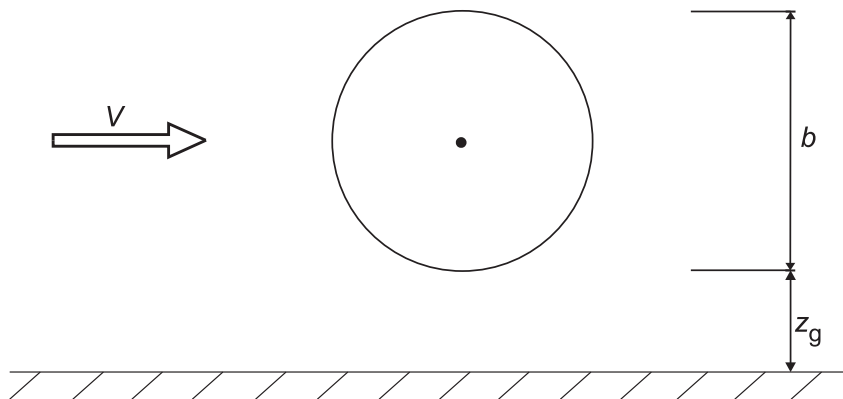
$$A_{\text{ref}} = l b \quad (7.20)$$

gdje je:

l duljina konstrukcijskog elementa koji se razmatra.

(5) Referentna visina z_e jednaka je najvećoj visini iznad tla poprečnog presjeka koji se razmatra.

(6) Za valjke smještene blizu ravne površine, s omjerom $z_g/b < 1,5$ (vidjeti sliku 7.29), potreban je poseban savjet.



Slika 7.29 – Valjak smješten blizu ravne površine

7.9.3 Koeficijenti sile za vertikalne valjke razmještene u niz

Za vertikalne kružne valjke razmještene u niz, koeficijent sile $c_{f,0}$ ovisi o smjeru vjetra u odnosu na os niza i omjeru razmaka a i promjera b , kao što je određeno u tablici 7.14. Koeficijent sile, c_f , za svaki valjak smije se odrediti izrazom (7.21):

$$c_f = c_{f,0} \psi_\lambda \kappa \quad (7.21)$$

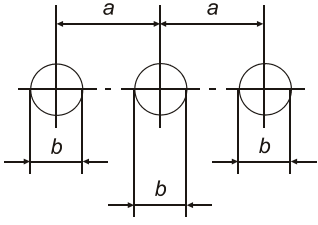
gdje je:

$c_{f,0}$ koeficijent sile za valjke bez toka preko slobodnog kraja (vidjeti točku 7.9.2)

ψ_λ koeficijent slobodnog kraja (vidjeti točku 7.13)

κ faktor dan u tablici 7.14 (za najnepovoljniji smjer vjetra).

Tablica 7.14 – Faktor κ za vertikalne valjke razmještene u niz

a/b	κ	
$2,5 < a/b < 3,5$	1,15	
$3,5 < a/b < 30$	$\kappa = \frac{210 - \frac{a}{b}}{180}$	
$a/b > 30$	1,00	

a razmak
 b promjer

NAPOMENA: za $a/b < 2,5$ vrijednosti κ smiju se dati u nacionalnom dodatku.

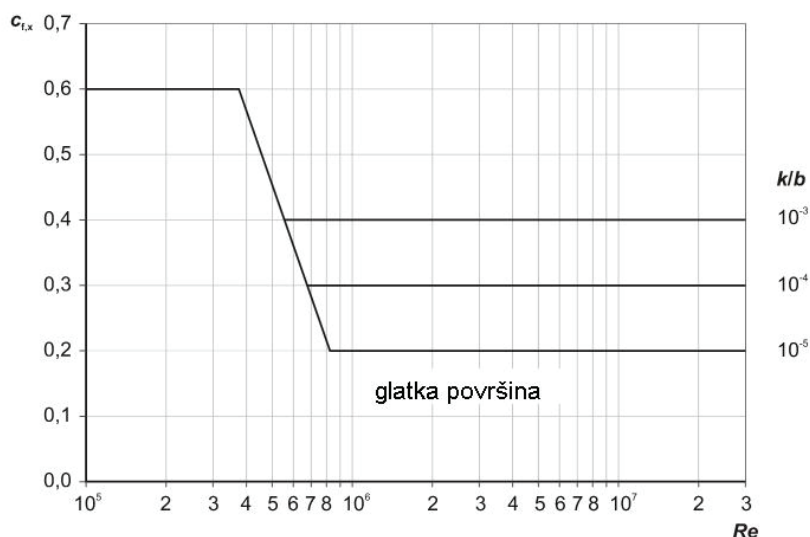
7.10 Kugle

(1) Koeficijent sile u smjeru vjetra $c_{f,x}$ za kugle treba odrediti kao funkciju Reynoldsova broja Re (vidjeti točku 7.9.1) i istovrijedne hrapavosti k/b (vidjeti tablicu 7.13).

NAPOMENA 1: Vrijednosti koeficijenta $c_{f,x}$ smiju se odrediti u nacionalnom dodatku. Preporučene vrijednosti utemeljene na mjerenjima u uvjetima slaboga turbulentnog toka prikazane su na slici 7.30(N). Slika 7.30(N) temelji se na

Reynoldsovu broju gdje je $v = \sqrt{\frac{2 q_p}{\rho}}$ i q_p određen u točki 4.5.

NAPOMENA 2: Vrijednosti prikazane na slici 7.30(N) ograničene su za vrijednosti $z_g > b/2$, gdje je z_g razmak od kugle do ravne površine, b je promjer (vidjeti sliku 7.31). Za $z_g < b/2$ koeficijent sile $c_{f,x}$ množi se s faktorom 1,6.



Slika 7.30(N) – Koeficijent sile u smjeru vjetra za kugle

(2) Vertikalni koeficijent sile $c_{f,z}$ za kugle dan je izrazom (7.22).

$$c_{f,z} = 0 \quad \text{za} \quad z_g > \frac{b}{2} \quad (7.22)$$

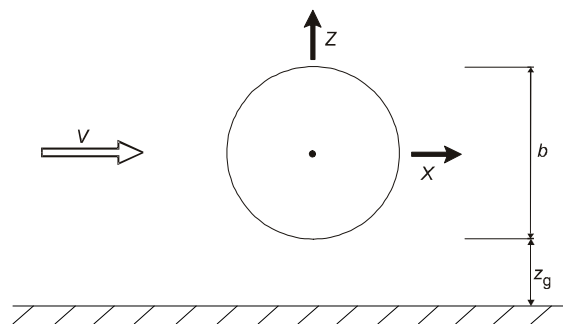
$$c_{f,z} = 0,60 \quad \text{za} \quad z_g < \frac{b}{2}$$

(3) U oba slučaja referentnu ploštinu A_{ref} treba odrediti iz izraza (7.23).

$$A_{\text{ref}} = \pi \frac{b^2}{4} \quad (7.23)$$

(4) Referentnu visinu treba uzeti:

$$z_e = z_g + \frac{b}{2} \quad (7.24)$$



Slika 7.31 – Kugla smještena blizu ravne površine

7.11 Rešetkaste konstrukcije i skele

(1) Koeficijent sile, c_f , za rešetkaste konstrukcije i skele s paralelnim pojasevima treba odrediti iz izraza (7.25).

$$c_f = c_{f,0} \psi_\lambda \quad (7.25)$$

gdje je:

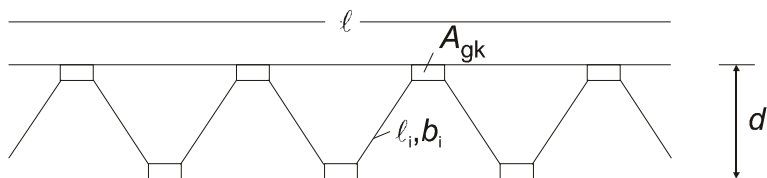
$c_{f,0}$ koeficijent sile za rešetkaste konstrukcije i skele bez učinka kraja. Prikazan je na slikama 7.33 do 7.35 kao funkcija omjera punoće φ (vidjeti točku 7.11(2)) i Reynoldsova broja Re

Re Reynoldsov broj određen upotrebljavajući prosječni promjer b_i , vidjeti Napomenu 1

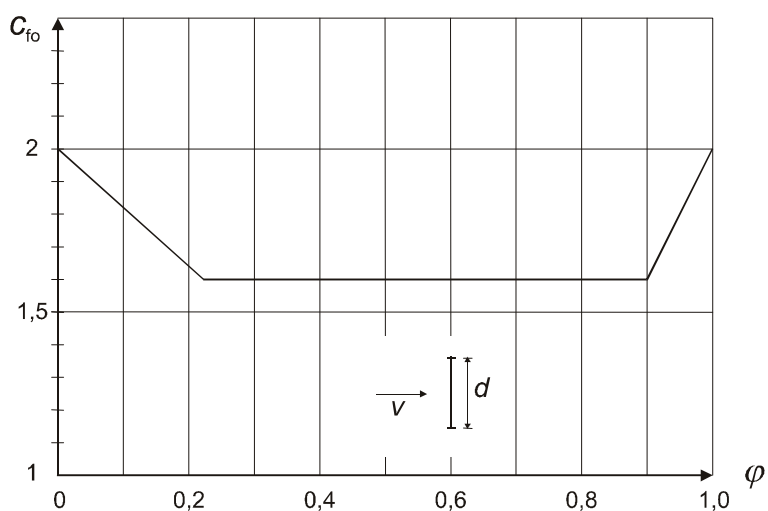
ψ_λ faktor učinka kraja (vidjeti 7.13) kao funkcija vitkosti konstrukcije, λ , proračunan s duljinom l i širinom $b = d$, vidjeti sliku 7.32.

NAPOMENA 1: $\langle AC \rangle$ Slika 7.35 temelji se $\langle AC \rangle$ na Reynoldsovu broju gdje je $v = \sqrt{\frac{2 q_p}{\rho}}$ i q_p određen u točki 4.5.

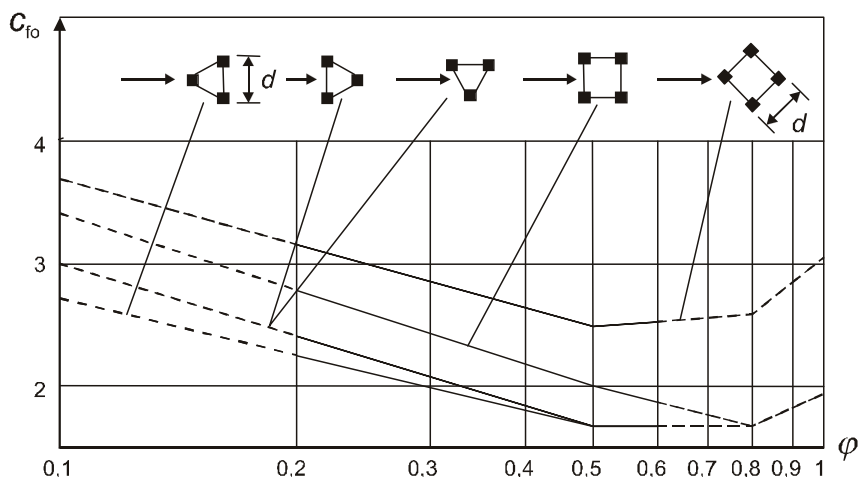
$\langle AC \rangle$ NAPOMENA 2: U nacionalnom dodatku smiju se odrediti faktori smanjenja za skele bez nepropusnih naprava i pod utjecajem pune građevne prepreke. Preporučena vrijednost dana je u normi EN 12811. $\langle AC \rangle$



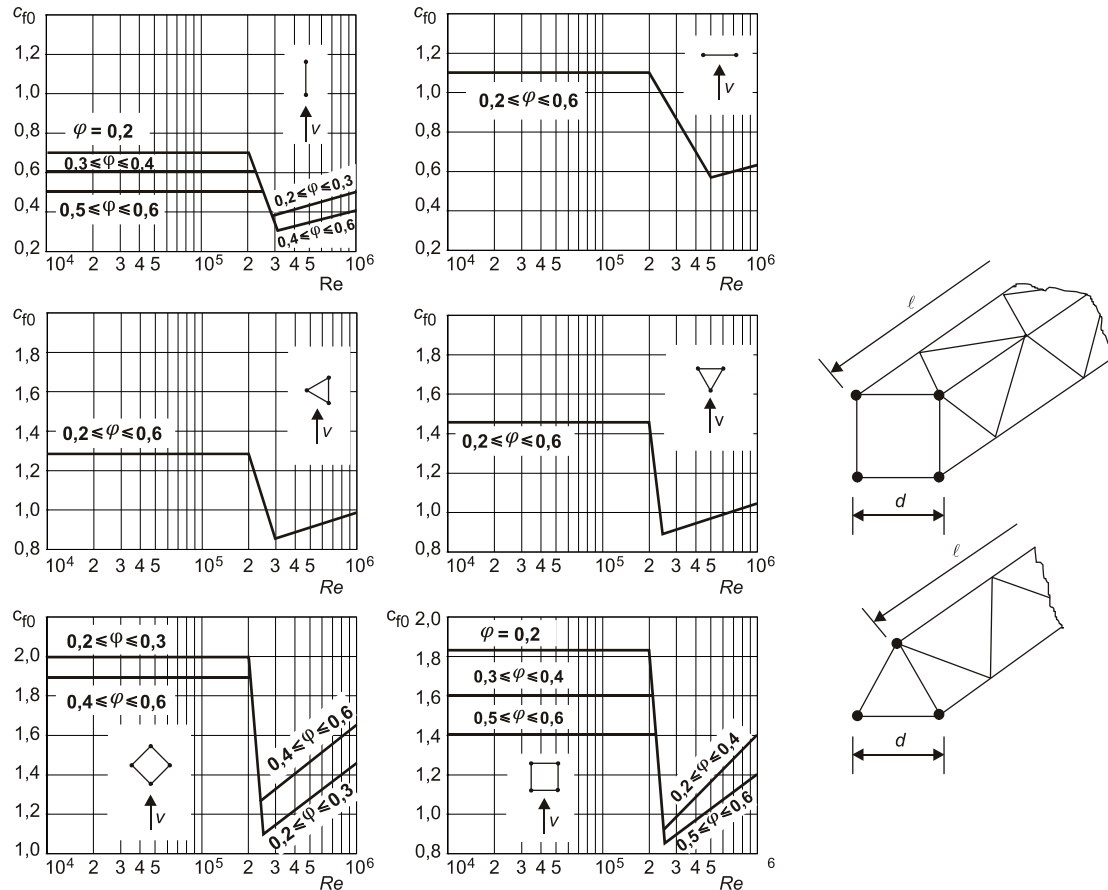
Slika 7.32 – Rešetkasta konstrukcija ili skela



Slika 7.33 – Koeficijent sile c_{f0} za ravninsku rešetkastu konstrukciju od kutnika kao funkcija omjera punoće φ



Slika 7.34 – Koeficijent sile c_{f0} za prostornu rešetkastu konstrukciju s elementima od kutnika kao funkcija omjera punoće φ



Slika 7.35 – Koeficijent sile $c_{f,0}$ za ravninsku i prostornu rešetkastu konstrukciju s elementima kružnoga poprečnog presjeka

(2) Omjer punoće, φ , određen je izrazom (7.26).

$$\varphi = \frac{A}{A_c} \quad (7.26)$$

gdje je:

A zbroj projiciranih ploština elemenata i čvornih ploča, projicirano okomito na lice: $A = \sum_i b_i l_i + \sum_k A_{gk}$

A_c ploština unutar granica lica projicirana okomito na lice = dl

l duljina rešetke

d širina rešetke

b_i, l_i širina i duljina pojedinog elementa i (vidjeti sliku 7.32), projicirano okomito na lice

A_{gk} ploština čvorne ploče.

(3) Referentnu ploštinu treba odrediti izrazom (7.27).

$$A_{\text{ref}} = A \quad (7.27)$$

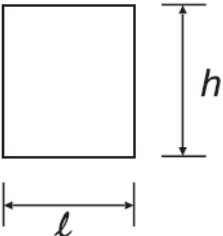
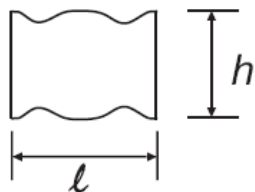
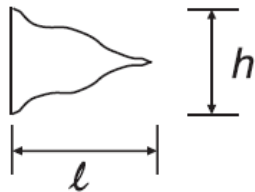
(4) Referentna visina z_e jednaka je najvećoj visini elementa iznad tla.

7.12 Zastave

(1) Koeficijenti sile c_f i referentne ploštine A_{ref} navedene su u tablici 7.15.

(2) Referentna visina z_e jednaka je visini zastave iznad tla.

Tablica 7.15 – Koeficijenti sile c_f za zastave

Zastave	A_{ref}	c_f
<p>Učvršćene zastave</p>  <p>Sila okomito na ravninu</p>	$h l$	1,8
<p>Slobodne zastave</p> <p>a)</p>  <p>b)</p>  <p>Sila u ravnini</p>	$h l$ $0,5 h l$	$0,02 + 0,7 \frac{m_f}{\rho h} \left(\frac{A_{\text{ref}}}{h^2} \right)^{-1,25}$
<p>gdje je:</p> <p>m_f masa po jedinici ploštine zastave</p> <p>ρ gustoća zraka (vidjeti točku 4.5(1) Napomena 2)</p> <p>z_e visina zastave iznad tla</p> <p>NAPOMENA: Jednadžba za slobodne zastave obuhvaća dinamičke sile od učinka vihorenja zastave.</p>		

7.13 Proračunska vitkost λ i faktor učinka kraja (en: end-effect) ψ_λ

(1) Faktor učinka kraja ψ_λ , gdje je to važno, treba odrediti kao funkciju vitkosti λ .

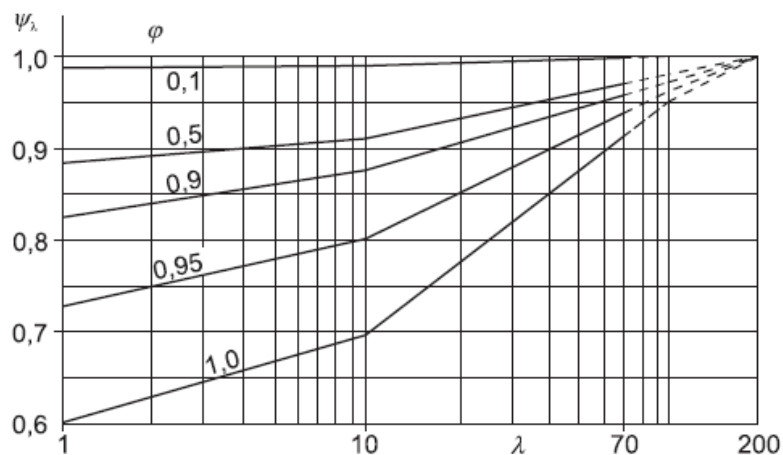
NAPOMENA: Koeficijenti sile $c_{f,0}$, prikazani u točkama 7.6 do 7.12, temelje se na mjerenjima provedenima na konstrukcijama bez učinaka slobodnog kraja, uzdignuto iznad tla. Faktor učinka kraja obuhvaća smanjenu otpornost konstrukcije zbog toka vjetra oko kraja (učinak kraja). Slika 7.36(N) i tablica 7.16(N) temelje se na mjerenjima u uvjetima slabog turbulentnog toka. Vrijednosti koje obuhvaćaju učinke turbulencije smiju se ustanoviti u nacionalnom dodatku.

(2) Proračunsku vitkost λ treba odrediti u ovisnosti o dimenzijama konstrukcije i njezinom položaju.

NAPOMENA: U nacionalnom dodatku smiju se ustanoviti vrijednosti za λ i ψ_λ . Preporučene vrijednosti za λ dane su u tablici 7.16(N) i orijentacijske vrijednosti za ψ_λ , za različite vrijednosti omjera punoće φ , pokazane su na slici 7.36(N).

Tablica 7.16(N) – Preporučene vrijednosti za λ za valjke, poligonalne profile, pravokutne profile, konstrukcijske profile oštih bridova i rešetkaste konstrukcije

Br.	Položaj konstrukcije, vjetar okomito na ravninu stranice	Proračunska vitkost λ
1		<p>Za poligonalne, pravokutne i profile oštih rubova te za rešetkaste konstrukcije: za $l \geq 50$ m, $\lambda = 1,4, l/b$ ili $\lambda = 70$, odabire se manja vrijednost za $l < 15$ m, $\lambda = 2, l/b$ ili $\lambda = 70$, odabire se manja vrijednost. Za kružne valjke: za $l \geq 50$ m, $\lambda = 0,7, l/b$ ili $\lambda = 70$, odabire se manja vrijednost za $l < 15$ m, $\lambda = l/b$ ili $\lambda = 70$, odabire se manja vrijednost. Za međuvrijednosti l smije se upotrebljavati linearna interpolacija.</p>
2		
3		
4		



Slika 7.36(N) – Orijentacijske vrijednosti faktora učinka kraja ψ_λ kao funkcije omjera punoće φ i vitkosti λ

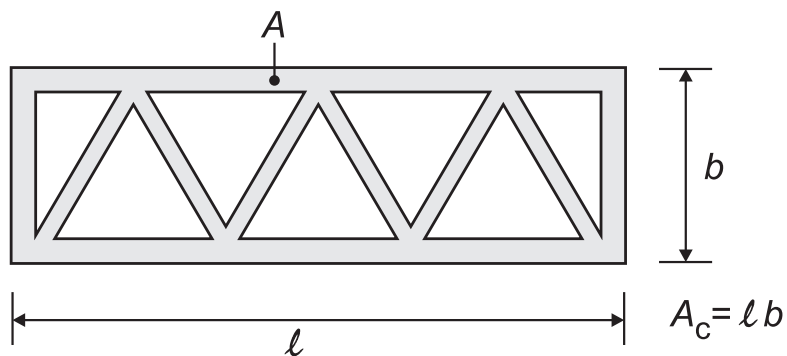
(3) Omjer punoće φ (vidjeti sliku 7.37) dan je u izrazu (7.28).

$$\varphi = \frac{A}{A_c} \tag{7.28}$$

gdje je:

A zbroj projiciranih ploština elemenata

A_c ukupna omeđena ploština $A_c = l b$



Slika 7.37 – Definicija omjera punoće φ

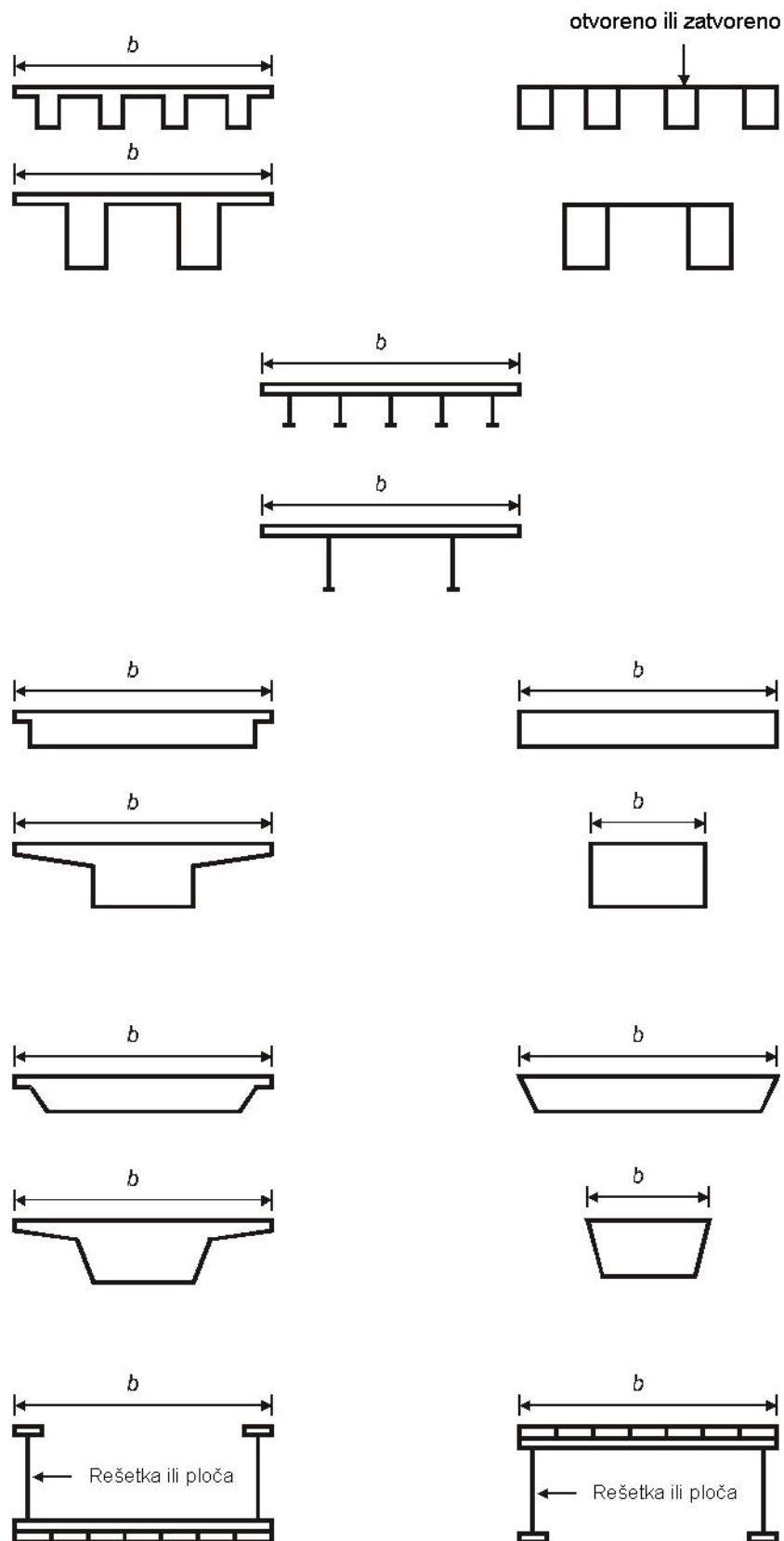
8 Djelovanja vjetra na mostove

8.1 Općenito

(1) Ovo poglavlje primjenjuje se samo na mostove jednolike visine i s poprečnim presjecima prikazanim na slici 8.1, a koji se sastoje od jednoga rasponskog sklopa s jednim ili više raspona.

