

ZASNOVA ARMIRANO-BETONSKIH IN ZIDANIH KONSTRUKCIJ NA POTRESNIH OBMOČJIH

Conceptual Design of Reinforced Concrete and Masonry Structures in Earthquake Prone Areas

povzetek

Izkušnje iz minulih potresov dokazujejo, da ustrezno zasnovane in solidno grajene stavbe z zadostno horizontalno odpornostjo in s kvalitetno projektiranimi in izvedenimi detajli večinoma zelo dobro prenašajo močnejše potrese, ne glede na leto izgradnje in v tem času uporabljane predpise o potresno odporni gradnji. Po drugi strani pa lahko opazimo tudi, da noben statik ne more zagotoviti, da se bo slabo zasnovana konstrukcija dobro obnašala med močnimi potresi. To dokazujejo številna katastrofalna rušenja neustrezno zasnovanih stavb, na primer stavb z mehкими etažami ali izrazito nesimetričnih stavb pri potresih po vsem svetu. Za "dobro" zasnovano konstrukcijo sta odgovorna tako arhitekt-projektant, kot tudi statik-konstrukter, ki izvaja numerični dokaz varnosti konstrukcije. Zakonsko obvezujoča določila za gradnjo stavb na potresnih območjih so zbrana v prepisih; najnovejši med njimi je Eurocode 8, ki je že v uporabi tudi v Sloveniji. Ta predpis je v precejšnji meri prilagojen potrebam statikov-projektantov in v precej manjši meri potrebam in uporabi arhitektov, ki se v praksi praviloma prvi lotijo zasnove konstrukcije in torej potrebujejo čim več konstrukcijskega znanja in razumevanja splošnih pravil dobre potresno varne gradnje. Iz tega razloga smo v okviru raziskovalnega dela na FA sestavili čim bolj enostaven in razumljiv povzetek najvažnejših zahtev in priporočil Eurocode 8, ki bo v pomoč arhitektom pri zasnovi konstrukcij na potresnih območjih. Na ta način se lahko že v osnovi izognemo slabim konstrukcijam in definiramo potrebe za sodelovanje med arhitekti in gradbeniki v različnih fazah projekta.

ključne besede:

konstrukcije v arhitekturi, zasnova konstrukcij stavb, potresno odporne konstrukcije, projektiranje konstrukcij, armirano-betonske konstrukcije, zidane konstrukcije

V Sloveniji je potresna obtežba, za razliko od mnogih drugih severnejših držav Evropske skupnosti, pomemben dejavnik, ki vpliva na zasnovo stavb. Z opazovanjem poškodb različnih konstrukcij po močnih potresih, pa tudi z numeričnimi simulacijami in testi v laboratorijih, je bilo nesporno ugotovljeno, da zasnova konstrukcije pomembno vpliva na potresno odpornost objektov. Ob podrobnem pregledu tistih določil predpisa Eurocode 8, ki so vezana na zasnovo konstrukcije, lahko ugotovimo naslednje:

A) Pojem dobro zasnovane konstrukcije predpis razlaga z enostavnimi in med seboj neodvisnimi opisnimi pravili za konstruiranje stavb. Precej težje pa je ta pravila izraziti v konsistentni numerični obliki. Iz tega razloga pravila v predpisih za potresno odporno gradnjo večinoma nastopajo v obliki priporočil, katerih izpolnjevanje je do precejšnje mere prepuščeno presoji in izkušnjam projektantov. Novi predpis Eurocode 8 podaja pravila za potresno odporno gradnjo večinoma v obliki priporočil, deloma pa tudi v obliki analitičnih izrazov, ki pa nemalokrat zahtevajo dodatne statične izračune. Kriteriji za tako zaželeno "pravilno zasnovano" konstrukcijo so v predpisu EC8 torej podani premalo ali pa preveč natančno. Nekatera načela so podana le kot opisna priporočila (npr. zahteva po enostavnosti konstrukcije ter jasnem in neposrednem prenosu sil v temelje), tako da je njihovo izpolnjevanje odvisno od razumevanja in izkušenj arhitekta in/ali statika. Spet druga so podana v obliki analitičnih izrazov (npr. za minimalno torzijsko togost etaže) za katere pa je potrebno izvesti določene predhodne analize konstrukcije, ki v fazi idejne zasnove objekta pogosto niso izvedljive.

