

Priročnik za

**PROJEKTIRANJE GRADBENIH KONSTRUKCIJ  
PO EVROKOD STANDARDIH**

2. IZDAJA

*urednika*

Darko Beg  
Andrej Pogačnik



Inženirska zbornica Slovenije  
2017

# Priročnik za projektiranje gradbenih konstrukcij po evrokod standardih – 2. izdaja

## *Urednika*

Darko Beg  
Andrej Pogačnik

## *Tehnični urednik*

Primož Može

## *Jezikovni pregled*

Tadeja Kilar

## *Oblikovanje ovitka*

Kraft & Werk d.o.o.

## *Izdala in založila*

Inženirska zbornica Slovenije  
Jaška cesta 10b, Ljubljana

## *Tisk*

Collegium Graphicum d.o.o.

## *Naklada*

600 izvodov

CIP - Kataložni zapis o publikaciji  
Narodna in univerzitetna knjižnica, Ljubljana

624.01(083.74)(035)

Priročnik za projektiranje gradbenih konstrukcij po evrokod standardih / urednika Darko Beg, Andrej Pogačnik. - 2. izdaja  
Ljubljana: Inženirska zbornica Slovenije, 2017

ISBN 978-961-6724-29-6

1. Beg, Darko  
290127872

Čeprav je bilo besedilo pripravljeno skrbno in v želji po čim večji kakovosti in celovitosti, izdajatelj in avtorji ne prevzemajo nobene odgovornosti za kakršnokoli škodo, nastalo zaradi uporabe informacij, podanih v tej publikaciji.

## UVODNI NAGOVOR K DRUGI IZDAJI

### Spoštovani kolegi inženirke in inženirji!

Ko smo leta 2007 začeli z izobraževanjem o evrokod standardih in smo kot zaključek oziroma povzetek pripravili priročnik, v katerem smo povzeli vsebine, ki so bile obravnavane na predavanjih in delavnicah, smo sicer verjeli v to, da bo priročnik pomembna publikacija, ki bo inženirjem služila kot eden najpomembnejših pripomočkov pri delu, vendar si nismo predstavljali, da bomo v prvi izdaji natisnili 1.200 izvodov in da bodo vsi izvodi pošli. Zato smo se na pobudo dr. Primoža Možeta s Fakultete za gradbeništvo in geodezijo z veseljem odločili za drugo dopolnjeno izdajo *Priročnika*.

Avtorji so še enkrat skrbno pregledali vsa poglavja in jih vsebinsko dopolnili; vključene so vse spremembe in dopolnitve standardov, ki so izšle med letoma 2009 in 2017.

Tudi posodobljena izdaja *Priročnika* bo kot njena predhodnica zagotovo dobro služila tako v študijskem procesu kot tudi v delovnem okolju projektantov, nadzornikov in izvajalcev.

Vsem uporabnikom *Priročnika za projektiranje gradbenih konstrukcij po evrokod standardih* želim veliko uspešnih projektov!

Andrej Pogačnik





## UVODNI NAGOVOR K PRVI IZDAJI

### **Spoštovane inženirke, spoštovani inženirji!**

S sprejemom »Pravilnika o mehanski odpornosti in stabilnosti objektov« so vsem inženirjem gradbeništva, ki se ukvarjamo s projektiranjem gradbenih konstrukcij, določili rok, s katerim moramo pri svojem delu upoštevati izključno evropske standarde z nacionalnimi dodatki. Na Inženirski zbornici Slovenije smo si je zadali nalogo, da bomo pomagali pri izobraževanju članov, saj so predpisi izjemno obsežni in na večini področij uvajajo povsem nove pristope in principe izračunov ter konstruiranja posameznih konstrukcijskih elementov.

V letu 2007 in delno v letu 2008 smo tako v sodelovanju s Fakulteto za gradbeništvo in geodezijo pripravili obsežno dvostopenjsko izobraževanje. Namen izobraževanja je bil inženirjem, predvsem tistim, ki na fakulteti niso bili deležni snovi evrokodov, pa tudi mlajšim, podati znanje, potrebno za prehod iz starega načina projektiranja na projektiranje, ki temelji na evrokod standardih. Teoretične osnove, ki smo jih s svojim obsežnim številom podanih primerov obravnavali na seminarjih, predstavljajo izjemen obseg strokovnih vsebin. Na prvi stopnji so bila na štirih tečajih, ki se jih je udeležilo več kot 300 slušateljev, podana osnovna znanja, ki jih zajemajo evrokodi. Druge stopnje se je udeležilo več kot 1000 slušateljev in je obsegala 30 seminarjev s 532 urami, na katerih smo poglobljeno obravnavali vseh devet osnovnih standardov in inženirjem podrobno predstavili tako teoretični kot aplikativni del vsakega evrokoda posebej. Konkretni primeri in diskusija so pokazali razlike in novosti pri izračunu posameznih vrst konstrukcij.

Že v programu delovne skupine za uvajanje evrokodov v inženirsko prakso, ki jo je ustanovil upravni odbor matične sekcije gradbenikov Inženirske zbornice Slovenije, smo zapisali, da bo iz snovi, ki bo obravnavana v tem obdobju, nastal priročnik, ki bo vsem projektantom gradbenih konstrukcij in ostalim udeležencem pri graditvi pomagal reševati težave pri uvajanju evrokodov v inženirski vsakdan.

Takrat še nismo vedeli, kakšen naj bi priročnik sploh bil, niti kako naj ga uresničimo. Zahvaljujoč velikemu trudu vseh avtorjev in ob veliki organizacijski podpori zbornice, je pred vami izjemno delo, ki nam ga lahko zavida celotna inženirska Evropa. Osnovno znanje vseh devetih, za projektiranje gradbenih konstrukcij najpomembnejših standardov, nam je uspelo združiti na enem mestu, skupaj z računskimi primeri, ki ponazarjajo njihovo uporabo.

Verjamem, da bo knjiga – kot pomoč in opomnik pri delu – našla mesto na mizi vsakega projektanta, nadzornika ali izvajalca. Obenem sem prepričan, da bo pomembno prispevala k nadaljnjemu razvoju visoke kakovosti slovenske gradbene stroke.

Andrej Pogačnik





## PREDGOVOR

Evrokod standardi, krajše evrokodi, predstavljajo obsežen sistem evropskih standardov za projektiranje gradbenih konstrukcij. Ideja o tem, da so potrebni mednarodni standardi s področja projektiranja konstrukcij, se je izoblikovala v letu 1974, ko so se ugledne mednarodne strokovne organizacije IABSE (Mednarodno združenje za stavbe in mostove), CIB (Mednarodni svet za raziskave in dokumentacije v gradbeništvu), RILEM (Mednarodno združenje laboratorijev za preizkušanje materialov in konstrukcij), CEB (Evropski in mednarodni odbor za beton), FIB (Mednarodna zveza za prednapeti beton), ECCS (Evropska konvencija za jeklene konstrukcije), ICSS (Skupni odbor za varnost konstrukcij), ISSMFE (Mednarodno združenje za mehaniko tal in temeljenje) dogovorile za usklajeno delovanje na tem področju.

V začetku osemdesetih so omenjene aktivnosti prešle pod okrilje Evropske komisije, nastajajoče tehnične predpise pa so poimenovali Structural Eurocodes (Evropski predpisi za konstrukcije – evrokodi). Postavljeni so bili jasni cilji, in sicer popolna medsebojna skladnost različnih evrokodov in doseganje primerljive stopnje varnosti. V ta namen je bilo potrebno zagotoviti usklajevanje na dveh različnih ravneh: med posameznimi evropskimi državami in med uveljavljenimi pravili projektiranja konstrukcij iz različnih materialov. Po uveljavitvi evropske direktive o gradbenih proizvodih 89/106/EGS je Evropska komisija leta 1989 skrb nad evrokodi prepustila Evropski organizaciji za standardizacijo (CEN), ki je leto kasneje ustanovila Tehnični odbor za konstrukcije (CEN/TC 250 – Structural Eurocodes) s pododbori, ki so poskrbeli za pripravo devetih danes uveljavljenih evrokodov:

- Evrokod 1 – Osnove projektiranja in vplivi na konstrukcije
- Evrokod 2 – Projektiranje betonskih konstrukcij
- Evrokod 3 – Projektiranje jeklenih konstrukcij
- Evrokod 4 – Projektiranje sovprežnih konstrukcij iz jekla in betona
- Evrokod 5 – Projektiranje lesenih konstrukcij
- Evrokod 6 – Projektiranje zidanih konstrukcij
- Evrokod 7 – Projektiranje v geotehniki
- Evrokod 8 – Projektiranje potresno odpornih konstrukcij
- Evrokod 9 – Projektiranje aluminijastih konstrukcij

V prvi polovici devetdesetih let so bili evrokodi izdelani v obliki predstandardov (ENV verzija evropskih standardov) in so bili dani v poskusno uporabo. Tudi v Sloveniji so se lahko uporabljali kot alternativa obstoječim domačim predpisom in standardom in kar nekaj gradbenih konstrukcij je bilo projektiranih po teh standardih.

Sledila je faza pretvorbe iz predstandardov (ENV) v evropske standarde (EN), ki je bila zaključena leta 2007. Pri pripravi evrokodov so slovenski strokovnjaki aktivno sodelovali predvsem pri betonskih, jeklenih in zidanih konstrukcijah ter pri projektiranju potresno odpornih konstrukcij.

Vsak evrokod je sestavljen iz več standardov, ki pokrivajo različne vidike projektiranja, npr. osnovna pravila in projektiranje stavb, projektiranje mostov, projektiranje požarno odpornih konstrukcij ... Vsak od teh standardov ima tudi nacionalni dodatek, v katerem so navedene nacionalne posebnosti, ki veljajo v posamezni državi. Te se nanašajo predvsem na določanje stopnje varnosti oziroma velikosti delnih varnostnih faktorjev, na izbiro med različnimi postopki projektiranja, kadar je taka izbira omogočena, ter na geografske in klimatske posebnosti (npr. obtežba z vetrom in snegom).

Glavne prednosti evrokodov so:

- kakovost, ki temelji na mednarodno uveljavljenem in preverjenem znanju,
- pokrivanje vseh ključnih vidikov projektiranja gradbenih konstrukcij od zahtevane stopnje varnosti do obtežb in pravil projektiranja za posamezne vrste gradbenih materialov, vključno s temeljenjem, požarno in potresno varnostjo,
- velika stopnja medsebojne usklajenosti posameznih standardov,
- uporaba v vseh državah Evropske unije in v večini ostalih evropskih držav.

Prav zaradi tega bodo evrokodi v večini evropskih držav v naslednjih letih nadomestili nacionalne standarde in tehnične predpise. V Sloveniji se je to že zgodilo, saj je v skladu s Pravilnikom o mehanski odpornosti in stabilnosti po dveletnem obdobju vzporedne uporabe z nacionalnimi standardi in predpisi uporaba evrokodov od 1.1.2008 praktično obvezna. Uporaba ostalih načinov projektiranja sicer ni eksplicitno prepovedana, vendar je v takih primerih potrebno dokazati, da je dosežena stopnja zanesljivosti vsaj enaka stopnji, ki jo predpisujejo evrokodi. S tem so odprta vrata predvsem za tiste posebne primere, ki jih evrokodi ne pokrivajo.

Zaradi obsežnosti evrokodov pričujoče besedilo vsebuje predvsem splošna pravila in pravila za stavbe, aluminijaste konstrukcije pa so povsem izpuščene. Publikacija v osmih poglavjih obravnava prvih osem evrokodov (v prvo poglavje je vključen tudi EN 1990 – Osnove projektiranja, ki predstavlja osnovo vsem ostalim evrokodom). Vsako poglavje ima svojega avtorja ali skupino avtorjev, ki so najvidnejši strokovnjaki z obravnavanega področja in so aktivno sodelovali pri uvajanju evrokodov v Sloveniji (Tehnični odbor za konstrukcije pri SIST, tečaji za projektante), mnogi med njimi pa so aktivni tudi v ustreznih pododborih CEN/TC 250.

Besedilo ima obliko priročnika in podaja pregled ključnih pravil projektiranja, podkrepjenih z ustreznimi komentarji. Vsakemu poglavju so dodani tudi računski primeri, ki nazorno ilustrirajo praktično uporabo teh pravil.

Priročnik bo prav gotovo v pomoč projektantom gradbenih konstrukcij, saj na enem mestu združuje informacije, ki so sicer razdrobljene po desetinah standardov, prinaša pa tudi nekatere dodatne vsebine, ki v evrokodih niso zajete, so pa pomembne za njihovo enostavnejšo uporabo (npr. interakcijski diagrami M-N za nekatere betonske prereze, preglednice s koeficienti, ki zajemajo vpliv razporeda upogibnih momentov in kinematičnih robnih pogojev pri računu bočne zvrnitve jeklenih nosilcev). Prav tako bodo lahko priročnik uporabljali študenti gradbeništva pri predmetih s področja gradbenih konstrukcij.

Projektanti, ki bodo uporabljali ta priročnik pri svojem delu, se morajo zavedati, da priročnik vsebuje izbor večine ključnih pravil, vendar ne nadomešča evrokod standardov v celoti. Pri projektiranju so seveda dolžni upoštevati vsa relevantna pravila, ne glede na to, ali so v priročniku podana ali ne.

Darko Beg





## VSEBINA

### 1. POGLAVJE

#### EVROKOD 0: OSNOVE PROJEKTIRANJA

#### EVROKOD 1: VPLIVI NA KONSTRUKCIJE

*Janez Duhovnik*

EC-0,1

### 2. POGLAVJE

#### EVROKOD 2: PROJEKTIRANJE BETONSKIH KONSTRUKCIJ

*Franc Saje, Jože Lopatič*

EC-2

### 3. POGLAVJE

#### EVROKOD 3: PROJEKTIRANJE JEKLENIH KONSTRUKCIJ

*Darko Beg*

EC-3

### 4. POGLAVJE

#### EVROKOD 4: PROJEKTIRANJE SOVPREŽNIH KONSTRUKCIJ IZ JEKLA IN BETONA

*Darko Beg, Leon Hladnik*

EC-4

### 5. POGLAVJE

#### EVROKOD 5: PROJEKTIRANJE LESENIH KONSTRUKCIJ

*Srečko Vratuša, Miroslav Premrov*

EC-5

### 6. POGLAVJE

#### EVROKOD 6: PROJEKTIRANJE ZIDANIH KONSTRUKCIJ

#### IN POSEBNA PRAVILA ZA PROJEKTIRANJE POTRESNO ODPORNIH ZIDANIH STAVB (EVROKOD 8)

*Miha Tomaževič*

EC-6

### 7. POGLAVJE

#### EVROKOD 7: GEOTEHNIČNO PROJEKTIRANJE

*Janko Logar, Boštjan Pulko*

EC-7

### 8. POGLAVJE

#### EVROKOD 8: PROJEKTIRANJE POTRESNO ODPORNIH KONSTRUKCIJ

*Peter Fajfar, Matej Fischinger, Darko Beg*

EC-8



# 1

**EVROKOD 0**

OSNOVE PROJEKTIRANJA

**EVROKOD 1**

VPLIVI NA KONSTRUKCIJE

*Janez Duhovnik*



## 1. poglavje

**EVROKOD 0: OSNOVE PROJEKTIRANJA**  
**EVROKOD 1: VPLIVI NA KONSTRUKCIJE**

Janez Duhovnik

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo

Kazalo:

1	OSNOVE PROJEKTIRANJA KONSTRUKCIJ	1-3
1.1	Uvod	1-3
1.2	SIST EN 1990 Evrokod – Osnove projektiranja konstrukcij	1-4
1.3	Nacionalni dodatek k SIST EN 1990	1-50
2	VPLIVI NA KONSTRUKCIJE	1-53
2.1	Uvod	1-53
2.2	Splošni vplivi	1-54
2.2.1	SIST EN 1991-1-1 Evrokod 1 – Vplivi na konstrukcije – 1-1. del: Splošni vplivi – Prostorninske teže, lastna teža, koristne obtežbe stavb	1-55
2.2.2	SIST EN 1991-1-3 Evrokod 1 – Vplivi na konstrukcije – 1-3. del: Splošni vplivi – Obtežba snega	1-59
2.2.3	SIST EN 1991-1-4 Evrokod 1 – Vplivi na konstrukcije – 1-4. del: Splošni vplivi – Vplivi vetra	1-68
2.2.4	SIST EN 1991-1-5 Evrokod 1 – Vplivi na konstrukcije – 1-5. del: Splošni vplivi – Toplotni vplivi	1-91
2.2.5	SIST EN 1991-1-6 Evrokod 1 – Vplivi na konstrukcije – 1-6. del: Splošni vplivi – Vplivi med gradnjo	1-101
2.2.6	SIST EN 1991-1-7 Evrokod 1 – Vplivi na konstrukcije – 1-7. del: Splošni vplivi – Nežgodni vplivi	1-103
2.3	Posebni vplivi	1-107
2.3.1	SIST EN 1991-3 Evrokod 1 – Vplivi na konstrukcije – 3. del: Vpliv žerjavov in drugih strojev	1-107
VIRI		1-111



## 1 OSNOVE PROJEKTIRANJA KONSTRUKCIJ

### 1.1 Uvod

Evrokod o osnovah projektiranja konstrukcij (SIST EN 1990:2004 – Evrokod – Osnove projektiranja (v nadaljevanju EN 1990<sup>1</sup>)) vsebuje načela in zahteve o zanesljivosti konstrukcij, ki vključuje varnost, uporabnost in trajnost konstrukcij. Uporablja se neposredno z evrokodi, ki določajo vplive na konstrukcije, ter z evrokodi, ki obravnavajo projektiranje konstrukcij iz različnih gradiv, geotehnično projektiranje in potresnovarno projektiranje. V povezavi s projektiranjem konstrukcij iz različnih gradiv je treba upoštevati še druge standarde.