NAPOMENA 1: Djelovanja vjetra za ostale vrste mostova (npr. lučni mostovi, mostovi s užadima ili vješaljka, natkriveni mostovi, pokretni mostovi i mostovi s više rasponskih sklopova ili značajno zakrivljeni mostovi) smiju se ustanoviti u nacionalnom dodatku.

NAPOMENA 2: Kut djelovanja vjetra u odnosu na os rasponskog sklopa u vertikalnoj i horizontalnoj ravnini smije se ustanoviti u nacionalnom dodatku.



Slika 8.1 – Poprečni presjeci običnih rasponskih sklopova

(2) Sile vjetra koje djeluju na rasponske sklopove objašnjene su u točkama 8.2 i 8.3. One koje djeluju na stupove objašnjene su u točki 8.4. Sile koje djeluju na razne dijelove mosta zbog vjetra koji puše u istom smjeru treba uzeti u obzir kao istovremene, ako je to nepovoljnije.

(3) Sile koje djeluju na mostove imaju za posljedicu sile u smjerovima x , y i z , kao što je pokazano na slici 8.2, gdje je:

smjer x smjer paralelan sa širinom rasponskog sklopa, okomito na raspon

smjer y smjer duž raspona

smjer z smjer okomit na rasponski sklop.

Sile u smjerovima x i y nastaju zbog vjetra koji puše iz raznih smjerova i obično nisu istovremene. Sile koje nastaju u smjeru z mogu nastati zbog vjetra koji puše iz raznih smjerova; ako su te sile nepovoljne i značajne, treba ih uzeti kao istovremene sa silama iz bilo kojeg smjera.

AC

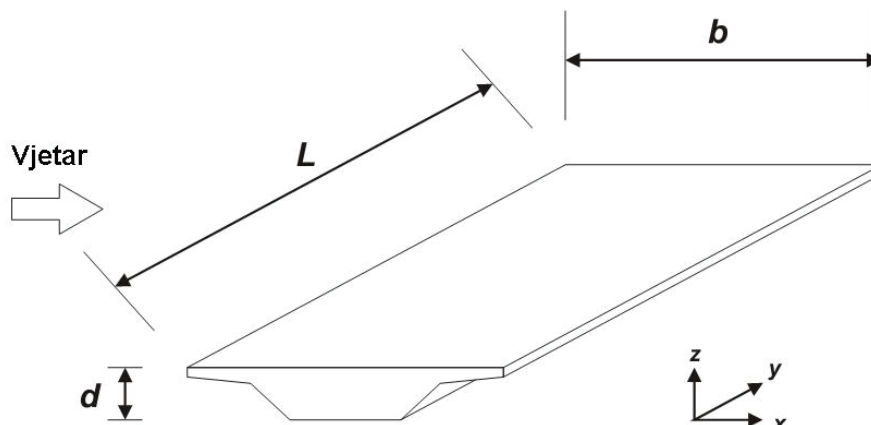
NAPOMENA: Oznake koje se upotrebljavaju za mostove razlikuju se od onih definiranih u točki 1.7. Oznake u nastavku (vidjeti sliku 8.2(N)) upotrebljavaju se za mostove:

L duljina u smjeru y

b širina u smjeru x

d visina u smjeru z

Vrijednosti koje odgovaraju oznakama L , b i d , u različitim odgovarajućim slučajevima točnije su definirane u različitim točkama. Oznake za b i d treba prilagoditi kada se poziva na 5. do 7. poglavlje. AC



Slika 8.2(N) – Smjerovi djelovanja vjetra na mostove

(4) Kada se razmatra slučaj da cestovni promet na mostu djeluje istovremeno s vjetrom (vidjeti točke A2.2.1 i A2.2.2 u dodatku A2 norme EN 1990), kombinacijsku vrijednost djelovanja vjetra na most i vozila $\psi_0 F_{wk}$ treba ograničiti na vrijednost F_w^* koja je određena zamjenjujući vrijednost $v_{b,0}^*$ s vrijednošću temeljne vrijednosti osnovne brzine $v_{b,0}$.

NAPOMENA: U nacionalnom dodatku smiju se ustanoviti vrijednosti za $v_{b,0}$. Preporučena vrijednost je 23 m/s.

(5) Kada se razmatra slučaj da željeznički promet na mostu djeluje istovremeno s vjetrom (vidjeti točke A2.2.1 i A2.2.4 u dodatku A2 norme EN 1990), kombinacijsku vrijednost djelovanja vjetra na most i vlakove $\psi_0 F_{wk}$ treba ograničiti na vrijednost F_w^{**} koja je određena zamjenjujući vrijednost $v_{b,0}^{**}$ s temeljnom vrijednošću osnovne brzine $v_{b,0}$.

NAPOMENA: U nacionalnom dodatku smiju se ustanoviti vrijednosti za $v_{b,0}^{**}$. Preporučena vrijednost za $v_{b,0}^{**}$ je 25 m/s.

8.2 Odabir postupka za proračun odziva

(1) Treba procijeniti je li za mostove potrebno upotrebljavati postupak dinamičkog odziva.

NAPOMENA 1: U nacionalnom dodatku smiju se ustanoviti kriteriji i postupci.

NAPOMENA 2: Ako postupak dinamičkog odziva nije potreban, za vrijednost faktora $c_s c_d$ smije se uzeti 1,0.

NAPOMENA 3: Općenito, za obične cestovne i željezničke rasponske sklopove s rasponima manjim od 40 m nije potrebno upotrebljavati postupak dinamičkog odziva. Za potrebe ove razredbe, u obične mostove smiju se ubrajati čelični, betonski, aluminijski ili drveni mostovi, uključujući spregnute sklopove i sve one čiji je poprečni presjek općenito obuhvaćen slikom 8.1.

8.3 Koeficijenti sile

(1) Gdje je to potrebno, treba odrediti koeficijente sile za parapete i nosače prometnih znakova na mostovima.

NAPOMENA: U nacionalnom dodatku smiju se ustanoviti koeficijenti sile za parapete i nosače prometnih znakova na mostovima. Preporučeno je upotrebljavati točku 7.4.

8.3.1 Koeficijenti sile u smjeru x (opća metoda)



(1) Koeficijenti sile za djelovanja vjetra u smjeru x dani su izrazom:

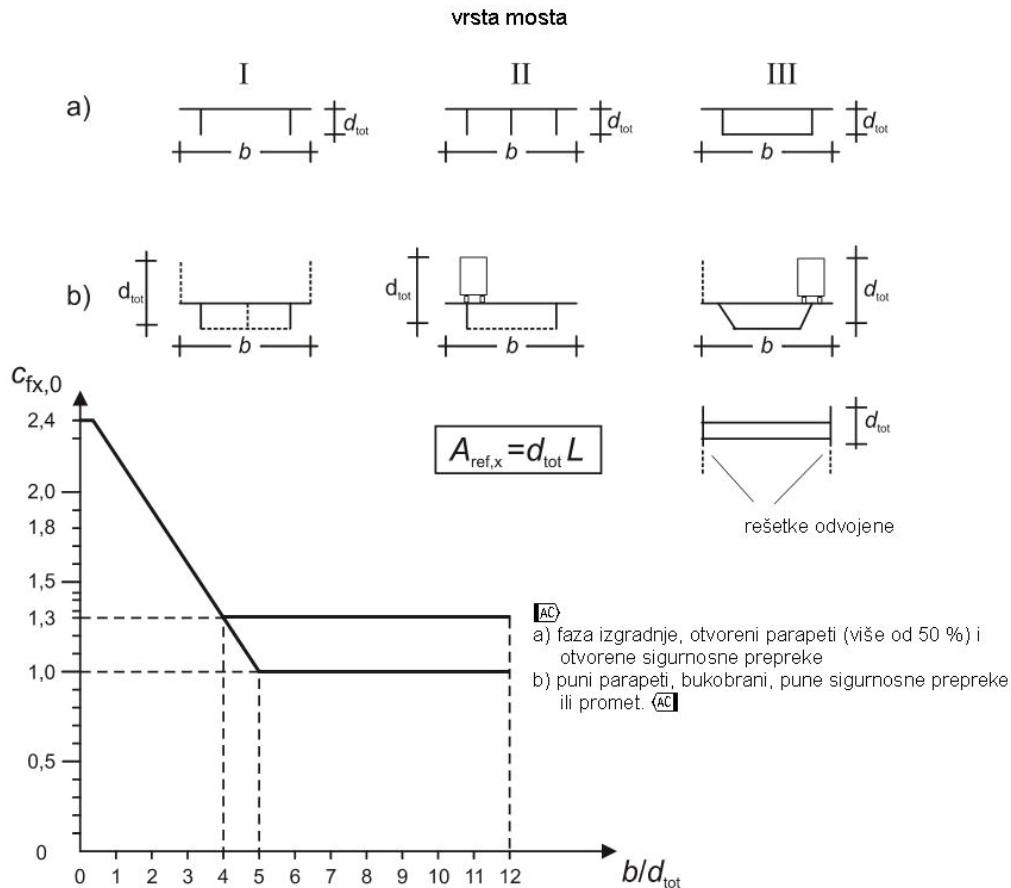
$$c_{f,x} = c_{f,x,0} \quad (8.1)$$

gdje je:

$c_{f,x,0}$ koeficijent sile bez toka preko slobodnog kraja (vidjeti točku 7.13).

NAPOMENA 1: Most obično nema tok preko slobodnog kraja zato što tok skreće duž dvije strane (iznad i ispod rasponskog sklopa).

NAPOMENA 2: Kod običnih mostova, za vrijednost koeficijenta $c_{f,x,0}$ smije se uzeti 1,3. Također, vrijednost koeficijenta $c_{f,x,0}$ smije se uzeti sa slike 8.3(N)  na kojoj su pokazani neki tipični slučajevi određivanja $A_{ref,x}$ (definiranog u točki 8.3.1(4)) i d_{tot} . 

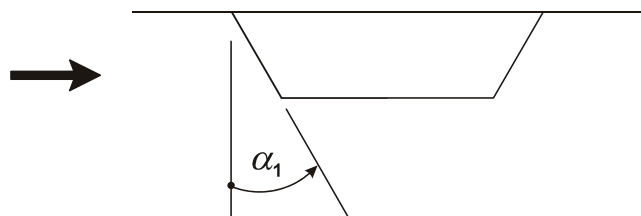


Slika 8.3(N) – Koeficijent sile za mostove, $c_{fx,0}$

NAPOMENA 3: Ako kut otklona vjetra prelazi 10° , koeficijent sile smije se odrediti posebnim istraživanjima. Ovaj kut otklona može nastati zbog nagiba terena u smjeru iz kojeg puše vjetar.

NAPOMENA 4: AC Kada su dva slična rasponska sklopa na istoj razini i razdvojena poprečno razmakom ne znatno većim od 1 m AC, sila vjetra na izloženoj konstrukciji smije se proračunati kao da nema druge konstrukcije. U drugim slučajevima treba posebnu pažnju posvetiti međudjelovanju vjetar – konstrukcija.

(2) Kada je površina izložena vjetru otklonjena od vertikale (vidjeti sliku 8.4), koeficijent sile $c_{fx,0}$ smije se smanjiti za 0,5 % po jednom stupnju otklona od vertikale α_1 . Ovo smanjenje ograničeno je na najviše 30 %.



Slika 8.4 – Most s otklonjenom izloženom površinom

NAPOMENA: To smanjenje ne primjenjuje se na F_w iz točke 8.3.2, ako nije drukčije određeno u nacionalnom dodatku.

AC

(3) Kada rasponski sklop ima poprečni nagib, koeficijent $c_{f_{x,0}}$ treba povećati za 3 % po jednom stupnju nagiba, ali ne više od 25 %. AC

AC

(4) Referentne ploštine $A_{ref,x}$ za kombinacije bez prometnog opterećenja trebaju se temeljiti na odgovarajućoj vrijednosti d_{tot} definiranoj na slici 8.5 i u tablici 8.1: AC

(a) za rasponske sklopove s ravnim gredama, zbroj AC (izbrisani tekst) AC

- 1) ploštine izloženog lica prednjeg glavnog nosača
- 2) ploština onih dijelova ostalih glavnih nosača koji se u pogledu ističu ispod prvog nosača
- 3) ploštine dijela vijenca ili pješačkog hodnika, ili traka s posteljicom koji se u pogledu ističu iznad prednjeg glavnog nosača
- 4) ploštine punih prepreka ili bukobrana, gdje je to važno, koji se ističu iznad površine opisane u 3) ili, ako nema takve opreme, 0,3 m za svaki otvoreni parapet ili prepreku

(b) za rasponske sklopove s rešetkastim nosačima, zbroj:

- 1) ploštine vijenca ili pješačkog hodnika ili traka s posteljicom
- 2) ploština onih punih dijelova svih glavnih rešetkastih nosača u bočnoj projekciji koji se nalaze iznad ili ispod ploštine opisane u 1)
- 3) ploštine punih zaštitnih sustava ili bukobrana, ako je to važno, koji se ističu iznad ploštine opisane u 1) ili, ako nema takve opreme, 0,3 m za svaku otvoreni parapet ili prepreku

Međutim, ukupna referentna ploština ne treba premašiti ploštinu dobivenu razmatranjem istovrijedne ravne grede iste ukupne visine uključujući sve istaknute dijelove.

(c) za rasponske sklopove s više glavnih nosača, tijekom izvedbe, prije postavljanja kolničke ploče, ploština lica dvaju glavnih nosača.



Slika 8.5 – Visina za proračun referentne ploštine $A_{ref,x}$

Tablica 8.1 – \overline{AC} Visina d_{tot} za proračun referentne ploštine $A_{ref,x}$ \overline{AC}

Vrsta zaštite prometa	na jednoj strani	na obje strane
Otvoreni parapet ili otvoreni zaštitni sustav	$d + 0,3 \text{ m}$	$d + 0,6 \text{ m}$
Puni parapet ili puni zaštitni sustav	$d + d_1$	$d + 2 d_1$
Otvoreni parapet i otvoreni zaštitni sustav	$d + 0,6 \text{ m}$	$d + 1,2 \text{ m}$

(5) Referentne ploštine $A_{ref,x}$ za kombinacije s prometnim opterećenjem navedene su u stavku (4) sa sljedećim izmjenama. Umjesto ploština opisanih u stavcima (a) 3), 4) i (b) 3), treba uzeti u obzir vrijednosti u nastavku, ako su veće:

- a) za cestovne mostove, visina od 2 m od razine kolnika, na najnepovoljnijoj duljini, neovisno o položaju vertikalnih prometnih opterećenja
- b) za željezničke mostove, visina od 4 m od gornjeg ruba tračnica, na cijeloj duljini mosta.

(6) Za referentnu visinu z_e smije se uzeti razmak od najniže razine terena do središta konstrukcije rasponskog sklopa, zanemarujući ostale dijelove (npr. ograde) referentne ploštine.

(7) \overline{AC} Učinci tlaka vjetra od prolazećih vozila nisu obuhvaćeni ovim dijelom norme. Za učinke vjetra od prolazećih vlakova vidjeti normu EN 1991-2. \overline{AC}

8.3.2 Sila u smjeru x – pojednostavnjena metoda

(1) Gdje se ocijeni da nije nužan postupak dinamičkog odziva, sila vjetra u smjeru x smije se proračunati upotrebljavajući izraz (8.2):

$$F_w = \frac{1}{2} \rho v_b^2 C A_{ref,x} \quad (8.2)$$

gdje je:

v_b osnovna brzina vjetra (vidjeti točku 4.2(2))

C faktor opterećenja vjetrom. $C = c_e c_{f,x}$, gdje je c_e faktor izloženosti dan u točki 4.5 i $c_{f,x}$ dan u točki 8.3.1(1)

$A_{ref,x}$ referentna ploština dana u točki 8.3.1

ρ gustoća zraka (vidjeti točku 4.5).

NAPOMENA: Vrijednosti faktora opterećenja vjetrom C smiju se ustanoviti u nacionalnom dodatku. Preporučene vrijednosti navedene su u tablici 8.2(N).

Tablica 8.2(N) – Preporučene vrijednosti koeficijenta sile C za mostove

b/d_{tot}	$z_e \leq 20$ m	$z_e = 50$ m
$\leq 0,5$	6,7	8,3
$\geq 4,0$	3,6	4,5

Tablica je utemeljena na sljedećim pretpostavkama:
 – kategorija terena II, u skladu s tablicom 4.1
 – koeficijent sile $c_{f,x}$ u skladu s točkom 8.3.1(1)
 – $c_o = 1,0$
 – $k_1 = 1,0$
 Za međuvrijednosti omjera b/d_{tot} i z_e smije se upotrebljavati linearna interpolacija.

8.3.3 Sile vjetra na rasponskim sklopovima u smjeru z

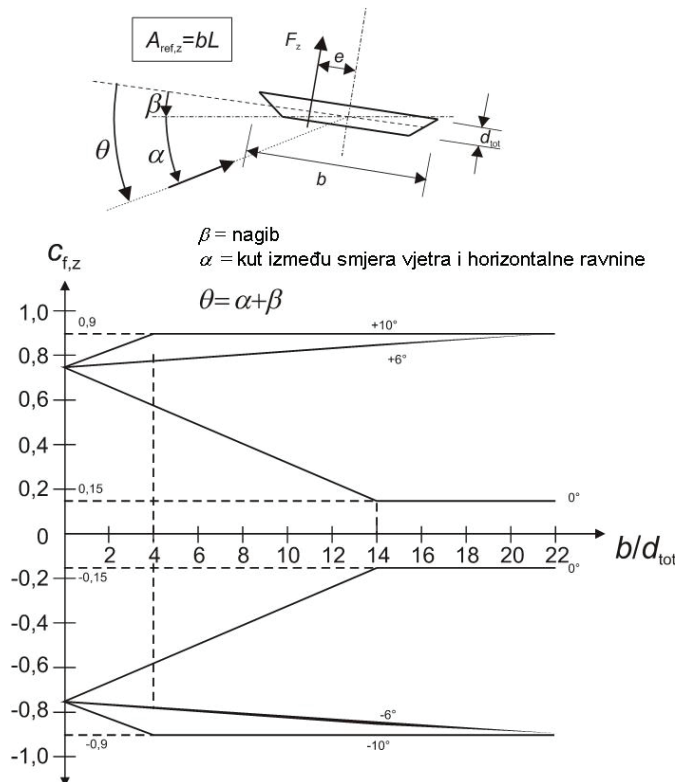
(1) Treba odrediti koeficijente sile $c_{f,z}$ za djelovanje vjetra na rasponskim sklopovima u smjeru z , kako prema gore, tako i prema dolje (koeficijenti sile odizanja). Koeficijente $c_{f,z}$ ne treba upotrebljavati za proračun vertikalnih vibracija rasponskog sklopa.

NAPOMENA 1: U nacionalnom dodatku smije se ustanoviti vrijednosti koeficijenata $c_{f,z}$. U nedostatku podataka iz ispitivanja u vjetrenom tunelu, smije se upotrebljavati preporučena vrijednost $\pm 0,9$. Ta vrijednost obuhvaća utjecaj mogućega poprečnog nagiba rasponskog sklopa, nagib terena i promjene kuta djelovanja vjetra u odnosu na rasponski sklop zbog turbulencija.

Vrijednosti koeficijenata $c_{f,z}$ smiju se također uzeti sa slike 8.6(N), pri čemu:

- visina d_{tot} smije se ograničiti na visinu rasponskog sklopa, zanemarujući promet i svu opremu mosta
- za ravni, horizontalni teren, kut između smjera djelovanja vjetra i horizontalne ravnine smije se uzeti $\pm 5^\circ$ zbog turbulencije. Isto vrijedi za brdovit teren ako je rasponski sklop najmanje 30 m iznad tla.

NAPOMENA 2: Ta sila može imati značajne učinke samo ako je sila istog reda veličine kao stalno opterećenje.



Slika 8.6(N) – Koeficijent sile $c_{f,z}$ za mostove s poprečnim nagibom i vjetrom koji djeluje pod kutom

(2) Referentna ploština A_{ref} jednaka je tlocrtnoj ploštini (vidjeti sliku 8.2):

$$A_{\text{ref}} = b L \quad (8.3)$$

(3) Ne treba upotrebljavati faktor učinka kraja.

(4) Referentna visina jednaka je kao za $c_{f,x}$ (vidjeti točku 8.3.1(6)).

(5) Ako drukčije nije određeno, ekscentričnost sile u smjeru x smije se uzeti kao $e = b/4$.

8.3.4 Sile vjetra na rasponskim sklopovima u smjeru y

(1) Ako je nužno, treba uzeti u obzir sile vjetra u smjeru y .

