

ZASNOVA LESENIH IN JEKLENIH KONSTRUKCIJ NA POTRESNIH OBMOČJIH

UDK 699.841
COBISS 1.04 strokovni članek
prejeto 1.9.2005

Concept of timber and steel structures in earthquake-prone areas

izvleček

Gradnja v jeklu in še posebej okolju prijazna gradnja v lesu postajata vse bolj aktualni tudi pri nas. V veljavo stopa novi predpis Eurocode 8, ki vsebuje predpise o zasnovi in projektiranju stavb iz različnih materialov na potresnih območjih. Zaradi obse nosti problematike se v članku omejujemo na zasnovo lesenih in jeklenih konstrukcij na potresnih območjih in le na tista določila predpisa Eurocode 8, ki jih mora arhitekt-projektant upoštevati/poznati e pri zasnovi stavbe. Pri tem je potrebno poudariti, da ne gre le za poznavanje predpisov, temveč tudi za njihovo pravilno tolmačenje in vključevanje njihovih zahtev v samo idejno zasnovo v arhitekturi. Izhajamo iz prepričanja, da mora arhitekt projektant dobro poznati vse tiste zahteve zakonskih predpisov drugih tehničnih strok, ki se neposredno nanašajo na arhitekturno stroko, saj jih lahko tako vključi e v samo idejno zasnovo objekta. Članek razlaga in povzema glavna za arhitekta relevantna določila Eurocode 8 za zasnovo lesenih in jeklenih konstrukcij na potresnih območjih.

ključne besede:

zasnova konstrukcij stavb, potresno odporne konstrukcije, projektiranje konstrukcij, lesene konstrukcije, jeklene konstrukcije

abstract

Steel structures and especially environment friendly timber structures, are becoming increasingly present even in our environment. The new regulation Eurocode 8, which contains regulations concerning layouts and designs of buildings constructed from various materials in earthquake-prone areas, is being enforced. Because of the topic's vastness, we have limited our article to the designs of timber and steel structures in earthquake-prone areas, as well as those regulations of Eurocode 8, which an architect-designer has to abide to/know in early phases of design. Herewith we have to emphasise that it is not simply a matter of knowing the regulation, but moreover, their correct understanding and integration of stated demands in the architecture's conceptual design. We embark from the belief that an architect-designer has to have sufficient knowledge about all legal demands of other technical professions that apply to the architectural profession, for it is the only condition for their integration and respect in the conceptual design of a building. The article explains and summarises the main regulations of Eurocode 8 for the design of timber and steel structures in earthquake-prone areas, which are relevant for architects.

key words:

concept of building structures, earthquake resistant structures, structure design, timber structures, steel structures

Slovenija je območje večje potresne ogroženosti, zato mora biti horizontalna nosilnost stavb v Sloveniji večja kot v večini držav srednje in severne Evrope pa tudi od mnogih delov ZDA. To pomeni, da preslikave konstrukcij in konstrukcijskih sistemov iz t.i. razvitega sveta zahodne Evrope v naše območje v splošnem niso mogoče brez ustreznega povečanja horizontalne nosilnosti ali zmanjševanja števila etaž. Gradnjo na potresnih območjih določajo gradbeni predpisi, ki so od svojih začetnih oblik s konca 19. stoletja preko več dodelav - te so izhajale predvsem iz izkušenj med potresi - pripeljale do zadnjega svežnja predpisov v obliki standarda, ki naj bi veljal za vso Evropo in tudi za Slovenijo: Eurocode 8 [European Standard prEN 1998].

Pravilna zasnova konstrukcije bistveno povečuje potresno odpornost objektov. Posebej je potrebno poudariti, da so pasti slabe konstrukcije običajno skrite že v arhitektovi idejni zasnovi objekta, ki zajema tudi konstrukcijski sistem. Za "dobro" zasnovano konstrukcije sta torej odgovorna tako arhitekt-projektant kot tudi statik-konstruktor, ki izvaja numerični dokaz varnosti konstrukcije. Ker je pojem dobro zasnovane konstrukcije dokaj kompleksen, je potrebno, da arhitekt pozna in razume osnovne zakonitosti potresno varne gradnje in specifikko posameznih gradbenih materialov [Slak 2004]. V predhodnih objavah [Kilar, Slak 2003, 2004] smo že obravnavali splošni del potresno odporne gradnje, armiranobetonske in zidane konstrukcije. V tem članku zato delo smiselno nadaljujemo z obravnavo konstrukcij v lesu in jeklu.