EN 1990 dodatno vsebuje tudi navodila o konstrukcijski zanesljivosti za primere, ki niso upoštevani v naštetih evrokodih. Uporabijo se lahko za vplive, materiale in vrste konstrukcij, ki v evrokodih niso zajeti. Evrokod o osnovah projektiranja konstrukcij lahko služi tudi kot referenčni dokument tehničnim odborom CEN, ko obravnavajo druge vidike konstrukcijskega inženirstva.

Vsebina EN 1990 je razdeljena na prvih šest poglavij, ki so uporabna za vse vrste konstrukcij zgradb, tj. stavb in gradbenih inženirskih objektov, sledijo normativni dodatki za posamezne vrste zgradb, ki so izpeljani iz splošnih poglavij (npr. za stavbe, mostove, stolpe in jambore), ter informativni dodatki za nekatere posebnosti, ki veljajo za vse vrste konstrukcij.

EN 1990 je v primerjavi z drugimi evrokodi namenjen več kategorijam uporabnikov. Vsak naj bi ga uporabljal po svojih potrebah, in sicer:

- standardizacijski odbori za projektiranje konstrukcij in z njimi povezanih standardov proizvodov, preizkušanja in izdelave,
- naročniki pri določanju posebnih zahtev glede stopnje zanesljivosti in trajnosti,
- projektanti,
- izvajalci in
- pristojne oblasti.

Tudi EN 1990 ima možnost nacionalne izbire v normativnih dodatkih. Izbira se nanaša na delne in kombinacijske faktorje.

Poleg osnovnega standarda veljajo še:

- SIST EN 1990:2004/A101:2005 – Evrokod – Osnove projektiranja konstrukcij – Nacionalni dodatek;
- SIST EN 1990:2004/A1:2006 – Evrokod – Osnove projektiranja konstrukcij, v katerem je Dodatek A2, ki velja za mostove;
- SIST EN 1990:2004/A1:2006/A101:2009 – Evrokod – Osnove projektiranja konstrukcij – Dopnilo A1 – Nacionalni dodatek, v katerem je osnutek nacionalnega dodatka k Dodatku A2;
- SIST EN 1990:2004/A1:2006/AC:2010 – Evrokod – Osnove projektiranja konstrukcij, v katerem so štirje manjši popravki osnovnega in dopolnilnega standarda.

Kateri standardi so trenutno veljavni, se lahko vedno ugotovi na spletnih straneh Slovenskega inštituta za standardizacijo (SIST) ([www.sist.si](http://www.sist.si)).

Pri podrobnem branju EN 1990 bralec lahko ugotovi, da se posamezna določila, ki so sicer zelo jasna, večkrat ponavljajo. Temu se tudi pri prevodu evrokodov ni dalo izogniti. V nasprotju s tem pa nekatera določila niso povsem jasna. V nadaljevanju je za krepko in poševno natisnjeno oznako posamezne točke ali točke in odstavka v EN 1990 danih nekaj dodatnih pojasnil, navedenih je

<sup>1</sup> Ta krajša oznaka je v besedilu uporabljena za SIST EN 1990 Evrokod – Osnove projektiranja konstrukcij. Podobna okrajšava je uporabljena tudi za druge evrokode.

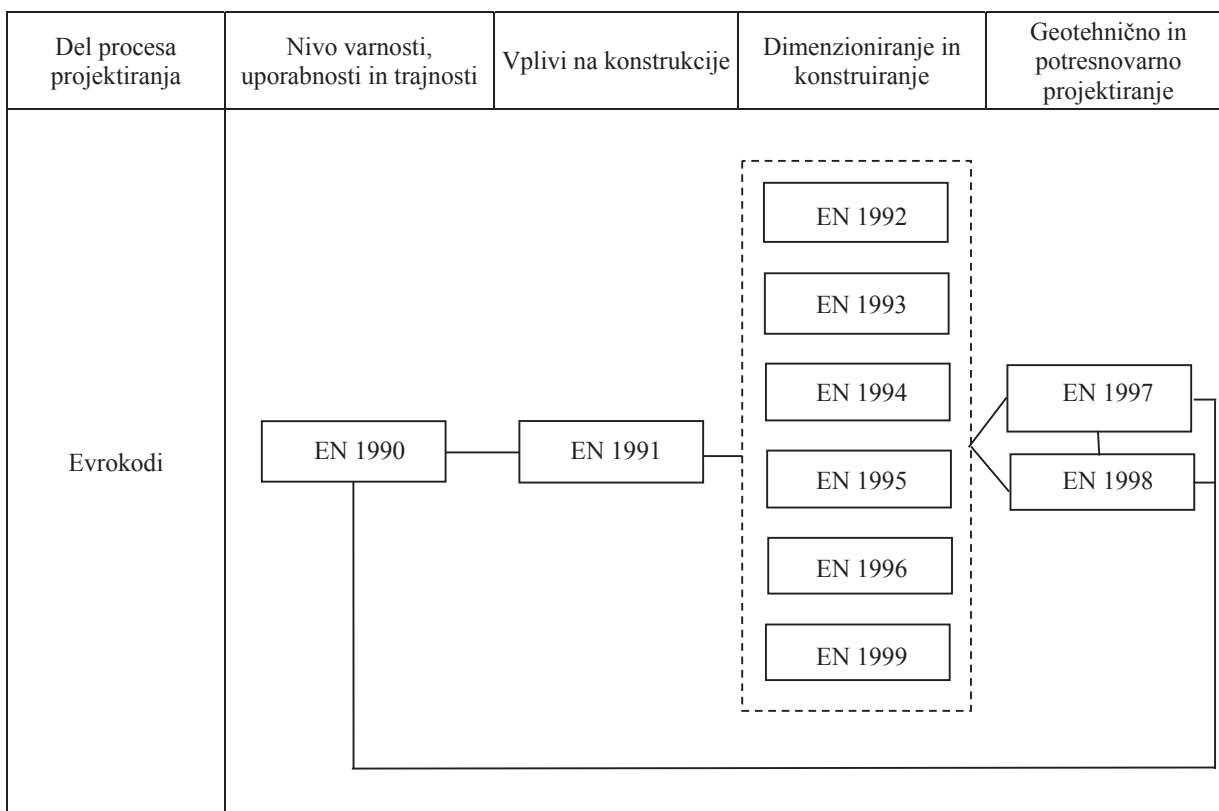
nekaj pripomočkov za lažjo uporabo EN 1990 in primerov, ki ilustrirajo posamezna določila. Večina pojasnil in primerov je povzeta po [1].

## 1.2 SIST EN 1990 Evrokod – Osnove projektiranja konstrukcij

### Točka 1.1(2)

EN 1990 vsebuje vsa pravila, ki niso odvisna od materiala (kot npr. delni faktorji za vplive, izrazi za kombinacijo učinkov za mejna stanja nosilnosti in uporabnosti). Zato evrokodi za projektiranje konstrukcij iz različnih gradiv, za geotehnično in za potresovarno projektiranje ne morejo biti uporabljeni brez le-tega.

Na Sl. 1-1 je prikazana struktura in povezanost evrokodov.



Sl. 1-1. Struktura in povezanost evrokodov

### Točka 1.1(3)

EN 1990 se lahko uporabi za določanje zanesljivosti konstrukcij tudi v primerih, ki so sicer izven obsega evrokodov, npr.:

- pri določanju vplivov, ki niso zajeti v evrokodih, in kombinacij z njimi;
- pri modeliranju gradiv, ki niso zajeta v evrokodih, npr. novih in izpopolnjenih gradiv, stekla ter njihovega konstrukcijskega obnašanja;
- pri določanju numeričnih vrednosti elementov zanesljivosti (npr. delnih in kombinacijskih faktorjev, ki niso zajeti v evrokodih).

### Točka 1.1(4)

Pri obstoječih zgradbah moramo npr. lastnosti gradiva določiti z merjenjem lastnosti dejansko uporabljenega gradiva.



# 2

**EVROKOD 2**  
PROJEKTIRANJE  
BETONSKIH KONSTRUKCIJ

*Franc Saje*

*Jože Lopatič*



## 2. poglavje

**EVROKOD 2: PROJEKTIRANJE BETONSKIH KONSTRUKCIJ**

Franc Saje, Jože Lopatič

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo

Kazalo:

1	UVOD	2-5
2	IZHODIŠČA ANALIZE IN DIMENZIONIRANJA ARMIRANIH, PREDNAPETIH IN NEARMIRANIH BETONSKIH KONSTRUKCIJ	2-5
3	MEHANSKE IN REOLOŠKE LASTNOSTI BETONA IN ARMATURE	2-7
3.1	Mehanske in reološke lastnosti betona	2-7
3.2	Mehanske in reološke lastnosti jekla	2-13
3.2.1	Jeklo za armiranje	2-13
3.2.2	Jeklo za prednapenjanje	2-14
4	MEJNA STANJA BETONSKIH KONSTRUKCIJ	2-16
4.1	Mejna obtežba konstrukcij	2-17
4.2	Mejno stanje nosilnosti	2-17
5	ANALIZA BETONSKIH KONSTRUKCIJ	2-19
5.1	Idealizacija konstrukcij	2-20
5.2	Linearna elastična analiza konstrukcij	2-24
5.3	Linearna elastična analiza z omejeno prerazporeditvijo učinkov	2-24
5.4	Plastična analiza	2-28
5.4.1	Poenostavljen postopek preverjanja rotacijske sposobnosti	2-30
5.4.2	Plastična analiza z uporabo modelov z razporami in vezmi	2-31
5.5	Nelinearna analiza	2-31
5.6	Analiza učinkov teorije drugega reda pri osno obremenjenih elementih	2-32
5.6.1	Poenostavljeni kriteriji potrebnosti upoštevanja učinkov teorije drugega reda	2-32
5.6.2	Upoštevanje lezenja betona	2-33
5.6.3	Metode analize vitkih elementov	2-34
5.6.4	Dvoosni upogib	2-38
5.7	Bočna nestabilnost vitkih gred	2-39
5.8	Analiza prednapetih konstrukcij	2-40
5.8.1	Omejitve napetosti	2-40
5.8.2	Sila prednapetja	2-40
5.8.3	Upoštevanje prednapetja v analizi	2-43
6	MEJNA STANJA NOSILNOSTI	2-44
6.1	Upogibno-osna mejna nosilnost armiranobetonskih prerezov	2-44
6.2	Strižna mejna nosilnost elementov betonskih konstrukcij	2-46

6.2.1	Prečna sila.....	2-46
6.2.2	Torzija .....	2-49
6.2.3	Kombinacija prečne sile in torzije.....	2-52
6.3	Preboj .....	2-55
6.4	Račun mejne nosilnosti betonskih konstrukcij na podlagi modelov z razporami in nateznimi vezmi .....	2-60
7	MEJNO STANJE UPORABNOSTI (MSU) .....	2-63
7.1	Omejitev napetosti .....	2-63
7.2	Omejitev širine razpok .....	2-63
7.2.1	Omejitev širine razpok na dovoljeno mero s konstruktivnimi ukrepi .....	2-63
7.2.2	Račun širine razpok .....	2-65
7.3	Omejitev povosov.....	2-66
7.3.1	Primeri, kjer račun povosov ni potreben .....	2-66
7.3.2	Račun povosov .....	2-67
8	DETAJLIRANJE ARMATURE IN PREDNAPETIH KABLOV .....	2-68
8.1	Medsebojne oddaljenosti armaturnih palic .....	2-68
8.2	Najmanjši premer vretena za krivljenje palic in varjenih armaturnih mrež.....	2-68
8.3	Sidranje vzdolžne armature.....	2-69
8.4	Sidranje stremen in druge prečne armature.....	2-73
8.5	Sidranje armature s privarjeno prečno palico.....	2-73
8.6	Stikovanje vzdolžne armature s prekrivanjem in z mehanskimi spojkami .....	2-74
8.7	Stikovanje mrežne armature s prekrivanjem.....	2-75
8.7.1	Palice v svežnju .....	2-76
8.8	Medsebojne oddaljenosti prednapetih kablov .....	2-77
8.9	Sidranje predhodno napetih kablov.....	2-77
9	DETAJLIRANJE ELEMENTOV BETONSKIH KONSTRUKCIJ .....	2-79
9.1	Nosilci .....	2-79
9.2	Polne enosmerno in dvosmerno nosilne plošče .....	2-80
9.3	Gladke plošče na stebrih .....	2-81
9.4	Stebri .....	2-82
9.5	Stene.....	2-82
9.6	Stenasti nosilci .....	2-82
9.7	Temelji .....	2-82
9.8	Območja nezveznosti geometrije ali vplivov .....	2-83
10	POSEBNOSTI MONTAŽNIH BETONSKIH KONSTRUKCIJ .....	2-84
10.1	Materiali .....	2-84
10.2	Analiza montažnih konstrukcij .....	2-85
11	KONSTRUKCIJE IZ BETONA IZ LAHKEGA AGREGATA .....	2-90
11.1	Materiali .....	2-90
11.2	Mejna stanja nosilnosti.....	2-92
11.3	Mejna stanja uporabnosti .....	2-93
12	NEARMIRANE IN ŠIBKO ARMIRANE BETONSKE KONSTRUKCIJE .....	2-93
12.1	Mejna stanja nosilnosti.....	2-94
12.2	Mejna stanja uporabnosti .....	2-96
12.3	Detajliranje nearmiranih betonskih elementov in posebna pravila .....	2-96
VIRI	.....	2-97
PRILOGA P1:	PREGLEDNICE ZA DIMENZIONIRANJE PRAVOKOTNIH PREČNIH PREREZOV NA OSNO UPOGIBNO OBREMENITEV .....	2-99

PRILOGA P2: INTERAKCIJSKI DIAGRAMI ZA DIMENZIONIRANJE PRAVOKOTNIH PREČNIH PREREZOV NA OSNO UPOGIBNO OBREMENITEV _____	2-121
RAČUNSKI PRIMER R1: VPLIV RAZLIČNIH KONSTITUTIVNIH ZAKONOV MATERIALOV NA ODPORNOST PREREZOV _____	2-133
RAČUNSKI PRIMER R2: ARMIRANOBETONSKI NOSILEC PREKO DVEH POLJ ____	2-137



## 1 UVOD

Projektiranje vseh vrst betonskih konstrukcij v skladu s standardom SIST EN 1992-1-1 poteka ob upoštevanju smiselno enakih izhodiščnih predpostavk in računskih modelov po medsebojno usklajenih računskih postopkih. Armirane betonske konstrukcije imajo na mestih in v smeri nateznih napetosti vloženo armaturo, ki namesto betona prevzame rezultante nateznih napetosti prereza. Stopnja prednapetja betonskih konstrukcij je v skladu s standardom SIST EN 1992-1-1 lahko poljubna, in sicer od nič do polnega prednapetja, pri katerem je stanje dekompresije zagotovljeno za primer redke kombinacije uporabne obtežbe. V tem primeru v mejnem stanju uporabnosti v prednapeti betonski konstrukciji ni nateznih napetosti. Nearmirane oziroma šibko armirane konstrukcije so betonske konstrukcije, ki ne vsebujejo armature ali pa je stopnja armiranja konstrukcij manjša od minimalne stopnje armiranja, ki izhaja iz ustreznih določil standarda SIST EN 1992-1-1.