B) Na dobro zasnovo konstrukcije in učinkovit konstrukcijski sistem je potrebno praviloma misliti že v prvih fazah zasnove

summary

Experience from earthquakes in Slovenia prove that suitably designed and constructed buildings with adequate horizontal resistance, as well as well-designed and executed details, can in most cases endure stronger earthquakes, regardless of year of construction and contemporary regulations concerning earthquake resistant construction valid at the time. On the other hand we can also observe that no engineer can ensure adequate resistance of badly designed constructions in strong earthquakes. Proof can be found in numerous catastrophic collapses of badly designed buildings in recent earthquakes world wide, for example buildings with soft stories or extremely asymmetrical layouts. "Well-designed" constructions are therefore the responsibility of the architect-designer, but also the static engineer-constructor, whereby the latter presents calculated proof of the constructions' safety. Legally binding obligations concerning construction of buildings in earthquake prone areas are stated in regulations, the newest one being Eurocode 8, already being used in Slovenia. This regulation is largely adapted for use by static engineers and to a lesser degree for the needs and uses of architects, who are in practice usually the first to tackle construction design and therefore need more knowledge about construction and understanding of general rules of proper earthquake resistant building. The main intent of the research carried out at the Faculty of architecture was to prepare a simple and understandable summary of the most important demands and recommendations of Eurocode 8, which could be used by architects when designing constructions in earthquake prone areas. Thus poor constructions can be avoided right from the start and necessary cooperation defined between architects and civil engineers in various project phases.

key words:

structures in architecture, conceptual design of structures, construction, earthquake resistant structure, construction design, reinforced concrete structure, masonry structure

zgradbe. Kasnejše umeščanje konstrukcije v že izdelani koncept arhitekture bo morda delovalo pri statično nezahtevnih konstrukcijah, pri vseh zahtevnejših zgradbah pa se ta način pokaže kot neustrezen. Iz tega razloga je potrebno predvsem naslednje:

- Vključiti statika konstruktorja v projekt v čim zgodnejši fazi zasnove konstrukcije, še posebej pri projektiranju zahtevnejših konstrukcij (kar je v današnji praksi v Sloveniji prej izjema kot pravilo);
- Spodbujati sodelovanje med arhitektom in statikom v vseh fazah projekta;
- Razširiti znanje in poglobiti razumevanje arhitektov projektantov s področja potresno odporne gradnje in
- Pripraviti enostaven in razumljiv povzetek tistega dela predpisov, ki se nanaša na dobro zasnovo konstrukcij ter ga čim bolj prilagoditi potrebam projektantov.

VLOGA ARHITEKTA, GRADBENIKA IN ZASNOVA KONSTRUKCIJE

Osnovna zamisel konstrukcije je običajno v rokah arhitekta, ki poskuša funkcionalnost objekta ter obseg in razporeditev prostorov čim bolj prilagoditi tako dani lokaciji, kot potrebam in željam investitorja. Ob tem pa mora zasnovati prepoznavno konstrukcijo, ki bo izpolnjevala tudi arhitekturno-umetniške kriterije pri kreiranju prostora. Takšne osnove arhitekta vodijo do idejne zasnove objekta, v kateri je konstrukcijski sistem v grobem že določen in pogosto tudi že potrjen/dogovorjen z investitorjem. Šele kasneje, v fazi računskega dokaza varnosti, ko statik morda ugotovi določene pomanjkljivosti, lahko sledi faza popraviljanja in usklajevanja projekta. V tem trenutku smo pred nevhvaležno nalogo usklajevanja funkcionalnih zahtev in želja/pričakovanj

investitorja z zahtevami statika, strojnika in elektro inženirja (ki se pogosto tudi prekrivajo). Omenjena faza usklajevanja je izvor številnih nasprotij med arhitekturno in gradbeno stroko, do trenj prihaja predvsem med arhitektom s pomanjkanjem občutka in posluha za konstrukcijo ter pomanjkljivim znanjem s področja konstruiranja in neprilagodljivim gradbenikom, ki nima razumevanja za kompleksnost arhitektovega inženirskega dela in njegovega umetniškega poslanstva pri ustvarjanju prostora. Pri gradnji objekta se pogosto premalo poudarja nujnost sodelovanja vseh udeležencev v procesu načrtovanja in gradnje objekta. Današnje stanje sodelovanja, ko je vse prepogosto izbira konstrukcije prepuščena izključno arhitektu, dokaz njene varnosti pa izključno gradbeniku, je zastarela in neučinkovita. Vedno bolj kompleksne in zahtevne arhitekturne stvaritve, ki jim bomo očitno priča tudi v prihodnje, zahtevajo bolj dinamično interdisciplinarno sodelovanje med strokami. Najustreznejše oziroma nujno je, da se to sodelovanje začne že v fazi zasnove konstrukcije, še posebej pri obravnavi zahtevnejših konstrukcij potresno odpornih objektov. Neupoštevanje nujnosti dobrega sodelovanja in odnosa med gradbenikom in arhitektom je najpogostejši vzrok konfliktov in nerazumevanja s strani obeh strok.