Gradnja na potresnih območjih po Eurocode 8 - osnovni pojmi

Splošna pravila za stavbe ostajajo ne glede na material enaka za vse konstrukcije:

- upoštevanje potresne nevarnosti v zgodnji fazi snovanja

stavbe,

- enostavnost konstrukcije,
- jasen in neposreden prenos potresnih sil v temelje,
- uniformiranost (zveznost) in simetrija,
- uporaba pravilno razporejenih konstrukcijskih elementov,
- statična nedoločenost,
- nosilnost in togost v dveh horizontalnih smereh - torzijska nosilnost in togost,
- ustrezna povezava nosilnih elementov z medetažnimi ploščami (toge plošče),
- ustrezno temeljenje,
- racionalna razporeditev mas,
- majhne vitkosti - vitkost elementov povzroča lokalne uklone in izbočenja v tlačnih conah (še posebej je ta problem opazen pri jeklenih elementih),
- ujemanje računskega modela in izvedene konstrukcije,
- pravilnost konstrukcije v tlorisu in po višini.

Neregularne konstrukcije: večja cena - manjša varnost

Pojem "potresno varen" oz. "potresno odporen" ne pomeni popolne varnosti, še manj pa odsotnosti poškodb na gradbenih objektih. Obratno, osnovni princip gradnje običajnih objektov na potresnih območjih je ta, da pri močnih potresih lahko pride do (kontroliranih) poškodb. V terminologiji potresnega inženirstva je regularna stavba ali zasnova pravilna, v skladu s predpisi zasnovana stavba, ki se ob potresni (horizontalni) obremenitvi obnaša nadzorovano in predvidljivo. Premiki regularne konstrukcije so praviloma translatorni, napetosti pa nastajajo v eni in/ali drugi ortogonalni smeri. Nasprotno pa pri neregularni konstrukciji nastopi rotiranje objekta okoli vertikalne osi, nastanejo nepredvidljive prečne obremenitve in strižni lomi. Neregularno zasnovano konstrukcijo je računsko možno

projektirati tako, da prenese računске obremenitve, vendar se bo v primeru močnega potresnega sunka najverjetneje močno poškodovala prav na mestih nezveznosti in tam, kjer je konstrukcija očitno neregularna [Slak, Kilar 2005]. Gradnja nepravilnih (neregularnih) konstrukcij v predpisih ni izrecno prepovedana, je pa s stališča gradbene stroke z njimi v nasprotju. Ker je pri nepravilnih konstrukcijah precej težje zagotoviti visok nivo potresne varnosti, so le-te, ne glede na "navidez" veljaven računski dokaz, v splošnem manj varne. Regularno zasnovano so kot predpogoj potresno odporne gradnje sprejeli pisci vseh svetovnih zakonodaj s tega področja.

Faktor obnašanja q

Faktor obnašanja (q) je faktor, s katerim reduciramo (zmanjšamo) računске potresne sile. Večji kot je faktor q , na manjše sile lahko dimenzioniramo konstrukcijo. Redukcija potresnih sil implicitno zajema duktilnost in s tem poškodbe konstrukcije ("sipanje" energije pri nelinearnem obnašanju konstrukcije) in je odvisna predvsem od izbire konstrukcijskega sistema in kvalitete izvedbe konstrukcijskih detajlov, ki jo izbere projektant (stopnja duktilnosti) [Fischinger 2002]. Z zagotavljanjem duktilnosti lahko reduciramo potresne sile ali zahtevano nosilnost, kar konstrukcijo poceni in omogoča svobodnejše oblikovanje arhitekture.

Pri projektiranju sodobnih in cenovno konkurenčnih konstrukcijskih sistemov je bolje izbirati tiste s čim večjim faktorjem q . Takšni sistemi sicer zahtevajo bistveno kvalitetnejšo izdelavo spojev, detajlov, kontrolo ..., vendar pa predstavljajo trenutne dosežke s področja stroke. Pri tem je treba pripomniti, da višji faktor q lahko pomeni tudi večje pomike konstrukcije. V primeru, da so horizontalni pomiki konstrukcije večji od še sprejemljivih, je potrebno izbrati drug konstrukcijski sistem, ki ima večjo togost (npr. dodati stene, diagonale, polnila...). Bolj toge konstrukcije prenesejo precej večje potresne sile in imajo manjše pomike. Pri teh je predpisan q faktor nižji, saj takšna konstrukcija ne nudi tolikšne rezerve v neelastičnem območju. Takšne konstrukcije so torej dimenzionirane na večje potresne sile, so ustrezno dražje, vendar potresno bolj varne. O izbiri konstrukcijskega sistema, ki določa tudi faktor q , se mora arhitekt projektant posvetovati s konstrukterjem.

Posebna pravila za lesene stavbe

Potresno odporne lesene stavbe lahko projektiramo po enem izmed naslednjih načinov:

- konstrukcije s sposobnostjo sipanja energije (duktilne konstrukcije)
- konstrukcije brez sposobnosti sipanja energije (neduktilne konstrukcije).