V tem poglavju obravnavani računski postopki analize in dimenzioniranja ter konstruiranja betonskih, armiranobetonskih in prednapetih betonskih konstrukcij so usklajeni z zahtevami standarda SIST EN 1992-1-1:2005 za betonske konstrukcije. Pri tem so upoštevani tudi popravki standarda z naslovom »SIST EN 1992-1-1:2005/AC:2011« iz februarja 2011 in dopolnitve z naslovom »SIST EN 1992-1-1:2005/A1:2015« iz marca 2015.

Celotna vsebina tega poglavja priročnika je vključno z uvodom razdeljena na 15 razdelkov. Vsebuje tudi vsebinsko povezane krajše računske primere. Razdelki 2 do 10 obravnavajo armiranobetonske in prednapete betonske konstrukcije iz betona normalne teže. V razdelku 11 pa so obravnavane posebnosti oziroma dopolnilne zahteve za projektiranje konstrukcij iz lahkega betona, ki je izdelan iz lahkega naravnega ali umetnega materiala. V razdelku 12 so obravnavane konstrukcije iz nearmiranega oziroma šibko armiranega betona normalne teže. 13. razdelek vsebuje dva računski primera od katerih je eden nekoliko obsežnejši. V njem je prikazana praktična izvedba potrebnih računskih dokazov v mejnem stanju nosilnosti in mejnem stanju uporabnosti, ki pri projektiranju betonskih konstrukcij pridejo v poštev, vendar s krajšimi računskimi primeri niso bili pojasnjeni že med tekstom posameznih razdelkov. Med prilogami je zaradi omejitve prostora podanih nekaj osnovnih pripomočkov za praktično dimenzioniranje armiranobetonskih prerezov pravokotne oblike iz betona normalne trdnosti in betona visoke trdnosti v obliki preglednic in diagramov. V zadnjem razdelku pa so navedeni uporabljeni viri.

## 2 IZHODIŠČA ANALIZE IN DIMENZIONIRANJA ARMIRANIH, PREDNAPETIH IN NEARMIRANIH BETONSKIH KONSTRUKCIJ

Projektiranje betonskih konstrukcij obsega zasnovano in analizo ter dimenzioniranje in konstrukcijsko izvedbo. Zasnova konstrukcije se nanaša na temeljne odločitve glede izbire optimalnega konstrukcijskega sistema in tipa konstrukcije, za kar je potrebno široko znanje in ustrezne izkušnje s področja betonskih konstrukcij. Analiza betonskih konstrukcij se kljub prisotnosti razpok v splošnem lahko izvaja po linearni teoriji elastičnih homogenih konstrukcij. Pri tem upoštevamo obtežbo v skladu s standardi za obtežbo, mehanske lastnosti materialov pa v skladu s standardom SIST EN 1992-1-1. Posebnosti analize konstrukcij, s katerimi zajamemo vplive specifičnih lastnosti betonskih konstrukcij, kot so razpoke in reologija materialov ter vpliv teorije višjega reda na prerazporeditev notranjih sil in stopnjo prednapetja ter na stabilnost in časovni potek pomikov betonskih konstrukcij, so podane v petem poglavju standarda SIST EN 1992-1-1.

Dimenzioniranje betonskih konstrukcij se izvaja po metodi mejnih stanj. Dokazovanje varnosti konstrukcij proti porušitvi oziroma temeljno dimenzioniranje betonskih konstrukcij se izvaja v mejnem stanju nosilnosti. Pri tem upoštevamo ustrezne porušne mehanizme in trdnosti ter

nelinearne konstitutivne zakone materialov, ki so podani v tretjem poglavju standarda SIST EN 1992-1-1. Potrebne računske kontrole betonskih konstrukcij, s katerimi dokazujemo njihovo uporabnost in trajnost, se pri armiranobetonskih konstrukcijah nanašajo zlasti na račun pomikov in širine razpok, pri prednapetih betonskih konstrukcijah pa še na račun prednapetja. Potrebne računske dokaze konstrukcij v mejnem stanju uporabnosti se izvaja po linearni teoriji elastičnosti z upoštevanjem linearnih konstitutivnih zakonov in reologije materialov. Pri računu pomikov je potrebno upoštevati tudi vpliv razpok na zmanjšano togost betonske konstrukcije.

Ustrezna konstrukcijska izvedba betonskih konstrukcij je za varnost, uporabnost in trajnost konstrukcij pomembna prav tako kot analiza oziroma dimenzioniranje konstrukcij. Varnost, uporabnost in trajnost betonskih konstrukcij, ki izhajajo iz dimenzioniranja in dokaza omejitve širine razpok ter računa pomikov, so zagotovljene le v primeru, če so pri konstruiranju in izvedbi konstrukcij upoštevane vse konstrukcijske zahteve, ki izhajajo iz osmega, devetega in desetega poglavja standarda SIST EN 1992-1-1.

Predhodno navedeni temeljni principi in izhodišča analize in dimenzioniranja ter konstruiranja armiranobetonskih in prednapetih betonskih konstrukcij načelno veljajo tudi za konstrukcije iz lahkega betona, če pri tem dodatno upoštevamo posebne zahteve iz 11. poglavja standarda SIST EN 1992-1-1, ki obravnava betonske konstrukcije iz lahkega betona izdelanega iz lahkega agregata. Posebnosti konstrukcij iz tovrstnega lahkega betona se nanašajo zlasti na mehanske in reološke lastnosti lahkega betona, delno pa tudi na mejno nosilnost in konstrukcijsko izvedbo konstrukcij. Za konstrukcije iz lahkega betona, ki ni izdelan iz lahkega agregata, predhodne navedbe in 11. poglavje standarda SIST EN 1992-1-1 ne veljajo.

Projektiranje nearmiranih in šibko armiranih betonskih konstrukcij poteka v skladu z določili 12. poglavja standarda SIST EN 1992-1-1, ki obravnava nearmirane betonske konstrukcije. Računski delovni diagrami nearmiranega betona so kvalitativno enaki kot v primeru armiranega betona, ki so določeni v točki 3.1.7 standarda SIST EN 1992-1-1, kvantitativno pa so zaradi zmanjšane projektne trdnosti nearmiranega betona s faktorjem  $\alpha_{cc,pl} = \alpha_{ct,pl} = 0,80$  za 20 % nižji.



# 3

**EVROKOD 3**  
PROJEKTIRANJE  
JEKLENIH KONSTRUKCIJ

*Darko Beg*



## 3. poglavje

**EVROKOD 3: PROJEKTIRANJE JEKLENIH KONSTRUKCIJ**

Darko Beg

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo

Kazalo:

1	UVOD	3-5
2	MEHANSKE LASTNOSTI IN PRAVILNA IZBIRA JEKLA	3-5
2.1	Konstruktivska jekla	3-5
2.1.1	Vrste jekel in označevanje	3-5
2.1.2	Osnovne mehanske lastnosti	3-6
2.1.3	Duktilnost	3-7
2.1.4	Lomna žilavost	3-7
2.1.5	Lamelarni lom	3-11
2.1.6	Utrujanje	3-13
2.2	Vezna sredstva	3-13
2.3	Izbira materiala	3-13
3	GLOBALNA ANALIZA	3-14
3.1	Modeliranje jeklenih konstrukcij	3-14
3.2	Vrsta analize	3-14
3.3	Nepopolnosti	3-16
3.3.1	Osnove	3-16
3.3.2	Nepopolnosti pri globalni analizi okvirov	3-17
3.4	Postopki kontrole stabilnosti in dimenzioniranja okvirov	3-20
4	NOSILNOST PREČNIH PREREZOV	3-22
4.1	Razvrščanje prečnih prerezov	3-22
4.2	Posebne lastnosti prečnih prerezov	3-26
4.2.1	Bruto in neto prerezi	3-26
4.2.2	Strižna podajnost (shear lag)	3-27
4.2.3	Vitki prerezi in metoda sodelujoče širine	3-27
4.3	Nosilnost prečnih prerezov	3-30
4.3.1	Splošno	3-30
4.3.2	Prečni prerezi v nategu (vsi razredi kompaktnosti)	3-31
4.3.3	Prečni prerezi v tlaku	3-32
4.3.4	Prečni prerezi v enosnem upogibu	3-32
4.3.5	Prečni prerezi v strigu	3-32
4.3.6	Torzijsko obremenjeni prečni prerezi	3-35
4.3.7	Prečni prerezi, obremenjeni z enosnim upogibom in strigom (1., 2. in 3. razred kompaktnosti)	3-36
4.3.8	Prečni prerezi, obremenjeni z upogibnim momentom in osno silo	3-38

4.3.9	Prečni prerezi, obremenjeni z upogibnim momentom, osno silo in prečno silo .....	3-41
5	<b>NOSILNOST ELEMENTOV</b> .....	3-42
5.1	Uklon tlačanih palic s polnim prerezom .....	3-42
5.1.1	Uvod .....	3-42
5.1.2	Upogibni uklon .....	3-42
5.1.3	Torzijski in upogibno-torzijski uklon .....	3-46
5.2	Bočna zvrnitev upogibnih nosilcev .....	3-48
5.2.1	Uvod .....	3-48
5.2.2	Uklonske krivulje za bočno zvrnitev – splošni primer .....	3-54
5.2.3	Uklonske krivulje bočne zvrnitve za standardne vroče valjane prereze in enakovredne varjene prereze .....	3-55
5.2.4	Poenostavljeno preverjanje bočne zvrnitve za nosilce v stavbah (metoda tlačene pasnice) .....	3-57
5.2.5	Bočna zvrnitev elementov, ki vsebujejo plastične členke .....	3-58
5.3	Tlačno in upogibno obremenjeni elementi .....	3-58
5.4	Tlačno in upogibno obremenjene palice s sestavljenim prečnim prerezom .....	3-62
6	<b>VEZNA SREDSTVA</b> .....	3-64
6.1	Vijaki, matice in podložke .....	3-64
6.1.1	Uvod .....	3-64
6.1.2	Vrste vijačenih spojev .....	3-66
6.1.3	Razpored lukenj za vijake .....	3-67
6.1.4	Projektna nosilnost vijakov .....	3-69
6.1.5	Projektna torzna nosilnost .....	3-74
6.1.6	Oslabitve prečnih prerezov zaradi lukenj za vijake .....	3-75
6.1.7	Skupine vijakov .....	3-78
6.2	Zakovice .....	3-78
6.2.1	Uvod .....	3-78
6.2.2	Projektna nosilnost zakovic .....	3-78
6.3	Čepi .....	3-79
6.4	Zvari .....	3-81
6.4.1	Uvod .....	3-81
6.4.2	Kotni zvari .....	3-82
6.4.3	Sklenjeni kotni zvari .....	3-87
6.4.4	Čepasti zvari .....	3-88
6.4.5	Zvari ob zaobljenih robovih .....	3-88
6.4.6	Čelni zvari z delno penetracijo .....	3-88
6.4.7	Čelni zvari s polno penetracijo .....	3-89
6.4.8	Posebni problemi varjenih spojev .....	3-89
6.5	Varjeni spoji palic iz votlih profilov .....	3-91
7	<b>SPOJI</b> .....	3-92
7.1	Osnovne predpostavke za projektiranje spojev .....	3-92
7.2	Razvrščanje spojev .....	3-94
7.2.1	Razvrščanje po togosti .....	3-94
7.2.2	Razvrščanje po nosilnosti .....	3-95
7.3	Modeliranje spojev za globalno analizo .....	3-95
7.4	Določanje nosilnosti, togosti in rotacijske kapacitete spojev .....	3-97
7.4.1	Uvod .....	3-97
7.4.2	Določanje nosilnosti spojev (kratek povzetek) .....	3-97
8	<b>MEJNA STANJA UPORABNOSTI</b> .....	3-103
9	<b>IZDELAVA IN MONTAŽA JEKLENIH KONSTRUKCIJ</b> .....	3-104

	3-3
VIRI _____	3-105
RAČUNSKI PRIMER R1: KOMPAKTNOST IN NOSILNOST PREREZOV _____	3-109
RAČUNSKI PRIMER R2: UKLONSKA NOSILNOST TLAČENIH PALIC _____	3-123
RAČUNSKI PRIMER R3: BOČNA ZVRNITEV UPOGIBNO OBREMENJENEGA NOSILCA _____	3-127
RAČUNSKI PRIMER R4: STABILNOST NOSILCA PREKO DVEH POLJ, OBREMENJENEGA Z UPOGIBOM IN TLAKOM _____	3-131
RAČUNSKI PRIMER R5: VIJAČENI PREKLOPNI MOMENTNI SPOJ _____	3-139
RAČUNSKI PRIMER R6: VIJAČENI PRIKLJUČEK NATEZNE DIAGONALE NA VOZLIŠČNO PLOČEVINO _____	3-147
RAČUNSKI PRIMER R7: VARJENI POLNONOSILNI PREKLOPNI SPOJ NATEZNE PALICE _____	3-151
RAČUNSKI PRIMER R8: VARJENI MOMENTNI SPOJ PREČKE NA STEBER _____	3-153



## 1 UVOD

Evrokod 3 sestavlja dvajset standardov in je namenjen projektiranju nosilnih konstrukcij stavb in inženirskih objektov iz jekla. V tem priročniku so obravnavana splošna pravila projektiranja in pravila za stavbe. Podrobneje je predstavljena vsebina treh Evrokod 3 standardov: SIST EN 1993-1-1 (Splošna pravila in pravila za stavbe) [1], SIST EN 1993-1-8 (Projektiranje spojev) [2] in SIST EN 1993-1-10 (Izbira materiala) [3]. V kompaktni obliki so predstavljena in po potrebi na kratko komentirana vsa ključna pravila teh treh standardov. Pri nacionalno določljivih parametrih (NDP) so upoštevane vrednosti iz slovenskega Nacionalnega dokumenta. Glede na to, da so v Sloveniji skoraj brez izjeme privzete priporočene vrednosti NDP, v tekstu NDP večinoma niso posebej izpostavljeni. Ker gre za priročnik za projektiranje jeklenih konstrukcij v skladu z Evrokodom 3, so v tekst vključene tudi nekatere informacije iz drugih SIST EN standardov, na katere se Evrokod 3 naslanja: mehanske lastnosti jekla, račun strižnih napetosti zaradi torzije, torzijski uklon, tabela koeficientov, potrebnih pri določanju elastičnega kritičnega momenta bočne zvrnitve, izbira ustreznih sklopov vijak-matica-podložka, členkasti spoji, izdelava in montaža jeklenih konstrukcij v povezavi s projektiranjem.

V začetku leta 2009 so bili pripravljene popravki vseh Evrokod 3 standardov [4] in ti popravki so bili v tekstu upoštrevani (brez posebnih opomb). Večinoma gre za manj pomembne popravke, velja pa omeniti naslednjo spremembo: *Pr.* 3-2 – za jeklo S355 se v skladu s SIST EN 10025-2 [5] in 10025-5 [6] natezna trdnost  $f_u$  zmanjša iz 510 MPa na 490 MPa. Ta sprememba je pomembna, saj je bila vrednost 510 MPa dolga leta uveljavljena v inženirski praksi. Leta 2014 je bil osnovnemu delu standarda SIST EN 1993-1-1 [7] dodan Dodatek C, ki podaja predstavlja osnovo za izbiro razredov izdelave (razredi EXC).