FILOZOFIJA PROJEKTIRANJA KONSTRUKCIJ NA POTRESNIH OBMOČJIH

Rušilna moč energije, ki jo močan potres dovede v konstrukcijo je izjemno velika. Večine konstrukcij iz ekonomskih razlogov ni možno narediti dovolj močnih, da bi lahko prevzele vso to energijo, ne da bi se material pri tem plastično deformiral. Če pa se na primer armatura večkrat zaporedoma močno raztegne daleč v plastično območje, se lahko pri tem velik del dovedene potresne energije pretvori (sipa) v druge vrste energije (predvsem toplotno), s tem pa se zmanjša rušni potencial potresa. Zato lahko naredimo konstrukcijo ustrezno šibkejšo, oziroma jo projektiramo na ustrezno zmanjšane (reducirane) računske potresne sile. Računske potresne sile (redukcijski faktor q) so določene v predpisih. Obnašanje konstrukcije pod vplivom računskih horizontalnih sil in vertikalne obtežbe mora biti brez poškodb (elastično). Med dejanskim potresom so lahko sile precej večje od računskih in konstrukcija se bo poškodovala, ne bi pa se smela porušiti. Izredno pomembno je razumeti, da so računske sile v predpisih reducirane (t.j. zmanjšane) in prilagojene stavbam s "povprečno" dobro zasnovo, predpisani ukrepi pa zagotavljajo le minimalno potresno odpornost. Iz tega razloga zadostitev predpisom za slabo zasnovano konstrukcijo še ne pomeni nikakršnega zagotovila, da je konstrukcija tudi potresno dovolj varna. Za konstrukcije, ki ne izpolnjujejo kriterijev regularnosti v predpisih, je v splošnem zahtevan bistveno natančnejši dokaz varnosti s pomočjo nelinearnih računskih metod, ki so sposobne slediti tudi razvoju poškodb v konstrukciji. Med močnimi potresi, ko so lahko dejanske sile, ki v naprej seveda niso znane, tudi nekajkrat večje od računskih potresnih sil, je zato dodatna varnost, ki jo lahko zagotovimo le z ustrezno dobro zasnovo, še kako dobrodošla. Računske potresne sile se določijo tako, da elastične potresne sile delimo z redukcijskim faktorjem q . Faktor q je odvisen od materiala in konstrukcijskega sistema in znaša od 1 do največ 6. Za betonske okvirne in/ali stenaste konstrukcije se pogosto uporabljajo vrednosti redukcijskega faktorja med 4 in 5 (računski dokaz je torej predpisan za štiri do petkrat manjše sile!).

Po EC 8 lahko projektant v odvisnosti od stavbe in zahtev investitorja izbira med tremi stopnjami ravnovesja med dopuščeno redukcijo potresne obtežbe in zahtevnostjo projektiranja ter izvedbe konstrukcijskih detajlov. Tako imenovane stopnje duktilnosti so nizka (**DC/Low**), srednja (**DC/Medium**) in visoka (**DC/High**), pri čemer nizka stopnja duktilnosti predpisuje večje računske potresne sile v kombinaciji z manj zahtevno izvedbo detajlov, visoka pa manjše potresne sile v kombinaciji z visoko kvaliteto izvedbe detajlov in uporabo natančnejših računskih metod. Pri zasnovi novih sodobnih konstrukcij je priporočljiva izbira visoka stopnje duktilnosti (**DC/High**).

NAMEN IN OSNOVNE ZAHTEVE PREDPISA (IZVLEČEK IZ EC8)

Zaradi omejitve dolžine članka so posamezne najvažnejše zahteve le našteje, podani pa so le kratki komentarji zahtev brez slikovnega gradiva, ki bo vključeno v priročnik za potresno varno zasnovo konstrukcij, ki je v pripravi.

Splošna pravila

Namen

Namen predpisov EC8 v primeru potresa je obvarovati človeška življenja, omejiti škodo in zagotoviti, da ostanejo pomembni objekti po potresu uporabni.

Osnovne zahteve

Zahteva po neporušitvi: Konstrukcija mora biti projektirana in zgrajena tako, da prenese projektni potresni vpliv, ne da bi se pri tem porušil njen del ali celota. Po projektnem potresnem dogodku ne sme biti okrnjena integriteta konstrukcije ali ustrezna preostala nosilnost konstrukcije.

Zahteva po omejitvi poškodb: Ta kriterij zahteva, da v primeru potresa, za katerega obstaja velika verjetnost, da se bo pojavil v življenjski dobi objekta, ostane konstrukcija brez večjih poškodb in z njimi povezanih omejitev uporabe. Zahteva po omejitvi poškodb preprečuje tudi primere, ko bi bili stroški popravila nesorazmerno veliki v primerjavi s ceno nove konstrukcije.

Zahteva po globalni stabilnosti: Preverjati je treba tudi stabilnost celotne konstrukcije proti prevrnitvi in proti zdrsu. Prav tako je treba preverjati ali so temelji in temeljna tla sposobni prenašati potresne vplive ne da bi prišlo do večjih stalnih deformacij.