Po načinu a) upoštevamo sposobnost delov konstrukcije (območij sipanja energije, duktilnih območij), da prevzamejo potresne obremenitve zunaj elastičnega območja. Pri uporabi projektne spektra, vzamemo faktor obnašanja q , večji od 1,5. Za območja sipanja energije lahko upoštevamo le mesta vozlišč in spojev z mehanskimi veznimi sredstvi, medtem ko moramo za same lesene elemente predpostaviti elastično obnašanje. Po načinu b) računamo notranje sile (ne glede na tip konstrukcije) z elastično analizo brez upoštevanja nelinearnega obnašanja materiala. Pri uporabi projektne spektra upoštevamo faktor obnašanja $q = 1,5$. Temu načinu ustrezajo konstrukcije nizke stopnje duktilnosti (DC-L).

Materiali in lastnosti območij sipanja energije (duktilna območja)

Za konstrukcijo s sposobnostjo sipanja energije veljajo naslednja določila:

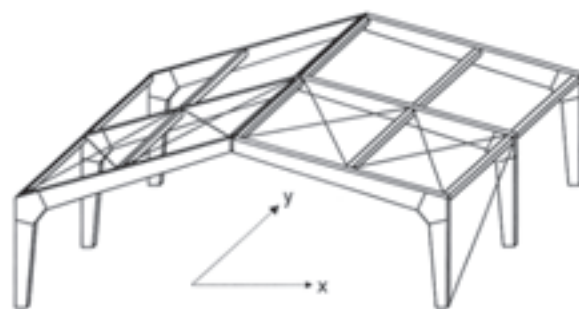
- v območjih spojev s sposobnostjo sipanja energije lahko uporabljamo le materiale in mehanska spojna sredstva, ki so ustrezno odporna proti utrujanju pri cikličnem (ponavljajočem) obremenjevanju,
- za lepljene zveze moramo upoštevati, da niso sposobne sipati energije,
- tesarske zveze lahko uporabljamo samo, če imajo zadostno sposobnost sipanja energije.

Stopnja duktilnosti, tipi konstrukcij in faktorji obnašanja

Lesene konstrukcije moramo glede njihovega duktilnega obnašanja in sposobnosti sipanja energije pri potresni obtežbi razvrstiti v enega od treh stopenj duktilnosti: nizka (DC-L), srednja (DC-M), ali visoka (DC-H), ki so podani v sliki 1, kjer je naveden tudi ustrezen faktor obnašanja q .

| Stopnja duktilnosti | faktor q | Primeri konstrukcij |
|---------------------------|------------|---|
| DC-L (nizka duktilnost) | 1.5 | Konzole, grede, dvo- in tročlenski lok, paličja s povezavami |
| DC-M (srednja duktilnost) | 2 | Lepljeni stenski paneli z lepljenimi ploščami povezanimi z žebli in mozniki, paličja z mozničnimi ali žeblijanimi spoji, mešane konstrukcije z lesenimi okvirji in nenosilnimi polnili. |
| | 2.5 | Statično nedoločeni portalni okvirji z žeblijanimi ali mozničnimi spoji |
| DC-H (visoka duktilnost) | 3 | Žeblijani stenski paneli z lepljenimi ploščami povezanimi z žebli in mozniki. Paličja z žeblijanimi spoji. |
| | 4 | Statično nedoločeni okvirji z žeblijanimi ali mozničnimi spoji |
| | 5 | Žeblijani stenski paneli z žeblijanimi ploščami povezanimi z žebli in mozniki. |

Slika 1: Razredi duktilnosti (DC) in faktorji obnašanja q za različne vrste konstrukcij.
Ductile classes (DC) and behaviour factors q for various types of structures.

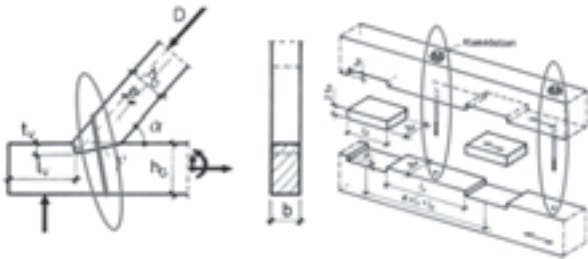


Slika 2: Primer konstrukcije z različnim obnašanjem v dveh glavnih smereh.
Example of a structure with different behaviour in the two main directions.

Če konstrukcija ni regularna po višini, moramo vrednosti faktorja q , ki so navedene v sliki 1, zmanjšati za 20% (vendar ni potrebno, da so manjše od $q = 1,5$).

Pri konstrukcijskih sistemih, ki imajo v smereh x in y drugačne in neodvisne lastnosti (Slika 2), lahko pri računu

notranjih sil zaradi potresa v vsaki glavni smeri uporabimo drugačen q-faktor.