NAPOMENA: U nacionalnom dodatku smiju se ustanoviti vrijednosti. Preporučene vrijednosti su:

- za pločaste mostove, 25 % od vrijednosti sila vjetra u smjeru x
- za rešetkaste mostove, 50 % od vrijednosti sila vjetra u smjeru x

8.4 Stupovi mostova

8.4.1 Smjerovi vjetra i proračunske situacije

(1) Djelovanja vjetra na rasponske sklopove i njihove stupove treba proračunati tako da se odredi najnepovoljniji smjer vjetra u odnosu na cijelu konstrukciju, za učinak koji se razmatra.

(2) Treba provesti odvojene proračune djelovanja vjetra za prolazne proračunske situacije tijekom faze izvedbe kada nije moguć horizontalni prijenos ili preraspodjela djelovanja vjetra preko rasponskog sklopa. Ako tijekom takvih faza stup smije podupirati konzolne dijelove rasponskog sklopa ili skela, treba uzeti u obzir moguću nesimetriju djelovanja vjetra na takve elemente.

NAPOMENA: Prolazne situacije tijekom izvedbe su za stupove i neke vrste rasponskih sklopova koji se grade određenim metodama obično opasnije od stalnih proračunskih situacija. Za karakteristične vrijednosti tijekom prolaznih proračunskih situacija, vidjeti normu EN 1991-1-6. Za skele, vidjeti točku 7.11.

8.4.2 Učinci vjetra na stupove

(1) Učinke vjetra na stupove treba proračunati upotrebljavajući opći okvir definiran ovim eurokodom. Za sveukupna opterećenja treba upotrebljavati odredbe točaka 7.6, 7.8 ili 7.9.2.

NAPOMENA 1: U nacionalnom dodatku smiju se ustanoviti pojednostavnjena pravila.

AC

NAPOMENA 2: U nacionalnom dodatku smiju se navesti postupci obrade asimetričnog opterećenja. Preporučenim postupkom može se u cijelosti ukinuti proračun vjetrenog opterećenja za one dijelove konstrukcije za koje bi njegovo djelovanje proizvelo povoljni učinak (vidjeti točku 7.1.2(1)). AC

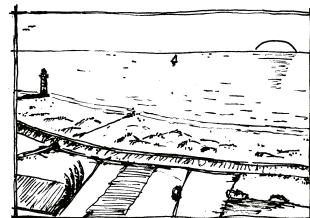
Dodatak A (obavijesni)

Učinci terena

A.1 Primjeri površinske hrapavosti za svaku kategoriju terena

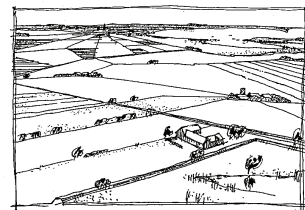
Kategorija terena 0

More, obalno područje izloženo otvorenom moru



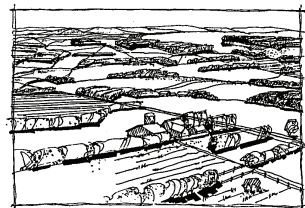
Kategorija terena I

Jezera ili područje sa zanemarivim raslinjem i bez prepreka



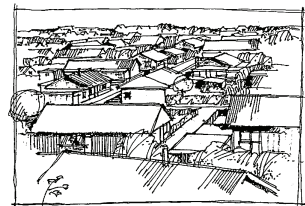
Kategorija terena II

Područje s niskim raslinjem, kao što je trava, i izoliranim preprekama (drveće, zgrade) na razmaku od najmanje 20 visina prepreke



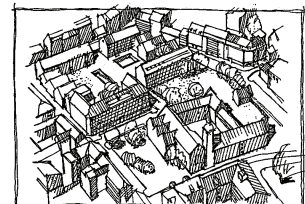
Kategorija terena III

Područje s pokrovom od raslinja ili zgradama ili s izoliranim preprekama na razmaku od najviše 20 visina prepreke (npr. sela, predgrađe, stalna šuma)



Kategorija terena IV

Područje s najmanje 15 % površine prekrivene zgradama čija prosječna visina prelazi 15 m



A.2 Prijelaz između kategorija hrapavosti 0, I, II, III i IV

(1) Pri proračunu vršnog tlaka q_p i koeficijenta $c_s c_d$ treba uzeti u obzir prijelaz između različitih kategorija hrapavosti.

NAPOMENA: U nacionalnom dodatku smije se ustanoviti koji postupak treba upotrebljavati. U nastavku su navedena dva preporučena postupka, postupak 1 i postupak 2:

Postupak 1

Ako se konstrukcija nalazi u blizini promjene hrapavosti terena na udaljenosti

- manjoj od 2 km od manje hrapavog terena kategorije 0
- manjoj od 1 km od manje hrapavog terena kategorije I do III treba u smjeru uz vjetar upotrebljavati manje hrapavu kategoriju terena.

Mala područja (manje od 10 % razmatranog područja) s hrapavošću koja odstupa smiju se zanemariti.

Postupak 2

- a) Odrediti kategoriju hrapavosti terena koji se nalazi u smjeru uz vjetar, za razmatrani kružni isječak
- b) Za svaki kružni odsječak odrediti razmak x od zgrade do promjena hrapavosti u smjeru uz vjetar
- c) Ako je razmak x od zgrade do terena s manjom duljinom hrapavosti manji od vrijednosti navedenih u tablici A.1, tada treba upotrebljavati manje vrijednosti duljine hrapavosti za razmatrani kružni isječak. Ako je razmak x veći od vrijednosti navedenih u tablici A.1(N), treba upotrebljavati veću vrijednost duljine hrapavosti.

Mala područja (manje od 10 % razmatranog područja) s hrapavošću koja odstupa smiju se zanemariti.

Kada razmak x nije naveden u tablici A.1(N) ili visine premašuju 50 m, treba upotrebljavati manju duljinu hrapavosti.

Za međuvrijednosti visine z smije se upotrebljavati linearna interpolacija.

Zgrada na terenu određene kategorije smije se proračunati za nižu kategoriju terena ako je smještena unutar granica razmaka navedenih u tablici A.1(N).

Tablica A.1(N) – Razmak x

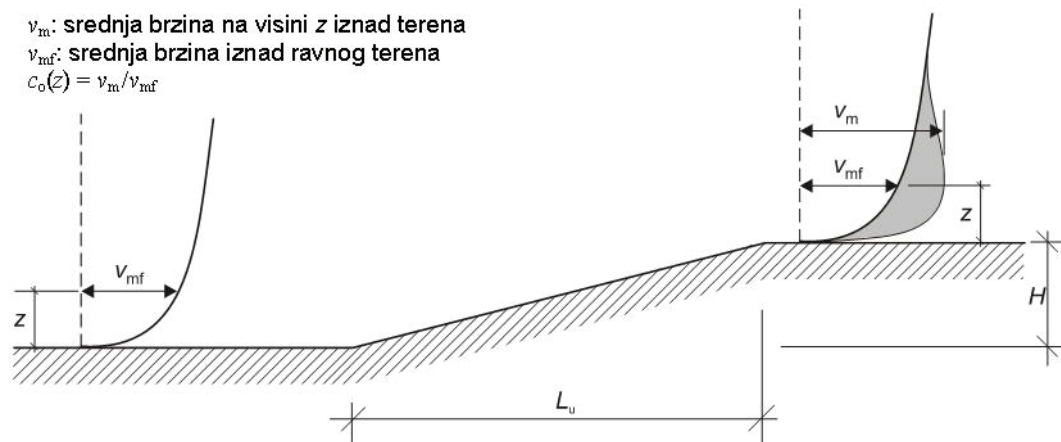
Visina z	I do II	I do III
5 m	0,50 km	5,00 km
7 m	1,00 km	10,00 km
10 m	2,00 km	20,00 km
15 m	5,00 km	
20 m	12,00 km	
30 m	20,00 km	
50 m	50,00 km	

Visina z	II do III	II do IV
5 m	0,30 km	2,00 km
7 m	0,50 km	3,50 km
10 m	1,00 km	7,00 km
15 m	3,00 km	20,00 km
20 m	7,00 km	
30 m	10,00 km	
50 m	30,00 km	

Visina z	III do IV
5 m	0,20 km
7 m	0,35 km
10 m	0,70 km
15 m	2,00 km
20 m	4,50 km
30 m	7,00 km
50 m	20,00 km

A.3 Proračun koeficijenta vertikalne razvedenosti (orografije)

(1) Na izoliranim brdima i prijevojima ili liticama i strminama, pojavljuju se različite brzine vjetra, ovisno o kosini $\Phi = H/L_u$ u smjeru vjetra, gdje su visina H i duljina L_u prikazani na slici A.1.



Slika A.1 – Prikaz povećanja brzina vjetra zbog vertikalne razvedenosti terena

(2) Najveće povećanje brzina vjetra pojavljuje se pri vrhu kosine i određeno je faktorom vertikalne razvedenosti terena c_o , vidjeti sliku A.1. Kosina nema značajnog učinka na standardno odstupanje turbulencije definirano u točki 4.4(1).

NAPOMENA: Intenzitet turbulencije smanjivat će se s povećanjem brzine vjetra i imat će jednaku vrijednost standardnog odstupanja.

(3) Faktor vertikalne razvedenosti terena, $c_o(z) = v_m/v_{mf}$, obuhvaća povećanje srednje brzine vjetra na izoliranim brdima i strmina (ne u brdovitim i planinskim područjima). Taj faktor je povezan s brzinom vjetra u podnožju brda ili strmine. Učinke vertikalne razvedenosti terena treba uzeti u obzir u sljedećim slučajevima:

a) za položaje građevine na kosinama uz koje puše vjetar:

– gdje je $0,05 < \Phi \leq 0,3$ i $|x| \leq L_u/2$

b) za položaje građevine na kosinama niz koje puše vjetar:

– gdje je $\Phi < 0,3$ i $x < L_d/2$

– gdje je $\Phi \geq 0,3$ i $x < 1,6 H$

c) za položaje građevine na kosinama litica i strmina uz koje puše vjetar:

– gdje je $0,05 < \Phi \leq 0,3$ i $|x| \leq L_u/2$

d) za položaje građevine na kosinama litica i strmina niz koje puše vjetar:

– gdje je $\Phi < 0,3$ i $x < 1,5 L_c$

– gdje je $\Phi \geq 0,3$ i $x < 5 H$.

Faktor vertikalne razvedenosti terena određen je kao:

$$c_o = 1 \quad \text{za} \quad \Phi \leq 0,05^{\text{NB 9}} \quad (\text{A.1})$$

$$c_o = 1 + 2 s \Phi \quad \text{za} \quad 0,05 < \Phi \leq 0,3^{\text{NB 9}} \quad (\text{A.2})$$

$$c_o = 1 + 0,6 s \quad \text{za} \quad \Phi > 0,3 \quad (\text{A.3})$$

gdje je:

s faktor orografskog položaja, određuje se pomoću slike A.2 ili A.3, sveden u razmjeru s proračunskom duljinom kosine uz koju puše vjetar

Φ nagib kosine uz koju puše vjetar H/L_u , u smjeru vjetra (vidjeti slike A.2 i A.3)

L_e proračunska duljina kosine uz koju puše vjetar, određena u tablici A.2

L_u stvarna duljina kosine uz koju puše vjetar, u smjeru vjetra

L_d stvarna duljina kosine niz koju puše vjetar, u smjeru vjetra

H proračunska visina geografske značajke

x horizontalni razmak od građevine do vrha

z vertikalni razmak od razine tla

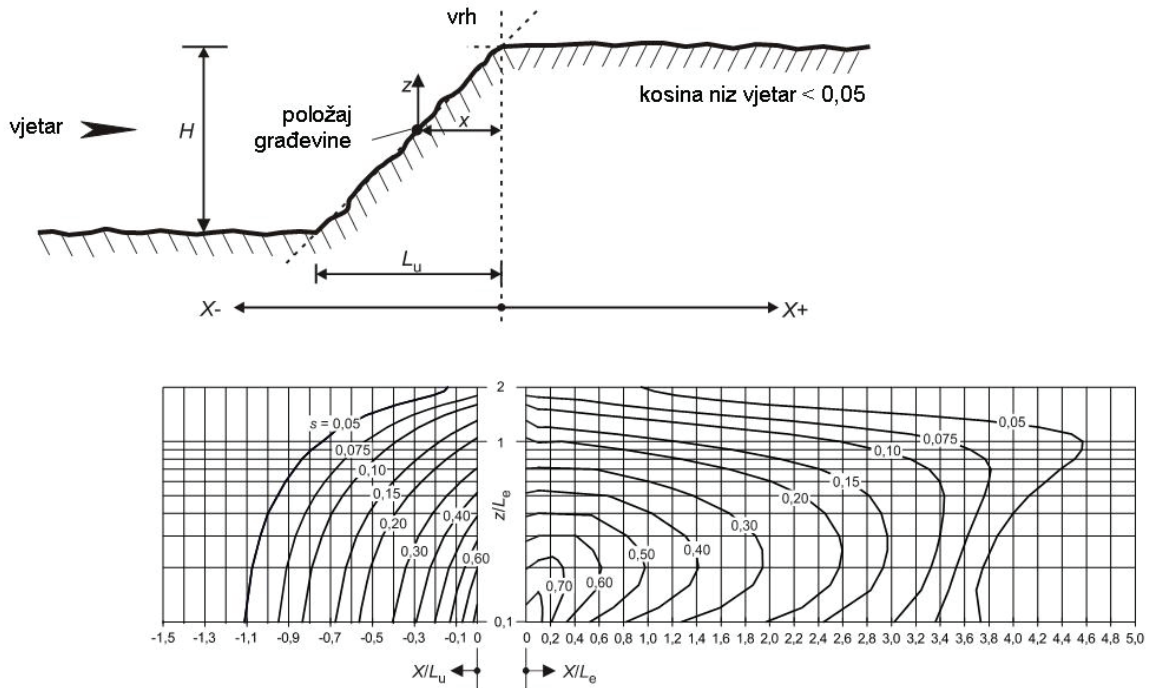
Tablica A.2 – Proračunske duljine L_e

Vrsta kosine ($\Phi = H/L_u$)	
Blaga ($0,05 < \Phi \leq 0,3$) ^{NB 9)}	Strma ($\Phi > 0,3$)
$L_e = L_u$	$L_e = H/0,3$

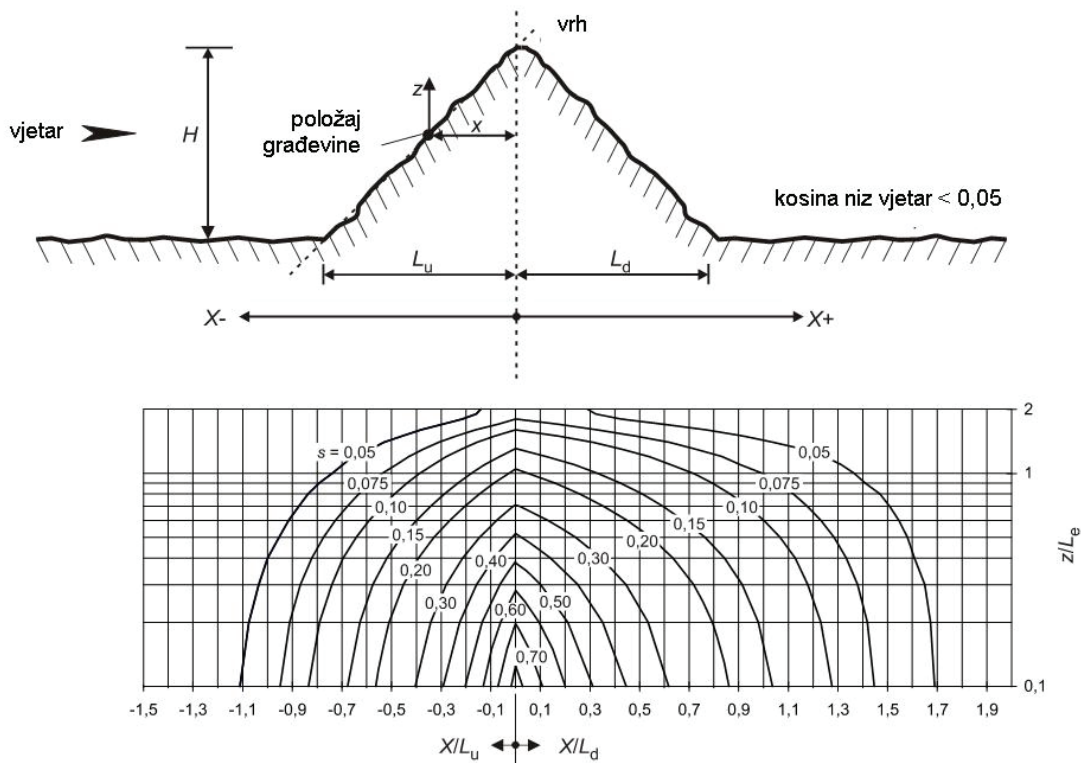
NAPOMENA: Proračunane vrijednosti dijagrama na slikama A.2 i A.3 izlaze iz područja primjene definiranog u tablici iznad. Razmatranje učinaka vertikalne razvedenosti izvan danih granica je neobvezno.

(4) Vrijednost koeficijenta $c_o(z)$ u dolinama smije se uzeti da je 1,0 ako se ne očekuje porast brzine zbog učinaka lijevka (en: funneling effect). U slučaju konstrukcija smještenih unutar lijevka, ili kod mostova koji premošćuju doline sa strmim kosinama, treba obratiti pažnju da se uzme u obzir povećanje brzine vjetra zbog učinka lijevka.

^{NB 9)} Nacionalna bilješka: Ispravljena je očita pogreška u izvorniku pa je znak $<$ zamijenjen s \leq .



Slika A.2 – Faktor s za litice i strmine



A.3 – Faktor s za brda i prijevoje

(5) Izrazi A.4 do A.7 i A.11 smiju se upotrebljavati za proračun vrijednosti faktora orografskog položaja s . Kako su ti izrazi empirijski, vrlo je važno da vrijednosti parametara koji se upotrebljavaju budu ograničene na dane raspone vrijednosti, inače će biti proračunate nevažne vrijednosti.

a) područje uz vjetar za svu orografiju (slike A.2 i A.3):

Za raspone vrijednosti

$$-1,5 \leq \frac{X}{L_u} \leq 0 \text{ i } 0 \leq \frac{z}{L_e} \leq 2,0$$

uzima se:

$$s = A e^{\left(B \frac{X}{L_u} \right)} \quad (\text{A.4})$$

gdje je:

$$A = 0,1552 \left(\frac{z}{L_e} \right)^4 - 0,8575 \left(\frac{z}{L_e} \right)^3 + 1,8133 \left(\frac{z}{L_e} \right)^2 - 1,9115 \left(\frac{z}{L_e} \right) + 1,0124 \quad (\text{A.5})$$

i

$$B = 0,3542 \left(\frac{z}{L_e} \right)^2 - 1,0577 \left(\frac{z}{L_e} \right) + 2,6456 \quad (\text{A.6})$$

Kada je

$$\frac{X}{L_u} < -1,5 \text{ ili } \frac{z}{L_e} > 2$$

uzima se

$$s = 0.$$

b) područje niz vjetar, za litice i strmine (slika A.2):

Za raspone vrijednosti

$$0,1 \leq \frac{X}{L_e} \leq 3,5 \text{ i } 0,1 \leq \frac{z}{L_e} \leq 2,0$$

uzima se:

$$s = A \left(\log \left[\frac{X}{L_e} \right] \right)^2 + B \left(\log \left[\frac{X}{L_e} \right] \right) + C \quad (\text{A.7})$$

gdje je:

$$A = -1,3420 \left(\log \left[\frac{z}{L_e} \right] \right)^3 - 0,8222 \left(\log \left[\frac{z}{L_e} \right] \right)^2 + 0,4609 \log \left[\frac{z}{L_e} \right] - 0,0791 \quad (\text{A.8})$$

$$B = -1,0196 \left(\log \left[\frac{z}{L_e} \right] \right)^3 - 0,8910 \left(\log \left[\frac{z}{L_e} \right] \right)^2 + 0,5343 \log \left[\frac{z}{L_e} \right] - 0,1156 \quad (\text{A.9})$$

i

$$C = 0,8030 \left(\log \left[\frac{z}{L_c} \right] \right)^3 + 0,4236 \left(\log \left[\frac{z}{L_c} \right] \right)^2 - 0,5738 \log \left[\frac{z}{L_c} \right] + 0,1606 \quad (\text{A.10})$$

Za raspon vrijednosti

$$0 \leq \frac{X}{L_c} \leq 0,1$$

interpolira se između vrijednosti

$$\frac{X}{L_c} = 0 \quad (s = A \text{ u izrazu A.5}) \text{ i } \frac{X}{L_c} = 0,1.$$

Kada je $\frac{z}{L_c} < 0,1$ upotrebljavaju se vrijednosti za $\frac{z}{L_c} = 0,1$.

Kada je $\frac{X}{L_c} > 3,5$ ili $\frac{z}{L_c} > 2,0$ uzima se vrijednost $s = 0$.

c) područje niz vjetar, za brda i prijevoje (slika A.3):

Za raspone

$$0 \leq \frac{X}{L_d} \leq 2,0 \text{ i } 0 \leq \frac{z}{L_c} \leq 2,0$$

uzima se

$$s = A e^{\left(B \frac{X}{L_d} \right)} \quad (\text{A.11})$$

gdje je:

$$A = 0,1552 \left(\frac{z}{L_c} \right)^4 - 0,8575 \left(\frac{z}{L_c} \right)^3 + 1,8133 \left(\frac{z}{L_c} \right)^2 - 1,9115 \left(\frac{z}{L_c} \right) + 1,0124 \quad (\text{A.12})$$

i

$$B = -0,3056 \left(\frac{z}{L_c} \right)^2 + 1,0212 \left(\frac{z}{L_c} \right) - 1,7637 \quad (\text{A.13})$$

Kada je

$$\frac{X}{L_d} > 2,0 \text{ ili } \frac{z}{L_c} > 2$$

uzima se

$$s = 0$$

NAPOMENA: Izrazi A.5 i A.12 su istovjetni.