SPLOŠNA PRAVILA ZA STAVBE

Konstrukcija naj bo čimbolj pravilno zasnovana

Pri zasnovi konstrukcije je potrebno paziti predvsem na naslednje:

- vidik potresne nevarnosti mora biti upoštevan v zgodnji fazi snovanja stavbe,
- konstrukcija naj bo enostavna,
- prenos potresnih sil v temelje naj bo jasen in neposreden,
- zagotoviti je treba uniformiranost (zveznost) in simetrijo,
- konstrukcija naj bo statično nedoločena,
- nosilnost in togost je treba zagotoviti v dveh horizontalnih smereh,
- zagotoviti je treba torzijsko nosilnost in togost (glavni nosilni elementi naj bodo razporejeni v obeh smereh in sicer čim bolj simetrično čim bližje oboda,
- potrebno je ustrezno povezati nosilne elemente z medetažnimi ploščami (toge plošče),
- objekt naj ima ustrezne temelje.

Konstrukcija naj bo čimbolj pravilna v tlorisu in po višini

Pri zasnovi konstrukcije je potrebno paziti na čim večjo pravilnost po višini stavbe kot tudi v tlorisu posameznih etaž.

Merila za tlorisno pravilnost so:

- Približna simetrična razporeditev nosilnih elementov in mase glede na dve pravokotni smeri (čim bližje dvojni simetriji).
- Zgoščenost tlorisne razporeditve. Dimenzije vdolbin v eni smeri naj ne bodo večje od 25% celotne tlorisne dimenzije v tej smeri (kompakten tloris, ki ni H, I ali X oblike).
- Togost stropov v vodoravni ravnini mora biti dovolj velika glede na horizontalno togost navpičnih elementov konstrukcije, tako da imajo deformacije stropov majhen vpliv na razporeditev sil med navpične elemente. Medetažne konstrukcije imajo glavno vlogo pri prenašanju potresnih obremenitev na navpične elemente in zagotavljajo, da ti sistemi sodelujejo pri prenašanju vodoravnih vplivov. Posebej je pomembno to delovanje pri podolgovatih, razčlenjenih tlorisih ali tlorisih z večjimi odprtlinami v stropu.

Merila za pravilnost po višini:

- Vsi sistemi za prenos obtežbe v vodoravni smeri, kot so jedra, stene ali okvirji, naj potekajo neprekinjeno od temeljev do vrha stavbe.
- Mase in togosti posameznih etaž se ne smejo naglo spreminjati po višini.
- Če se dimenzije stavbe spreminjajo po višini (setbacks), velja:
Pravilne so stavbe, ki se zožujejo proti vrhu simetrično vendar ne več kot za 20% glede na prejšnjo etažo. Če se ne zožujejo simetrično, zoženje v celoti ne sme preseči 30%, oziroma 10% glede na prejšnjo etažo.

Druge (ne)pravilnosti:

- Potrebno se je izogibati daljšim previsnim elementom.
- Stebri naj potekajo do tal, kjer je to le mogoče. Podpiranju stebrov z gredami se je treba po možnosti izogniti.

Pri zasnovi konstrukcije se je treba v čim večji meri držati zgornjih priporočil. Po potrebi si pomagamo z deljenjem nepravilne konstrukcije na pravilne samostojne dilatacijske enote. Pri tem je pomembno, da je dilatacijska rega dovolj široka, da ne pride do medsebojnega trkanja posameznih delov konstrukcije, saj lahko v takem primeru z dilatacijo naredimo več škode kot koristi (širina dilatacije se določi z računom za obe dilatirani enoti, orientacijsko lahko njeno dimenzijo ocenimo glede na število etaž – 2 do 3 cm na etažo).

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.

Nekonstrukcijski elementi naj bodo pritrjeni na nosilno konstrukcijo

Nekonstrukcijski elementi (predelne stene, parapeti, zatrepi, antene, strojna oprema, ograje ipd.) morajo biti ustrezno pritrjeni na nosilno konstrukcijo, tako da se med potresom ne prevrnejo ali kako drugače poškodujejo ljudi, vsebino objekta ali nosilno konstrukcijo. Polnila lahko pripomorejo k sipanju energije, če so enakomerno razporejena po konstrukciji. Preprečiti pa je treba

morebitne negativne vplive neenakomerne razporeditve polnil in vplive interakcije med konstrukcijskimi in nekonstrukcijskimi sistemi.

POSEBNA PRAVILA ZA ELEMENTE ARMIRANOBETONSKIH ZGRADB**Marka betona in vrsta jekla naj bo ustrezna**

Najnižja dovoljena marka betona je C 20/25. Dopusčena je le uporaba rebraste armature (razen za stremena).

Dimenzije gred naj bodo večje od minimalnih predpisanih dimenzij

Grede (DC/High*): Minimalna širina gred (nosilcev) je 20 cm. Razmerje med širino b in višino grede h pa je omejeno kot sledi: $h < 2,5 b$ (npr. 20 cm široka greda je lahko visoka max. 50 cm) in $b > L/50$ (npr. 10 m dolga greda je lahko široka min. 20 cm), sicer pa je potreben poseben dokaz varnosti. Grede (DC/Medium*): Minimalna širina gred (nosilcev) je 20 cm, višina grede pa ne sme biti večja od 4 kratne širine b .

* s strani projektanta izbrana stopnja duktilnosti stavbe (glej poglavje: Namen in osnovne zahteve).