Slika 3: Slika tesarske zveze z označeno povezavo proti razpadu v primeru nateznih sil kot posledice potresa. Brez povezave se tesarske zveze na potresnih tleh ne smejo uporabljati.

Image of a carpenter's joint with shown braces for preventing collapse under tension forces caused by earthquakes. Carpenter's joints without braces shouldn't be used in earthquake prone areas.

Konstruktivna pravila - spoji

Elemente v tlaku in njihove priključke (npr. tesarske zveze), ki se lahko porušijo zaradi deformacij pri obtežbi spreminjajočega se predznaka, moramo projektirati tako, da preprečimo njihovo ločevanje in zagotovimo, da ostanejo v svojem prvotnem položaju (Slika 3). Vijake (sornike) in moznike moramo trdno pritegniti in zagotoviti tesno prileganje v odprtinah. Na splošno naj ne bi uporabljali gladkih žebeljev in spon brez dodatnih ukrepov za preprečitev izvleka. Vendar pa je njihova uporaba dopustna pri panelih za spoje obloge in lesenega okvira ter pri sekundarnih elementih. V primerih natega, ki deluje pravokotno na vlakna, moramo z dodatnimi ukrepi preprečiti cepitev, npr. na načine, ki so prikazani na sliki 4.



Slika 4: Primeri sprejemljivih ukrepov v primeru nateznih napetosti pravokotno na vlakna.

Examples of acceptable measures for tension forces perpendicular to the grain.

Stebri

Za praktično približno oceno dimenzij lesenih stebrov priporočamo uporabo izraza:

$$\frac{N}{A_{potr}} \leq 0,25 \cdot \sigma_{les} \leq \frac{N}{0,25 \cdot A_{les}}$$

- σ_{les} = porušna napetost lesa ($\sigma_{les}=2,5 \text{ kN/cm}^2$, smrekov les, tlak vzporedno z vlakni)
 N = osna sila samo zaradi vertikalne obtežbe (kN), določimo jo iz vplivnih površin
 A = prerez stebra (cm^2)

Medetažne (stropne) konstrukcije iz panelov (vodoravne toge plošče)

Brez dodatnih dokazov lahko upoštevamo, da so stropne konstrukcije toge v svoji ravnini, če upoštevamo konstrukcijska pravila za medetažne konstrukcije navedene v nadaljevanju in če odprtine v njih nimajo pomembnega vpliva na togost v ravnini stropov. Vse robove plošč, ki se ne naslanjajo na elemente okvira, moramo podpreti in povezati s podložnimi elementi oz. z diagonalnimi ojačitvami. Takšne elemente moramo zagotoviti tudi v vodoravnih panelih nad navpičnimi elementi, ki nosijo vodoravno obtežbo (npr. stenami). Na mestih motenj v panelih moramo zagotoviti zveznost gred in še posebej obrob odprtin.

Grede

Razmerje širina/višina gred mora biti omejena s $h/b < 4$ (npr.: 30 cm visoka greda mora biti široka najmanj 7,5 cm).

Dodatna nosilnost in posebna kontrola

Da v primeru potresa zagotovimo zadostno sipanje energije po konstrukciji, moramo vse druge elemente in spoje projektirati močnejše (z dodatno nosilnostjo). Ta zahteva velja predvsem za:

- sidrne vezi in katerikoli priključek z masivnimi podelementi,
- stike med paneli medetažnih konstrukcij in navpičnimi elementi za prenos horizontalne obtežbe.

Posebna pravila za jeklene stavbe

Potresno odporne jeklene stavbe projektiramo na enega od naštetih načinov:

- konstrukcije s sposobnostjo sipanja energije (duktilne konstrukcije),
- konstrukcije z nizko ali brez sposobnosti sipanja energije (neduktilne konstrukcije).

Če projektiramo po načinu a) upoštevamo, da so določeni deli konstrukcije sposobni prevzeti potresne obremenitve zunaj elastičnega območja. Pri potresnem spektru upoštevamo faktor q večji od 1,5 in je odvisen od tipa konstrukcije. Te konstrukcije morajo biti glede detajlov in izvedbe primerne za srednjo ali visoko stopnjo duktilnosti (DC-M ali DC-H). Po načinu b) računamo notranje sile z elastično analizo in upoštevamo, da je faktor obnašanja q = od 1,5 do 2. Zahtevam za duktilnost, ki so podane v nadaljevanju, pri tem načinu projektiranja ni treba zadostiti. Takšne konstrukcije so, v kolikor nimajo potresne izolacije, primerne le za območja z nizko potresno ogroženostjo.