Dodani so tudi računski primeri, ki nazorno prikazujejo uporabo pravil za projektiranje.

Pri risanju slik, pripravi računskih primerov in urejanju teksta sta sodelovala študenta Aleš Pančur in Mojca Jelanič ter sodelavci Katedre za metalne konstrukcije UL FGG asist. dr. Primož Može, Blaž Čermelj, asist. dr. Peter Skuber in asist. dr. Luka Pavlovčič, ki je tekst tudi skrbno pregledal. Dopolnitve v ponatisnjeni izdaji je uredil Primož Može.

## 2 MEHANSKE LASTNOSTI IN PRAVILNA IZBIRA JEKLA

### 2.1 Konstrukcijska jekla

#### 2.1.1 Vrste jekel in označevanje

Evrokod 3 dopušča uporabo konstrukcijskih jekel v skladu z evropskimi standardi SIST EN 10025 (pločevine, vroče valjani profili) [5,6,8-11], SIST EN 10210 (vroče izdelani brezšivni ali varjeni votli profili) [12,13] in SIST EN 10219 (hladno oblikovani varjeni votli profili) [14,15].

Standard SIST EN 10025 pokriva naslednje vrste konstrukcijskih jekel:

- običajna (mehka) nelegirana konstrukcijska jekla, ki trdnost dosega na račun večje vsebnosti ogljika in izkazujejo zmerno lomno žilavost (SIST EN 10025-2),
- normalizirana drobnozrnata konstrukcijska jekla, ki imajo povečano lomno žilavost in pri kasnejši toplotni obdelavi (npr. krivljenje debelejših pločevin) ne izgubijo z normalizacijo pridobljenih mehanskih lastnosti (SIST EN 10025-3: N jekla),
- termomehansko obdelana drobnozrnata jekla, ki jim drobnozrnata struktura omogoča višjo trdnost ( $f_y$  do 460 MPa), veliko lomno žilavost in odlično varivost (SIST EN 10025-4: M jekla),

- konstrukcijska jekla z izboljšano odpornostjo proti atmosferski koroziji (vremensko odporna jekla). To so običajna konstrukcijska jekla, ki jim je z dodatnim legiranjem zagotovljena povečana korozijska odpornost (SIST EN 10025-5: W jekla),
- drobnozrnata mikrolegirana jekla visoke trdnosti, izdelana s postopkom kaljenja in popuščenja (poboljšana jekla), s trdnostmi v razponu od  $f_y = 460$  MPa (S460) do  $f_y = 960$  MPa. SIST EN 1993-1-1 dopušča uporabo jekel z napetostjo tečenja do 460 MPa, SIST EN 1993-1-12 pa vpeljuje tudi jekla višje trdnosti do  $f_y = 690$  MPa (SIST EN 10025-6: Q jekla).

Standarda SIST EN 10210 in SIST EN 10219 pokrivata votle profile iz običajnega konstrukcijskega jekla in iz normaliziranega jekla, SIST EN 10219 pa tudi termomehansko obdelane votle profile.

Konstrukcijska jekla se označujejo v skladu s SIST EN 10027-1 [16]:

$$S \text{ XXX YY}(H), \quad (3-1)$$

kjer je:

S – oznaka za konstrukcijsko jeklo

XXX – nazivna (najmanjša garantirana) napetost tečenja v MPa za debeline do 16 mm

YY – razred lomne žilavosti, določen s Charpy-V testom (npr. JR, J0, J2, K2, N, NL, M, ML, Q, QL, QL1 – glej *Pr. 3-4*)

H – samo pri votlih profilih (dodatna oznaka za votli profil, vendar brez oklepajev).

### 2.1.2 Osnovne mehanske lastnosti

Za karakteristične vrednosti napetosti tečenja  $f_y$  in natezne trdnosti  $f_u$  (glej *Sl. 3-1*) se privzamejo nazivne vrednosti na enega od naslednjih načinov:

- $f_y = R_{eH}$  in  $f_u = R_m$  (SIST EN 10025-2 do SIST EN 10025-6),  
kjer sta:  
 $R_{eH}$  – najmanjša garantirana vrednost zgornje meje napetosti tečenja,  
 $R_m$  – najmanjša garantirana vrednost natezne trdnosti,  
 $R_{eH}$  in  $R_m$  se z večanjem debeline manjšata (glej *Sl. 3-1* za običajna konstrukcijska jekla).
- poenostavljeni podatki za samo dve območji debelin, podani v SIST EN 1993-1-1 (*Pr. 3-2* in *Pr. 3-3*).

Prvi, natančnejši način določanja  $f_y$  in  $f_u$ , se uporablja pri zahtevnejših konstrukcijah (npr. mostovi), pri stavbah pa običajno zadošča uporaba drugega načina.

Računske vrednosti materialnih konstant jekla so naslednje:

- modul elastičnosti  $E = 210000$  MPa,
- strižni modul  $G = E/(2(1 + \nu)) \approx 81000$  MPa,
- Poissonov količnik (za elastično območje)  $\nu = 0,3$ ,
- specifična teža  $\gamma = 78$  kN/m<sup>3</sup>,
- koeficient toplotnega raztezka  $\alpha_T = 1,2 \cdot 10^{-5}/^\circ\text{C}$  (za  $T \leq 100^\circ\text{C}$ ).



# 4

**EVROKOD 4**  
PROJEKTIRANJE  
SOVPREŽNIH KONSTRUKCIJ  
IZ JEKLA IN BETONA

*Darko Beg*  
*Leon Hladnik*

---



## 4. poglavje

## EVROKOD 4: PROJEKTIRANJE SOVPREŽNIH KONSTRUKCIJ IZ JEKLA IN BETONA

Darko Beg <sup>a</sup>, Leon Hladnik <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo

<sup>b</sup> Razpon d.o.o., projektiranje, razvoj, inženiring in nadzor gradbenih konstrukcij

Kazalo:

1	UVOD	4-3
2	OSNOVE PROJEKTIRANJA	4-3
3	MATERIALI	4-5
3.1	Beton	4-5
3.2	Ostali materiali	4-5
3.3	Projektne vrednosti v okviru metode delnih faktorjev	4-6
4	TRAJNOST	4-6
5	GLOBALNA ANALIZA KONSTRUKCIJ	4-6
5.1	Metode globalne analize konstrukcij	4-6
5.1.1	Vplivi deformirane geometrije konstrukcije	4-6
5.1.2	Vplivi nelinearnega obnašanja materiala	4-8
5.1.3	Vplivi lokalnega izbočenja tlačnih delov jeklenega prereza	4-8
5.1.4	Sodelujoča širina pasnic zaradi strižne podajnosti	4-8
5.2	Elastična analiza za stavbe	4-9
5.2.1	Vplivi posameznih parametrov	4-9
5.2.2	Linearna elastična analiza za stavbe z omejeno prerazporeditvijo notranjih sil	4-12
5.3	Razvrščanje prečnih prerezov	4-13
5.3.1	Splošno	4-13
5.3.2	Razvrščanje sovprežnih prerezov brez obbetoniranja	4-13
6	MEJNA STANJA NOSILNOSTI	4-14
6.1	Sovprežni nosilci v stavbah	4-14
6.1.1	Splošno	4-14
6.1.2	Upogibna nosilnost prečnih prerezov sovprežnih nosilcev	4-14
6.1.3	Nosilnost na vertikalni strig	4-18
6.1.4	Upogib in vertikalni strig	4-19
6.1.5	Nosilnost delno obbetoniranih prečnih prerezov nosilcev za stavbe	4-19
6.1.6	Bočna zvrnitev sovprežnih nosilcev	4-20
6.1.7	Prečne koncentrirane sile na stojine	4-21
6.2	Strižna povezava	4-22
6.2.1	Splošno	4-22

6.2.2	Vzdolžna strižna sila pri nosilcih v stavbah .....	4-25
6.2.3	Čepi z glavo kot strižna vezna sredstva v ploščah in obbetoniranih nosilcih .....	4-26
6.2.4	Projektna nosilnost čepov z glavo, uporabljenih skupaj s profilirano jekleno pločevino .....	4-26
6.2.5	Detajli strižne povezave .....	4-28
6.2.6	Vzdolžni strig v betonskih ploščah .....	4-29
6.2.7	Lokalni vplivi koncentrirane vzdolžne strižne sile zaradi vnosa obtežbe vzdolžnih sil .....	4-31
6.3	Sovprežni stebri.....	4-32
6.3.1	Splošno .....	4-32
6.3.2	Globalna analiza .....	4-33
6.3.3	Upogibno in tlačno obremenjeni elementi - poenostavljena metoda projektiranja.....	4-35
6.3.4	Strižna povezava in vnos obtežbe .....	4-39
6.3.5	Pogoji detajliranja.....	4-42
7	MEJNA STANJA UPORABNOSTI .....	4-43
7.1	Napetosti in pomiki .....	4-43
7.2	Razpoke v betonu .....	4-44
7.2.1	Splošno .....	4-44
7.2.2	Najmanjša armatura.....	4-44
7.2.3	Kontrola razpok zaradi direktne obtežbe.....	4-45
8	SOVPREŽNI SPOJI V OKVIRIH STAVB .....	4-46
9	SOVPREŽNE PLOŠČE S PROFILIRANO JEKLENO PLOČEVINO V STAVBAH .....	4-47
9.1	Splošno .....	4-47
9.2	Konstruktivski detajli .....	4-49
9.3	Vplivi na sovpredne plošče .....	4-50
9.3.1	Projektna stanja .....	4-50
9.3.2	Obtežba profilirane jeklene pločevine, ki služi kot opaž .....	4-50
9.3.3	Obtežbe sovpredne plošče .....	4-50
9.4	Analiza notranjih sil in momentov .....	4-50
9.4.1	Profilirana jeklena pločevina kot opaž .....	4-50
9.4.2	Analiza sovpredne plošče .....	4-50
9.4.3	Sodelujoča širina sovpredne plošče pri koncentrirani točkovni in linijski obtežbi .....	4-51
9.5	Preverjanje profilirane jeklene pločevine kot opaža v MSN .....	4-52
9.6	Preverjanje profilirane jeklene pločevine kot opaža v MSU .....	4-52
9.7	Preverjanje sovprednih plošč v mejnem stanju nosilnosti.....	4-52
9.7.1	Upogibna nosilnost.....	4-52
9.7.2	Vzdolžni strig pri ploščah brez končnega sidranja.....	4-54
9.7.3	Vzdolžni strig pri ploščah s končnim sidranjem .....	4-55
9.7.4	Vertikalni strig.....	4-55
9.7.5	Preboj plošče .....	4-56
9.8	Preverjanje sovprednih plošč pri mejnem stanju uporabnosti.....	4-56
9.8.1	Preverjanje razpokanosti betona.....	4-56
9.8.2	Pomiki .....	4-56
VIRI	.....	4-57
RAČUNSKI PRIMER R1:	PLASTIČNA ANALIZA SOVPREDNEGA NOSILCA .....	4-59
RAČUNSKI PRIMER R2:	SOVPREDNA PLOŠČA .....	4-77
RAČUNSKI PRIMER R3:	SOVPREDNI STEBER .....	4-83
RAČUNSKI PRIMER R4:	ELASTIČNA ANALIZA SOVPREDNEGA NOSILCA .....	4-89

## 1 UVOD

Evrokod 4 je namenjen projektiranju sovprežnih konstrukcij elementov stavb in inženirskih objektov. Obravnava samo zahteve za nosilnost, uporabnost, trajnost in požarno nosilnost sovprežnih konstrukcij. V tem priročniku je podrobneje predstavljen le standard SIST EN 1994-1-1 (splošna pravila projektiranja in pravila za stavbe) [1,2]. Pri nacionalno določljivih parametrih (NDP) so upoštevane vrednosti iz slovenskega Nacionalnega dodatka [3], ki so praktično vedno enake priporočenim vrednostim. Dodanih je nekaj značilnih računskih primerov, ki prikazujejo praktično uporabo pravil za projektiranje. Dodatne informacije lahko bralec najde npr. v [4-6].

Pri risanju slik in pripravi računskih primerov je sodeloval mladi raziskovalec Franci Sinur. Tekst je skrbno pregledal in uredil asist.dr. Primož Može.

Na *Sl. 4-1*. so prikazani značilni prerezi sovprežnih konstrukcij, ki jih obravnava Evrokod 4.

Evrokod 4 je razdeljen na tri dele [1,7,8]:

- SIST EN 1994-1-1: Splošna pravila in pravila za stavbe
- SIST EN 1994-1-2: Projektiranje požarno odpornih stavb
- SIST EN 1994-2: Mostovi.

V SIST EN 1994-1-2, ki obravnava požarnoodporno projektiranje so podane preglednice za določevanje dimenzij požarnoodpornih prerezov in elementov. Pripravljene so preglednice za:

- sovprežne nosilce z delno obbetoniranimi jeklenimi nosilci,
- obbetonirane sovprežne nosilce,
- delno obbetonirane sovprežne stebre in
- sovprežne stebre iz votlih profilov, napolnjenih z betonom.

Na voljo je tudi poenostavljena računska metoda, ki se lahko uporabi za:

- sovprežne stropove s profilirano ploščevino,
- sovprežne nosilce,
- sovprežne nosilce z delno obbetoniranimi jeklenimi nosilci in
- sovprežne stebre.

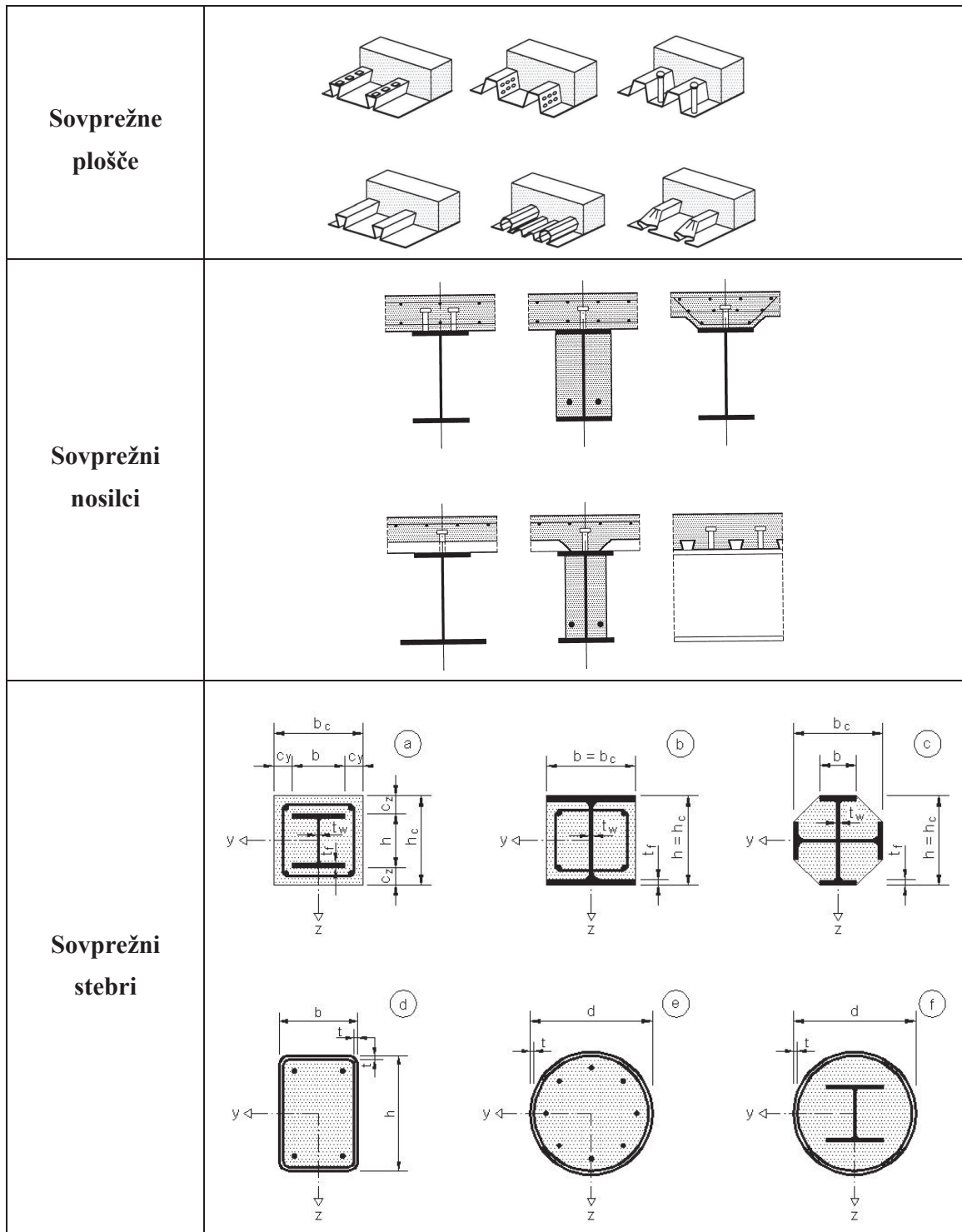
V SIST EN 1994-2 so obravnavane vse posebnosti projektiranja sovprežnih mostov, ki se nanašajo na:

- globalno analizo, ki je pri mostovih omejena na elastično analizo, pri čemer je potrebno upoštevati vpliv strižne podajnosti betonskih pasnic, krčenje in lezenje betona, razpokanost betona, postopnost gradnje,...
- nosilnost prerezov, za katere je dovoljena izraba plastične nosilnosti,
- utrujanje,
- podrobno določena mejna stanja uporabnosti,
- sovprežne mostove s predizdelanimi betonskimi ploščami.