Kritičnim conam gred je potrebno posvetiti posebno pozornost

Predpis za posamezno stopnjo duktilnosti natanko določa dolžino kritične cone grede, ki ji mora konstrukter pri armiranju posvetiti posebno pozornost (zgostitev stremen, ustrezen odstotek natezne armature, ustrezno razmerje med tlačno in natezno armaturo ipd.).

Širina grede naj bo prilagojena širini podpornih stebrov

Širina grede ne sme biti večja od dveh širin stebra, ki gredo podpira. To pomeni, da ni mogoče poljubno širiti grede zato, da bi pridobili na svetli višini etaže. V nasprotnem primeru lahko izvedemo gobasto ploščo.

Grede ne smejo biti ekscentrično priključene na stebre

Izogibati se je treba ekscentričnost osi grede glede na osi stebra v katerega se greda vpenja. Razdalja med težiščnicama grede in stebra je lahko največ $1/4$ širine stebra.

Stebri naj (razen izjemoma) segajo neprekinjeno do temeljev

Grede in plošče ne smejo podpirati nosilnih sten. Za grede, ki lahko le izjemoma podpirajo nosilne stebre, veljajo določila:

- osi stebrov ne smejo biti ekscentrične glede na osi gred,
- gredo morata podpirati vsaj dve direktni podpori,
- stik grede in prekinjenega stebra mora biti obravnavan kot kritična cona pri dimenzioniranju

Zagotavljeni naj bodo globalni porušni mehanizmi

Stebri in grede, ki tvorijo okvirne sisteme, morajo biti projektirani tako, da se poškodbe (pri silah, ki so precej večje od računskih) formirajo predvsem na konceh gred in ob vpetju stebrov v pritličju. Tak porušni mehanizem najbolj enakomerno izkoristi nosilnost vseh elementov in ga imenujemo tudi globalni porušni mehanizem. Drugim lokalnim porušnim mehanizmom (npr. po stebrih v eni etaži = mehka etaža) se je potrebno izogniti z ustreznim načrtovanjem in armiranjem gred in stebrov okvirov. V splošnem to dosežemo tako, da so stebri v etaži močnejši od prečk v isti etaži ('princip šibkih gred in močnih stebrov').

Dimenzije stebrov naj bodo večje od minimalnih predpisanih dimenzij

Minimalna dimenzija prečnega prereza stebra pri visoki duktilnosti (DC/High*) je 30 cm oziroma 1/16 etažne višine stebra. Pri srednji duktilnosti (DC/Medium*) pa znaša 25 cm oziroma približno 1/20 višine stebra in pri nizki duktilnosti (DC/Low*) je min. dimenzija prečnega prereza stebra enaka približno 1/20 višine stebra.

* s strani projektanta izbrana stopnja duktilnosti stavbe (glej poglavje: Namen in osnovne zahteve).

Za praktično približno oceno dimenzij stebrov priporočamo naslednji izraz:

$$N/A \leq 0,25 \times MB$$

MB: Marka betona v kN/cm^2 (MB30 $\rightarrow$ 3kN/cm^2)

N: Osnova sila zaradi vertikalne obtežbe (kN), ki jo določimo iz obtežbe in vplivnih površin

A: Prerez stene ali stebra (cm^2)

Stene naj segajo neprekinjeno do temeljev

Armiranobetonske stene morajo biti polno sidrane v temelje ali ustrezno kletno zidovje. Nosilne AB stene, ki so podprte s ploščami ali gredami, niso dovoljene.

Stene naj bodo ozke in visoke

Priporočljivo je, da so stene ozke in visoke, točneje, da imajo razmerje višine proti širini $\geq 2,0$. Pri takšnih stenah je namreč lažje zagotoviti duktilno obnašanje kot pri nizkih in širokih stenah, ki jih je potrebno armirati z bidiagonalno armaturo (X oblike), ki mora biti ustrezno sidrana.

Kjer je mogoče, naj bodo stene povezane s prečkami (stene z odprtinami)

Posamezne stene so lahko med seboj povezane s prečkami. Če so stene povezane samo z medetažnimi ploščami, se taka povezava ne upošteva kot nosilna. Če so stene povezane s prečkami, se taka povezava lahko upošteva kot nosilna, če je prečka dovolj močna, da prevzame strižne sile in omogoči prevzem horizontalne obtežbe tudi preko mehanizma osnih sil v stenah. Priporočljivo je, da je višina prečke enaka vsaj 1/3 dolžine prečke. Izigibati se je treba naključni in nepravilni razporeditvi odprtin v stenah z odprtinami, saj lahko z neustrezno razporeditvijo odprtin onemogočimo sodelovanje stene pri prenosu horizontalne obtežbe.