A.4 Susjedne konstrukcije

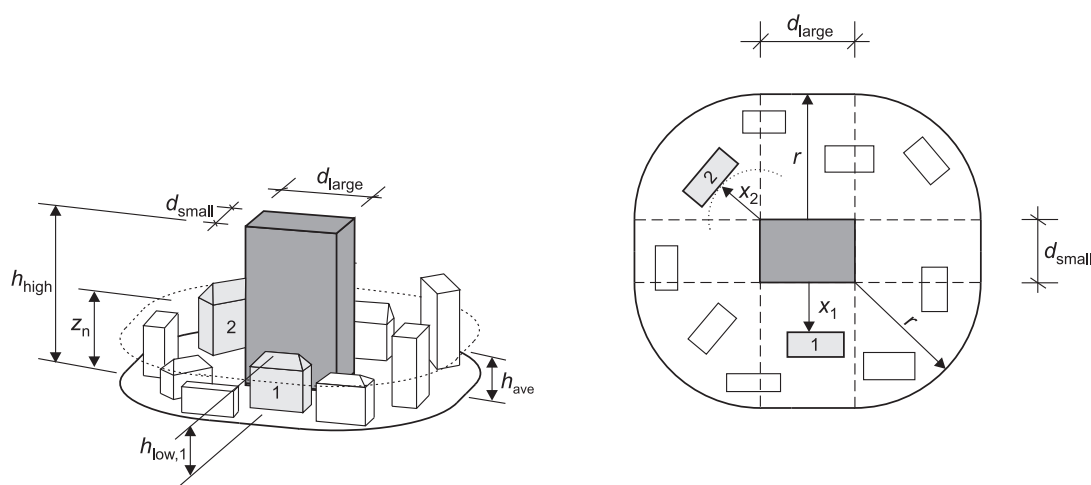
(1) Ako je zgrada viša od dvostruke prosječne visine h_{ave} susjednih konstrukcija, tada se, kao prvo približenje proračun svih susjednih konstrukcija smije temeljiti na tlaku pri vršnoj brzini na visini z_n ($z_c = z_n$) iznad tla (izraz A.14), vidjeti sliku A.4.

$$\begin{aligned}
 x \leq r: & \quad z_n = \frac{1}{2} r \\
 r < x < 2r: & \quad z_n = \frac{1}{2} \left(r - \left(1 - \frac{2h_{low}}{r} \right) (x - r) \right) \\
 x \geq 2r: & \quad z_n = h_{low}
 \end{aligned} \tag{A.14}$$

gdje je polumjer r :

$$\begin{aligned}
 r = h_{high} & \quad \text{ako je} & \quad h_{high} \leq 2d_{large} \\
 r = 2d_{large} & \quad \text{ako je} & \quad h_{high} > 2d_{large}
 \end{aligned}$$

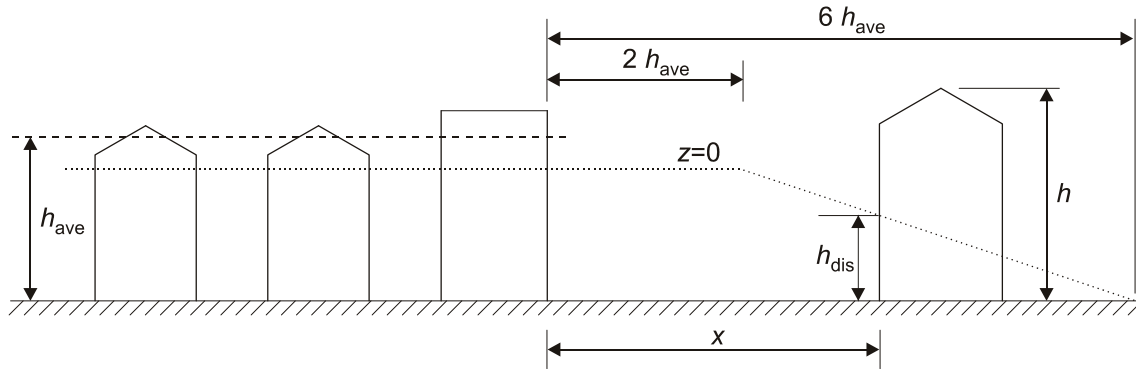
Visina konstrukcije h_{low} , polumjer r , razmak x i dimenzije d_{small} i d_{large} prikazani su na slici A.4. Povećane brzine vjetra smiju se zanemariti kada je h_{low} veće od pola visine h_{high} visoke zgrade, odnosno, $z_n = h_{low}$.



Slika A.4 – Utjecaj visoke zgrade na dvije različite obližnje konstrukcije (1 i 2)

A.5 Visina pomaka

(1) Za zgrade na terenu kategorije IV, blisko smještene zgrade i prepreke uzrokuju da se vjetar ponaša kao da je razina tla povišena za visinu pomaka h_{dis} . Vrijednost h_{dis} smije se odrediti izrazom (A.15), vidjeti sliku A.5. Profil po visini tlaka pri vršnoj brzini (vidjeti sliku 4.2) smije se podići za visinu h_{dis} . AC Ova pravila ovise o smjeru pa vrijednosti h_{ave} i x treba ustanoviti za svaki sektor od 30° kako je opisano u točki 4.3.2 AC



Slika A.5 – Visina prepreke i razmak u smjeru uz vjetar

$$\begin{aligned}
 x \leq 2 h_{ave} & \quad h_{dis} \text{ je manje od } 0,8 h_{ave} \text{ ili } 0,6 h \\
 2 h_{ave} < x < 6 h_{ave} & \quad h_{dis} \text{ je manje od } 1,2 h_{ave} - 0,2 x \text{ ili } 0,6 h \\
 x \geq 6 h_{ave} & \quad h_{dis} = 0
 \end{aligned}
 \tag{A.15}$$

Ako nema točnijih podataka, visina prepreke smije se uzeti kao $h_{ave} = 15$ m za kategoriju terena IV.

Dodatak B (obavijesni)

Postupak 1 za određivanje konstrukcijskog faktora $c_s c_d$

B.1 Turbulencije vjetra

(1) Mjera turbulentne duljine $L(z)$ predstavlja prosječnu veličinu zapuha za prirodne vjetrove. Za visine z ispod 200 m, mjera turbulentne duljine smije se proračunati iz izraza (B.1):

$$L(z) = L_t \left(\frac{z}{z_t} \right)^\alpha \quad \text{za } z \geq z_{\min} \quad (\text{B.1})$$
$$L(z) = L(z_{\min}) \quad \text{za } z < z_{\min}$$

s referentnom visinom $z_t = 200$ m, visina horizontalnog turbulentnog sloja $L_t = 300$ m i s $\alpha = 0,67 + 0,05 \ln(z_0)$, gdje je duljina hrapavosti z_0 u [m]. Najmanja visina z_{\min} prikazana je u tablici 4.1.

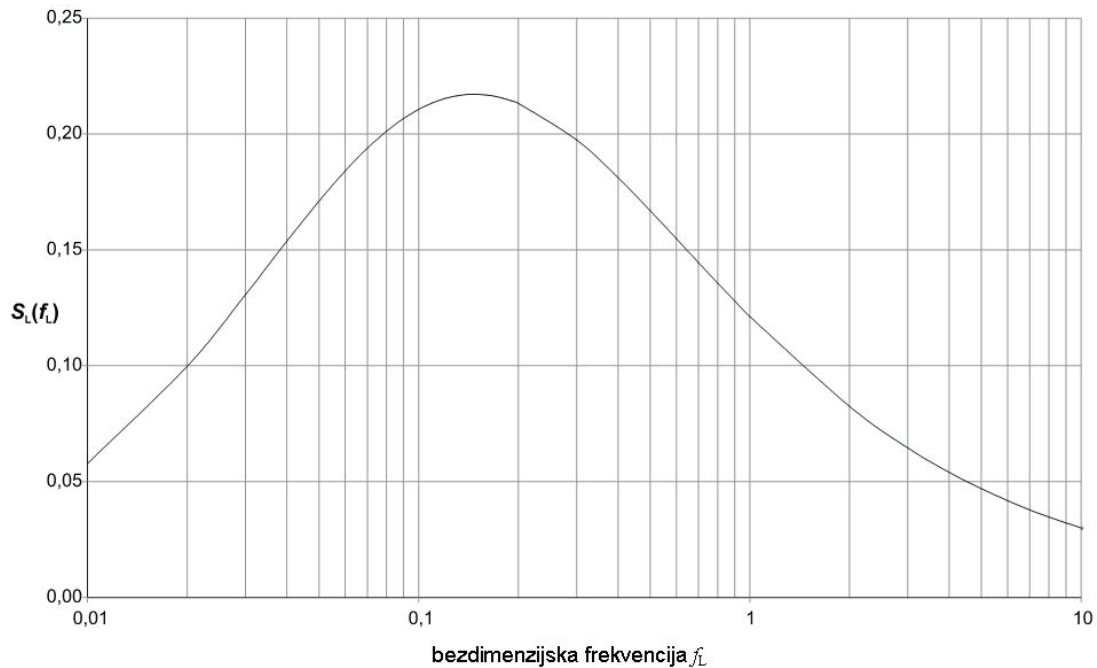
(2) Raspodjela vjetra po frekvencijama izražena je bezdimenzijskom funkcijom spektralne gustoće snage $S_L(z, n)$, koju treba odrediti upotrebljavajući izraz (B.2):

$$S_L(z, n) = \frac{n S_v(z, n)}{\sigma_v^2} = \frac{6,8 f_L(z, n)}{(1 + 10,2 f_L(z, n))^{5/3}} \quad (\text{B.2})$$

gdje je $S_v(z, n)$ jednostrana varijanca spektra, a

$f_L(z, n) = \frac{n L(z)}{v_m(z)}$ bezdimenzijska frekvencija određena frekvencijom $n = n_{1,x}$ vlastitom frekvencijom kon-

strukcije u (Hz), srednjom brzinom $v_m(z)$ i mjerom turbulentne duljine $L(z)$ određene izrazom (B.1). Bezdimenzijska funkcija spektralne gustoće snage prikazana je na slici B.1.



Slika B.1 – Funkcija spektralne gustoće snage, $S_L(f_L)$

B.2 Konstrukcijski faktor

(1) Konstrukcijski faktor $c_s c_d$ određen je u točki 6.3.1.

(2) Faktor podloge B^2 , koji obuhvaća pomanjkanje pune korelacije tlaka na površini konstrukcije, smije se proračunati upotrebljavajući izraz (B.3):

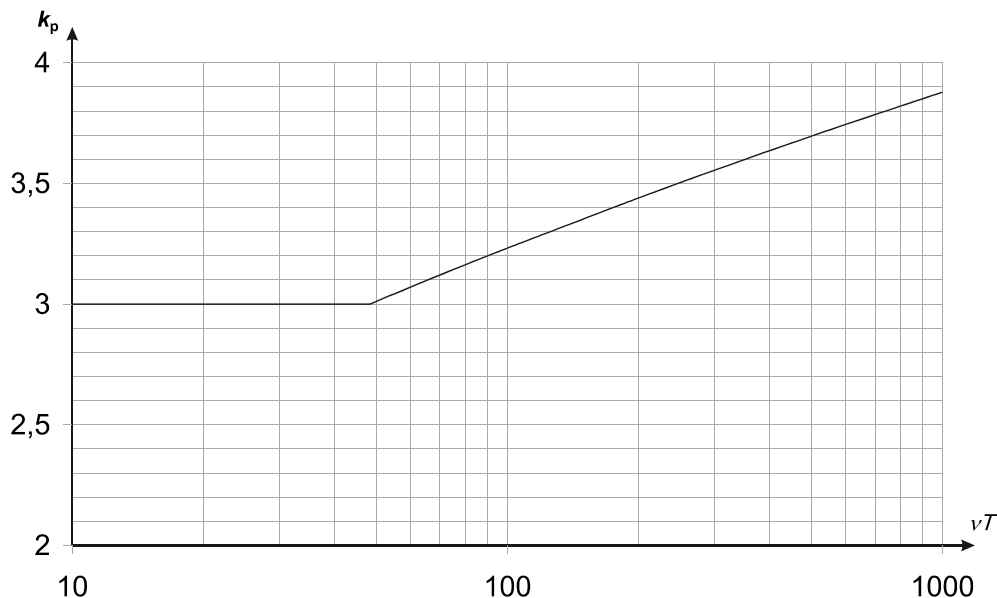
$$B^2 = \frac{1}{1 + 0,9 \left(\frac{b+h}{L(z_s)} \right)^{0,63}} \quad (\text{B.3})$$

gdje je:

b , h širina i visina konstrukcije, vidjeti sliku 6.1

$L(z_s)$ mjera turbulentne duljine dana u točki B.1(1), na referentnoj visini z_s određenoj na slici 6.1. Na strani sigurnosti je upotrebljavati $B^2 = 1$.

(3) Vršni faktor k_p , određen kao omjer maksimalne vrijednosti promjenjivog dijela odziva i standardne devijacije, treba odrediti iz izraza (B.4), a pokazan je na slici B.2.



Slika B.2 – Vršni faktor

$$k_p = \sqrt{2 \ln(\nu T)} + \frac{0,6}{\sqrt{2 \ln(\nu T)}} \quad \text{ili} \quad k_p = 3, \text{ uzima se veća vrijednost} \quad (\text{B.4})$$

gdje je:

ν frekvencija premašaja^{NB 10)} dana u stavku (4)

T srednja brzina vjetra određena za vrijeme od $T = 600$ s.

(4) Frekvenciju premašaja ν treba odrediti iz izraza (B.5):

$$\nu = n_{1,x} \sqrt{\frac{R^2}{B^2 + R^2}}; \nu \geq 0,08 \text{ Hz} \quad (\text{B.5})$$

gdje je $n_{1,x}$ vlastita frekvencija konstrukcije koja se smije odrediti upotrebljavajući Dodatak F. Granična vrijednost $\nu \geq 0,08$ Hz odgovara vršnom faktoru 3,0.

(5) Faktor rezonantnog odziva R^2 , koji obuhvaća turbulenciju u rezonanciji s promatranim oblikom vibriranja, treba odrediti upotrebljavajući izraz (B.6):

$$R^2 = \frac{\pi^2}{2 \delta} S_L(z_s, n_{1,x}) R_h(\eta_h) R_b(\eta_b) \quad (\text{B.6})$$

gdje je:

d ukupni logaritamski dekrement prigušenja dan u točki F.5

S_L bezdimenzijska funkcija spektralne gustoće snage dana u točki B.1(2)

^{NB 10)} Nacionalna bilješka: Frekvencija premašaja (en: up-crossing frequency) je učestalost premašaja određene vrijednosti.

R_h, R_b funkcije aerodinamičkog pristupa^{NB 11)} dane u stavku (6).

(6) Funkcije aerodinamičkog pristupa R_h i R_b za osnovni oblik vibriranja smiju se približno proračunati upotrebljavajući izraze (B.7) i (B.8):

$$R_h = \frac{1}{\eta_h} - \frac{1}{2\eta_h^2} (1 - e^{-2\eta_h}); \quad R_h = 1 \text{ za } \eta_h = 0 \quad (\text{B.7})$$

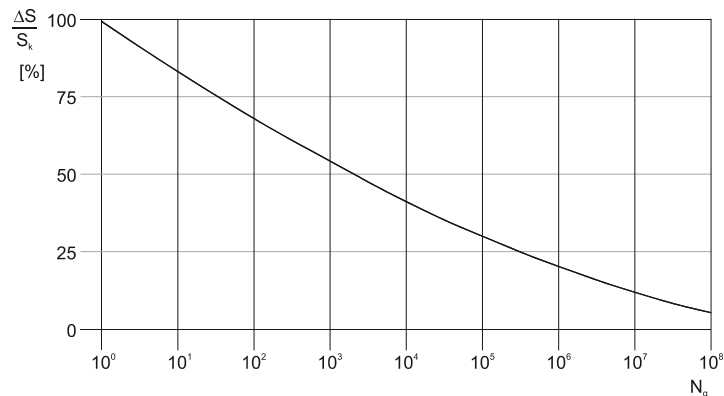
$$R_b = \frac{1}{\eta_b} - \frac{1}{2\eta_b^2} (1 - e^{-2\eta_b}); \quad R_b = 1 \text{ za } \eta_b = 0 \quad (\text{B.8})$$

uz: $\eta_h = \frac{4,6 h}{L(z_s)} f_L(z_s, n_{1,x})$ i $\eta_b = \frac{4,6 b}{L(z_s)} f_L(z_s, n_{1,x})$

NAPOMENA: Treba upotrebljavati točnije proračune za oblike vibriranja s unutarnjim čvorovima.^{NB 12)}

B.3 Broj opterećenja za dinamički odziv

(1) Na slici B.3 pokazan je broj N_g koliko puta je učinak vjetra ΔS dosegnut ili premašen u razdoblju od 50 godina. ΔS je prikazan kao postotak od vrijednosti S_k , gdje je S_k učinak od 50-godišnjeg povratnog razdoblja djelovanja vjetra.



Slika B.3 – Broj udarnih opterećenja vjetra N_g za učinak $\Delta S/S_k$ tijekom razdoblja od 50 godina

Veza između $\Delta S/S_k$ i N_g dana je izrazom B.9.

$$\frac{\Delta S}{S_k} = 0,7 (\log(N_g))^2 - 17,4 \log(N_g) + 100 \quad (\text{B.9})$$

^{NB 11)} Nacionalna bilješka: funkcija aerodinamičkog pristupa (en: aerodynamic admittance function) opisuje odnos mirnog i turbulentnog odziva na vjetar.

^{NB 12)} Nacionalna bilješka: Zbog nedovoljne jasnoće ove rečenice, ona preoblikovana glasi: Za više oblike vibriranja treba upotrebljavati točnije proračune.

B.4 Uporabni pomak i ubrzanja za ocjene uporabljivosti vertikalne konstrukcije

(1) Najveći pomak u smjeru vjetra određen je iz istovrijedne statičke sile vjetra definirane u točki 5.3.

(2) Standardnu devijaciju $\sigma_{a,x}$ karakterističnog ubrzanja konstrukcijske točke u smjeru vjetra, na visini z , treba odrediti upotrebljavajući izraz (B.10):

$$\sigma_{a,x}(z) = \frac{c_f \rho b l_v(z_s) v_m^2(z_s)}{m_{1,x}} R K_x \Phi_{1,x}(z) \quad (\text{B.10})$$

gdje je:

c_f koeficijent sile, vidjeti 7. poglavlje

ρ gustoća zraka, vidjeti točku 4.5(1)

b širina konstrukcije određena na slici 6.1

$I_v(z_s)$ intenzitet turbulencije na visini $z = z_s$ iznad tla, vidjeti točku 4.4(1)

$v_m(z_s)$ srednja brzina vjetra za $z = z_s$, vidjeti točku 4.3.1(1)

z_s referentna visina, vidjeti sliku 6.1

R kvadratni korijen rezonantnog odziva, vidjeti točku B.2(5)

K_x bezdimenzijski koeficijent dan izrazom (B.11)

$m_{1,x}$ osnovna istovrijedna masa u smjeru vjetra, vidjeti točku F.4(1)

$n_{1,x}$ osnovna frekvencija vibracija konstrukcije u smjeru vjetra; približne vrijednosti su prikazane u Dodatku F

$\Phi_{1,x}(z)$ osnovni modalni oblik u smjeru vjetra, kao prvo približenje smiju se upotrebljavati izrazi dani u Dodatku F.

(3) Bezdimenzijski koeficijent K_x određen je kao:

$$K_x = \frac{\int_0^h v_m^2(z) \Phi_{1,x}(z) dz}{v_m^2(z_s) \int_0^h \Phi_{1,x}^2(z) dz} \quad (\text{B.11})$$

gdje je:

h visina konstrukcije (vidjeti sliku 6.1)

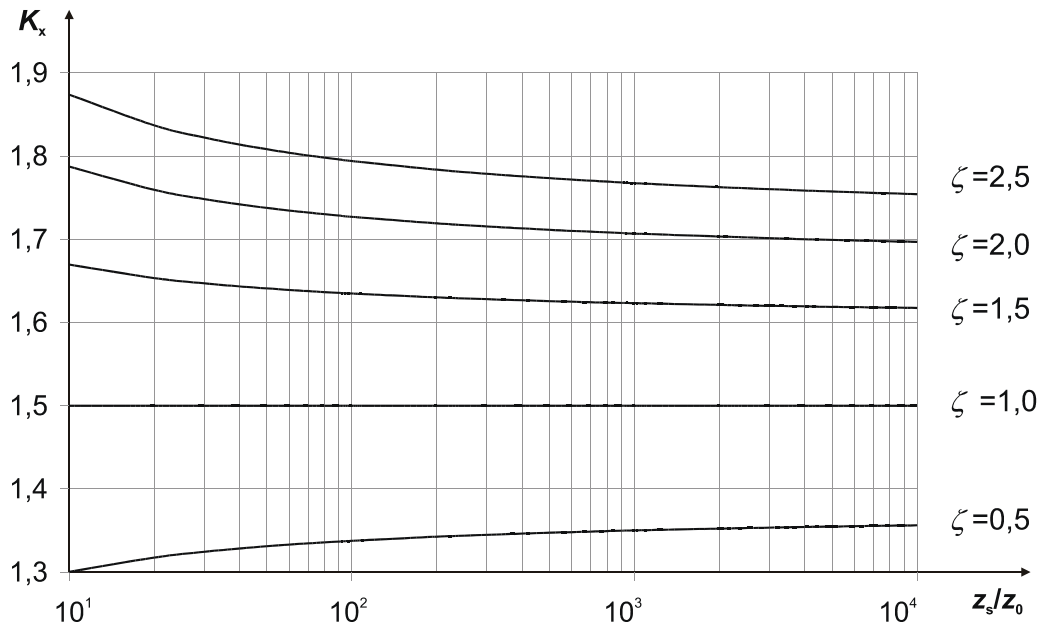
NAPOMENA: Pretpostavljajući $\Phi_{1,x}(z) = (z/h)^\zeta$ (vidjeti Dodatak F) i $c_o(z) = 1$ (ravan teren, vidjeti točku 4.3.3), izraz (B.11) može se približno odrediti s izrazom (B.12)(N). Ovo približenje prikazano je na slici B.4(N).

$$K_x = \frac{(2\zeta + 1) \left\{ (\zeta + 1) \left[\ln\left(\frac{z_s}{z_o}\right) + 0,5 \right] - 1 \right\}}{(\zeta + 1)^2 \ln\left(\frac{z_s}{z_o}\right)} \quad (\text{B.12)(N})$$

gdje je:

z_o duljina hrapavosti (tablica 4.1)

ζ eksponent oblika vibriranja (vidjeti Dodatak F).



Slika B.4(N) – Približno određivanje bezdimenzijskog koeficijenta K_x prema izrazu (B.12)

(4) Karakteristična vršna ubrzanja proračunavaju se množeći standardnu devijaciju iz stavka (2) s vršnim faktorom iz točke B.2(3), upotrebljavajući vlastitu frekvenciju kao frekvenciju premašaja, odnosno, $\nu = n_{1,x}$.

Dodatak C (obavijesni)

Postupak 2 za određivanje konstrukcijskog faktora $c_s c_d$

C.1 Turbulencija vjetra

(1) Turbulenciju treba razmatrati u skladu s točkom B.1.

C.2 Konstrukcijski faktor

(1) Konstrukcijski faktor $c_s c_d$ određen je u točki 6.3.1.

(2) Faktor podloge B^2 , koji obuhvaća pomanjkanje pune korelacije tlaka na površini konstrukcije, smije se proračunati upotrebljavajući izraz (C.1):

$$B^2 = \frac{1}{1 + \frac{3}{2} \sqrt{\left(\frac{b}{L(z_s)}\right)^2 + \left(\frac{h}{L(z_s)}\right)^2 + \left(\frac{b}{L(z_s)} \times \frac{h}{L(z_s)}\right)^2}} \quad (\text{C.1})$$

gdje je:

b, h širina i visina konstrukcije, vidjeti sliku 6.1

$L(z_s)$ mjera turbulentne duljine, dana u točki B.1(1), na referentnoj visini z_s određenoj na slici 6.1.

Na strani je sigurnosti upotrebljavati $B^2 = 1$.

(3) Vršni faktor k_p treba odrediti prema točki B.2(3).

(4) Faktor rezonantnog odziva R^2 , koji obuhvaća pojavu turbulencije u rezonanciji s razmatranim oblikom vibriranja konstrukcije, treba odrediti upotrebljavajući izraz (C.2):

$$R^2 = \frac{\pi^2}{2 \delta} S_L(z_s, n_{1,x}) K_s(n_{1,x}) \quad (\text{C.2})$$

gdje je:

δ ukupni logaritamski dekrement prigušenja dan u Dodatku F.