Tipi jeklenih konstrukcij in faktorji obnašanja q

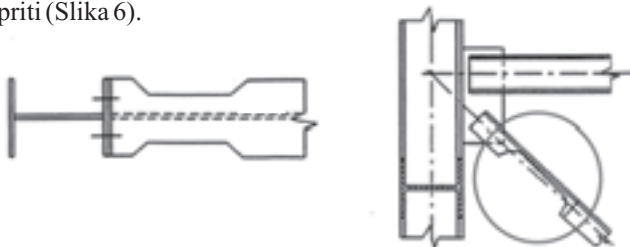
Faktorji obnašanja q, ki upoštevajo sposobnost sipanja energije, so za vse tipe konstrukcij podani v tabeli. Veljajo le ob pogoju, da smo upoštevali zahteve za regularnost in konstrukcijska pravila podana v nadaljevanju. Če konstrukcija ni regularna po višini, moramo vse vrednosti faktorja q zmanjšati za 20% (pri čemer je najnižja vrednost faktorja q = 1.0). Med prikazanimi konstrukcijskimi sistemi so učinkovitejši tisti, ki imajo višji faktor q.

| Vrsta (tip) konstrukcije | Razred duktilnosti, faktor q | |
|---|------------------------------|------|
| | DC-H | DC-M |
| a) Pomični okvir /večja | 5,5 - 6 (max.8) | 4 |
| b1) Okvir s koncentričnimi povezji diagonale /majhna podajnost | | 4 |
| b2) Okvir s koncentričnimi povezji "V" povezja /majhna podajnost | 2,5 | 2 |
| c) Okvir z ekscentričnimi povezji /manjša podajnost/ | 5,5 (max. 8) | 5,5 |
| d) Konzolna konstrukcija (obrnjeno nihalo) /velika podajnost/ | 1 - 1.1 | 1 |
| e) Mešana konstrukcija (okvir+betonske stene), konstrukcija z jedrom /manjša podajnost/ | 3 | 2 |
| f) Pomični okvir + koncentrične diagonale /majhna podajnost/ | 4,8 (max. 8) | 4 |
| g1) Pomični okvir + nosilna masivna polnila (polnilo ločeno od konstrukcije) /majhna podajnost/ | 5,5 - 6 (max. 8) | |
| g2) Pomični okvir + nosilna masivna polnila (AB polnilo povezano s konstrukcijo) /majhna podajnost/ | 4,4 - 6,4 (max.8) | |
| g3) Pomični okvir + nosilna masivna polnila (nepovezano, betonsko ali zidano polnilo v stiku z okvirom) /majhna | 2 | 2 |

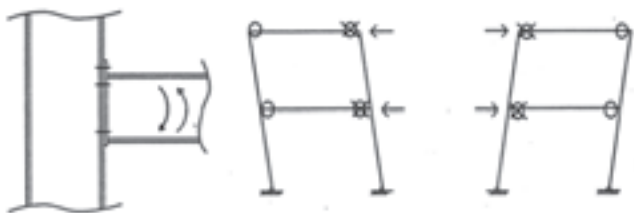
Slika 5: Tipi konstrukcij in faktorji obnašanja q.
Types of structures and behaviour factors q.

Konstruktivska pravila

Konstrukcije morajo biti projektirane tako, da območja sipanja energije (to so območja, kjer nastanejo plastični členki, lokalno izbočenje, tečenje materiala ipd.) ne vplivajo na stabilnost konstrukcije kot celote. Obnašanje konstrukcije mora biti kontrolirano oz. načrtovano, kar pomeni, da nastanejo poškodbe tam, kjer smo jih predvideli. To dosežemo z dodatno nosilnostjo elementov (ali spojev) v katerih do teh poškodb ne sme priti (Slika 6).



Slika 6: Oslabitev grede oz. diagonale, ki zagotavlja plastično porušitev le-te pred porušitvijo stebra ali spoja.
Weakening of a beam or diagonal, which ensures its plastic demolition before collapses of the column or joint.



Slika 7: Obnašanje nesimetričnih stikov pri potresni obtežbi: Če greda ni spojena s stebrom simetrično, pride do pretrganja spodnjih vijakov v nategu.
Behaviour of asymmetrical joints under earthquake load: if the beam isn't joined to the column symmetrically, the lower screws break under tension.

Elementi ali deli elementov, ki so tlačno ali upogibno obremenjeni, morajo imeti omejeno razmerje širine b proti debelini t (b/t), ker jim s tem zagotovimo zadostno lokalno duktilnost. Razmerja b/t so določena z razredi prereзов, navedenimi v Eurocode 3, določi pa jih konstruktor z izbiro faktorja q in stopnje duktilnosti.

Spoji v območjih s sposobnostjo sipanja energije naj bodo tako ojačani (dodatna nosilnost), da omogočijo tečenje spojenih delov in nastanek plastičnih členkov v gredah. Navedeno pomeni, da naj bodo spoji tako močni, da v njih ne nastopi pretrganje prej kot nastopi porušitev spojenih elementov gred (Slika 7).