Debeline sten naj bodo večje od minimalnih predpisanih dimenzij, stene naj bodo ojačane z robnimi stebri ali povezane s stenami v pravokotni smeri

Možna je izvedba sten z ali brez robnih stebrov. Močnejše so stene, ki imajo tudi robne stebre. Robni stebri so lahko skriti v debelino stene, kot ojačana armatura ali pa so izvedeni kot razširitev stene ob robovih. Širina robnega stebra mora biti enaka vsaj 1/15 etažne višine in večja od 20 cm. Minimalna debelina stene brez robnih stebrov ali prirobnic je 20 cm, oziroma 1/15 etažne višine. Če je stena povezana s prečno steno (prirobnico) debeline vsaj 1/15 etažne višine in dolžine vsaj 1/5 etažne višine, lahko minimalna debelina stene znaša najmanj 15 cm, oziroma 1/20 etažne višine.

Plošče naj bodo toge v svoji ravnini

Medetažne konstrukcije morajo biti v svoji ravnini dovolj toge, da lahko raznesejo horizontalne sile na vertikalne elemente, kar je še posebej pomembno pri večjih spremembah togosti navpičnih elementov nad in pod medetažno konstrukcijo. Posebno preveritev (za DC/High in DC/Medium) zahtevajo plošče z nepravilno geometrijo, navzven štrlečih vogalih, nišah v tlorisu, nepravilnih ali velikih odprtinah v plošči, pri nepravilni razporeditvi mas in ali togosti (navznoter umaknjene fasade, nadzidki, stolpi nad delom tlorisa), pri kletih, kjer so stene samo na delu oboda ali pri delnih podkletitvah.

POSEBNA PRAVILA ZA ELEMENTE ZIDANIH OPEČNIH ZGRADB

Vrste opečnih zidov

Zidane konstrukcije delimo na:

- nearmirano zidovje
- povezano zidovje
- armirano zidovje
- sistemi iz armiranega zidovja

Nearmirano zidovje je zidovje grajeno iz zidakov ne da bi bilo pri tem povezano z vertikalnimi protipotresnimi vezmi. Vezi so obvezne na višini vsake etaže (plošče), vendar na največjem razmaku 4,0 m. Gradnja takšnih zidanih konstrukcij ni priporočena na območjih z večjo pričakovano seizmično intenziteto.

Povezano zidovje je zidovje grajeno iz zidakov ter povezano s protipotresnimi vertikalnimi in horizontalnimi vezmi.

Armirano zidovje je zidovje grajeno iz zidakov pri čemer je celotno zidovje povezano s posebno vodoravno in navpično armaturo vstavljeno v spojnice med zidaki. Principi takšne gradnje so opisani v nadaljevanju.

Trdnost malte in zidakov, parapeti

Po EC8 in EC6 so zahteve glede zidakov in malte strožje kot pri obstoječih predpisih. Minimalna trdnost zidakov mora biti $4,0\text{ N/mm}^2$ pravokotno na površino spojnice in $2,0\text{ N/mm}^2$ vzporedno s površino spojnice v ravnini stene. Malta mora po novem v celoti zapolnjevati navpične spojnice med zidaki (razen pri šibkih potresni ogroženosti: $a_g < 0,05g$). Minimalna marka malte je M5, pri armiranem zidovju pa M10. Parapete lahko upoštevamo kot prečke med dvema zidovoma, če so pravilno povezani tako s sosednjima zidovoma, kot tudi z vodoravno vezjo in preklado spodaj. Pravilno povezani zidovi so izvedeni s klasičnimi zidarskimi zvezami na preklap.

Zidovi in gradnja

Zidovi morajo imeti ustrezno debelino in vitkost

Zidane stavbe morajo biti sestavljene iz stropov in sten, ki so med seboj povezani v dveh pravokotnih horizontalnih smereh in po vertikali. Stike med zidovi in stropovi moramo izvesti z AB-vezmi. Zidove moramo postaviti vsaj v dveh pravokotnih smereh. Ustrezati pa morajo tudi geometrijskim zahtevam iz tabele 1:

Tabela 1: Minimalne dimenzije zidov po EC 8

Vrsta zidovja	$t_{\min}$	$(h/t)_{\max}$	$(l/h)_{\min}$
Nearmirano zidovje iz naravnega kamna	350 mm	9	0,5
Nearmirano zidovje iz zidakov	240 mm	12	0,4
Nearmirano zidovje iz zidakov na območjih s šibkimi potresi	170 mm	15	0,35
Zidovje z vertikalnimi vezmi	240 mm	15	0,3
Armirano zidovje	240 mm	15	ni omejitve

Legenda: t: debelina zidu; h: etažna višina zidu;
l: večja svetla višina odprtih ob zidu; l: dolžina zidu

To npr. pomeni, da je pri zidani hiši z vertikalnimi vezmi minimalna debelina nosilnega zidu 24 cm, pa še to le v primeru, da efektivna višina zidu ne presega 3,60 m. ($h/t \leq 15$, tj. $360/24 = 15$).