## 2 OSNOVE PROJEKTIRANJA

Pri projektiranju sovprežnih konstrukcij je potrebno upoštevati sledeča pravila:

- projektiranje se izvaja po metodi mejnih stanj v povezavi z metodo delnih faktorjev v skladu s SIST EN 1990 [9],
- vplive se določi v skladu s SIST EN 1991 [10],
- kombinacije vplivov se upošteva v skladu s SIST EN 1990,
- nosilnost, trajnost in uporabnost se določi v skladu s SIST EN 1994-1-1, SIST EN 1994-1-2 in SIST EN 1994-2,
- pri projektiranju je načeloma potrebno upoštevati vplive postopnosti gradnje, vplive krčenja in lezenja betona, ter vplive temperature. Izjeme, kjer to ni potrebno, so navedene v nadaljevanju.



Sl. 4-1. Značilni prerezi sovprežnih konstrukcij.

# 5

**EVROKOD 5**  
PROJEKTIRANJE  
LESENIH KONSTRUKCIJ

*Srečko Vratuša*  
*Miroslav Premrov*

---





## 5. poglavje

**EVROKOD 5: PROJEKTIRANJE LESENIH KONSTRUKCIJ**Srečko Vratuša<sup>a</sup>, Miroslav Premrov<sup>b</sup><sup>a</sup> Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo<sup>b</sup> Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo

Kazalo:

1	UVOD	5-3
2	LES KOT GRADBENI MATERIAL	5-5
2.1	Vlažnost lesa	5-5
2.2	Trdnost lesa	5-5
2.3	Razvrščanje konstrukcijskega lesa	5-6
2.3.1	Masivni les	5-6
2.3.2	Lepljen lameliran les	5-8
2.3.3	Slojnati furnirni les (LVL) in lesne plošče	5-9
3	METODA MEJNIH STANJ	5-10
3.1	Splošno	5-10
3.2	Projektna nosilnost in projektna trdnost	5-11
3.2.1	Delni faktor varnosti na material	5-12
3.2.2	Modifikacijski faktor	5-12
3.2.3	Faktor višine	5-13
3.3	Računski primer 1: Modifikacijski faktorji	5-13
3.4	Računski primer 2: Delni faktorji varnosti in skupna varnost	5-14
4	MEJNO STANJE NOSILNOSTI	5-15
4.1	Splošno	5-15
4.2	Osno-upogibna obremenitev	5-16
4.2.1	Centrični nateg v smeri vlaken lesa	5-16
4.2.2	Centrični tlak brez upoštevanja uklona	5-17
4.2.3	Centrični tlak z upoštevanjem uklona	5-17
4.2.4	Upogib	5-22
4.2.5	Upogib z natezno osno silo	5-25
4.2.6	Upogib s tlačno osno silo	5-26
4.3	Strižna obremenitev	5-26
4.3.1	Strig	5-26
4.3.2	Napetosti v zarezanih elementih	5-27
4.3.3	Torzija	5-28
4.3.4	Kombinacija striga in torzije	5-31
4.4	Nosilci s spremenljivo višino in ukrivljeni nosilci	5-31
4.4.1	Splošno	5-31

4.4.2	Določitev kritičnega prereza .....	5-32
4.4.3	Napetosti v kritičnem prerezu .....	5-34
4.4.4	Napetosti v temenskem območju .....	5-34
4.5	Kontaktne napetosti.....	5-37
4.5.1	Tlačne napetosti pravokotno na vlakna .....	5-37
4.5.2	Tlačne napetosti pod kotom glede na vlakna .....	5-38
4.6	Računski primer 3: Centrični tlak z upoštevanjem uklona .....	5-39
4.7	Računski primer 4: Dvokapni nosilec z ukrivljenim spodnjim robom .....	5-40
5	MEJNO STANJE UPORABNOSTI .....	5-44
5.1	Splošne zahteve .....	5-44
5.1.1	Zahteve za upogibe.....	5-44
5.1.2	Zahteve za vibracije.....	5-45
5.2	Izračun upogibov.....	5-46
5.2.1	Elastični začetni upogibi ( $w_{inst}$ ) .....	5-46
5.2.2	Končni upogibi ( $w_{fin}$ ) .....	5-46
5.3	Računski primer 5: Primarni stropni nosilec.....	5-48
5.4	Računski primer 6: Primerjava lezenja lesenih in betonskih elementov.....	5-51
6	ZVEZE S KOVINSKIMI VEZNIMI SREDSTVI .....	5-52
6.1	Splošno o veznih sredstvih.....	5-52
6.2	Modul pomika veznega sredstva ( $K_{ser}$ ) .....	5-52
6.3	Bočna nosilnost kovinskih paličastih veznih sredstev .....	5-54
6.3.1	Zveze les-les in lesna plošča-les.....	5-54
6.3.2	Zveze les-jeklo .....	5-57
6.4	Razporeditev veznih sredstev.....	5-61
6.5	Vrste veznih sredstev .....	5-62
6.5.1	Žebliji (žičniki).....	5-63
6.5.2	Sponke.....	5-65
6.5.3	Vijaki.....	5-66
6.5.4	Lesni vijaki.....	5-67
6.5.5	Paličasti kovinski mozniki (trni) .....	5-68
6.6	Računski primer 7: Podaljševanje natezno obremenjenega elementa.....	5-69
7	KOMPONENTE IN SESTAVI .....	5-78
7.1	Komponente .....	5-78
7.1.1	Nosilci z mehanskimi veznimi sredstvi.....	5-78
7.1.2	Lepljeni nosilci s tankimi stojinami .....	5-80
7.1.3	Lepljeni nosilci s tankimi pasnicami .....	5-82
7.1.4	Sestavljeni stebri (Stebri z mehanskimi veznimi sredstvi in lepljeni stebri).....	5-83
7.2	Sestavi .....	5-86
7.2.1	Paličja .....	5-86
7.2.2	Paličja s kovinskimi ježastimi ploščami (ježevkami).....	5-87
7.2.3	Ploskovni strešni in stropni elementi.....	5-87
7.2.4	Stenski elementi .....	5-87
7.2.5	Bočno zavarovanje .....	5-92
7.3	Računski primer 8: Žebljan pasovni nosilec s stojino in bočnicami .....	5-96
7.4	Računski primer 9: Montažne okvirne lesene stene.....	5-100
7.5	Računski primer 10: Stebri deljenega prečnega prereza .....	5-102
7.6	Računski primer 11: Uklonsko zavarovanje v horizontalni ravnini industrijske hale .....	5-105
VIRI	.....	5-110
PRILOGA P1: PREGLEDNICE	.....	5-111

## 1 UVOD

Z letom 2008 smo v Sloveniji pričeli z redno uporabo sodobnih standardov za projektiranje nosilnih konstrukcij – evrokodi. Projektiranju stavb in gradbenih inženirskih objektov v lesu je namenjen Evrokod 5 (SIST EN 1995), [1]. Razdeljen je na dva dela. Prvi del (Splošno) obsega SIST EN 1995-1-1 (Splošna pravila in pravila za stavbe) in SIST EN 1995-1-2 (Splošna pravila – Projektiranje požarnovarnih konstrukcij), drugi del pa je SIST EN 1995-2 (Mostovi). Za evrokode so izdani tudi nacionalni dodatki. Končne verzije evrokodov so bile izdane pred leti (večinoma 2004), sedaj prihajajo prvi popravki oziroma dopolnila standardov. V tem priročniku se omejujemo na vsebino 1-1. dela Evrokoda 5 (v nadaljevanju krajše EC-5).

Nastajanje teh standardov ima dolgo zgodovino. Že leta 1983 je bil objavljen dokument “CIB Structural Timber Design” (CIB – CONSEIL INTERNATIONAL DU BÂTIMENT), ki je bil podlaga za Evrokode 5. Pododbor SC 5 tehničnega odbora TC 250 pri CEN (COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION) je najprej pripravil evropske predstandarde (1993–1997). Na podlagi izkušenj s predstandardi se je delo kasneje nadaljevalo na izdaji končnih standardov.

Evrokod 5 oziroma SIST EN 1995 se uporablja skupaj s SIST EN 1990 (Evrokod – Osnove projektiranja konstrukcij) [2], SIST EN 1991 (Evrokod 1: Vplivi na konstrukcije) [3] ter v primeru, ko so lesene konstrukcije grajene na potresnih območjih še SIST EN 1998 (Projektiranje potresnoodpornih konstrukcij) [4]. Poleg tega se Evrokod 5 vsebinsko navezuje še na vrsto drugih standardov. To so standardi o lastnostih, kvaliteti, trajnosti in zaščiti materialov, zahtevah za uporabo, preizkušanju, določitvi karakterističnih vrednosti in podobno [5]. Osnovo za projektiranje lesenih konstrukcij predstavljajo standardi, ki določajo trdnostne razrede masivnega [6] in lepljenega lameliranega lesa [7].

V primerjavi z dosedanjimi standardi (JUS, DIN) lahko rečemo, da so izrazi za kriterije nosilnosti, stabilnosti in uporabnosti elementov, spojev, veznih sredstev in konstrukcij kot celote, bolj zapleteni in zahtevnejši. Za lesene konstrukcije uporabljamo različne “lesne materiale”: masivni (rezan) les, lameliran les, slojnati furnirni les (LVL), ploščasti elementi na podlagi lesa. Ti materiali so anizotropni, po strukturi so vlaknasti in izpostavljeni spremembam vlage in trajanju obtežb. Razvrščeni so v množico trdnostnih razredov, ki pokrivajo vse vrste lesa, ki lahko nastopa na evropskem tržišču. Poleg tega imamo zaradi anizotropnosti še različne vrednosti trdnosti: v smeri vlaken in pravokotno na vlakna. Projektne trdnosti (upogibna, natezna, tlačna, strižna) so odvisne od trajanja obtežbe in pogojev okolja pri uporabi. Namesto dosedaj poznanega “ $\omega$ ” postopka EC-5 uvaja nov način kontrole tlačno obremenjenih vitkih elementov. Posebnost je tudi v primeru kombinacije tlačne in upogibne obremenitve pri elementih male vitkosti, kjer upoštevamo ugodni vpliv plastifikacije lesa zaradi tlačnih napetosti.

Ta množica kriterijev za določitev mejnega stanja nosilnosti in bolj zapletena določitev posameznih parametrov računa gradbenim konstrukterjem precej otežuje in podaljšuje račun lesenih elementov. Po drugi strani tudi težko govorimo o klasičnem dimenzioniranju, saj moramo za izračun zaradi soodvisnosti že vnaprej poznati posamezne parametre, tudi dimenzije. Torej gre pri računu bolj za kontrolo, ali izbrani parametri konstrukcije ustrezajo vsem predpisanim kriterijem; v naslednjih korakih (iteracijah) pa gre za iskanje optimalnejših rešitev. Menimo tudi, da je namesto ugotavljanja, ali so projektne napetosti manjše (enake) od projektne trdnosti, bolje govoriti o izkoriščenosti prereza ( $\leq 1,00$ ) glede na posamezni predpisani kriterij.

Za implementacijo novih standardov in učinkovito delo konstrukterjev je potrebno izdelati različne računske pripomočke in razviti ustrezna računalniška programska orodja. Računalnik namreč z lahkoto in hitro obdela veliko primerov in upošteva množico možnih kombinacij. S tem pa imamo tudi možnost iskanja optimalnih rešitev. Ta priročnik s svojimi preglednicami, diagrami ter računskimi primeri predstavlja enega izmed korakov v tej smeri.

EC-5, 1-1. del, ima skupaj 123 strani in poleg naslovne strani, vsebine ter predgovora (9 strani) vsebuje naslednjih 10 glavnih poglavij:

- SPLOŠNO (9)
- OSNOVE PROJEKTIRANJA (7)
- LASTNOSTI MATERIALA (4): Splošno, Masivni les, Lepljen lameliran les, Slojnati furnirni les (LVL), Lesne plošče, Lepila, Kovinska vezna sredstva
- TRAJNOST (1)
- OSNOVE ANALIZE KONSTRUKCIJ (5)
- MEJNA STANJA NOSILNOSTI (19)
- MEJNA STANJA UPORABNOSTI (4)
- ZVEZE S KOVINSKIMI VEZNIMI SREDSTVI (30)
- KOMPONENTE IN SESTAVI (16)
- KONSTRUKCIJSKE ZAHTEVE IN NADZOR (5)
- DODATKI (informativni - 14 str.): (A) Blokovna strižna porušitev pri mozničenih zvezah jeklo-les; (B) Nosilci z mehanskimi veznimi sredstvi; (C) Sestavljeni stebri; (D) Bibliografija.

Do sedaj sta bila izdana dva vsebinska dodatka k EC-5 (SIST EN 1995-1-1:2005/A1:2008 in A2:2014). Odpravljata predvsem nekatere manjše napake in nedoslednosti pri označevanju in sklicevanju (največ pri veznih sredstvih). Prav tako so bili medtem spremenjeni tudi nekateri referenčni standardi, kar se odraža tudi v Evrokodu 5. Najpomembnejša sprememba pa je dimenzioniranje tlačno obremenjenih elementov v pravokotni smeri glede na vlakna – račun kontaktnih napetosti. Splošna ugotovitev je bila, da je dosedanja rešitev prezapletena in glede na pomembnost razdelka preobsežna. Nova metoda v dodatku je bolj enostavna in s tem tudi bistveno krajša (točka 6.1.5 – namesto na 4 straneh je sedaj na 1 strani). Pomembna novost je tudi pri kontroli strižnih napetosti pri upogibu. Vpliv razpokanosti lesa na strižno trdnost upoštevamo z učinkovito širino prereza. Več sprememb je tudi v poglavju 8 (Zveze s kovinskimi veznimi sredstvi).

Podlaga za sprejetje nacionalnega dodatka (SIST EN 1995-1-1:2005/A101:2006) so člani v EC-5, pri katerih je predvidena nacionalna izbira metod ali vrednosti parametrov. Večinoma so izbrane priporočene metode oziroma vrednosti parametrov. V času izdaje ponatisa (maj 2017) je v postopku sprejemanja nov nacionalni dodatek (A102). V tem ponatisu so že upoštevane spremembe glede na dodatek A101 (razvrstitev obtežbe s snegom glede na trajanje: *Pr.* 5-2; koeficient razpokanosti: enačba (5-28)). Pri določitvi omejitev vertikalnih upogibkov nosilcev se lahko upoštevajo priporočena območja vrednosti, podana v EC-5. Konkretno vrednosti za omejitve se določi za vsak projekt in dogovori z uporabnikom v skladu s SIST EN 1990, A1.4. Priporočene vrednosti omejitev za vertikalne upogibke različnih delov konstrukcij so podane v nacionalnem dodatku k SIST EN 1990. Pri izračunu nosilnosti panelnih sten se lahko v splošnem uporablja priporočena poenostavljena metoda A. Metoda ne upošteva dejanskega sovprežnega obnašanja med lesenim okvirjem in obložnimi ploščami. Metoda B upošteva del sovprežnosti pri stenah z obložnimi ploščami na lesni osnovi in je zato bolj natančna kot metoda A. Metodi pa nista primerni za določitev nosilnosti panelnih sten z mavčno-vlaknenimi obložnimi ploščami. V tem primeru je potrebno uporabiti računske modele, ki upoštevajo popustljivost veznih sredstev med obložnimi ploščami in lesenim okvirjem ter upoštevajo razpoke v natezni coni mavčnih plošč [8], [9].