Pomični okvir (slika 8) prevzemajo horizontalne sile predvsem z upogibnim delovanjem elementov. V teh konstrukcijah so področja sipanja energije predvsem na mestih plastičnih členkov v bližini vozlišč stebrov in gred, energija pa se sipa pri cikličnih upogibnih deformacijah. V stebrih lahko nastopijo področja sipanja energije samo ob vpetju okvira, na vrhu stebrov v zgornjem nadstropju ter na vrhu in ob vpetju stebra pri enoetažnih objektih. V gredah mesta sipanja energije niso posebej določena.

Pomične okvire moramo projektirati tako, da plastični členki nastanejo v gredah in ne v stebrih (princip "močni stebri in šibke grede"). To ni potrebno ob vpetju stebra v temelj ter v zgornjem nadstropju večetažnih stavb oz. pri enoetažnih stavbah. Steber mora biti na upogibno obremenitev močnejši od gred, ki so povezane s stebrom. Posebno pozornost je treba posvetiti stikom stebrov z gredami in upoštevati nevarnost strižnih sil. Za praktično približno oceno dimenzij stebrov priporočamo uporabo izraza:

$$\frac{N}{A_{potr}} \quad \text{dop} \quad 0.25 \quad u \quad A_{potr} \quad \frac{N}{0.25 \quad u}$$

σ_u = porušna napetost jekla ($u=24 \text{ kN/cm}^2$)
 N = osna sila samo zaradi vertikalne obtežbe (kN), določimo jo iz vplivnih površin
 A = prerez stebra (cm^2)

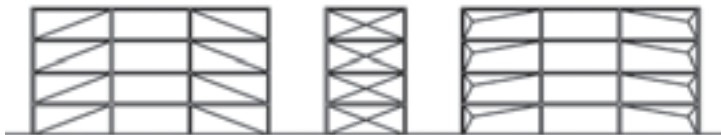
Vpliv horizontalnih sil v gornjih izrazih direktno ni zajet, če so stebri del potresno odpornega okvira, so lahko njihove potrebne dimenzije tudi večje. Vpliv horizontalnih sil je zajet posredno, saj je po tej formuli dovoljeno izkoristiti le 25% nosilnosti stebra (dopustna napetost je enaka 25% porušne tlačne napetosti).



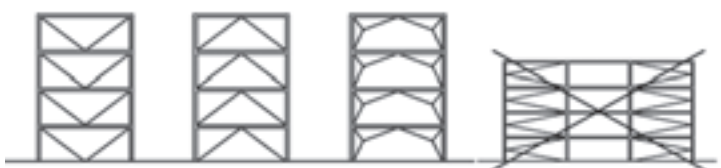
Slika 8: Pomični okvir (večja podajnost).
Moment resisting frame (greater elasticity).

Okviri s koncentričnim povezjem (Sliki 9 in 10) prevzemajo horizontalno obtežbo predvsem z osno obremenjenimi elementi nateznimi diagonalami, ki predstavljajo tudi mesta sipanja energije. Takšne okvire delimo v dve kategoriji: povezja z aktivnimi nateznimi diagonalami, v katerih horizontalne obtežbe prenašajo le natezne diagonale, brez upoštevanja tlačnih diagonal

(Slika 9) in V-povezja, v katerih upoštevamo obe diagonali: tlačno in natezno (Slika 10). Sečišče diagonal mora ležati na neprekinjenem horizontalnem elementu. K-povezja, pri katerih leži sečišče diagonal na stebru, po EC 8, niso dovoljena. (Slika 10)



Slika 9: Okvir s koncentričnimi povezji diagonale (majhna podajnost).
Frame with concentric diagonal bracings (small elasticity).



Slika 10: Okvir s koncentričnimi povezji "V" povezja (majhna podajnost).
Frame with concentric bracings "V" bracings (small elasticity).

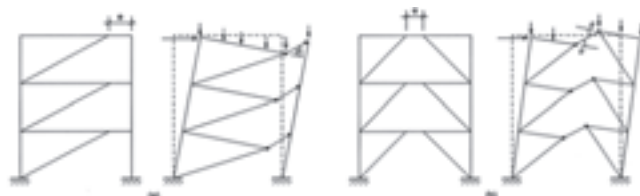
Projektiramo jih tako, da plastifikacija nateznih diagonal (neelastično razvlečenje - trajna deformacija) nastopi pred plastifikacijo ali uklonom gred ali stebrov in pred porušitvijo spojev. To pomeni, da natezne diagonale sipajo večino dovedene energije in so edine močnejše poškodovane (so v službi "varovalke"). Diagonalni elementi morajo biti postavljeni tako, da so pomiki in deformacije v vsaki etaži, pri potresni obtežbi v vseh smereh podobne. Namenjeni so samo prenašanju potresne obtežbe, pri vertikalni obtežbi jih ne upoštevamo. Spoji diagonal morajo biti dodatno ojačani (dodatna nosilnost) tako, da je njihova nosilnost za 20% večja od osne nosilnosti diagonale. Pri V-povezjih je treba grede projektirati tako, da lahko prevzamejo vse predvidene obremenitve brez upoštevanja diagonal (greda ne sme "viseti" na diagonalah, te so tu zgolj zaradi horizontalnih obremenitev).