Zidovi in vertikalne ter horizontalne vezi morajo biti ustrezno izvedeni

Minimalna debelina nearmiranega zidu na potresno ogroženih tleh je glede na gornjo tabelo 24 cm. Horizontalne betonske vezi morajo biti na višini vsake etaže in v nobenem primeru ne bolj narazen kot 4,0 m. Te vezi predstavljajo povezovalne elemente, ki morajo biti fizično povezani med sabo (tvoriti obroč po obodu etaže). Vodoravne in navpične vezi moramo medsebojno povezati in jih sidrati v osnovni konstrukcijski sistem. Betonirati jih moramo po končanem zidanju. Prerez vezi ne sme biti manjši od 300 cm^2 , pri čemer mora biti minimalna višina vezi 15 cm.

Vertikalne vezi izvedemo:

- na prostih koncih vsakega nosilnega zidu,
- na obeh straneh odprtini s površino večjo od $1,5 \text{ m}^2$ (to pomeni: vse vratne odprtine večje od $200/75 \text{ cm}^2$),
- znotraj zidu, če razdalja med vezmi (robnimi ali vogalnimi) preseže 4,0 m,
- na sečiščih nosilnih zidov, če so vertikalne vezi več kot 1,5 m stran.

Armirani zidovi morajo biti pravilno izdelani

Armirani zidovi se izdelujejo tako, da se v spojnice med zidaki polaga armatura. Osnovna pravila so naslednja:

- vodoravna armatura je v spojnica na vsakih 60cm (min. 0,05% bruto površine horizontalnega prereza stene)
- pri prekladah in parapetih je potrebno uporabljati posebne zidake z utori za armaturo

- vertikalna armatura je v ustreznih žepih ali luknjah v zidkih (min. 0,08% bruto površine horizontalnega prereza stene)
- navpično armaturo z minimalno 200 mm^2 skupne površine moramo položiti:
 - na obeh prostih koncih zidu
 - na vsakem sečišču zidov
 - znotraj zidov, če je razdalja med navpično armaturo omenjeno zgoraj večja kot 5,0 m.
- parapete in prečke je treba povezati s sosednjimi zidovi s praviimi zidarskimi zvezami in vodoravno armaturo.

Armirano zidovje z zalito armaturo se obnaša podobno kot armirani beton, armirano zidovje iz votlakov in armaturo v spojnica pa je zelo odvisno od vrste in kvalitete zidakov. Količina armature, ki ni uravnotežena z nosilnostjo osnovnega zidu, navadno ni ekonomična.

Varnost proti porušitvi mora biti dokazana s statičnim računom

Računsko preverjanje varnosti proti porušitvi je obvezno, razen za t.i. "preproste zidane stavbe". Slednje so zato preprostejše za izračun konstrukcije, manj zapletene in predvsem bolj predvidljive z vidika potresne varnosti in obnašanja v primeru potresnih obremenitev.

Pravila za "preproste zidane stavbe"

Med preproste zidane stavbe sodijo objekti, ki po EC8/1-2 spadajo v III. in IV. kategorijo pomembnosti (*to so navadne stavbe, ki ne pripadajo višjim kategorijam I in II, katerih integriteta med potresom ni življenjskega pomena in katere potresna odpornost ni pomembna glede na posledice porušitve ter stavbe manj pomembne za varnost ljudi*) in tiste, ki ustrezajo določilom, ki sicer veljajo za zidane stavbe. Dopusno število etaž nad terenom, kot tudi potrebno število (prerez) nosilnih potresnih sten v dveh pravokotnih smereh je določeno v tabeli 2 in je odvisno od potresne stopnje oz. projektnega pospeška tal:

Dopusno število etaž in potrebni odstotek sten za "preproste zidane stavbe"

Iz tabele lahko na primer razberemo, da je osma potresna cona (projektni pospešek tal $0,2 \text{ g}$) najvišja cona v kateri še lahko opredelimo stavbe kot "preproste zidane", število dovoljenih etaž v tej coni in pri gradnji z AB-vezmi pa dve. Pri tem mora biti

Projektni pospešek tal		0,07-g	0,10-g	0,15-g	0,20-g
Tip konstrukcije	Število etaž nad terenom (n)**	Najmanjša površina prereza zidov, ki nosijo potresno obtežbo, izražena v odstotkih celotne etažne površine v vsaki od dveh ortogonalnih smeri (PA,min)			
Nearmirano zidovje	1	2,0%	2,0%	3,5%	6,0%
	2	2,0%	2,5%	5,0%	x
	3	3,0%	5,0%	x	x
	4	5,0%	x*	x	x
Zidovje z AB-vezmi	2	2,0%	2,5%	3,0%	3,5%
	3	2,0%	3,0%	5,0%	x
	4	4,0%	5,0%	x	x
	5	6,0%	x	x	x
Armirano zidovje	2	2,0%	2,0%	2,0%	3,5%
	3	2,0%	2,0%	3,0%	5,0%
	4	3,0%	4,0%	5,0%	x
	5	4,0%	5,0%	x	x

* x - ni sprejemljivo

** podstrešje nad polnimi etažami ni všteto v število etaž

Tabela 2: Dopusno število etaž in potrebni odstotek sten za "preproste zidane" stavbe.

odstotek nosilnih potresnih sten v vsaki smeri vsaj 3,5% celotne površine etaže. Torej, če gre za navadno stanovanjsko hišo tlorisnih dimenzij $9.0 \times 12.0 \text{ m}$ ($= 108.0 \text{ m}^2$), mora biti v vsaki nosilni smeri po 3.78 m^2 tlorisa nosilnih sten, torej najmanj 7.56 m^2 nosilnih sten na posamezno etažo (to pomeni kar 30.24 m^1 sten debelih 25 cm v vsaki etaži).