Struktura poglavij v tem priročniku je podobna kot v EC-5. Glavnim poglavjem sledijo računski primeri. Med tekstom so dodani diagrami, ki pojasnjujejo pomen različnih parametrov ali prikazujejo vrednosti različnih koeficientov. Zaradi omejenosti priročnika so pri računskih primerih večinoma prikazani izolirani problemi, ki so v povezavi z obravnavanim poglavjem. V prilogi so zbrane preglednice s pomembnimi podatki in tabeliranimi uklonskimi koeficienti, ki omogočajo lažji račun. Pri projektiranju lesenih konstrukcij lahko uporabljate tudi gradiva s spletnega portala *Lesena gradnja v Sloveniji* ([www.lesena-gradnja.si](http://www.lesena-gradnja.si)), kjer so dostopni različni računski pripomočki.

Pri nastajanju tega dela priročnika je s potrpežljivim risanjem slik pomagal Bojan Fratina, za kar se mu avtorja iskreno zahvaljujeva.

# 6

## **EVROKOD 6**

### PROJEKTIRANJE ZIDANIH KONSTRUKCIJ

IN POSEBNA PRAVILA ZA PROJEKTIRANJE  
POTRESNO ODPORNIH  
ZIDANIH STAVB (EVROKOD 8)

*Miha Tomažević*



## 6. poglavje

**EVROKOD 6: PROJEKTIRANJE ZIDANIH KONSTRUKCIJ****IN POSEBNA PRAVILA ZA PROJEKTIRANJE POTRESNO ODPORNIH ZIDANIH STAVB (EVROKOD 8)**

Miha Tomažević

Zavod za gradbeništvo Slovenije

Kazalo:

1	UVOD	6-3
2	SKUPINA STANDARDOV ZA PROJEKTIRANJE ZIDANIH KONSTRUKCIJ	6-4
3	SPLOŠNA NAČELA IN OSNOVE ZA PROJEKTIRANJE	6-5
3.1	Splošna načela	6-5
3.2	Projektno stanje in obtežba	6-7
3.2.1	Splošno	6-7
3.2.2	Projektna potresna obtežba za zidane konstrukcije	6-7
4	MATERIALI	6-11
4.1	Zidaki	6-11
4.2	Malta	6-13
4.3	Zalivni beton	6-15
4.4	Armaturno jeklo	6-16
4.5	Mehanske lastnosti zidovja	6-17
4.5.1	Tlačna trdnost zidovja	6-18
4.5.2	Strižna trdnost zidovja	6-19
4.5.3	Upogibna trdnost zidovja	6-21
4.5.4	Natezna trdnost zidovja	6-22
4.5.5	Deformacijske lastnosti zidovja	6-24
5	UKREPI ZA ZAGOTAVLJANJE TRAJNOSTI ZIDOVJA	6-27
6	KONSTRUKCIJSKE ZAHTEVE	6-29
6.1	Sistemi zidanja	6-29
6.1.1	Nearmirano zidovje	6-29
6.1.2	Povezano zidovje	6-30
6.1.3	Armirano zidovje	6-32
6.2	Pravila za konstruiranje	6-34
7	ANALIZA KONSTRUKCIJE	6-35
8	PREVERJANJE MEJNIH STANJ	6-37
8.1	Splošno	6-37
8.2	Končno mejno stanje	6-38

8.2.1	Nearmirano zidovje .....	6-38
8.2.2	Armirano zidovje.....	6-42
8.2.3	Povezano zidovje.....	6-45
8.2.4	Obnašanje zidov pri potresni obtežbi .....	6-45
8.3	Mejno stanje uporabnosti .....	6-49
9	RAČUNSKI PRIMER .....	6-52
9.1	Opis stavbe in materiali.....	6-52
9.2	Obremenitve zaradi vplivov navpične obtežbe .....	6-54
9.3	Potresna obtežba.....	6-55
9.4	Preverjanje mejnega stanja zidov na navpično obtežbo.....	6-55
9.5	Preverjanje potresne odpornosti konstrukcije .....	6-56
9.5.1	Preverjanje z upoštevanjem določil Evrokoda 6 .....	6-56
9.5.2	Preverjanje z upoštevanjem natezne trdnosti zidovja.....	6-58
9.6	Sklep.....	6-59
VIRI	.....	6-60



## 1 UVOD

Zidane stavbe smo v preteklosti projektirali le na pol: medtem ko smo računsko preverjali in dimenzionirali posamezne nosilne elemente in dele konstrukcije, kot so stropne konstrukcije in preklade, stopnišča in strešne konstrukcije, smo preprosto zaupali najpomembnejšim konstrukcijskim elementom, nosilnim zidovom. Na podlagi konstrukcijskih zahtev in omejitev, ki smo jih upoštevali pri zasnovi konstrukcije, ter minimalnih zahtev, povezanih s trdnostnimi lastnostmi materialov, smo namreč samoumevno pričakovali, da bodo zidovi sposobni prevzeti z ustrežno varnostjo vse obtežbe, ki bodo nanje delovale v življenjski dobi stavbe. Ker pri nas Pravilnika o tehničnih ukrepih in pogojih za izvajanje zidov stavb iz leta 1970 [1], ki je zahteval, da odpornost zidov dokažemo z računom, praktično nismo poznali, in smo, če sploh, upoštevali le določila Pravilnika o tehničnih normativih za graditev objektov visoke gradnje na seizmičnih območjih [2], predstavlja uvedba Evrokoda 6: *Projektiranje zidanih konstrukcij* (SIST EN 1996) za mnoge projektante novost. Evrokod 6 namreč zahteva, da se odpornost zidanih konstrukcij dokaže z računom, podobno kot smo bili doslej navajeni za druge vrste konstrukcij.

Ker tudi Evrokod 6 upošteva dejstvo, da so se zidane konstrukcije doslej gradile na podlagi izkustvenih pravil za konstruiranje, dopušča možnost, da se izračuni v nekaterih primerih poenostavijo. Poenostavljenemu računu je posvečen njegov 3. del: *Poenostavljene računske metode za nearmirane zidane konstrukcije*. Kot že ime pove, je ta možnost uporabna le za nearmirane, navadne zidane konstrukcije, medtem ko je za povezane zidane konstrukcije (zidane konstrukcije z navpičnimi vezmi) in armirane zidane konstrukcije treba uporabljati običajne postopke. Gradnjo navadnih zidanih konstrukcij na potresnih območjih, kot je Slovenija, pa močno omejuje Evrokod 8: *Projektiranje potresnoodpornih konstrukcij* (SIST EN 1998). Zato se pri nas že družinske hiše gradijo samo v sistemu povezanega zidovja. Evrokod 8 sicer dopušča, da se pravilno zasnovane in po višini omejene stavbe, t. i. enostavne zidane stavbe, gradijo na območjih z omejeno seizmičnostjo brez posebnega računskega preverjanja potresne odpornosti. Vendar je treba zaradi zahtev Evrokoda 6 v vsakem primeru preveriti vsaj odpornost zidov na navpično, težnostno obtežbo.

Kot pri konstrukcijah iz drugih materialov je treba tudi pri projektiranju zidanih konstrukcij upoštevati poleg osnovnega še druge standarde iz družine evrokodov. Predvsem so to Evrokod *Osnove projektiranja konstrukcij* (SIST EN 1990), Evrokod 1: *Vplivi na konstrukcije* (SIST EN 1991), Evrokod 7: *Geotehnično projektiranje* (SIST EN 1997) ter že omenjeni Evrokod 8: *Projektiranje potresnoodpornih konstrukcij* (SIST EN 1998). Le-ta v delu, ki obravnava zidane konstrukcije, pokriva tiste posebne zahteve, ki jih morajo zidane konstrukcije izpolnjevati, če stojijo na potresnih območjih. Ker je celotna Slovenija izpostavljena potresni nevarnosti, bodo na tem mestu predstavljene tudi posebne zahteve, ki jih za potresnoodporne zidane konstrukcije postavlja Evrokod 8.

Ne glede na to, da Evrokoda 6 in 8 uvajata sodobna načela projektiranja, po katerih se zidanim konstrukcijam zagotavlja enaka stopnja varnosti kot konstrukcijam iz drugih materialov, je v njiju najti tudi kakšno ne do konca premišljeno določilo. Čeprav so bila nekatera od takšnih ne dovolj premišljenih določil formalno že obravnavana na ustreznih odborih Evropskega komiteja za standardizacijo (CEN, osnovni standard) in SIST (nacionalni dodatek), vsi predlogi za spremembe niso bili uveljavljeni niti v dopolnilih standarda iz leta 2013 niti v nacionalnem dodatku iz leta 2016. Ker tudi nove raziskave argumentirajo predloge, je upati, da jih bo upoštevala nova generacija evrokodov, ki naj bi bila pripravljena še v tem desetletju.

## 2 SKUPINA STANDARDOV ZA PROJEKTIRANJE ZIDANIH KONSTRUKCIJ

Kot večino standardov iz družine evrokodov za projektiranje konstrukcij tudi Evrokod 6: *Projektiranje zidanih konstrukcij* sestavlja več delov:

- Del 1-1: *Splošno – Pravila za armirano in nearmirano zidovje* (Evrokod 6-1-1);
- Del 1-2: *Splošna pravila – Požarnoodporno projektiranje* (Evrokod 6-1-2);
- Del 2: *Projektiranje, izbira materialov in izvedba* (Evrokod 6-2);
- Del 3: *Poenostavljene računске metode za nearmirane zidane konstrukcije* (Evrokod 6-3).

Medtem ko so splošna pravila za požarnoodporno projektiranje sestavni del vsakega standarda za projektiranje, sta 2. in 3. del posebnost standarda za zidane konstrukcije. V 2. delu so navedena predvsem pravila, ki jih moramo upoštevati pri izbiri materialov, zidanju, konstrukcijski zasnovi ter detajlih, medtem ko so v 3. delu podani poenostavljeni postopki preverjanja odpornosti, ki jih lahko uporabljamo, če zasnova zidanih konstrukcij ustreza določenim pogojem.

Ker se bomo v nadaljevanju posvetili predvsem pravilom, ki jih navaja 1. del splošnih pravil za armirano in nearmirano zidovje, naj kar uvodoma na splošno omenimo nekaj pomembnejših določil 2. dela standarda, predvsem določila o zagotavljanju kakovosti materialov za zidanje. Uporabljamo materiale in sisteme z dokazano primernostjo za uporabo. Dokaz je bodisi potrdilo o skladnosti z zahtevami ustreznih evropskih standardov, če teh ni, pa s tehničnim soglasjem, z nacionalnim standardom ali drugimi dokazili. Zidaki morajo ustrezati zahtevam standardov serije SIST EN 771, medtem ko moramo za malto, ki jo pripravimo na gradbišču, in polnilni beton, izdelati projektne zahteve tako glede mehanskih lastnosti in trajnosti, kot tudi glede dokazovanja skladnosti s temi zahtevami, ter predpisati način jemanja vzorcev in preizkušanja. Sestavo in način mešanja lahko predpišemo bodisi na podlagi rezultatov lastnih preiskav poskusnih mešanic bodisi uporabimo referenčne, javno dostopne verodostojne podatke. Pozorni moramo biti tudi na tiste zahteve standarda, s katerimi zagotovimo in dokazujemo trajnost zidovja, zidakov, malte, armature in drugih uporabljenih materialov in elementov.

Da v zidovju ne bi nastale razpoke in druge poškodbe, ki bi jih lahko povzročilo krčenje in tečenje materiala, pomiki zaradi toplotnih vplivov in vplivov vlage, deformacije in drugi vplivi notranjih napetosti zaradi navpične in vodoravne obtežbe, 2. del Evrokoda 6 tudi zahteva, da je treba pri projektiranju zidane konstrukcije predvideti navpične in vodoravne dilatacije, v katerih se lahko izvršijo vnaprej predvideni pomiki. Dilatacije morajo potekati po celotni debelini zidu, ne smejo pa zmanjšati celovitosti delovanja konstrukcije.

S projektom je treba predvideti tudi dopustna geometrijska odstopanja izvedenih del od v projektu predvidene lege. V kolikor projektant tega posebej ne predvidi, evrokod v posebni preglednici navaja dopustne tolerance odstopanja od vertikale in horizontale.

Večina ostalih določil 2. dela Evrokoda 6 zadeva samo izvedbo del in ne toliko projektiranja, zato jih na tem mestu ne bomo omenjali. Velja pa opomba, da se namesto nekaterih določil lahko uporabljajo tudi pravila, osnovana na lokalnih izkušnjah in gradbeni praksi. Ta pravila morajo biti navedena v nacionalnem dodatku, ne smejo pa biti v nasprotju z določili evrokoda.

Omejeni obseg dela ne dopušča, da bi obravnavali vsak člen oziroma vsako določilo standarda posebej. Zato bomo na kratko opisali posamezna poglavja, ne nujno v istem zaporedju kot jih je najti v Evrokodu 6, na preprostih računskih primerih pa bomo prikazali določila, ki obravnavajo računsko dokazovanje odpornosti nosilnih elementov in konstrukcije. Osnovni računski postopki, ki jih uporabljamo za preverjanje odpornosti zidanih konstrukcijskih elementov, so predpisani v Evrokodu 6. Evrokod 8 v posebnih pravilih za zidane stavbe določa samo vrednosti tistih parametrov, ki jih rabimo za izračun velikosti projektne potresne obtežbe, ki deluje na zidane konstrukcije, ter delnih faktorjev varnosti za materiale, ki jih upoštevamo v izračunu projektne potresne odpornosti. Razen metod za račun projektne potresne sile, ki so splošne in veljajo za vse vrste konstrukcij, so metode in postopki za račun odpornosti konstrukcijskih elementov in konstrukcij predpisani v Evrokodu 6. Čeprav so metode za račun projektne potresne sile podrobno

# 7

**EVROKOD 7**  
GEOTEHNIČNO  
PROJEKTIRANJE

*Janko Logar*  
*Boštjan Pulko*



## 7. poglavje

**EVROKOD 7: GEOTEHNIČNO PROJEKTIRANJE**

Janko Logar, Boštjan Pulko

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo

Kazalo:

1	UVOD	7-5
1.1	Namen in obseg Evrokoda 7-1	7-5
1.2	Namen in obseg Evrokoda 7-2	7-6
1.3	Definicije nekaterih osnovnih pojmov	7-7
2	OSNOVE GEOTEHNIČNEGA PROJEKTIRANJA	7-8
2.1	Projektna stanja	7-9
2.2	Geotehnične kategorije	7-9
2.3	Trajnost	7-11
2.4	Projektiranje z računskimi analizami	7-11
2.4.1	Vplivi	7-11
2.4.2	Lastnosti tal	7-13
2.4.3	Karakteristične vrednosti geotehničnih parametrov	7-13
2.4.4	Statistično določanje karakteristične vrednosti geotehničnih parametrov	7-17
2.4.5	Projektne vrednosti geotehničnih parametrov	7-19
2.4.6	Projektne vrednosti geometrijskih podatkov	7-19
2.4.7	Mejna stanja nosilnosti	7-19
2.4.8	Delni faktorji za preverjanje mejnih stanj	7-20
2.4.9	Preverjanje mejnega stanja nosilnosti – splošno	7-20
2.4.10	Preverjanje mejnega stanja EQU (statično ravnovesje)	7-21
2.4.11	Preverjanje mejnega stanja UPL (dvig konstrukcije zaradi vzgona in drugih vplivov)	7-24
2.4.12	Preverjanje mejnega stanja HYD (hidravlični lom tal)	7-24
2.4.13	Preverjanje mejnih stanj STR in GEO (odpoved konstrukcije in/ali tal)	7-24
2.4.14	Projektni pristop 1 (PP1)	7-25
2.4.15	Projektna pristopa PP2 in PP2*	7-30
2.4.16	Projektni pristop PP3	7-31
2.4.17	Primer preverjanja mejnega stanja po treh projektnih pristopih	7-32
2.4.18	Mejno stanje uporabnosti	7-34
2.5	Projektiranje s predpisovanjem ukrepov	7-34
2.6	Projektiranje na osnovi obremenilnih preizkušenj in eksperimentalnih modelov	7-35
2.7	Projektiranje po principu opazovalne metode	7-35
2.8	Poročilo o geotehničnem projektu	7-36
3	GEOTEHNIČNI PODATKI	7-36