Slika 11: Okvir z ekscentričnimi povezji (manjša podajnost).
Frame with eccentric bracings (lesser elasticity).

Okviri z ekscentričnim povezjem (Slika 11) prevzemajo horizontalno obtežbo predvsem z osno obremenjenimi elementi, ekscentričnost v zasnovi povezja pa je takšna, da se energija lahko sipa s cikličnimi upogibnimi ali strižnimi deformacijami gred. Tečenje upogibnih elementov (v upogibu ali strigu) mora nastopiti preden ti elementi popustijo zaradi natega ali tlaka. Ti okviri so projektirani tako, da so v območjih ekscentričnih povezav

(imenovanih potresne zveze "seismic links"), sposobni sipati energijo s plastičnim upogibom in/ali plastičnim strigom. To pomeni, da se mora potresna zveza plastično deformirati, preden se kaj podobnega zgodi v kateremkoli spoju ali elementu osnovne konstrukcije. Konstruktivni sistem mora biti zasnovan tako, da dosežemo enakomerno duktilno obnašanje vseh potresnih zvez. Potresne zveze (seismic links) so lahko vertikalne ali horizontalne (Slika 12).

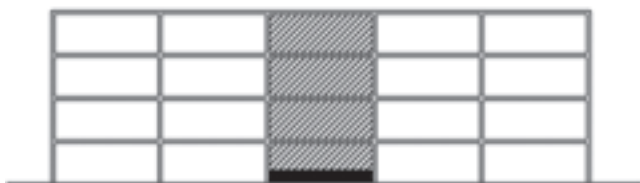


Slika 12: Način delovanja horizontalne potresne zveze: a) primerne za krajše razpone med stebri, b) ustrezne za varovanje stebrov (ker je zveza daleč od stebra).
Working of the horizontal seismic links: a) suitable for smaller spans between columns, b) suitable for protecting columns (since the joint is away from the column).

Konzolne konstrukcije (obrnjeno nihalo) (Slika 13) so konstrukcije, kjer je večina mase v zgornjem delu. Območje sipanja energije je v glavnem ob vpetju konstrukcije. Posebej se preverja stebre in vpetje stebrov v temelje. Relativna vitkost stebrov je omejena na 1.5 ($r < 1.5$), kar pomeni, da je uklonska nosilnost stebra najmanj 40% osne nosilnosti stebra.



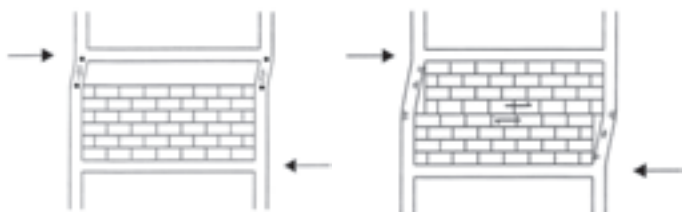
Slika 13: Konzolna konstrukcija - obrnjeno nihalo (velika podajnost).
Cantilever structure - inverted pendulum (greater elasticity).



Slika 14: Mešana konstrukcija (okvir+betonske stene), konstrukcija z jedrom (manjša podajnost).
Mixed structure (frame+concrete walls), structure with a core (lesser elasticity).

Mešane konstrukcije (Slika 14) so konstrukcije z armiranobetonskimi jedri ali stenami, katere v glavnem prevzemajo vse horizontalne obtežbe. Mešana konstrukcija je tudi konstrukcija, ki del horizontalne obremenitve prevzame s pomičnimi okviri in del z okviri s povezji, ki sodelujejo v isti ravnini. Polnila oz. polnilne stene morajo biti enakomerno razporejene po višini. S tem se izognemo zahtevi po povečanju duktilnosti v elementih okvira. Če ta zahteva ni izpolnjena, moramo stavbo obravnavati kot neregularno po višini.

Vsak element (okvir: jeklo, polnila: zid, beton,...) obravnavamo po določilih, ki veljajo za ta material, iz katerega je element. Če je polnilo polno vpeto v okvir, ga obravnavamo kot sovprežno konstrukcijo, sestavljeno iz jekla in betona. Če je polnilo ločeno od konstrukcije, sistem obravnavamo kot jekleno konstrukcijo. Če je polnilo nepovezano, vendar v stiku z okvirjem, morajo biti polnila po višini enakomerno porazdeljena po konstrukciji. Če temu ni tako, je treba konstrukcijo obravnavati kot neregularno po višini. Upoštevati je treba tudi vpliv polnila na konstrukcijo (Slika 15).