S_L funkcija spektralne gustoće snage za vjetar dana u točki B.1(2)

$n_{1,x}$ vlastita frekvencija vibracija konstrukcije koja se smije odrediti upotrebljavajući Dodatak F

K_s funkcija smanjenja veličine dana u stavku (5).

(5) Funkcija smanjenja veličine K_s smije se približno odrediti iz izraza (C.3):

$$K_s(n) = \frac{1}{1 + \sqrt{\left(G_y \phi_y\right)^2 + \left(G_z \phi_z\right)^2 + \left(\frac{2}{\pi} G_y \phi_y G_z \phi_z\right)^2}} \quad (\text{C.3})$$

$$\phi_y = \frac{c_y b n}{v_m(z_s)} \quad \phi_z = \frac{c_z h n}{v_m(z_s)}$$

Konstante G_y i G_z ovise o promjeni oblika vibriranja duž horizontalne osi y i vertikalne osi z . Obje konstante opadanja c_y i c_z jednake su 11,5.

(6) Konstanta G dana u stavku (5) i konstanta K , koje se upotrebljavaju za proračun ubrzanja, pokazane su u tablici C.1.

Tablica C.1 – Konstante G i K kao funkcija oblika vibriranja

Oblik vibriranja	Jednolik	Linearan	Paraboličan	Sinusoidan
G	1/2	3/8	5/18	$4/\pi^2$
K	1	3/2	5/3	$4/\pi$

NAPOMENA 1: Za zgrade s jednolikom horizontalnom i linearnom vertikalnom promjenom oblika vibriranja $\Phi(y,z) = z/h$, $G_y = 1/2$, $G_z = 3/8$, $K_y = 1$ i $K_z = 3/2$.

NAPOMENA 2: Za dimnjake s jednolikom horizontalnom i paraboličnom vertikalnom promjenom oblika vibriranja $\Phi(y,z) = z^2/h^2$, $G_y = 1/2$, $G_z = 5/18$, $K_y = 1$ i $K_z = 5/3$.

NAPOMENA 3: Za mostove sa sinusoidnom horizontalnom promjenom oblika vibriranja $\Phi(y,z) = \sin(\pi y/b)$, $G_y = 4/\pi^2$, $G_z = 1/2$, $K_y = 4/\pi$ i $K_z = 1$.

C.3 Broj opterećenja za dinamički odziv

(1) Broj opterećenja treba odrediti prema točki B.3.

C.4 Uporabni pomak i ubrzanja za ocjene uporabljivosti

AC (1) Najveći pomak u smjeru vjetra je statički pomak određen iz istovrijedne statičke sile vjetra definirane u točki 5.3. **AC**

(2) Standardna devijacija $\sigma_{a,x}$ karakterističnog ubrzanja konstrukcijske točke u smjeru vjetra s koordinatama (y,z) dana je približnim izrazom (C.4):

$$\sigma_{a,x}(y,z) = c_f \rho I_v(z_s) v_m^2(z_s) R \frac{K_y K_z \Phi(y,z)}{\mu_{ref} \Phi_{max}} \quad (C.4)$$

gdje je:

c_f koeficijent sile, vidjeti 7. poglavlje

ρ gustoća zraka, vidjeti točku 4.5

$I_v(z_s)$ intenzitet turbulencije na visini z_s iznad tla, vidjeti točku 4.4(1)

$v_m(z_s)$ karakteristična srednja brzina vjetra na visini z_s , vidjeti točku 4.3.1(1)

z_s referentna visina, vidjeti sliku 6.1

R kvadratni korijen rezonantnog odziva, vidjeti točku C.2(4)

K_y, K_z konstante navedene u točki C.2(6)

μ_{ref} referentna masa po jediničnoj ploštini, vidjeti točku F.5(3)

$\Phi(y,z)$ oblik vibriranja

Φ_{max} vrijednost oblika vibriranja u točki s najvećom amplitudom.

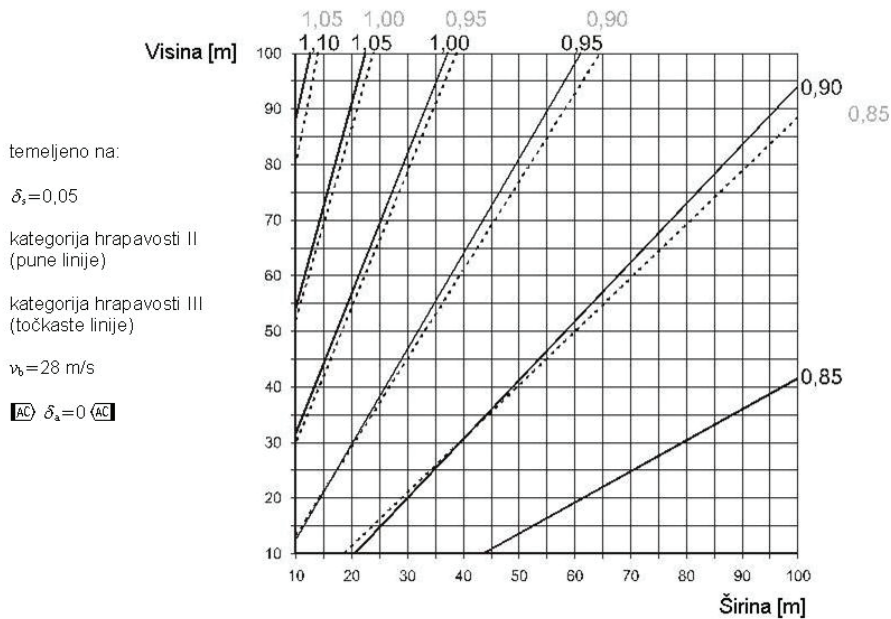
(3) Karakteristična vršna ubrzanja dobivaju se množenjem standardne devijacije iz stavka (2) s vršnim faktorom iz točke B.2(3), upotrebljavajući vlastitu frekvenciju kao frekvenciju premašaja, odnosno $\nu = n_{1,x}$.

Dodatak D (obavijesni)

Vrijednosti $c_s c_d$ za različite vrste konstrukcija

(1) Vlastite frekvencije i oblici vibriranja konstrukcija prikazani u ovom Dodatku izvedeni su linearnom analizom ili procijenjeni upotrebljavajući izraze navedene u Dodatku F.

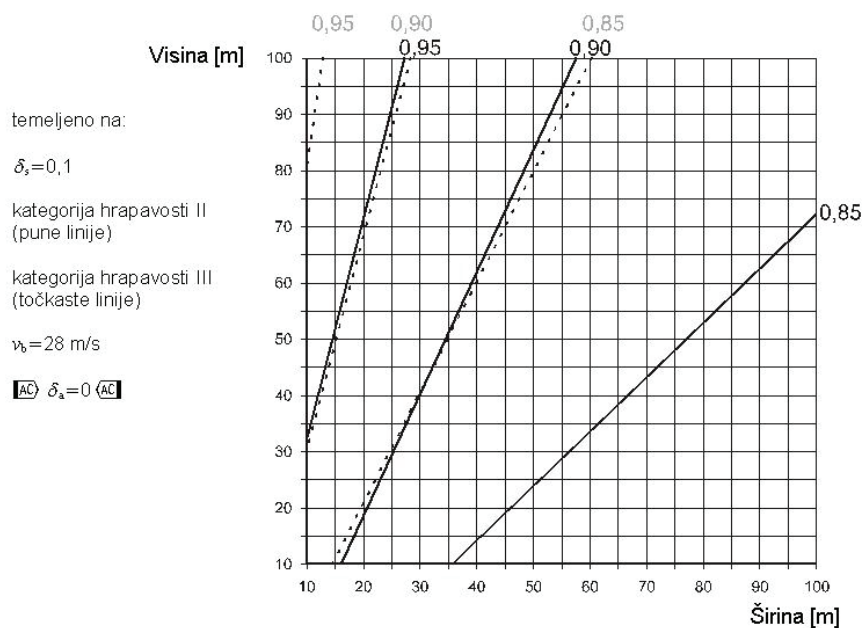
$c_s c_d$ za višekratne čelične zgrade



NAPOMENA: Za vrijednosti koje premašuju 1,1 smije se upotrebljavati detaljni postupak dan u točki 6.3 (najmanja dopuštena vrijednost je $c_s c_d = 0,85$).

Slika D.1 – Vrijednosti $c_s c_d$ za višekratne čelične zgrade s pravokutnim tlocrtom i vertikalnim vanjskim zidovima, s pravilnom raspodjelom krutosti i mase (frekvencija u skladu s izrazom (F.2))

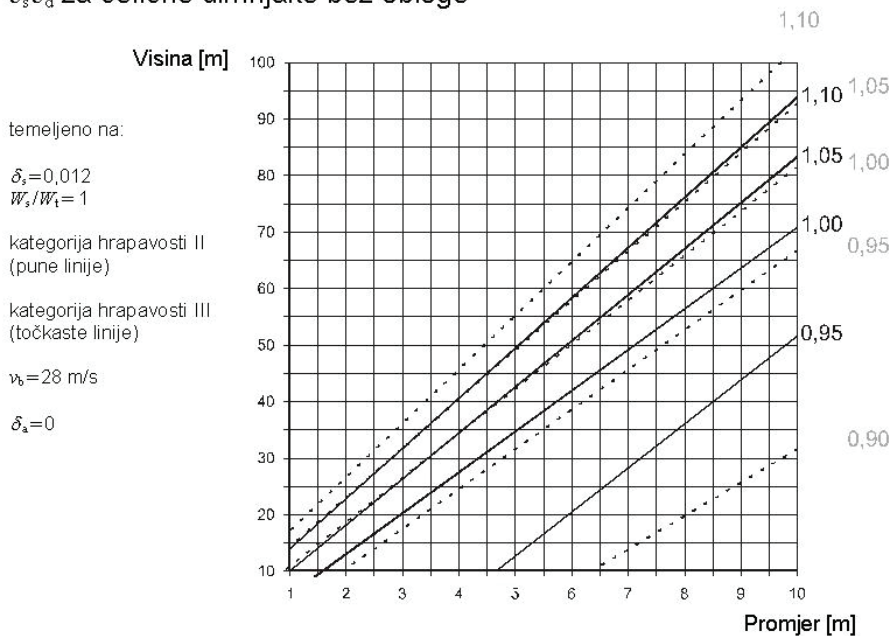
$c_s c_d$ za višekratne betonske zgrade



NAPOMENA: Za vrijednosti koje premašuju 1,1 smije se upotrebljavati detaljni postupak dan u točki 6.3 (najmanja dopuštena vrijednost je $c_s c_d = 0,85$).

Slika D.2 – Vrijednosti $c_s c_d$ za višekratne betonske zgrade s pravokutnim tlocrtom i vertikalnim vanjskim zidovima, s pravilnom raspodjelom krutosti i mase (frekvencija u skladu s izrazom (F.2))

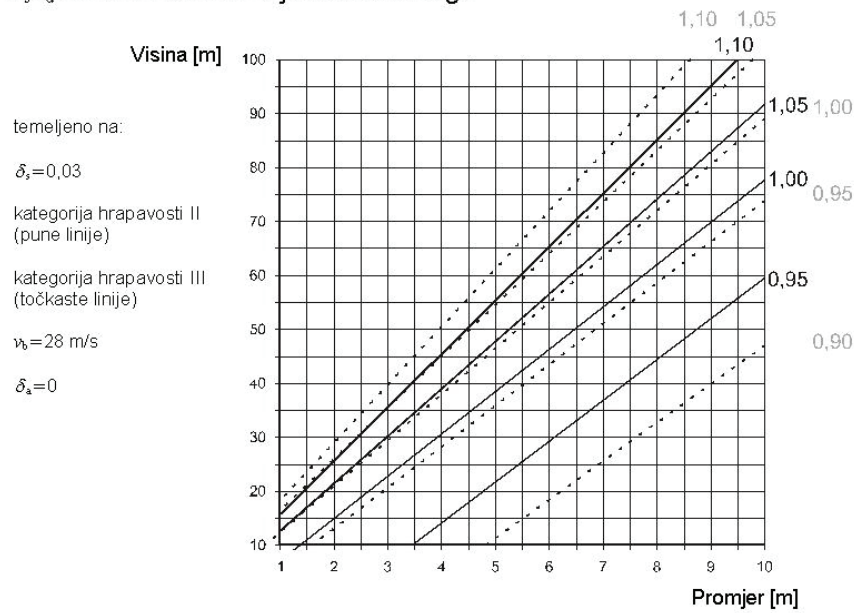
$c_s c_d$ za čelične dimnjake bez obloge



NAPOMENA: Za vrijednosti koje premašuju 1,1 smije se upotrebljavati detaljni postupak dan u točki 6.3 (najmanja dopuštena vrijednost je $c_s c_d = 0,85$).

Slika D.3 – Vrijednosti $c_s c_d$ za čelične dimnjake bez obloge (frekvencija u skladu s izrazom (F.3), uz $\varepsilon_1 = 1\,000$ i $W_s / W_t = 1,0$)

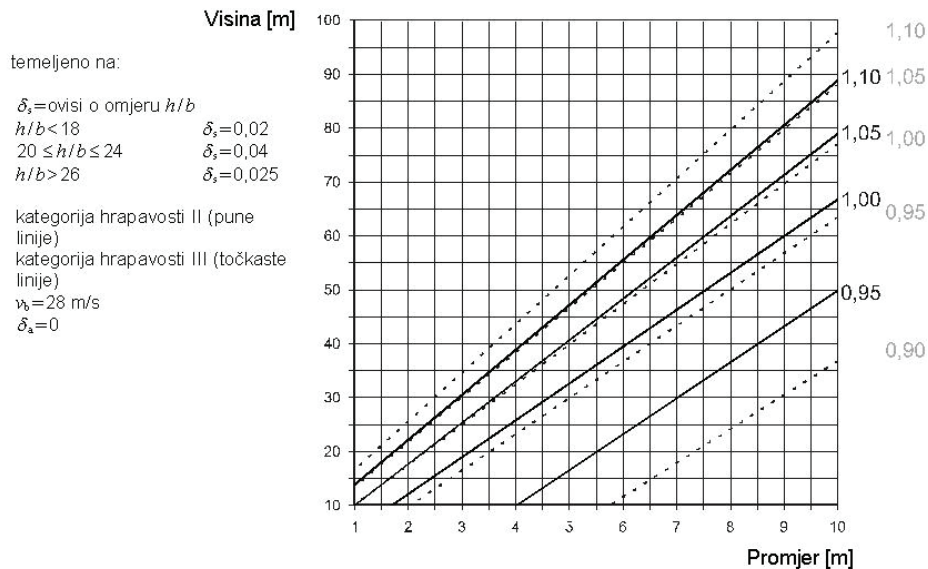
$c_s c_d$ za betonske dimnjake bez obloge



NAPOMENA: Za vrijednosti koje premašuju 1,1 smije se upotrebljavati detaljni postupak dan u točki 6.3 (najmanja dopuštena vrijednost je $c_s c_d = 0,85$).

Slika D.4 – Vrijednosti $c_s c_d$ za betonske dimnjake bez obloge (frekvencija u skladu s izrazom (F.3), uz $\varepsilon_1 = 700$ i $W_s/W_t = 1,0$)

$c_s c_d$ za čelične dimnjake s oblogom



NAPOMENA: Za vrijednosti koje premašuju 1,1 smije se upotrebljavati detaljni postupak dan u točki 6.3 (najmanja dopuštena vrijednost je $c_s c_d = 0,85$).

Slika D.5 – Vrijednosti $c_s c_d$ za čelične dimnjake s oblogom i različitim vrijednostima δ u skladu s tablicom F.2 (frekvencija u skladu s izrazom (F.3), uz $\varepsilon_1 = 1\,000$ i $W_s/W_t = 0,5$)

Dodatak E (obavijesni)

Vrtložno odvajanje i aeroelastičke nestabilnosti

E.1 Vrtložno odvajanje

E.1.1 Općenito

(1) Vrtložno odvajanje pojavljuje se kada se vrtlozi vjetra izmjenično odvajaju na suprotnim stranama konstrukcije. Ta pojava povećava kolebajuće opterećenje okomito na smjer vjetra. Konstrukcijske vibracije mogu se pojaviti kada je frekvencija vrtložnog odvajanja jednaka vlastitoj frekvenciji konstrukcije. Taj je uvjet ispunjen kada je brzina vjetra jednaka kritičnoj brzini vjetra navedenoj u točki E.1.3.1. U pravilu, kritična brzina vjetra je česta brzina vjetra koja ukazuje da zamor, a time i broj ciklusa opterećenja, može postati važan.

(2) Odziv izazvan vrtložnim odvajanjem sastoji se od širokopojasnog odziva koji se pojavljuje bez obzira giba li se konstrukcija ili ne, i od uskopojasnog odziva koji potječe od opterećenja vjetrom zbog gibanja.

NAPOMENA 1: Širokopojasni odziv obično je najvažniji za armiranobetonske konstrukcije i teške čelične konstrukcije.

NAPOMENA 2: Uskopojasni odziv obično je najvažniji za lagane čelične konstrukcije.

E.1.2 Kriteriji za vrtložno odvajanje

(1) Učinak vrtložnog odvajanja treba istražiti kada je omjer najveće i najmanje dimenzije konstrukcije okomito na smjer vjetra premašuje 6 (obje dimenzije u ravnini okomitoj na smjer vjetra).

(2) Učinak vrtložnog odvajanja ne treba istraživati kada je

$$v_{\text{crit},i} > 1,25 v_m \quad (\text{E.1})$$

gdje je:

$v_{\text{crit},i}$ kritična brzina vjetra za oblik vibriranja i , kao što je određeno u točki E.1.3.1

v_m karakteristična 10-minutna srednja brzina vjetra određena u točki 4.3.1(1) na mjestu poprečnog presjeka gdje se pojavljuje vrtložno odvajanje (vidjeti sliku E.3).

E.1.3 Osnovni parametri za vrtložno odvajanje

E.1.3.1 Kritična brzina vjetra $v_{\text{crit},i}$

(1) Kritična brzina vjetra za oblik vibriranja i , pri kojem je konstrukcija opterećena na savijanje, određena je kao brzina vjetra pri kojoj je frekvencija vrtložnog odvajanja \overline{AC} jednaka vlastitoj frekvenciji konstrukcije (oblik i) ili konstrukcijskog elementa \overline{AC} i dana je izrazom (E.2).

$$v_{\text{crit},i} = \frac{b n_{i,y}}{St} \quad (\text{E.2})$$

gdje je:

b referentna širina poprečnog presjeka pri kojoj se pojavljuje rezonantno vrtložno odvajanje i najveći modalni progib za promatranu konstrukciju ili konstrukcijski element; referentna širina za kružne valjke je vanjski promjer

$n_{i,y}$ vlastita frekvencija promatranoga savijajućeg oblika vibriranja i za vibracije poprečno na smjer vjetra; približno određivanje $n_{i,y}$ dano je u točki F.2

St Strouhalov broj kao što je određeno u točki E.1.3.2.

(2) Kritična brzina vjetra za kružni oblik vibriranja i valjkastih ljsuki određena je kao brzina vjetra pri kojoj je dvostruka vrijednost frekvencije vrtložnog odvajanja jednaka vlastitoj frekvenciji ovalnog oblika vibriranja valjkaste ljsuke, i dana je izrazom (E.3).

$$v_{\text{crit},i} = \frac{b n_{i,o}}{2 St} \quad (\text{E.3})$$

gdje je:

b vanjski promjer ljsuke

St Strouhalov broj kao što je određeno u točki E.1.3.2

$n_{i,o}$ vlastita frekvencija ovalnog oblika vibriranja i za ljsuku.

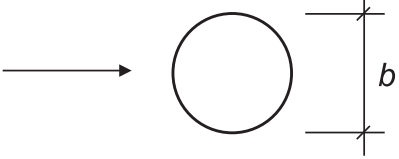
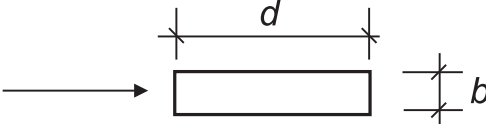
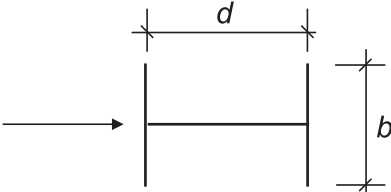
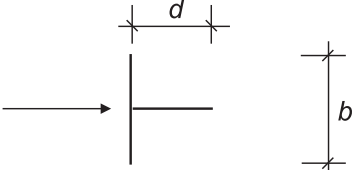
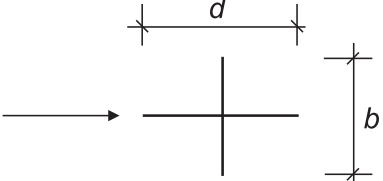
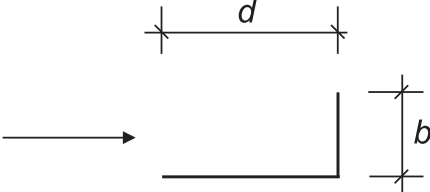
NAPOMENA 1: Za ljsuke bez ukrutnih prstena n_o je naveden u točki F.2(3).

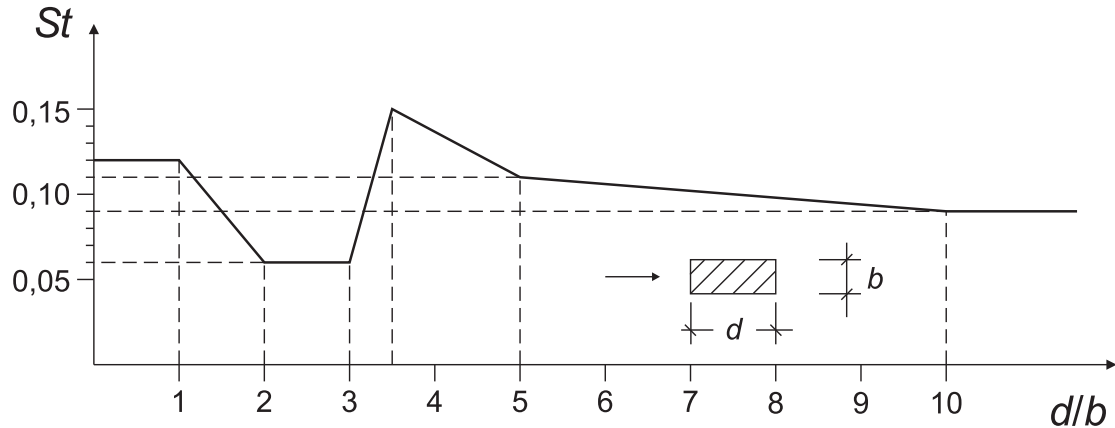
NAPOMENA 2: Postupci za proračun ovalnih vibriranja nisu obuhvaćeni Dodatkom E.

E.1.3.2 Strouhalov broj St

Strouhalov broj za različite poprečne presjeke smije se uzeti iz tablice E.1.

Tablica E.1 – Strouhalovi brojevi za različite poprečne presjeke

Poprečni presjek	<i>St</i>
 <p>za sve <i>Re</i> brojeve</p>	0,18
 <p>$0,5 \leq d/b \leq 10$</p>	sa slike E.1
 <p>linearna interpolacija</p>	$d/b = 1$ $d/b = 1,5$ $d/b = 2$ 0,11 0,10 0,14
 <p>linearna interpolacija</p>	$d/b = 1$ $d/b = 2$ 0,13 0,08
 <p>linearna interpolacija</p>	$d/b = 1$ $d/b = 2$ 0,16 0,12
 <p>linearna interpolacija</p>	$d/b = 1,3$ $d/b = 2,0$ 0,11 0,07
NAPOMENA: Ekstrapolacija za Strouhalov broj kao funkcija omjera d/b nije dopuštena.	