3.1	Geotehnični podatki in Evrokod 7-2 .....	7-36
3.2	Priporočila glede obsega preiskav (dodatek B k Evrokodu 7-2).....	7-37
3.3	Poročilo o preiskavah tal.....	7-39
4	<b>NADZOR GRADNJE, TEHNIČNO OPAZOVANJE IN VZDRŽEVANJE</b> .....	7-40
4.1	Splošno.....	7-40
4.2	Nadzor.....	7-41
4.2.1	Načrt nadzora .....	7-41
4.2.2	Vizualni nadzor in kontrola.....	7-41
4.2.3	Presoja projekta .....	7-41
4.3	Kontrola pogojev tal.....	7-41
4.3.1	Zemljine in kamnine.....	7-41
4.3.2	Podtalnica .....	7-42
4.4	Kontrola gradnje.....	7-42
4.5	Tehnično opazovanje (monitoring).....	7-42
4.6	Vzdrževanje.....	7-42
5	<b>NASUTJE, ODVODNJAVANJE, POBOLJŠANJE IN ARMIRANJE TAL</b> .....	7-43
5.1	Izvedba nasutja.....	7-43
5.2	Odvodnjavanje .....	7-43
5.3	Poboljšanje in ojačitev tal .....	7-44
6	<b>PLITVO TEMELJENJE</b> .....	7-44
6.1	Vsebina poglavja o plitvem temeljenju.....	7-44
6.2	Mejna stanja .....	7-45
6.3	Vplivi in projektna stanja.....	7-45
6.4	Projektne in konstrukcijske zahteve.....	7-45
6.5	Mejna stanja nosilnosti.....	7-46
6.5.1	Nosilnost tal.....	7-46
6.5.2	Odpornost proti zdrs.....	7-46
6.5.3	Obtežbe z veliko ekscentričnostjo .....	7-47
6.5.4	Odpoved konstrukcije zaradi pomikov temeljev .....	7-48
6.6	Mejno stanje uporabnosti .....	7-48
6.6.1	Posedki .....	7-48
6.6.2	Dvižki .....	7-48
6.6.3	Analiza vibracij .....	7-48
6.7	Račun nosilnosti zemljin po vzorčni metodi iz dodatka D .....	7-49
6.7.1	Nosilnost v nedreniranih pogojih .....	7-49
6.7.2	Nosilnost v dreniranih pogojih .....	7-50
7	<b>GLOBOKO TEMELJENJE</b> .....	7-56
7.1	Vsebina poglavja o globokem temeljenju.....	7-56
7.2	Mejna stanja .....	7-56
7.3	Vplivi in obtežna stanja.....	7-57
7.4	Projektne metode.....	7-57
7.5	Projektiranje osno obremenjenih pilotov .....	7-58
7.5.1	Tlačna odpornost tal – splošno.....	7-58
7.5.2	Tlačna odpornost tal na osnovi statičnih obremenilnih preizkusov .....	7-59
7.5.3	Mejna tlačna odpornost, določena iz rezultatov terenskih preiskav.....	7-61
7.5.4	Nosilnost iz dinamičnih obremenilnih preizkusov .....	7-67
7.5.5	Natezna nosilnost pilotov .....	7-67
7.5.6	Posedki pilotov – mejno stanje uporabnosti gornje konstrukcije.....	7-68
7.6	Prečno obremenjeni piloti .....	7-68
7.6.1	Nosilnost prečno obremenjenih pilotov .....	7-68
7.6.2	Premiki prečno na os pilota.....	7-68

7.7	Dimenzioniranje pilotov.....	7-68
8	<b>PODPORNE KONSTRUKCIJE</b> .....	7-69
8.1	Mejna stanja .....	7-69
8.2	Vplivi, geometrijski podatki in projektna stanja .....	7-70
8.2.1	Vplivi.....	7-70
8.2.2	Geometrijski podatki in gladina vode .....	7-70
8.3	Projektna stanja .....	7-71
8.3.1	Projektne in konstrukcijske zahteve .....	7-71
8.3.2	Določitev zemeljskih pritiskov.....	7-72
8.3.3	Vrednosti mirnega zemeljskega pritiska .....	7-73
8.3.4	Mejne in vmesne vrednosti zemeljskega pritiska.....	7-73
8.3.5	Vodni pritiski.....	7-78
8.4	Projektiranje na mejno stanje nosilnosti (MSN) .....	7-78
8.5	Projektiranje na mejno stanje uporabnosti (MSU).....	7-79
8.6	Izračun težnostnega podpornega zidu (računski primer 16) .....	7-80
8.6.1	Materialni in geometrijski podatki .....	7-80
8.6.2	Račun karakterističnih vrednosti .....	7-82
8.6.3	Projektni izračun PP2-I .....	7-84
8.6.4	Projektni izračun PP2-II .....	7-85
8.6.5	Kontrola nosilnosti temeljnih tal – izračun PP2-I in PP2-II.....	7-85
8.6.6	Kontrola zdrsa zidu – izračun PP2-I in PP2-II .....	7-86
8.6.7	Kontrola mejnega stanja uporabnosti .....	7-87
8.6.8	Račun karakterističnih vrednosti (mejno stanje uporabnosti) .....	7-88
8.6.9	Notranje sile v podpornem zidu in dimenzioniranje .....	7-90
8.7	Izračun vpete oporne konstrukcije (računski primer 17) .....	7-90
8.7.1	Kontrola mejnega stanja nosilnosti .....	7-91
8.7.2	Kontrola vertikalne stabilnosti .....	7-95
8.7.3	Kontrola mejnega stanja uporabnosti .....	7-96
8.7.4	Dimenzioniranje konstrukcijskih elementov .....	7-97
8.7.5	Dimenzioniranje sidra .....	7-97
8.7.6	Kontrola hidravličnega loma tal .....	7-98
8.7.7	Kontrola globalne stabilnosti.....	7-98
8.8	Izračun podpornih konstrukcij po metodi končnih elementov (MKE) .....	7-99
9	<b>SIDRA</b> .....	7-107
9.1	Mejna stanja .....	7-107
9.2	Projektna stanja in vplivi.....	7-108
9.3	Projektne in konstrukcijske zahteve.....	7-108
9.4	Projektiranje sider na mejno stanje .....	7-109
9.4.1	Mejna geotehnična odpornost sidra.....	7-109
9.4.2	Geotehnična odpornost sidra v mejnem stanju uporabnosti.....	7-110
9.4.3	Konstrukcijska odpornost sider .....	7-110
9.5	Testiranje sider .....	7-111
9.5.1	Preiskave sider ali ustreznostni testi.....	7-111
9.5.2	Odobritveni testi .....	7-111
9.6	Sila zaklinjenja pri prednapetih sidrih.....	7-111
9.7	Nadzor, monitoring in vzdrževanje.....	7-111
10	<b>HIDRAVLIČNA PORUŠITEV</b> .....	7-112
10.1	Porušitev zaradi vzgona .....	7-113
10.1.1	Potopljene konstrukcije (primer).....	7-114
10.1.2	Vzgon neprepustnega sloja (primer) .....	7-115
10.2	Hidravlični lom tal .....	7-116
10.2.1	Hidravlični lom tal z upoštevanjem vodnih tlakov .....	7-117

10.2.2	Hidravlični lom tal z upoštevanjem potopljenih tež.....	7-118
10.2.3	Porušitev zaradi vzgona ali strujanja.....	7-118
10.3	Notranja erozija.....	7-119
10.4	Porušitev zaradi oblikovanja kanalov v tleh.....	7-119
10.5	Vzgon konstrukcije, temeljene na pilotih (računski primer 19).....	7-119
10.5.1	Kontrola vzgona objekta.....	7-120
10.5.2	Projektna vrednost odpora natezno obremenjenega pilota – odpoved posameznega pilota.....	7-121
10.5.3	Porušitev bloka zemljine.....	7-121
11	GLOBALNA STABILNOST.....	7-123
11.1	Splošno.....	7-123
11.2	Računsko preverjanje globalne stabilnosti.....	7-124
11.3	Globalna stabilnost v kamninah.....	7-127
11.4	Mejno stanje uporabnosti.....	7-127
11.5	Tehnično opazovanje.....	7-127
12	NASIPI.....	7-128
12.1	Mejna stanja.....	7-128
12.2	Vplivi in projektna stanja.....	7-128
12.3	Projektne in konstrukcijske zahteve.....	7-128
12.4	Projektiranje na mejno stanje nosilnosti in uporabnosti.....	7-129
12.5	Nadzor in tehnično opazovanje.....	7-129
VIRI	.....	7-130



## 1 UVOD

Evrokod 7 je krovni standard za geotehnično projektiranje. Sestavljata ga dva dokumenta, in sicer:

- **Evrokod 7-1:** SIST EN 1997-1:2005 – Evrokod 7: Geotehnično projektiranje – 1. del: Splošna pravila z dopolnitvami in popravki: SIST EN 1997-1:2005/AC:2009 in SIST EN 1997-1:2005/A1:2014;
- **Evrokod 7-2:** SIST EN 1997-2:2007 – Evrokod 7: Geotehnično projektiranje – 2. del: Preiskovanje in preskušanje tal.

Za uporabo v Sloveniji je SIST izdal tudi nacionalni dodatek k Evrokodu 7-1 pod oznako:

- SIST EN 1997-1:2005/A101:2006 – Evrokod 7: Geotehnično projektiranje – 1. del: Splošna pravila – Nacionalni dodatek.

Evrokod 7 je z letom 2008 dokončno nadomestil Pravilnik o temeljenju objektov iz leta 1991, ki je bil pred tem edini dokument s področja geotehničnega projektiranja gradbenih objektov, vendar je bil posvečen izključno temeljenju in ni pokrival geotehničnega projektiranja v celoti.

Evrokod 7 je širši in pokriva skoraj celotno področje geotehnike razen predorogradnje in geotehnike okolja, čeprav bistveni osnovni principi geotehničnega projektiranja iz Evrokoda 7 veljajo tudi za ti dve področji. Evrokod 7 tudi ne pokriva tematike geotehničnega projektiranja na potresnih območjih in dinamično obremenjenih zemljin v splošnem. Ta vidik geotehničnega projektiranja obravnava Evrokod 8-5 s pripadajočim nacionalnim dodatkom:

- **Evrokod 8-5:** SIST EN 1998-5:2005 – Evrokod 8 – Projektiranje potresnoodpornih konstrukcij – 5. del: Temelji, oporne konstrukcije in geotehnični vidiki;
- SIST EN 1998-5:2005/A101:2006 – Evrokod 8 – Projektiranje potresnoodpornih konstrukcij – 5. del: Temelji, oporne konstrukcije in geotehnični vidiki – Nacionalni dodatek.

Evrokod 7 je sodoben standard, plod sodelovanja mnogih vrhunskih evropskih geotehnikov. Dovoljuje različne načine projektiranja in ob tem izkušenim strokovnjakom omogoča uporabljati lastne izkušnje, neizkušenim pa pomaga s sezname pomembnih vplivov, porušnih mehanizmov, ki veljajo za posamezne inženirske gradbene objekte, jih vodi pri sestavi poročil in opozarja na morebitne posebnosti.

Evrokod 7-1 se uporablja skupaj z drugimi konstrukcijskimi evrokodi: SIST EN 1990 do EN 1999. Oba zvezka Evrokoda 7 predstavljata krovni standard s področja geotehničnega projektiranja, ki ga dopolnjuje vrsta evropskih standardov s področij:

- geotehničnih raziskav (CEN/TC 341 Geotechnical investigation and testing),
- izvedbe posebnih geotehničnih del (CEN/TC 288 Execution of special geotechnical works) ter
- geosintetikov (TC 189 Geosynthetics).

### 1.1 Namen in obseg Evrokoda 7-1

Uporablja se pri geotehničnih vidikih projektiranja stavb in gradbenih inženirskih objektov. Ukvarja se z zahtevami glede trdnosti, stabilnosti, uporabnosti in trajnosti konstrukcij. Številčne vrednosti vplivov navaja SIST EN 1991. Vplive tal, kot so npr. zemeljski pritiski, se izračuna skladno z EN 1997.

Področje izvedbe gradbenih del (sidranje, pilotiranje, injiciranje ...) obravnavajo ločeni evropski standardi. Evrokod 7-1 se na njih sklicuje v posameznih poglavjih, obravnava pa izvedbo del le v obsegu, ki je potreben, da so izpolnjene predpostavke pravil projektiranja.

Določila Evrokoda 7-1 temeljijo na naslednjih predpostavkah:

- Podatke za projektiranje zbira, zapisuje in interpretira ustrezno usposobljeno osebje.
- Konstrukcije projektira ustrezno usposobljeno in izkušeno osebje.
- Med osebjem, ki je vključeno v pridobivanje podatkov, projektiranje in izvedbo, obstaja ustrezna povezava in komunikacija.
- V proizvodnih obratih in na gradbišču je vzpostavljen nadzor in kontrola kakovosti.
- Izvedba del je skladna z ustreznimi standardi in specifikacijami. Izvaja jih osebje, ki je ustrezno usposobljeno in ima ustrezne izkušnje.
- Gradbeni materiali in proizvodi so uporabljeni, kot je predvideno v tem standardu ali v ustreznih proizvodnih specifikacijah za material ali proizvod.
- Konstrukcija bo ustrezno vzdrževana, da se zagotovi njena varnost in uporabnost za načrtovano življenjsko dobo.
- Konstrukcija se bo uporabljala za namen, ki je bil predviden pri projektiranju.

Vsebina Evrokoda 7-1 je razdeljena na 12 poglavij in 9 dodatkov.

Poglavja:

1. Splošno
2. Osnove geotehničnega projektiranja
3. Geotehnični podatki
4. Nadzor gradnje, tehnično opazovanje in vzdrževanje
5. Nasutje, odvodnjavanje, poboljšanje in armiranje tal
6. Plitvo temeljenje
7. Temeljenje na pilotih
8. Sidra
9. Podporne konstrukcije
10. Hidravlične porušitve
11. Globalna stabilnost
12. Nasipi

Dodatki:

- A. Delni in korelacijski faktorji za mejna stanja nosilnosti ter priporočene vrednosti (normativni)
- B. Pojasnila k delnim faktorjem pri projektirnih pristopih 1, 2 in 3 (informativni)
- C. Vzorčni postopki za določitev mejnih vrednosti zemeljskih pritiskov na navpične stene (informativni)
- D. Vzorčni primer analitične metode za izračun nosilnosti tal (informativni)
- E. Vzorčni primer polempirične metode izračuna nosilnosti (informativni)
- F. Vzorčne metode za vrednotenje posedkov (informativni)
- G. Vzorčna metoda za oceno nosilnosti plitvega temeljenja na kamninah (informativni)
- H. Mejne vrednosti deformacije konstrukcije in premika temelja (informativni)
- I. Kontrolni seznam za nadzor gradnje in tehnično opazovanje obnašanja (informativni)

Vsebina Dodatka A je obvezna, medtem ko so preostali dodatki neobvezni, a bodo pogosto v pomoč projektantom, izvajalcem in nadzornim inženirjem. Ti dodatki namreč navajajo metode in kriterije, ki so našli dovolj soglasne podpore v evropski geotehnični stroki.