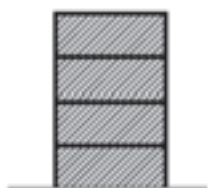
Slika 15: Negativni vpliv nepovezanega polnila v stiku z okvirjem na glavno konstrukcijo pri parapetnem polnilu in pri prestrigu polnilne stene.
Negative effect of masonry infills disconnected from the frame at the joint on the main structure in parapet infills and shear failure of a masonry infill.

Pomični okviri z dodanimi koncentričnimi diagonalami (Slika 16) potresno obtežbo prevzemajo s pomičnimi okvirji in še dodatno s koncentričnimi diagonalami.

Jeklene konstrukcije z nosilnimi masivnimi polnili (Slika 17) so sestavljene iz jeklenih pomičnih okvirjev in iz betonskih ali zidanih polnil s sposobnostjo prevzema vodoravne obtežbe.



Slika 16: Pomični okvir + koncentrične diagonale (majhna podajnost).
Moment resisting frame + concentric bracing (small elasticity).



Slika 17: Pomični okvir + nosilna masivna polnila - polnilo ločeno od konstrukcije (majhna podajnost).
Moment resisting frame + load-bearing concrete or masonry infills - infills separated from the structure (small elasticity).

Kontrola projektiranja in gradnje

Zagotoviti je treba, da bo izvedena konstrukcija ustrezala projektirani. Delavniški načrti in načrti montaže morajo vsebovati detajle spojev, dimenzije in kakovost vijakov in zvarov ter kakovost jekla za elemente. Posebej mora biti navedena maksimalna meja elastičnosti v območjih s sposobnostjo sipanja energije. Dejanska meja elastičnosti uporabljenega jekla ne sme

presežati meje elastičnosti, uporabljene v računu za več kot 10%! Med gradnjo je treba preprečiti kakršnokoli spremembo konstrukcije, ki bi povzročila povečanje ali zmanjšanje togosti ali nosilnosti za več kot 10%.

Članek povzema pravila potresno odporne gradnje za lesene in jeklene konstrukcije iz zakonodaje (EC 8), ter jih skuša aplikativno razložiti za potrebe arhitekturne projektantske prakse. Delo je omejeno samo na bistvene principe in priporočila, ki se nanašajo na potresno odporno gradnjo. Eno od pomembnih sporočil standarda EC 8 je, da izrazito slabe konstrukcijske zasnove ni mogoče preoblikovati v varno zasnovo s pomočjo dobrega statičnega računa in ustreznega konstruiranja oz. projektiranja. Tovrstna računsko varnost je le namišljena in jo lahko razgali že prvi resnejši potresni sunek. Zelo pomembno se je zavedati, da so računsko potresne sile v predpisih reducirane, tj. zmanjšane in prilagojene stavbam s "povprečno" dobro zasnovo, predpisani ukrepi pa zagotavljajo le minimalno potresno odpornost.

Viri in literatura

- European Standard prEN 1998-1, Revised Final PT Draft (preStage 49), Draft May 2002 prEN 1998-1:200X, Doc CEN/TC250/SC8/N317. Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings, CEN, European Committee for Standardization.
- Fajfar, Peter, 1999: Gradivo za Seminar o uporabi evropskih predpisov za konstrukcije: Eurocode 8 - Splošno in analiza, IKPIR - FGG, Ljubljana.
- Fischinger, M., 2002: EC 8 projektiranje potresno odpornih konstrukcij. V: Zbornik seminarja: Novosti v potresnem inženirstvu, ur.: P. Fajfar, M. Fischinger, Ljubljana. UL- FGG, IKPIR in Slovensko društvo za potresno inženirstvo
- Kilar, V., Slak, T., 2003: Zasnova armiranobetonskih in zidanih konstrukcij na potresnih območjih. V: Juvanec, B., ur.: Arhitektura, raziskave 2003/1, str. 30-35 in 86-87. UL - Fakulteta za arhitekturo, Ljubljana.
- Kilar, V., Slak, T., 2002: Vpliv zasnove konstrukcije na potresno odpornost. V: Ujma, št. 16, str. 264-273, Ljubljana.
- Slak, T., Kilar, V.; 2005: Arhitekt in zasnova potresno odpornih stavb po predpisu Eurocode 8: Osnove, pristopi k problemu in izvlečki predpisa s komentarjem : poročilo o raziskovalnem delu na Fakulteti za arhitekturo v letu 2004. Ljubljana, Fakulteta za arhitekturo.