Preprosta pravilna tlorisna zasnova

Tloris stavbe naj bo približno pravokoten, razmerje med krajšo in daljšo stranico naj ne bo manj kot 1:4, odstopanje od osnovne pravokotne konture pa ne smejo biti večje od 15% dolžine stavbe v smeri izzidka. Nosilne stene morajo biti razporejene čim bolj simetrično v dveh pravokotnih smereh. V vsaki nosilni smeri morata biti vsaj dve vzporedni steni, katerih dolžina mora biti večja od 30% dolžine stavbe v obravnavani smeri. Medsebojna razdalja teh dveh sten mora biti večja od 75% dolžine stavbe v drugi (pravokotni) smeri. Stene morajo potekati neprekinjeno od vrha stavbe do tal. Na območjih s šibkimi potresi, lahko dolžino zidov, izračunamo kot skupno dolžino vseh sten med odprtinami v smeri ene osi. Kljub temu mora biti vsaj ena stena v vsaki smeri daljša od ene polovice dolžine zahtevane v tabeli 1 ($(l/h)_{\min}$). Pri nearmiranih zidanih stavbah morajo biti zidovi ene smeri povezani z zidovi druge smeri najmanj na vsakih 7.0 m.

SKLEPI

Članek zelo na kratko povzema za arhitekta projektanta pomembna določila standarda Eurocode 8. Avtorja upava, da bodo arhitektu projektantu pomagala pri zasnovi potresno odporne armiranobetonske ali zidane konstrukcije. Delo na končni verziji povzetka/priročnika je še v teku, predstavljena določila so v članku naštet le v osnovnem najnujnejšem obsegu. Predvidena je širitev priprave podobnih povzetkov tudi za druge dele standardov. Eno od pomembnih sporočil raziskave za arhitekta projektanta je, da izrazito slabe konstrukcijske zasnove ni mogoče preoblikovati v varno zasnovo s pomočjo dobrega statičnega računa. Vsaka tovrstna računska varnost je le namišljena in jo lahko razgali že prvi resnejši potresni sunek.

Nadalje je mnenje avtorjev, da je med gradbeno in arhitekturno stroko potrebno vzpostaviti bolj dinamično sodelovanje in vključevati konstruktorje že v fazi arhitektonskega snovanja objekta. Timsko delo večih strok danes (vsaj med mlajšimi kolegi) je že stalna praksa. Večja specializacija, tehnične zmožnosti in predvsem zahtevnejši, kompleksnejši projekti pa bodo verjetno takšno sodelovanje še poglobili. Medsebojno spoštovanje bo, upamo, zgolj posledica neizogibnega živahnejšega in bolj odgovornega sodelovanja.

ZAHVALA

Avtorja se zahvaljujeva Prof. Dr. Mateju Fischingerju za pomoč, recenzijo in mnoge koristne nasvete in sugestije, ki so prispevale pri pripravi predstavljenega povzetka predpisa Eurocode 8.

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, 1981. Zasnova potresnovarnih zgradb, publikacija IKPIR št. 23, UL FGG, Ljubljana.

Fajfar, Peter, 1999: *Gradivo za Seminar o uporabi evropskih predpisov za konstrukcije: Eurocode 8 - Splošno in analiza*, IKPIR - FGG, Ljubljana.

Fischinger, Matej, 2001: *Gradivo za Seminar o uporabi evropskih predpisov za konstrukcije: Eurocode 8 - Armiranobetonske konstrukcije*. IKPIR - FGG, Ljubljana.

Fischinger, Matej, Isaković, Tatjana, Kilar, Vojko, Slak, Tomaž, 2001: *Sodelovanje študentov arhitekture in gradbeništva v okviru predmeta računalniško projektiranje konstrukcij*, Gradbena informatika 2001, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (FGG) – IKPIR, Ljubljana.

Paulay, T., Priestley M.J.N., 1992: *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*. Birkhauser-Verlag, ZDA.

Rogač, Rajko, Saje, Franc, Lozej, Miran, 1989. *Priročnik za dimenzioniranje armiranobetonskih konstrukcij po metodi mejnih stanj*, UL FGG, Ljubljana.

Slak, Tomaž, Kilar, Vojko, 2001: *Arhitekt projektant in zasnova potresno varnih konstrukcij po EC8*. V: Saje, F., Lopatič, J., ur.: 23. Zborovanje gradbenih konstrukterjev Slovenije, Slovensko društvo gradbenih konstrukterjev, Bled.