## 1.2 Namen in obseg Evrokoda 7-2

Evrokod 7-2 dopolnjuje Evrokod 7-1 s pravili, ki se nanašajo na:

- načrtovanje raziskav in poročanje o njihovih rezultatih,
- splošne zahteve glede obsega raziskav (števila najpogosteje uporabljenih laboratorijskih in terenskih preskusov),
- interpretacije in vrednotenje rezultatov preskusov,

# 8

**EVROKOD 8**  
PROJEKTIRANJE  
POTRESNO ODPORNIH  
KONSTRUKCIJ

*Peter Fajfar*

*Matej Fischinger*

*Darko Beg*



## 8. poglavje

# EVROKOD 8: PROJEKTIRANJE POTRESNO ODPORNIH KONSTRUKCIJ

Peter Fajfar, Matej Fischinger, Darko Beg

s sodelovanjem Matjaža Dolška, Tatjane Isaković, Maje Kreslin, Mateja Rozmana, Zlatka Vidriha  
in Blaža Čermelja

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo

Kazalo:

PREDGOVOR	8-5
1 PREDGOVOR IN SPLOŠNO	8-5
2 ZAHTEVAN ODZIV IN KRITERIJI ZA IZPOLNITEV ZAHTEV	8-7
3 ZNAČILNOSTI TAL IN POTRESNI VPLIV	8-10
3.1 Značilnosti tal	8-10
3.2 Potresni vpliv	8-10
3.3 Splošno o spektrih odziva	8-11
3.4 Elastični spektri v EC8 (3.2.2.2, 3.2.2.3 in Dodatek A)	8-12
3.5 Projektni spektri za elastično analizo z reduciranimi silami (EC8-1: 3.2.2.5)	8-16
3.6 Faktorji obnašanja	8-17
3.7 Alternativne oblike predstavitve potresnega vpliva (EC8-1: 3.2.3)	8-18
3.8 Obtežne kombinacije in varnostni faktorji	8-19
4 PROJEKTIRANJE STAVB	8-21
4.1 Splošno	8-21
4.2 Zasnova in pravilnost konstrukcije	8-21
4.2.1 Kriteriji za tlorisno pravilnost (EC8-1: 4.2.3.2)	8-22
4.2.2 Kriteriji za pravilnost po višini (EC8-1: 4.2.3.3)	8-25
4.3 Primarni in sekundarni potresni elementi (EC8-1: 4.2.2)	8-25
4.4 Slučajna ekscentričnost (EC8-1: 4.3.2)	8-26
4.5 Modeliranje (EC8-1: 4.3.1)	8-27
4.6 Linearne metode analize	8-28
4.7 Nelinearne metode analize (EC8-1: 4.3.3.4)	8-29
4.8 Kombinacija obremenitev iz dveh vodoravnih smeri (EC8-1: 4.3.3.5.1)	8-30
4.9 Navpična komponenta potresnega vpliva (EC8-1: 4.3.3.5.2)	8-31
4.10 Pomiki (EC8-1: 4.3.4)	8-31
4.11 Nekonstrukcijski elementi (EC8-1: 4.3.5)	8-32
4.12 Kontrole (EC8-1: 4.4)	8-33
5 POSEBNA PRAVILA ZA BETONSKE STAVBE	8-35

5.1	Uvod.....	8-35
5.2	Področje uporabe (EC8-1: 5.1) .....	8-36
5.3	Koncepti projektiranja (EC8-1: 5.2) .....	8-36
5.3.1	Sposobnost sipanja energije in stopnje (razredi) duktilnosti (EC8-1: 5.2.1).....	8-36
5.3.2	Razvrstitev konstrukcijskih sistemov po tipih (EC8-1: 5.2.2) .....	8-37
5.3.3	Faktorji obnašanja za armiranobetonske konstrukcije .....	8-39
5.3.4	Načrtovanje nosilnosti konstrukcijskih elementov armiranobetonskih stavb – splošno.....	8-42
5.3.5	Merila lokalne duktilnosti (EC8-1: 5.2.3.4) .....	8-46
5.4	Projektiranje gred v okvirih .....	8-47
5.4.1	Uvod .....	8-47
5.4.2	Projektne učinki vplivov (projektne notranje sile) (EC8-1: 5.4.2.2 in 5.5.2.1) .....	8-47
5.4.3	Upogibna in strižna nosilnost (EC8-1: 5.4.3.1.1 in 5.5.3.1-2) .....	8-47
5.4.4	Konstruiranje za zagotovitev lokalne duktilnosti (EC8-1: 5.4.3.1.2 in EC8-1: 5.5.3.1.3).....	8-49
5.4.5	Konstrukcijska pravila za prečno armaturo.....	8-51
5.4.6	Premer palic gred, ki potekajo skozi vozlišča (EC8-1: 5.6.2.2).....	8-52
5.5	Projektiranje stebrov v okvirih.....	8-53
5.5.1	Uvod .....	8-53
5.5.2	Upogibna in strižna nosilnost (EC8-1: 5.4.3.2.1 in 5.5.3.2.1).....	8-53
5.5.3	Konstruiranje za zagotovitev lokalne duktilnosti (5.4.3.2.2 in 5.5.3.2.2) .....	8-53
5.5.4	Količina in razporeditev vzdolžne armature .....	8-56
5.6	Konstruiranje vozlišč gred in stebrov .....	8-56
5.6.1	Uvod .....	8-56
5.6.2	Vozlišča gred in stebrov v okvirih DCM (EC8-1: 5.4.3.3) .....	8-57
5.6.3	Vozlišča gred in stebrov v okvirih DCH (EC8-1: 5.5.3.3).....	8-57
5.7	Projektiranje sten.....	8-59
5.7.1	Uvod .....	8-59
5.7.2	Geometrijske omejitve za stene (EC8-1: 5.4.1.2.3, 5.4.1.2.4) .....	8-60
5.7.3	Projektne notranje sile za duktilne stene – metoda načrtovanja nosilnosti (EC8-1: 5.4.2.4, 5.5.2.4) .....	8-61
5.7.4	Upogibna in strižna nosilnost duktilnih sten (EC8-1: 5.4.3.4.1, 5.5.3.4.1-4).....	8-64
5.7.5	Konstruiranje duktilnih sten za zagotovitev lokalne duktilnosti (EC8-1: 5.4.3.4.2, 5.5.3.4.5).....	8-67
5.7.6	Stene z odprtini in konstruiranje prečk.....	8-71
5.7.7	Velike, šibko armirane stene .....	8-73
5.8	Projektiranje montažnih betonskih konstrukcij – montažne armiranobetonske hale (EC8-1: 5.11).....	8-76
5.8.1	Uvod .....	8-76
5.8.2	Tip in ovrednotenje konstrukcijskega sistema (EC8-1: 5.11.1.1(3), 5.11.1.2) .....	8-77
5.8.3	Lokalna nosilnost, sipanje energije, dodatni ukrepi (EC8-1: 5.11.1.3) in prehodno stanje med gradnjo (EC8-1: 5.11.1.5) .....	8-78
5.8.4	Faktorji obnašanja (EC8-1: 5.11.1.4).....	8-79
5.8.5	Stiki v montažnih halah – splošna določila (EC8-1: 5.11.2.1).....	8-81
6	<b>POSEBNA PRAVILA ZA JEKLENE STAVBE</b> .....	8-82
6.1	Uvod.....	8-82
6.2	Material .....	8-83
6.3	Vrste konstrukcij in faktorji obnašanja .....	8-83
6.4	Zahteve za duktilno obnašanje jeklenih konstrukcij .....	8-86
6.4.1	Uvod .....	8-86
6.4.2	Globalna duktilnost .....	8-86
6.4.3	Lokalna duktilnost.....	8-87

6.4.4	Projektiranje delov konstrukcije, ki ne sipajo energije .....	8-89
6.5	Jekleni okviri s sovprežnimi stropovi .....	8-90
6.5.1	Uvod .....	8-90
6.5.2	Materiali .....	8-90
6.6	Faktorji obnašanja .....	8-91
6.6.1	Analiza konstrukcije.....	8-91
6.6.2	Zagotavljanje duktilnosti v sovprežnih nosilcih.....	8-91
6.7	Kontrola projektiranja in izdelave konstrukcij.....	8-93
7	DODATEK A IN DODATEK B .....	8-93
	VIRI .....	8-94
	PRILOGA P1: METODE RAČUNA .....	8-97
	PRILOGA P2: REDUKCIJA POTRESNIH SIL IN NAČRTOVANJE NOSILNOSTI ____	8-103
	PRILOGA P3: PRINCIPI ZAGOTAVLJANJA DUKTILNOSTI ARMIRANOBETONSKEGA PREREZA .....	117
	PRILOGA P4: PRIMERJAVA VELIKOSTI POTRESNIH SIL S STARIMI PREDPISI __	8-125
	RAČUNSKI PRIMER R1: TRIETAŽNA ARMIRANOBETONSKA OKVIRNA STAVBA .....	8-129
	RAČUNSKI PRIMER R2: OSEMETAŽNA ARMIRANOBETONSKA STENASTA STAVBA .....	8-163
	RAČUNSKI PRIMER R3: PROJEKTIRANJA OKVIRA SREDNJE STOPNJE DUKTILNOSTI (DCM) V STENASTO-OKVIRNI STAVBI .....	8-191
	RAČUNSKI PRIMER R4: DVOETAŽNI JEKLENI OKVIR .....	8-221





## PREDGOVOR

Evropski standard EN 1998 oziroma slovenski standard SIST EN 1998 (v nadaljnjem tekstu EC8) obravnava projektiranje potresnoodpornih konstrukcij. Podaja samo zahteve, ki jih je potrebno upoštevati na potresnih območjih, dodatno k tistim, ki jih obravnavajo ostali Evrokodi. Ker je po veljavni karti potresne nevarnosti vse ozemlje Slovenije potresno območje, je uporaba EC8 nujna v celotni Sloveniji.

Standard EC8 sestavlja šest delov:

- Del 1: Splošna pravila, potresni vplivi in vplivi na stavbe
- Del 2: Mostovi
- Del 3: Ocena in prenova stavb
- Del 4: Silosi, rezervoarji in cevovodi
- Del 5: Temelji, oporne konstrukcije in geotehnični vidiki
- Del 6: Stolpi, jambori in dimniki

V tem priročniku je zajet samo prvi del, to je SIST EN 1998-1 (v nadaljnjem tekstu EC8-1), ki obravnava splošna pravila in potresne vplive (to je osnova tudi za vse ostale dele) in vplive na stavbe. Zaradi omejenega prostora v tem priročniku tudi ni zajetih poglavij **7** in **8** ter **10**, ki obravnavajo stavbe ali sisteme, ki se trenutno uporabljajo v Sloveniji v manjšem obsegu (sovpredne in lesene stavbe, potresna izolacija). Prav tako ni zajet informativni **Dodatek C**, ki obravnava zelo specifičen problem. Poglavlje **9**, ki obravnava zidane konstrukcije, je vključeno v poglavje o EC6.

Ta del priročnika so pripravili P. Fajfar (poglavja 1-4, Priloge 1, 2 in 4 in sodelovanje pri Primeru 1), M. Fischinger (poglavje 5, Priloge 2 in 3 in sodelovanje pri Prilogi 4 ter pri Primerih 2 in 3), D. Beg (poglavje 6 in Primer 4), M. Dolšek in M. Rozman (Primer 1), T. Isaković (Primer 2) ter M. Kreslin in Z. Vidrih (Primer 3), B. Čermelj (Primer 4).

V tekstu se pogosto sklicujemo na oznake poglavij, členov, preglednic, slik in enačbe v standardu EC8-1. Vse številke, ki se nanašajo na EC8-1, so napisane **poudarjeno (bold)**.

Kot dodatno pomoč pri projektiranju po EC8 lahko projektanti uporabijo priročnika [1] in [17].

Avtorji se zahvaljujejo Agenciji RS za okolje (ARSO), ki je sofinancirala razvojno-raziskovalne naloge s področja implementacije EC8.

## 1 PREDGOVOR IN SPLOŠNO

Predgovor v EC8-1 obsega splošni del, ki je enak za vse standarde iz skupine evrokodov, in posebni del, ki se nanaša na EC8-1. Splošni del navaja splošne podatke o evrokodih, definira status in področje veljavnosti ter govori o nacionalnih izdajah evrokodov. Pomembno je, da se evrokodi omejujejo na »skupna pravila za vsakdanjo rabo pri projektiranju običajnih in inovativnih konstrukcij kot celote ali posameznih konstrukcijskih delov«. Tako kot vsi drugi standardi in predpisi tudi »evrokodi ne vsebujejo posebnih določb za nenavadne oblike konstrukcij ali nenavadne projektne pogoje. V teh primerih je potrebna dodatna strokovna obravnava.«

Za EC8-1 je pripravljen nacionalni dodatek, ki ga je treba uporabljati skupaj s standardom v Sloveniji. Vsebuje vse podatke o nacionalno določenih parametrih in drugih odločitvah, pri katerih je dovoljena nacionalna izbira. Standard vsebuje spisek določil, pri katerih je dovoljena nacionalna izbira.

Poglavje **1** opisuje vsebino EC8-1 ter navaja normativne reference in predpostavke. Navedeni in definirani so pomembni izrazi in simboli, ki se uporabljajo v EC8-1.

EC8 »se uporablja za projektiranje in gradnjo stavb in inženirskih objektov v potresnih območjih«. Ne obravnava posebnih konstrukcij, kot so jedrske elektrarne, konstrukcije v morju (angl. »offshore structures«) in velike pregrade **(1.1.1.(2))**. Te konstrukcije predstavljajo pri morebitnih poškodbah in porušitvah posebno nevarnost za prebivalstvo, zato naj bi njihovo projektiranje na potresnih območjih urejali posebni standardi, ki pa jih pri nas ni na razpolago in je potrebno uporabljati ustrezne tuje, predvsem ameriške standarde.

EC8 vsebuje samo tista določila, ki morajo biti upoštevana pri projektiranju konstrukcij na potresnih območjih, dodatno k določilom ostalih relevantnih evrokodov. EC8 tako dopolnjuje ostale evrokode **(1.1.1(3))**.

Namen EC8 je v primeru potresa **(1.1.1(1))**:

- zaščititi človeška življenja,
- omejiti škodo in
- zagotoviti, da ostanejo konstrukcije, pomembne za civilno zaščito, uporabne.

Glede na slučajno naravo potresov in glede na omejena sredstva, ki so na razpolago za preprečevanje njihovih posledic, je mogoče te cilje doseči le delno. Doseganje ciljev je mogoče meriti le v verjetnostnem smislu. Stopnja zaščite v verjetnostnem smislu, ki jo je mogoče nuditi različnim kategorijam objektov, zavisi od ocene optimalne razdelitve materialnih sredstev in se razlikuje od države do države glede na relativno pomembnost potresnega tveganja napram ostalim tveganjem in glede na ekonomske možnosti države. Da bi v tem pogledu omogočili čim večjo fleksibilnost, je v EC8 predvidenih dovolj možnosti (to je prostih parametrov) za prilagoditev stopnje zaščite specifičnim razmeram v posameznih državah.

Posebej je treba opozoriti, da namen standarda ni preprečiti škodo, pač pa »omejiti škodo«. Ker predstavlja potres za veliko večino konstrukcij najmočnejšo obremenitev, ki jih lahko prizadene, po drugi strani pa je verjetnost, da bo do potresa projektne jakosti dejansko prišlo v obratovalni dobi objekta, razmeroma majhna, v večini primerov ne bi bilo ekonomično, da bi projektirali konstrukcije, ki bi ostale pri projektnem potresu nepoškodovane.

EC8 predpostavlja, »da v fazi izvedbe in v življenjski dobi konstrukcije ne bo prišlo do sprememb konstrukcije, ne da bi bila izdelana ustrezna obrazložitev in verifikacija. Zaradi posebne narave potresnega odziva to velja tudi v primeru, ko spremembe vodijo do povečanja potresne odpornosti« **(1.3(2))**.

V poglavju **1.5.2** so definirani nekateri izrazi, specifični za EC8. Njihovo razumevanje je pomembno za ustrezno uporabo standarda, v poglavju **1.6** pa so definirani vsi simboli, ki se uporabljajo v EC8-1.