Slika E.1 – Strouhalov broj (St) za pravokutne poprečne presjeke s oštrim uglovima

E.1.3.3 Scrutonov broj Sc

(1) Podložnost vibracijama ovisi o konstrukcijskom prigušenju i omjeru mase konstrukcije i mase kapljevine. To je iskazano Scrutonovim brojem Sc , koji je dan u izrazu (E.4).

$$Sc = \frac{2 \delta_s m_{i,e}}{\rho b^2} \quad (E.4)$$

gdje je:

δ_s konstrukcijsko prigušenje izraženo kao logaritamski dekrement

ρ gustoća zraka u uvjetima vrtložnog odvajanja

$m_{i,e}$ istovrijedna masa m_e po jediničnoj duljini za oblik vibriranja i , kao što je određeno u točki F.4(1)

b referentna širina poprečnog presjeka na mjestu gdje se pojavljuje vrtložno odvajanje.

NAPOMENA: Vrijednost gustoće zraka ρ smije se ustanoviti u nacionalnom dodatku. Preporučena vrijednost je $1,25 \text{ kg/m}^3$.

E.1.3.4 Reynoldsov broj Re

(1) Djelovanje vrtložnog odvajanja na kružne valjke ovisi o Reynoldsovom broju Re pri kritičnoj brzini vjetra $v_{\text{crit},i}$. Reynoldsov broj dan je u izrazu (E.5).

$$Re(v_{\text{crit},i}) = \frac{b v_{\text{crit},i}}{\nu} \quad (E.5)$$

b vanjski promjer kružnog valjka

ν kinematička viskoznost zraka ($\nu \approx 15 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$)

$v_{\text{crit},i}$ kritična brzina vjetra, vidjeti točku E.1.3.1.

E.1.4 Djelovanje vrtložnog odvajanja

(1) Učinak vibracija izazvanih vrtložnim odvajanjem treba proračunati iz učinka inercijske sile po jediničnoj duljini $F_w(s)$ koja djeluje okomito na smjer vjetra, na mjestu s na konstrukciji i dana je u izrazu (E.6).

$$F_w(s) = m(s) (2\pi n_{i,y})^2 \Phi_{i,y}(s) y_{F,\max} \quad (\text{E.6})$$

gdje je:

$m(s)$ masa konstrukcije koja vibrira po jediničnoj duljini [kg/m]

$n_{i,y}$ vlastita frekvencija konstrukcije

$\Phi_{i,y}(s)$ oblik vibriranja konstrukcije normaliziran na 1 u točki s najvećim pomakom

$y_{F,\max}$ najveći pomak tijekom vremena točke gdje je $\Phi_{i,y}(s)$ jednak 1, vidjeti točku E.1.5.

E.1.5 Proračun amplitude poprečno na smjer vjetra

E.1.5.1 Općenito

(1) U točkama E.1.5.2 i E.1.5.3 dana su dva različita pristupa za proračun amplituda poprečno na smjer vjetra koje su izazvane turbulencijom.

NAPOMENA 1: Odabir proračunskog pristupa ili zamjenskih proračunskih postupaka smije se ustanoviti u nacionalnom dodatku.

NAPOMENA 2: Izravna usporedba postupaka predloženih u točkama E.1.5.2 i E.1.5.3 nije moguća zbog određenih ulaznih parametara odabranih za različite uvjete okoliša. U nacionalnom dodatku smije se ustanoviti područje primjene za svaki predloženi pristup.

NAPOMENA 3: Miješanje pristupa iz točaka E.1.5.2 i E.1.5.3 nije dopušteno, osim ako je posebno naglašeno u tekstu.

(2) Pristup dan u točki E.1.5.2 može se upotrebljavati za različite vrste konstrukcija i oblike vibriranja. Obuhvaćene su turbulencije i učinci hrapavosti, a smije se upotrebljavati za uobičajene klimatske uvjete.

(3) Pristup dan u točki E.1.5.3 smije se upotrebljavati za proračun odziva od vibracija u prvom obliku vibriranja konzolnih konstrukcija s pravilnom raspodjelom dimenzija poprečno na smjer vjetra duž glavnih osi konstrukcije. U pravilu, time su obuhvaćeni dimnjaci i stupovi. Pristup 2 iz točke E.1.5.3 ne smije se upotrebljavati za građevine u skupini ili linijski postavljene građevine i za udvojene valjke. Taj pristup omogućuje razmatranje različitih intenziteta turbulencije koji se pojavljuju zbog meteoroloških uvjeta. Za područja gdje je vjerojatno da može postati vrlo hladno ili da se mogu pojaviti uslojene zračne struje (npr. u priobalnim područjima u sjevernoj Europi), smije se upotrebljavati pristup iz točke E.1.5.3.

NAPOMENA: U nacionalnom dodatku smiju se odrediti područja gdje se mogu pojaviti vrlo hladni uvjeti i uslojene zračne struje. Za ta područja prikladniji je pristup 2 iz točke E.1.5.3, a u nacionalnom dodatku smiju se ustanoviti ulazni parametri (primjerice K_a ili intenzitet turbulencije) koje treba upotrebljavati u ovom pristupu.

E.1.5.2 Pristup 1 za proračun amplituda poprečno na vjetar

E.1.5.2.1 Proračun pomaka

Najveći pomak $y_{F,max}$ može se proračunati upotrebljavajući izraz (E.7).

$$\frac{y_{F,max}}{b} = \frac{1}{St^2} \frac{1}{Sc} K K_w c_{lat} \quad (E.7)$$

gdje je:

St Strouhalov broj dan u tablici E.1

Sc Scrutonov broj dan u točki E.1.3.3

K_w faktor proračunske korelacijske duljine dan u točki E.1.5.2.4

K faktor oblika vibriranja dan u točki E.1.5.2.5

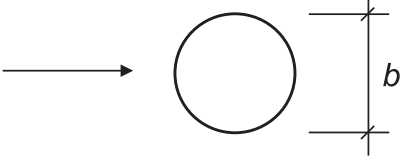
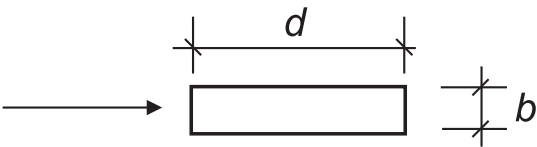
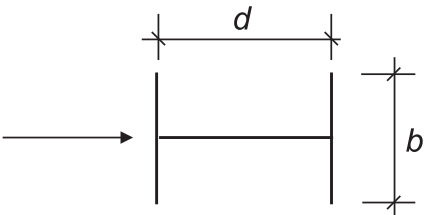
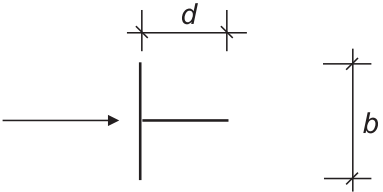
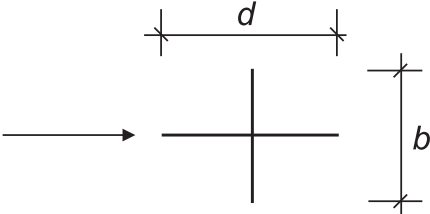
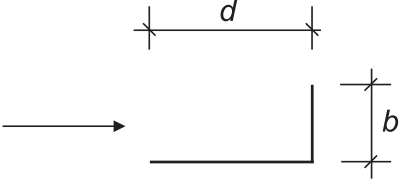
c_{lat} koeficijent poprečne sile dan u tablici E.2.

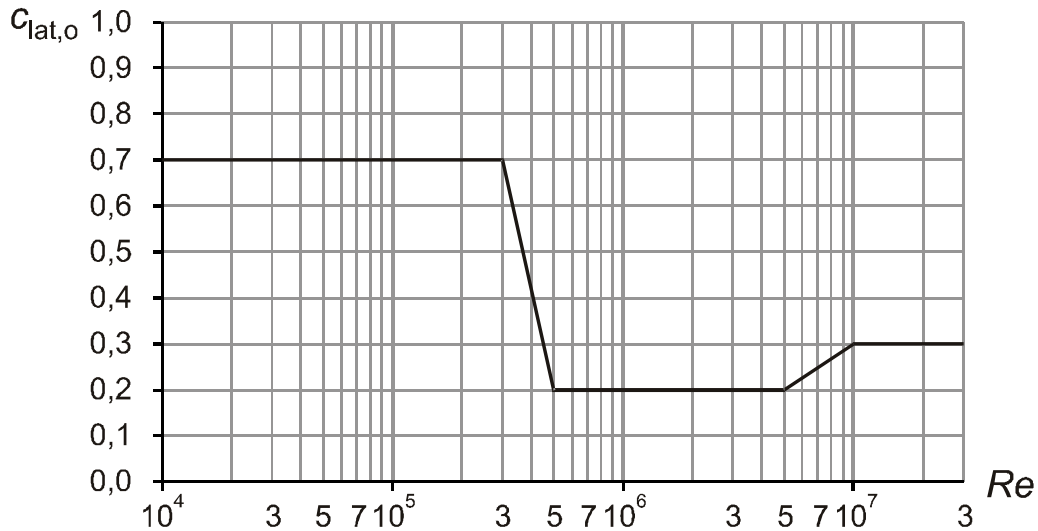
NAPOMENA: Aeroelastičke sile obuhvaćene su faktorom proračunske korelacijske duljine K_w .

E.1.5.2.2 Koeficijent poprečne sile c_{lat}

(1) Osnovna vrijednost koeficijenta poprečne sile $c_{lat,0}$ dana je u tablici E.2.

Tablica E.2 – Osnovna vrijednost koeficijenta poprečne sile $c_{lat,0}$ za različite poprečne presjeke

Poprečni presjek	$c_{lat,0}$
 <p>za sve Re brojeve</p>	sa slike E.2
 <p>$0,5 \leq d/b \leq 10$</p>	1,1
 <p>linearna interpolacija</p>	$d/b = 1$ $d/b = 1,5$ $d/b = 2$ 0,8 1,2 0,3
 <p>linearna interpolacija</p>	$d/b = 1$ $d/b = 2$ 1,6 2,3
 <p>linearna interpolacija</p>	$d/b = 1$ $d/b = 2$ 1,4 1,1
 <p>linearna interpolacija</p>	$d/b = 1,3$ $d/b = 2,0$ 0,8 1,0
NAPOMENA: Ekstrapolacija za koeficijent poprečne sile kao funkcija omjera d/b nije dopuštena.	



Slika E.2 – Osnovna vrijednost koeficijenta poprečne sile $c_{lat,0}$ u ovisnosti o Reynoldsovu broju $Re(v_{crit,i})$ za kružne valjke, vidjeti točku E.1.3.4

(2) Koeficijent poprečne sile c_{lat} dan je u tablici E.3.

Tablica E.3 – Koeficijent poprečne sile c_{lat} u ovisnosti o omjeru kritične brzine vjetra $v_{crit,i} / v_{m,Lj}$

Omjer kritične brzine vjetra	c_{lat}
$\frac{v_{crit,i}}{v_{m,Lj}} \leq 0,83$	$c_{lat} = c_{lat,0}$
$0,83 \leq \frac{v_{crit,i}}{v_{m,Lj}} < 1,25$	$c_{lat} = \left(3 - 2,4 \frac{v_{crit,i}}{v_{m,Lj}} \right) c_{lat,0}$
$1,25 \leq \frac{v_{crit,i}}{v_{m,Lj}}$	$c_{lat} = 0$

gdje je:

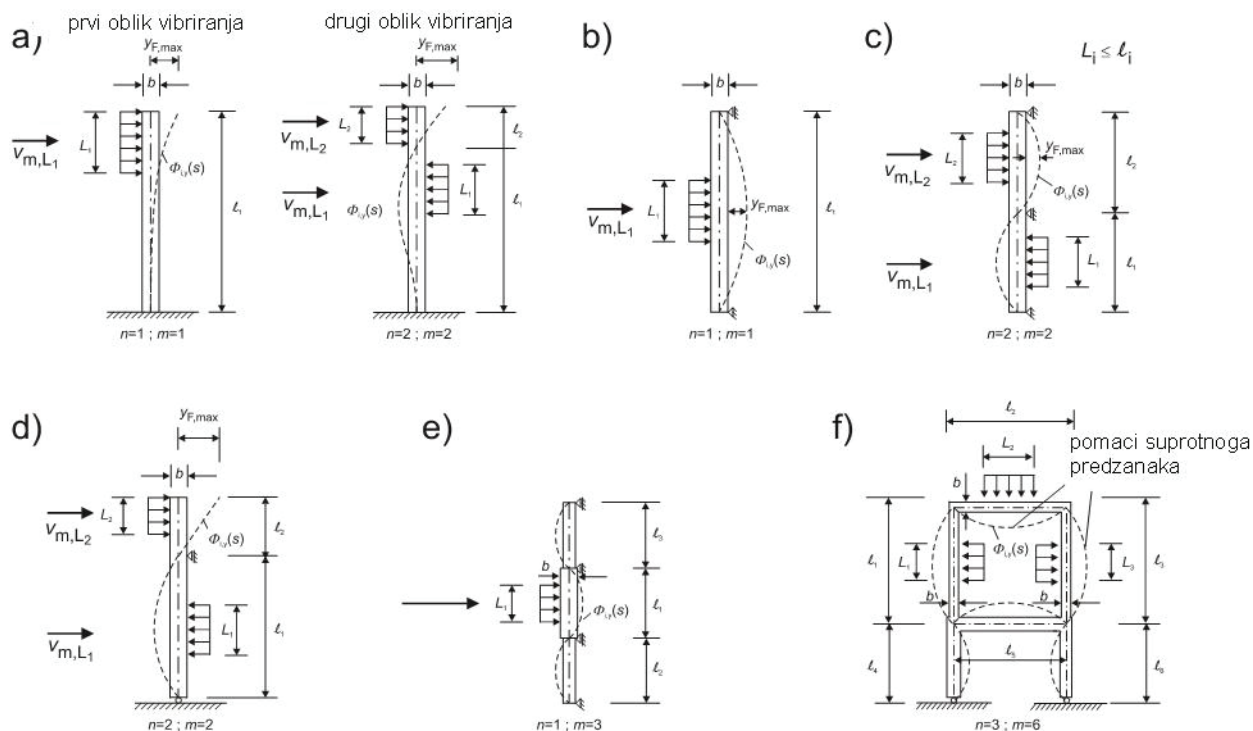
$c_{lat,0}$ osnovna vrijednost koeficijenta c_{lat} kao što je dato u tablici E.2 i, za kružne valjke, na slici E.2

$v_{crit,i}$ kritična brzina vjetra (vidjeti izraz (E.1.3.1)) $\langle AC \rangle$

$v_{m,Lj}$ srednja brzina vjetra (vidjeti točku 4.3.1) u sredini proračunske korelacijske duljine, kao što je definirano na slici E.3. $\langle AC \rangle$

E.1.5.2.3 Korelacijska duljina L

(1) Korelacijsku duljinu L_j treba postaviti u području između čvorova suprotnoga predznaka vibriranja. Primjeri su pokazani na slici E.3. Za stupove učvršćene užadima i kontinuirane višeraspanske mostove potreban je poseban savjet.



NAPOMENA Ako je pokazano više od jedne korelacijske duljine, sigurno je upotrebljavati ih istovremeno i treba upotrebljavati najveću vrijednost koeficijenta c_{lat} .

Slika E.3 – Primjeri primjene korelacijske duljine L_j ($j = 1, 2, 3$)

Tablica E.4 – Proračunska korelacijska duljina L_j kao funkcija amplitude vibriranja $y_F(s_j)$

$y_F(s_j)/b$	L_j/b
< 0,1	6
0,1 do 0,6	$4,8 + 12 \cdot \frac{y_F(s_j)}{b}$
> 0,6	12

E.1.5.2.4 Faktor proračunske korelacijske duljine K_w

(1) Faktor proračunske korelacijske duljine K_w dan je u izrazu (E.8).

$$K_w = \frac{\sum_{j=1}^n \int_{L_j} |\Phi_{i,y}(s)| ds}{\sum_{j=1}^m \int_{l_j} |\Phi_{i,y}(s)| ds} \leq 0,6 \quad (E.8)$$

gdje je:

$\Phi_{i,y}$ oblik vibriranja i (vidjeti točku F.3)

L_j korelacijska duljina

l_j duljina konstrukcije između dvaju čvorova (vidjeti sliku E.3); za konzolne konstrukcije jednaka je visini konstrukcije

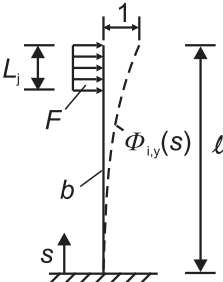
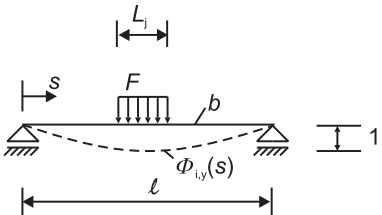
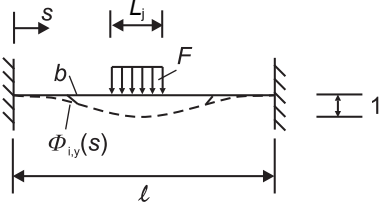
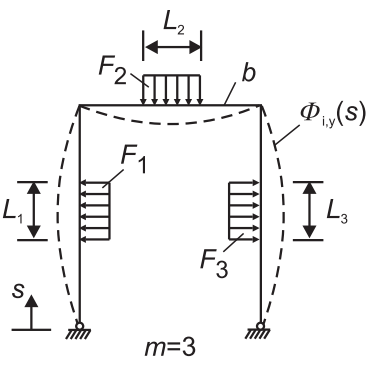
n broj područja gdje se vrtložna uzbuda pojavljuje u isto vrijeme (vidjeti sliku E.3)

m broj mjesta na konstrukciji koja vibrira između čvorova s pomacima suprotnoga predznaka za promatrani oblik $\Phi_{i,y}$

s koordinata određena u tablici E.5.

(2) Za neke jednostavne konstrukcije koje vibriraju poprečno na smjer vjetra u osnovnom obliku i sa silom uzbuđe navedenom u tablici E.5, faktor efektivne korelacijske duljine može se približno odrediti izrazima danima u tablici E.5.

Tablica E.5 – Faktor korelacijske duljine K_w i faktori oblika titranja K za neke jednostavne konstrukcije

Konstrukcija ^{NB 13)}	Oblik vibriranja $\Phi_{i,y}(s)$	K_w	K
	<p>vidjeti točku F.3 uz $\xi = 2,0$ $n = 1; m = 1$</p>	$3 \cdot \frac{L_j/b}{\lambda} \left[1 - \frac{L_j/b}{\lambda} + \frac{1}{3} \left(\frac{L_j/b}{\lambda} \right)^2 \right]$	0,13
	<p>vidjeti tablicu F.1 $n = 1; m = 1$</p>	$\cos \left[\frac{\pi}{2} \left(1 - \frac{L_j/b}{\lambda} \right) \right]$	0,10
	<p>vidjeti tablicu F.1 $n = 1; m = 1$</p>	$\frac{L_j/b}{\lambda} + \frac{1}{\pi} \sin \left[\pi \left(1 - \frac{L_j/b}{\lambda} \right) \right]$	0,11
	<p>modalna analiza $n = 3; m = 3$</p>	$\frac{\sum_{j=1}^n \int_{L_j} \Phi_{i,y}(s) ds}{\sum_{j=1}^m \int_{l_j} \Phi_{i,y}(s) ds}$	0,10
<p>AC NAPOMENA 1: Oblik vibriranja $\Phi_{i,y}(s)$ uzet je iz točke F.3. Parametri n i m određeni su u izrazu (E.8) i na slici E.3. AC</p> <p>NAPOMENA 2: $\lambda = l/b$</p>			

^{NB 13)} Nacionalna bilješka: U trećem crtežu izvornika nedostaje L_j za oznaku opterećene duljine silom F , što je ovdje ispravljeno.

E.1.5.2.5 Faktor oblika vibriranja

(1) Faktor oblika vibriranja dan je u izrazu (E.9).

$$K = \frac{\sum_{j=1}^m \int_{l_j} |\Phi_{i,y}(s)| ds}{4\pi \sum_{j=1}^m \int_{l_j} \Phi_{i,y}^2(s) ds} \quad (\text{E.9})$$

gdje je:

m određeno u točki E.1.5.2.4(1)

$\Phi_{i,y}(s)$ oblik vibriranja i poprečno na smjer vjetra (vidjeti točku F.3)

l_j duljina konstrukcije između dvaju čvorova (vidjeti sliku E.3).

(2) Za neke jednostavne konstrukcije koje vibriraju poprečno na smjer vjetra u osnovnom obliku, faktor oblika vibriranja dan je u tablici E.5.

E.1.5.2.6 Broj ciklusa opterećenja

(1) Broj ciklusa opterećenja N izazvan titranjem zbog vrtloženja dan je izrazom (E.10).

$$N = 2 T n_y \varepsilon_0 \left(\frac{v_{\text{crit}}}{v_0} \right)^2 \exp \left(- \left(\frac{v_{\text{crit}}}{v_0} \right)^2 \right) \quad (\text{E.10})$$

gdje je:

n_y vlastita frekvencija [Hz] oblika vibriranja poprečno na smjer vjetra. Približna vrijednost za n_y dana je u Dodatku F

v_{crit} kritična brzina vjetra [m/s] dana u točki E.1.3.1

v_0 $\sqrt{2}$ puta modalna vrijednost Weibullove raspodjele vjerojatnosti koja je usvojena za brzinu vjetra [m/s], vidjeti napomenu 2

T životni vijek u sekundama, koji je jednak očekivanom životnom vijeku u godinama pomnoženom s $3,2 \times 10^7$

ε_0 faktor pojasne širine koji opisuje opseg brzina vjetra s vibracijama nastalim zbog vrtloženja, vidjeti napomenu 3.

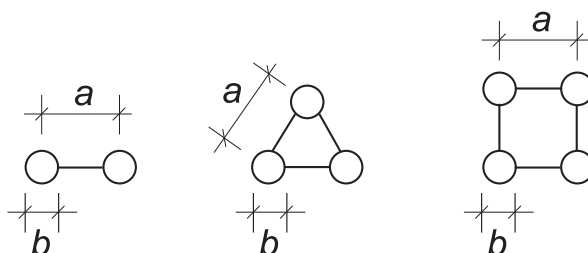
NAPOMENA 1: U nacionalnom dodatku smije se ustanoviti najmanji broj ciklusa opterećenja N . Preporučena vrijednost je $N \geq 10^4$.

NAPOMENA 2: Vrijednost v_0 smije se uzeti kao 20 % vrijednosti karakteristične srednje brzine vjetra kao što je određeno u točki 4.3.1(1), na visini poprečnog presjeka gdje se vrtložno odvajanje pojavljuje.

NAPOMENA 3: Vrijednost faktora pojasne širine ε_0 kreće se u području 0,1 – 0,3. Smije se uzeti vrijednost $\varepsilon_0 = 0,3$.

E.1.5.2.7 Vrtložna rezonancija vertikalnih valjaka postavljenih u red ili u skupinu

(1) Kod vertikalnih valjaka postavljenih u red ili u skupinu, s veznim elementima ili bez njih (vidjeti sliku E.4), mogu se pojaviti vibracije izazvane vrtloženjem.



Slika E.4 – Linijski ili grupirani razmještaj valjaka

(2) Najveći progibi zbog titranja mogu se procijeniti s izrazom (E.7) i proračunskim postupkom danim u točki E.1.5.2, s izmjenama danim u izrazima (E.11) i (E.12).

Za linijske, slobodnostojeće kružne valjke bez veznih elemenata:

$$c_{\text{lat}} = 1,5 c_{\text{lat}(\text{single})} \quad \text{za} \quad 1 \leq \frac{a}{b} \leq 10$$

$$c_{\text{lat}} = c_{\text{lat}(\text{single})} \quad \text{za} \quad \frac{a}{b} \geq 15$$

$$\text{linearna interpolacija} \quad \text{za} \quad 10 < \frac{a}{b} \leq 15 \quad (\text{E.11})$$

$$St = 0,1 + 0,085 \log\left(\frac{a}{b}\right) \quad \text{za} \quad 1 \leq \frac{a}{b} \leq 9$$

$$St = 0,18 \quad \text{za} \quad \frac{a}{b} > 9$$

gdje je:

$c_{\text{lat}(\text{single})} = c_{\text{lat}}$ kao što je navedeno u tablici E.3.

Za valjke s veznim elementima:

$$c_{\text{lat}} = K_{\text{iv}} c_{\text{lat}(\text{single})} \quad \text{za} \quad 1,0 \leq a / b \leq 3,0 \quad (\text{E.12})$$

gdje je:

K_{iv} faktor interferencije za vrtložno odvajanje (tablica E.8)

St Strouhalov broj, dan u tablici E.8

Sc Scrutonov broj, dan u tablici E.8.

☐ Za valjke s veznim elementima s $a/b > 3,0$ preporuča se savjet stručnjaka. ☐

NAPOMENA: Faktor $1,5 c_{lat}$ za kružne valjke bez veznih elemenata je grubo približenje. Očekuje se da je to konzervativna vrijednost.

E.1.5.3 Pristup 2 za proračun amplituda poprečno na vjetar

(1) Karakteristični najveći pomak u točki s najvećim gibanjem dan je izrazom (E.13).

$$y_{\max} = \sigma_y k_p \quad (\text{E.13})$$

gdje je:

σ_y standardna devijacija pomaka, vidjeti stavak (2)

k_p vršni faktor, vidjeti stavak (6).

(2) Standardna devijacija σ_y pomaka koji se odnosi na širinu b u točki s najvećim progibom ($\Phi = 1$) može se proračunati upotrebljavajući izraz (E.14).

$$\frac{\sigma_y}{b} = \frac{1}{St^2} \frac{C_c}{\sqrt{\frac{Sc}{4\pi} - K_a \left(1 - \left(\frac{\sigma_y}{b a_L}\right)^2\right)}} \sqrt{\frac{\rho b^2}{m_e}} \sqrt{\frac{b}{h}} \quad (\text{E.14})$$

gdje je:

C_c aerodinamička konstanta koja ovisi o obliku poprečnog presjeka, i za kružne valjke također ovisi o Reynoldsovom broju Re kao što je određeno u točki E.1.3.4(1); konstanta je dana u tablici E.6

K_a aerodinamički faktor prigušenja kao što je dato u točki E.1.5.3.(4)

a_L normalizirana ograničavajuća amplituda koja daje progibe konstrukcija s vrlo malim prigušenjem; dana je u tablici E.6

☐ Sc Scrutonov broj dan u točki E.1.3.3 ☐

☐ St Struohalov broj dan u tablici E.1 ☐

ρ gustoća zraka u uvjetima vrtložnog odvajanja, vidjeti napomenu 1

m_e proračunska masa po jediničnoj duljini; dana u točki F.4(1)

h, b visina i širina konstrukcije. Za konstrukcije s promjenjivom širinom upotrebljava se širina u točki s najvećim pomacima.

NAPOMENA 1: Vrijednost gustoće zraka ρ smije se ustanoviti u nacionalnom dodatku. Preporučena vrijednost je $1,25 \text{ kg/m}^3$.

NAPOMENA 2: Aerodinamička konstanta C_c ovisi o sili odizanja koja djeluje na nepokretnu konstrukciju.

NAPOMENA 3: Opterećenja vjetrom izazvana kretanjem obuhvaćena su s K_a i a_L .

(3) Rješenje izraza (E.14) dano je u izrazu (E.15).

$$\left(\frac{\sigma_y}{b}\right)^2 = c_1 + \sqrt{c_1^2 + c_2} \quad (\text{E.15})$$

gdje su konstante c_1 i c_2 dane s:

$$c_1 = \frac{a_L^2}{2} \left(1 - \frac{Sc}{4\pi K_a}\right); \quad c_2 = \frac{\rho b^2}{m_c} \frac{a_L^2}{K_a} \frac{C_c^2}{St^4} \frac{b}{h} \quad (\text{E.16})$$

(4) Aerodinamička konstanta prigušenja K_a se smanjuje s povećanjem intenziteta turbulencije. Za intenzitet turbulencije od 0 %, aerodinamička konstanta prigušenja smije se uzeti kao $K_a = K_{a,\max}$, što je pokazano u tablici E.6.

NAPOMENA: Primjena $K_{a,\max}$ za intenzitete turbulencije veće od 0 % daje konzervativno predviđanje pomaka. U nacionalnom dodatku smiju se dati iscrpniji podaci o utjecaju intenziteta turbulencije na faktor K_a .

(5) Za kružne valjke i kvadratni poprečni presjek konstante C_c , $K_{a,\max}$ i a_L dane su u tablici E.6.

Tablica E.6 – Konstante za određivanje učinka vrtložnog odvajanja

Konstanta	Kružni valjak $Re \leq 10^5$	Kružni valjak $Re = 5 \times 10^5$	Kružni valjak $Re \geq 10^6$	Kvadratni poprečni presjek
C_c	0,02	0,005	0,01	0,04
$K_{a,\max}$	2	0,5	1	6
a_L	0,4	0,4	0,4	0,4

NAPOMENA: Kod kružnih valjaka pretpostavljeno je da se konstante C_c i $K_{a,\max}$ mijenjaju linearno s logaritmom Reynoldsova broja, za $10^5 < Re < 5 \times 10^5$ (konstanta C_c) i $5 \times 10^5 < Re < 10^6$ (konstanta $K_{a,\max}$).

(6) Treba odrediti vršni faktor k_p .

NAPOMENA: U nacionalnom dodatku smije se ustanoviti vrijednost vršnog faktora. Izraz (E.17) daje preporučenu vrijednost.

$$\boxed{\text{AC}} k_p = \sqrt{2} \left(1 + 1,2 \arctan \left(0,75 \frac{Sc}{(4\pi K_a)^4}\right)\right) \boxed{\text{AC}} \quad (\text{E.17})$$

(7) Broj ciklusa opterećenja smije se odrediti iz točke E.1.5.2.6 upotrebljavajući faktor pojasne širine $\varepsilon_0 = 0,15$.

E.1.6 Mjere za sprječavanje vibracija izazvanih vrtloženjem

(1) Amplitude izazvane vrtloženjem smiju se smanjiti pomoću aerodinamičkih naprava (samo u posebnim uvjetima, npr. kada je Scrutonov broj veći od 8) ili prigušnih naprava kojima je opremljena konstrukcija. Koefficient sile otpora c_f za konstrukcije s kružnim poprečnim presjekom i opremljene aerodinamičkim napravama-

ma postavljenima na osnovni promjer b smije se povećati do vrijednosti 1,4. Obje primjene zahtijevaju poseban savjet.

(2) Za više podataka, vidjeti pravila za posebne konstrukcije.

E.2 Galopiranje

E.2.1 Općenito

(1) Galopiranje je pojava samoizazvanih vibracija savitljivih konstrukcija u obliku vibriranja poprečno na smjer vjetra. Poprečni presjeci koji nisu kružni, uključujući profile L, I, U i T, skloni su galopiranju. Led može prouzročiti da stabilan presjek postane nestabilan.

(2) Galopirajuće oscilacije počinju pri vjetru s određenom brzinom v_{CG} i obično se amplitude naglo povećavaju s povećanjem brzine vjetra.

E.2.2 Brzina vjetra pri kojoj počinje galopiranje

(1) Brzina vjetra pri kojoj počinje galopiranje, v_{CG} , dana je u izrazu (E.18).

$$v_{CG} = \frac{2 Sc}{a_G} n_{1,y} b \quad (E.18)$$

gdje je:

Sc Scrutonov broj kao što je određeno u točki E.1.3.3(1)

$n_{1,y}$ vlastita frekvencija konstrukcije okomito na smjer vjetra; približne vrijednosti za $n_{1,y}$ dane su u točki F.2

b širina, kao što je određeno u tablici E.7

a_G faktor galopirajuće nestabilnosti (tablica E.7); ako se ne zna faktor galopirajuće nestabilnosti smije se upotrebljavati $a_G = 10$.

(2) Treba osigurati da je:

$$v_{CG} > 1,25 v_m \quad (E.19)$$

gdje je:

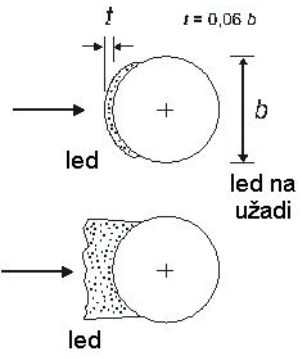
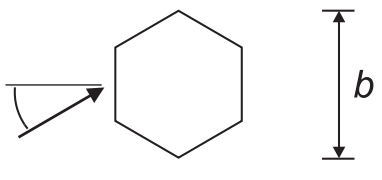
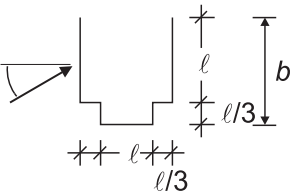
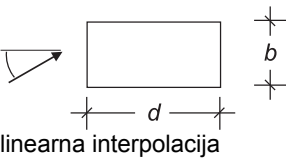
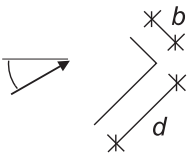
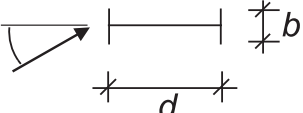
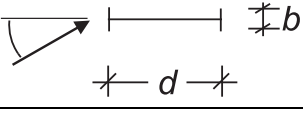
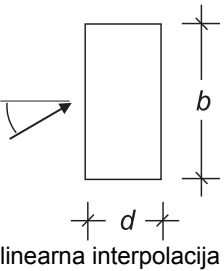
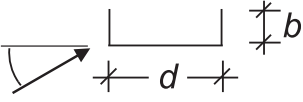
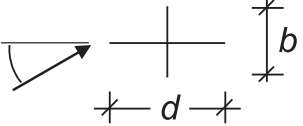
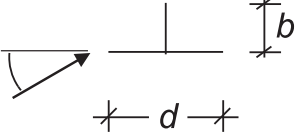
v_m srednja brzina vjetra kao što je određeno u izrazu (4.3) i proračunana na visini, tamo gdje se očekuje pojava galopiranja, gdje je vjerojatno da će biti najveća amplituda titranja.

(3) Ako je kritična brzina vrtložnog odvajanja v_{crit} bliska brzini vjetra pri kojoj počinje galopiranje v_{CG} :

$$0,7 < \frac{v_{CG}}{v_{crit}} < 1,5 \quad (E.20)$$

vjerojatno je da će se pojaviti međudjelovanje vrtložnog odvajanja i galopiranja. U tom je slučaju potreban savjet stručnjaka.

Tablica E.7 – Faktor galopirajuće nestabilnosti a_G

Poprečni presjek	Faktor galopirajuće nestabilnosti a_G	Poprečni presjek	Faktor galopirajuće nestabilnosti a_G		
	1,0		1,0		
			4		
	$d/b=2$	2		$d/b=2$	0,7
	$d/b=1,5$	1,7		$d/b=2,7$	5
	$d/b=1$	1,2		$d/b=5$	7
	$d/b=2/3$	1		$d/b=3$	7,5
	$d/b=1/2$	0,7		$d/b=3/4$	3,2
	$d/b=1/3$	0,4		$d/b=2$	1
<p>NAPOMENA: Nije dopuštena ekstrapolacija za faktor a_G kao funkcije omjera d/b.</p>					

E.2.3 Klasično galopiranje povezanih valjaka

(1) Kod povezanih valjaka (vidjeti sliku E.4), može se pojaviti klasično galopiranje.

(2) Brzina vjetra pri kojoj počinje klasično galopiranje povezanih valjaka, v_{CG} , smije se procijeniti izrazom (E.21).

$$v_{CG} = \frac{2 S_c}{a_G} n_{1,y} b \quad (E.21)$$

gdje su S_c , a_G i b dani u tablici E.8, a $n_{1,y}$ je vlastita frekvencija oblika vibriranja (vidjeti točku F.2).

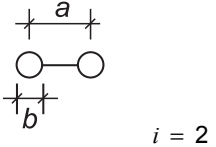
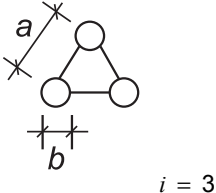
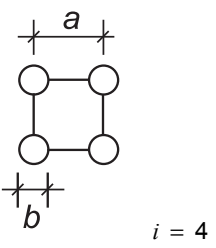
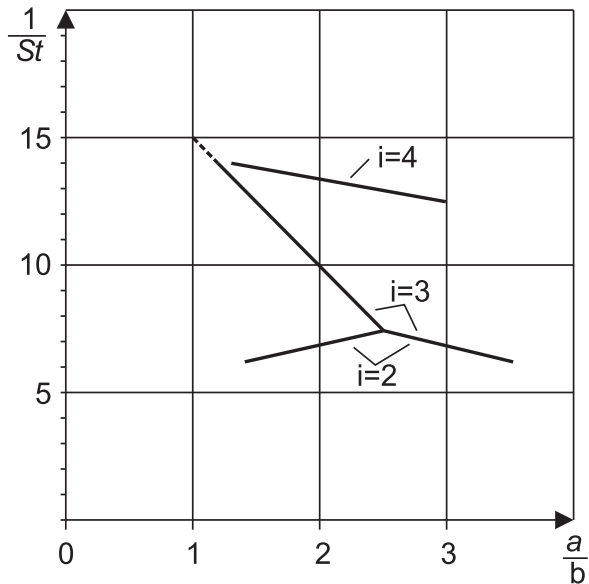
(3) Treba osigurati da je:

$$v_{CG} > 1,25 v_m(z) \quad (E.22)$$

gdje je:

$v_m(z)$ srednja brzina vjetra kao što je određeno u izrazu (4.3), proračunano na visini z , tamo gdje se očekuje pojava galopiranja, gdje je vjerojatno da će biti najveća amplituda titranja.

Tablica E.8 – Podaci za procjenu odziva povezanih valjaka poprečno na smjer vjetra, postavljenih u redu ili u skupini

Povezani valjci	Scrutonov broj $S_c = \frac{2 \delta_s \sum m_{i,y}}{\rho b^2}$ (usporediti s izrazom E.4)			
	$a/b = 1$	$a/b \geq 2$	$a/b \leq 1,5$	$a/b \geq 2,5$
 $i = 2$	$K_{iv} = 1,5$	$K_{iv} = 1,5$	$a_G = 1,5$	$a_G = 3,0$
 $i = 3$	$K_{iv} = 4,8$	$K_{iv} = 3,0$	$a_G = 6,0$	$a_G = 3,0$
 $i = 4$	$K_{iv} = 4,8$	$K_{iv} = 3,0$	$a_G = 1,0$	$a_G = 2,0$
linearna interpolacija				
				
Recipročne vrijednosti Strouhalovih brojeva za povezane valjke postavljene u redu ili u skupini.				

E.3 Interferencijsko galopiranje dvaju ili više slobodnostojećih valjaka

(1) Interferencijsko galopiranje je pojava samoizazvanih vibracija koje se mogu pojaviti ako su dva ili više valjaka blisko postavljeni, bez veznih elemenata između njih.

(2) Ako je napadni kut vjetra unutar područja kritičnog smjera vjetra β_k i ako je $a/b < 3$ (vidjeti sliku E.5), kritična brzina vjetra, v_{CIG} , smije se procijeniti s:

$$v_{CIG} = 3,5 n_{1,y} b \sqrt{\frac{a}{b} \frac{Sc}{a_{IG}}} \quad (E.23)$$

gdje je:

Sc Scrutonov broj kao što je određeno u točki E.1.3.3(1)

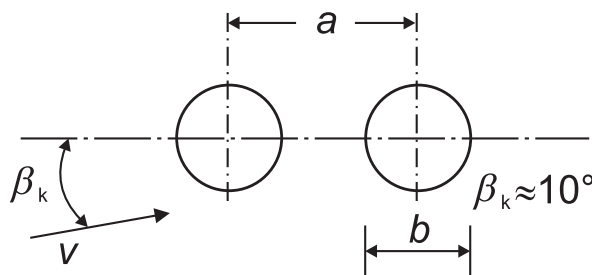
a_{IG} kombinirani parametar stabilnosti $a_{IG} = 3,0$

$n_{1,y}$ vlastita frekvencija oblika vibriranja okomito na smjer vjetra. Približne vrijednosti dane su u točki F.2

a razmak

b promjer.

NAPOMENA: U nacionalnom dodatku smiju se ustanoviti dodatne smjernice za a_{IG} .



Slika E.5 – Geometrijski parametri za interferencijsko galopiranje

(3) Interferencijsko galopiranje može se izbjeći povezivanjem slobodnostojećih valjaka. U tom se slučaju može pojaviti klasično galopiranje (vidjeti točku E.2.3).

E.4 Divergencija i treperenje

E.4.1 Općenito

(1) Divergencija i treperenje su nestabilnosti koje se pojavljuju kod savitljivih pločastih konstrukcija, npr. reklamni panoi i rasponski sklopovi ovješanih mostova, kada je brzina vjetra veća od neke granične brzine ili pri kritičnoj brzini. Nestabilnost je prouzročena progibom konstrukcije koji mijenja aerodinamiku, a time i opterećenje.

(2) Divergenciju i treperenje treba izbjeći.

(3) Postupci dani u nastavku omogućuju ocjenu osjetljivosti konstrukcije pomoću jednostavnih konstrukcijskih kriterija. Ako ti kriteriji nisu ispunjeni, preporuča se savjetovanje sa stručnjakom.

E.4.2 Kriteriji za pločaste konstrukcije

(1) Kada je konstrukcija sklona divergenciji ili treperenju, tada zadovoljava sva tri kriterija dana u nastavku. Kriterije treba provjeriti redoslijedom kojim su navedeni (prvo najlakši) i ako bilo koji od kriterija nije ispunjen, konstrukcija neće biti sklona ni divergenciji ni treperenju.

- konstrukcija, ili njezin značajan dio, ima izduljen poprečni presjek (poput ravne ploče) s omjerom b/d manjim od 0,25 (vidjeti sliku E.6)

AC

- torzijska os je paralelna s ravninom ploče i okomita na smjer vjetra, a središte torzije nalazi se udaljeno najmanje za $d/4$ u smjeru vjetra od vjetru izloženog ruba ploče, gdje je d dimenzija ploče u smjeru vjetra mjerena okomito na torzijsku os. To obuhvaća obične slučajeve kada se središte torzije nalazi u geometrijskom središtu, tj. središnje pridržane reklamne panoe ili nadstrešnice, te kada je središte torzije smješteno na rubu koji se nalazi niz vjetar, tj. za konzolne nadstrešnice. AC
- najniža vlastita frekvencija odgovara torzijskom obliku vibriranja ili je najniža torzijska vlastita frekvencija manja od dvostruke najniže translacijske vlastite frekvencije.

E.4.3 Brzina divergencije

(1) Kritična brzina vjetra za pojavu divergencije dana je u izrazu (E.24).

$$v_{\text{div}} = \left[\frac{2k_{\Theta}}{\rho d^2 \frac{dc_M}{d\Theta}} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (\text{E.24})$$

gdje je:

k_{Θ} torzijska krutost

c_M koeficijent aerodinamičkog momenta dan u izrazu (E.25):

$$c_M = \frac{M}{\frac{1}{2} \rho v^2 d^2} \quad (\text{E.25})$$

$dc_M/d\Theta$ brzina promjene koeficijenta aerodinamičkog momenta u odnosu na rotaciju oko torzijskog središta, Θ je u radijanima

- M aerodinamički moment jedinične duljine konstrukcije
- ρ gustoća zraka dana u točki 4.5
- d debljina konstrukcije u smjeru vjetra (vidjeti sliku E.6)
- b širina, kao što je prikazano na slici E.6.

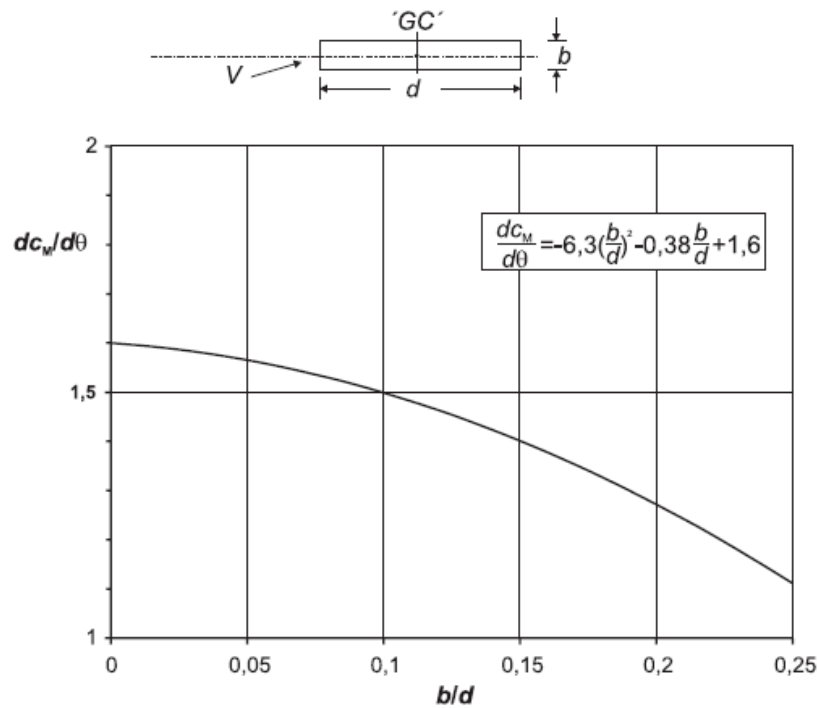
(2) Vrijednosti $dc_M/d\theta$ mjerene oko geometrijskog središta različitih pravokutnih presjeka dane su na slici E.6.

(3) Treba osigurati da je:

$$v_{\text{div}} > 2 v_m(z_s) \quad (\text{E.26})$$

gdje je:

$v_m(z_s)$ srednja brzina vjetra, kao što je određeno u izrazu (4.3), na visini z_s (određeno na slici 6.1).



AC Slika E.6 – Brzina promjene koeficijenta aerodinamičkog momenta, $dc_M/d\theta$, u odnosu na geometrijsko središte „GC“ pravokutnog presjeka **AC**

Dodatak F (obavijesni)

Dinamičke značajke konstrukcija

F.1 Općenito

(1) Proračunski postupci preporučeni u ovom poglavlju pretpostavljaju da se konstrukcije ponašaju linearno elastično i imaju obične oblike vibriranja. Dinamička su svojstva konstrukcije, stoga, opisana s:

- vlastitim frekvencijama
- oblicima vibriranja
- istovrijednim masama
- logaritamskim dekrementima prigušenja.

(2) Treba procijeniti vlastite frekvencije, oblike vibriranja, istovrijedne mase i logaritamske dekreme prigušenja, teorijski ili eksperimentalno, upotrebljavajući metode dinamike konstrukcija.

(3) Temeljna dinamička svojstva mogu se procijeniti s približnim veličinama, upotrebljavajući pojednostavnjene analitičke, poluempirijske ili empirijske jednadžbe, pod uvjetom da su prikladno dokazane. Neke od tih jednadžbi navedene su u točkama F.2 do F.5.

F.2 Osnovna frekvencija

(1) Za konzole s jednom masom smještenom na kraj, pojednostavnjeni izraz za proračun osnovne frekvencije pri savijanju konstrukcije n_1 dan je s izrazom (F.1):

$$n_1 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{x_1}} \quad (\text{F.1})$$

gdje je:

g gravitacijsko ubrzanje = 9,81 m/s²

x_1 najveći pomak od vlastite težine u smjeru vibriranja [m].

(2) Osnovna frekvencija pri savijanju, n_1 , višekatnih zgrada visina većih od 50 m može se procijeniti upotrebljavajući izraz (F.2):

$$n_1 = \frac{46}{h} \text{ [Hz]} \quad (\text{F.2})$$

gdje je:

h visina konstrukcije [m].

Isti izraz smije se upotrebljavati kao smjernica za zgrade s jednim katom i tornjeve.

(3) Osnovna frekvencija pri savijanju, n_1 , za dimnjake može se procijeniti s izrazom (F.3):

$$n_1 = \frac{\varepsilon_1 b}{h_{\text{eff}}^2} \sqrt{\frac{W_s}{W_t}} \quad [\text{Hz}] \quad (\text{F.3})$$

UZ:

$$h_{\text{eff}} = h_1 + \frac{h_2}{3} \quad (\text{F.4})$$

gdje je:

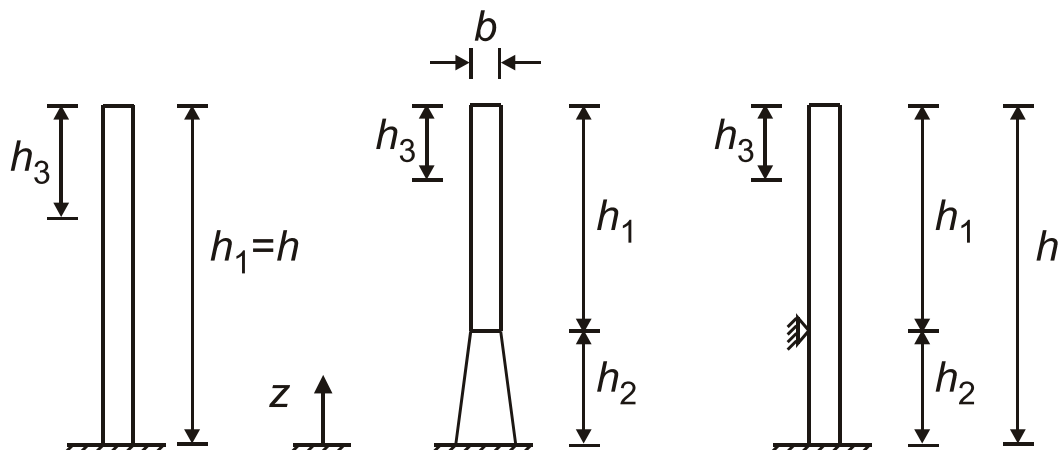
b promjer dimnjaka na vrhu [m]

h_{eff} proračunska visina dimnjaka [m], h_1 i h_2 dani su na slici F.1

W_s težina konstrukcijskih dijelova koji pridonose krutosti dimnjaka

W_t ukupna težina dimnjaka

ε_1 iznosi 1000 za čelične dimnjake i 700 za betonske i zidane dimnjake.



NAPOMENA: $h_3 = h_1/3$, vidjeti točku F.4(2).

Slika F.1 – Geometrijski parametri za dimnjake

(4) Osnovna kružna frekvencija $n_{1,0}$ dugih valjkastih ljuski bez ukрутnih prstena smije se proračunati upotrebivajući izraz (F.5).

$$n_{1,0} = 0,492 \sqrt{\frac{t^3 E}{\mu_s (1-\nu^2) b^4}} \quad (\text{F.5})$$

gdje je:

E Youngov modul [N/m^2]

t debljina ljuske [m]

- ν Poissonov omjer
 μ_s masa ljuske po jediničnoj ploštini [kg/m^2]
 b promjer ljuske [m].

Izraz (F.5) daje najniže vlastite frekvencije ljuske. Ukrutni prsteni povećavaju n_0 .

(5) Osnovna vertikalna frekvencija pri savijanju, $n_{1,B}$, ploče ili sandučastog nosača mosta smije se približno izvesti iz izraza (F.6).

$$n_{1,B} = \frac{K^2}{2\pi L^2} \sqrt{\frac{E I_b}{m}} \quad (\text{F.6})$$

gdje je:

- L duljina glavnog raspona [m]
 E Youngov modul [N/m^2]
 I_b moment tromosti poprečnog presjeka za vertikalno savijanje u sredini raspona [m^4]
 m masa po jediničnoj duljini cijeloga poprečnog presjeka u sredini raspona (za stalna i dodatna stalna opterećenja) [kg/m]
 K bezdimenzijski faktor ovisan o rasporedu raspona, kao što je navedeno u nastavku.

a) Za mostove s jednim rasponom:

- $K = \pi$ ako je slobodno oslonjena greda
 $K = 3,9$ ako je greda s prepustima, ili
 $K = 4,7$ ako su krajnji oslonci upeti.

b) Za kontinuirane mostove s dvama rasponima

K se određuje iz slike F.2, upotrebljavajući krivulju za mostove s dvama rasponima, gdje je

L_1 duljina rubnog raspona i $\overline{AC} L \geq L_1 \overline{AC}$

c) Za kontinuirane mostove s trima rasponima

K se određuje iz slike F.2, upotrebljavajući odgovarajuću krivulju za mostove s trima rasponima, gdje je

L_1 duljina najduljeg rubnog raspona

L_2 duljina drugog rubnog raspona, $\overline{AC} L \geq L_1 \geq L_2 \cdot \overline{AC}$

To također vrijedi i za mostove s trima rasponima gdje je glavni raspon konzolno oslonjen i/ili ovješeno.

Ako je $L_1 > L$, tada se K smije odrediti iz krivulje za mostove s dvama rasponima, zanemarujući najkraći rubni raspon i uzimajući najveći rubni raspon kao glavni raspon ekvivalentnog mosta s dvama rasponima.

d) Za simetrične kontinuirane mostove s četirima rasponima (odnosno mostove simetrične oko srednjeg oslonca):

K se smije odrediti iz krivulje sa slike F.2 za mostove s dvama rasponima, uzimajući svaku polovinu mosta kao da je ekvivalentni most s dvama rasponima.

e) Za nesimetrične kontinuirane mostove s četirima rasponima i kontinuirane mostove s više od četiriju raspona:

K se smije odrediti iz odgovarajuće krivulje sa slike F.2 za mostove s trima rasponima, tako da se za glavni raspon odabere najveći unutarnji raspon.

NAPOMENA 1: Ako vrijednost $\sqrt{\frac{E I_b}{m}}$ nad osloncem premašuje dvostruku vrijednost u sredini raspona ili je manja od 80 % vrijednosti u sredini raspona, tada ne treba upotrebljavati izraz (F.6), osim ako su dovoljne vrlo približne vrijednosti.

NAPOMENA 2. Za određivanje $n_{1,B}$ (za slučajeve iz Napomene 1) treba upotrebljavati iste parametre.^{NB 14)}

(6) Osnovna torzijska frekvencija pločastih mostova jednaka je osnovnoj frekvenciji pri savijanju proračunanoj iz izraza (F.6), pod uvjetom da prosječna vrijednost uzdužne tromosti pri savijanju po jedinici širine nije manja od 100 puta prosječne poprečne tromosti pri savijanju po jedinici duljine.

(7) Osnovna torzijska frekvencija sandučastog nosača smije se približno odrediti iz izraza (F.7):

$$n_{1,T} = n_{1,B} \sqrt{P_1 (P_2 + P_3)} \quad (F.7)$$

UZ:

$$P_1 = \frac{m b^2}{I_p} \quad (F.8)$$

$$P_2 = \frac{\sum r_j^2 I_j}{b^2 I_p}$$

$$\boxed{AC} P_3 = \frac{L^2 \sum J_j}{2 K^2 b^2 I_p (1 + \nu)} \boxed{AC} \quad (F.10)$$

gdje je:

$n_{1,B}$ osnovna frekvencija pri savijanju u Hz

b ukupna širina mosta

m masa po jedinici duljine određena u točki F.2(5)

ν Poissonov omjer za materijal glavnog nosača

r_j razmak između osi pojedinog sanduka do osi mosta

I_j moment tromosti mase po jedinici duljine pojedinog sanduka za vertikalno savijanje u sredini raspona, uključujući pripadnu proračunsku širinu rasponskog sklopa

I_p moment tromosti mase po jedinici duljine za poprečni presjek u sredini raspona. Opisan je s izrazom (F.11).

$$I_p = \frac{m_d b^2}{12} + \sum (I_{pj} + m_j r_j^2) \quad (F.11)$$

gdje je:

m_d masa po jedinici duljine samo rasponskog sklopa, u sredini raspona

I_{pj} moment tromosti mase samo pojedinog sanduka, u sredini raspona

^{NB 14)} Nacionalna bilješka: Zbog nejasne formulacije teksta u Napomeni 2, ovdje je napisan razumljiv tekst.

m_j masa po jedinici duljine samo pojedinog sanduka, u sredini raspona, bez pripadnog dijela rasponske konstrukcije

J_j torzijska konstanta pojedinog sanduka u sredini raspona. Opisana je izrazom (F.12).

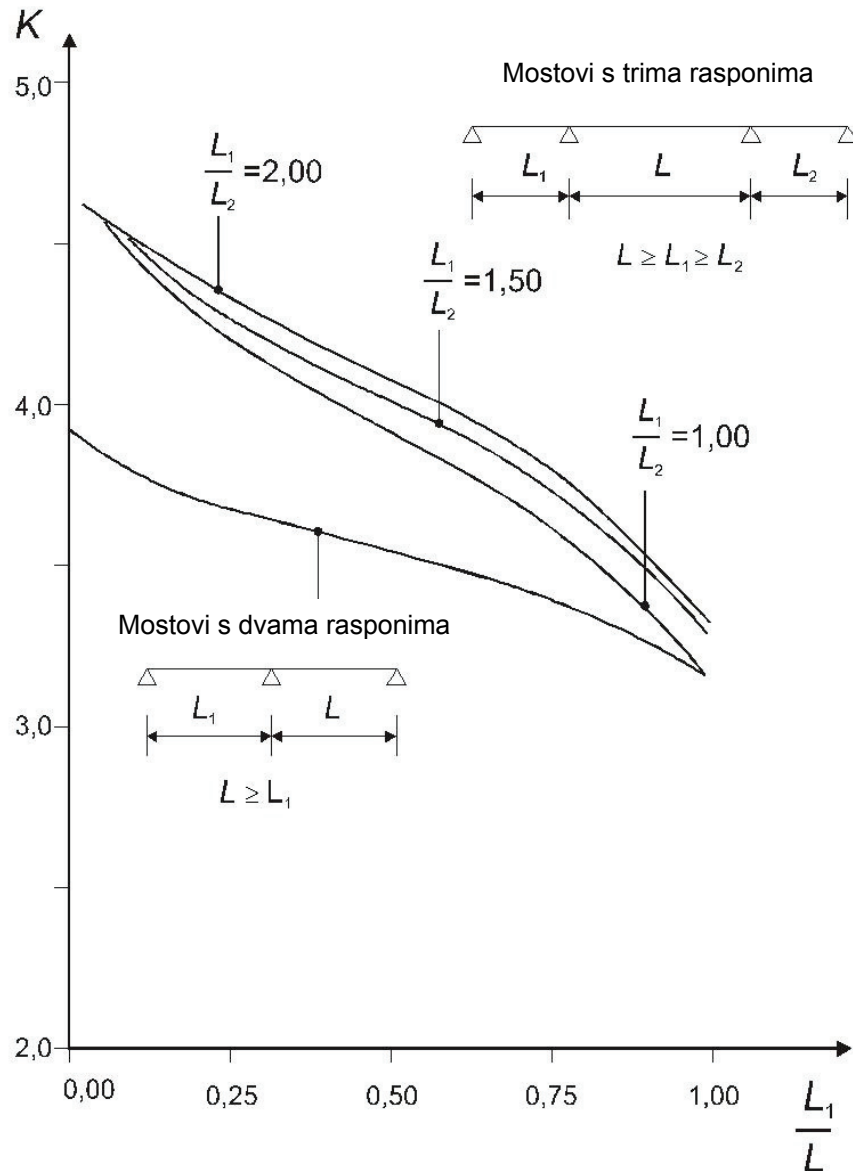
$$J_j = \frac{4 A_j^2}{\oint \frac{ds}{t}} \quad (\text{F.12})$$

gdje je:

A_j ploština zatvorene ćelije u sredini raspona

$\oint \frac{ds}{t}$ integral omjera duljina/debljina po opsegu sanduka, za svaki dio stijenke sanduka u sredini raspona.

NAPOMENA: Smije se pojaviti mali gubitak točnosti ako se predloženi izraz (F.12) primjenjuje na mostove s više sanduka čiji tlocrtni omjer (= raspon/širina) premašuje 6.



Slika F.2 – Faktor K koji se upotrebljava za izvođenje osnovne frekvencije pri savijanju

F.3 Osnovni oblik vibriranja

(1) Osnovni oblik vibriranja pri savijanju $\Phi_1(z)$ za zgrade, tornjeve i dimnjake konzolno upete u tlo smije se procijeniti upotrebljavajući izraz (F.13), vidjeti sliku F.3.

$$\Phi_1(z) = \left(\frac{z}{h}\right)^\zeta \quad (\text{F.13})$$

gdje je:

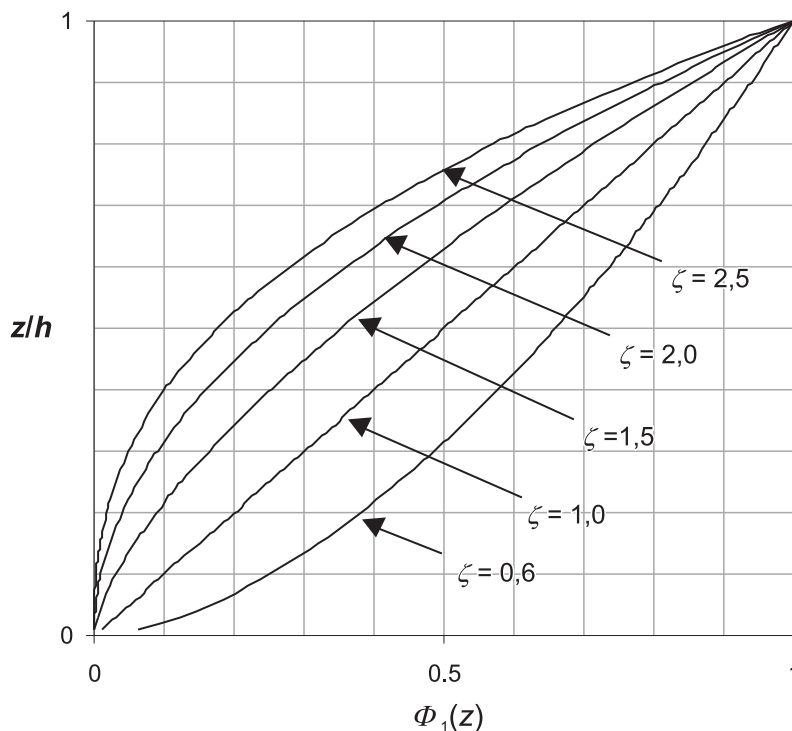
$\zeta = 0,6$ za vitke okvirne konstrukcije s nenosivim zidovima ili oblogama

$\zeta = 1,0$ za zgrade sa središnjom jezgrom i obodnim stupovima ili s većim stupovima pridržanim za djelovanje poprečne sile

$\zeta = 1,5$ za vitke konzolne zgrade i zgrade pridržane središnjim armiranobetonskim jezgrama

$\zeta = 2,0$ za tornjeve i dimnjake

$\zeta = 2,5$ za rešetkaste čelične tornjeve



Slika F.3 – Osnovni oblik vibriranja pri savijanju za zgrade, tornjeve i dimnjake konzolno upete u tlo

(2) Osnovni vertikalni oblik pri savijanju, $\Phi_1(s)$, za mostove smije se procijeniti kao što je pokazano u tablici F.1.

Tablica F.1 – Osnovni vertikalni oblik vibriranja pri savijanju za slobodno oslonjene i upete konstrukcije i konstrukcijske elemente

Shema	Oblik vibriranja	$\Phi_1(s)$
		$\sin\left(\pi \frac{s}{l}\right)$
		$\frac{1}{2}\left[1 - \cos\left(2\pi \frac{s}{l}\right)\right]$

F.4 Ekvivalentna masa

(1) Ekvivalentna masa po jedinici duljine, m_e , osnovnog oblika vibriranja dana je izrazom (F.14).

$$m_e = \frac{\int_0^l m(s) \Phi_1^2(s) ds}{\int_0^l \Phi_1^2(s) ds} \quad (\text{F.14})$$

gdje je:

m masa po jedinici duljine

l visina ili raspon konstrukcije ili konstrukcijskog elementa

$i = 1$ broj oblika vibriranja.

(2) Konzolne konstrukcije s promjenjivom raspodjelom mase m_e smiju se približno proračunavati s prosječnom vrijednosti mase m u gornjoj trećini konstrukcije h_3 (vidjeti sliku F.1).

(3) Konstrukcije oslonjene na oba kraja raspona l i s promjenjivom raspodjelom mase m_e po jedinici duljine smiju se približno proračunati s prosječnom vrijednosti mase m na duljini $l/3$, smještenoj centralno u točku na konstrukciji gdje je najveća vrijednost $\Phi(s)$ (vidjeti tablicu F.1).

F.5 Logaritamski dekrement prigušenja

(1) Logaritamski dekrement prigušenja δ za osnovni oblik vibriranja pri savijanju smije se procijeniti s izrazom (F.15).

$$\delta = \delta_s + \delta_a + \delta_d \quad (\text{F.15})$$

gdje je:

δ_s logaritamski dekrement konstrukcijskog prigušenja

δ_a logaritamski dekrement aerodinamičkog prigušenja za osnovni oblik

δ_d logaritamski dekrement prigušenja koje potječe od posebnih naprava (prigušivači s prilagođenim masama, spremnici s tekućinom koja se ljulja i sl.).

(2) Približne vrijednosti logaritamskog dekrementa konstrukcijskog prigušenja, δ_s , navedene su u tablici F.2.

(3) Logaritamski dekrement aerodinamičkog prigušenja, δ_a , za osnovni oblik vibriranja pri savijanju u smjeru vjetra smije se procijeniti s izrazom (F.16).

$$\delta_a = \frac{c_f \rho v_m(z_s)}{2 n_1 \mu_e} \quad (\text{F.16})$$

gdje je:

c_f koeficijent sile za djelovanje vjetra u smjeru vjetra koji je naveden u 7. poglavlju.

μ_e ekvivalentna masa po jedinici ploštine konstrukcije koja je, za pravokutne ploštine, dana s izrazom (F.17).

$$\mu_e = \frac{\int_0^h \int_0^b \mu(y, z) \Phi_1^2(y, z) dy dz}{\int_0^h \int_0^b \Phi_1^2(y, z) dy dz} \quad (\text{F.17})$$

gdje je:

$\mu(y, z)$ masa po jedinici ploštine konstrukcije

$\Phi_1(y, z)$ oblik vibriranja.

Masa po jedinici ploštine konstrukcije na mjestu najveće amplitude oblika vibriranja obično je dobro približenje za μ_e .

(4) U većini slučajeva modalni progibi $\Phi(y, z)$ su konstantni za svaku visinu z pa se, umjesto izraza (F.16), logaritamski dekrement aerodinamičkog prigušenja δ_a za vibriranje u smjeru vjetra smije procijeniti iz izraza (F.18).

$$\delta_a = \frac{c_f \rho b v_m(z_s)}{2 n_1 m_e} \quad (\text{F.18})$$

(5) Ako su konstrukciji dodane posebne disipativne naprave, δ_d treba proračunati upotrebljavajući prikladne teorijske ili eksperimentalne tehnike.

Tablica F.2 – Približne vrijednosti logaritamskog dekrementa konstrukcijskog prigušenja u osnovnom obliku vibriranja, δ

Vrsta konstrukcije		Konstrukcijsko prigušenje, δ
armiranobetonske zgrade		0,10
čelične zgrade		0,05
mješovite konstrukcije od betona i čelika		0,08
armiranobetonski tornjevi i dimnjaci		0,03
neobloženi zavareni čelični dimnjak bez vanjske toplinske izolacije		0,012
neobloženi zavareni čelični dimnjak s vanjskom toplinskom izolacijom		0,020
čelični dimnjak s jednom oblogom i vanjskom toplinskom izolacijom ^a	$h/b < 18$	0,020
	$20 \leq h/b < 24$	0,040
	$h/b \geq 26$	0,014
čelični dimnjak s dvije ili više obloga i vanjskom toplinskom izolacijom ^a	$h/b < 18$	0,020
	$20 \leq h/b < 24$	0,040
	$h/b \geq 26$	0,025
čelični dimnjak s unutarnjom oblogom od opeke		0,070
čelični dimnjak s unutarnjom oblogom od torkretiranog betona		0,030
povezani dimnjaci bez obloge		0,015
čelični dimnjak učvršćen užadima bez obloge		0,04
čelični mostovi + rešetkasti čelični tornjevi	zavareni	0,02
	s visokovrijednim vijcima	0,03
	s običnim vijcima	0,05
spregnuti mostovi		0,04
betonski mostovi	prednapeti, bez pukotina	0,04
	s pukotinama	0,10
drveni mostovi		0,06 – 0,12
mostovi, aluminijske legure		0,02
mostovi, staklo ili plastika armirana vlaknima		0,04 – 0,08
užad	paralelno izrađena užad	0,006
	spiralno izrađena užad	0,020
<p>[AC] NAPOMENA: [AC] Vrijednosti za drvo i plastične kompozite samo su orijentacijske. U slučajevima kada su aerodinamički učinci značajni pri proračunu, treba upotrebljavati točnije vrijednosti uz savjet stručnjaka (ako je potrebno, usuglašeno s nadležnim upravnim tijelom).</p> <p>[AC] (izbrisani tekst) [AC]</p>		
<p>^a Za međuvrijednosti omjera h/b smije se upotrebljavati linearna interpolacija.</p>		

Bibliografija

ISO 2394, *General principles on reliability for structures*

AC ISO 3898, *Bases for design of structures – Notations – General symbols* AC

ISO 8930, *General principles on reliability for structures – List of equivalent terms*

AC EN 12811-1, *Temporary works equipment – Part 1: Scaffolds – Performance requirements and general design*

ISO 12494, *Atmospheric icing of structures* AC

(prazna stranica)

