

# POTRESNA ARHITEKTURA IN POTRESNO INŽENIRSTVO

UDK 624  
COBISS 1.04 strokovni članek  
prejeto 15.3.2007

## EARTHQUAKE ARCHITECTURE AND EARTHQUAKE ENGINEERING

### izvleček

V članku raziskujemo pojem "potresna arhitektura" kot posledica križanja principov v arhitekturi in potresnem inženirstvu. V uvodu je potreba po veznem členu med arhitekturo in potresnim inženirstvom definirana s hipotezo, da je prilagajanje arhitekture potresni ogroženosti pomemben vir močnejše arhitekturne identitete, značilne za potresno ogrožene regije. Namen članka je vzpodbuditi nove principe oblikovanja arhitekture na teh področjih, saj samo tehnologija, zakonska regulativa in sodelovanje gradbenih inženirjev niso niti edina niti zadostna rešitev za ustrezno oblikovano kulturno krajino. Potresno inženirstvo je razvilo nekaj osnovnih konceptov projektiranja potresno odpornih objektov, ki smo jih razdelili na: tektonsko gradnjo, osnovno, pasivno in aktivno zaščito, sisteme v razvoju. Podanih je tudi nekaj izhodišč o arhitekturnih konceptih kompozicije projektiranja stavb, kjer je vloga arhitekture opredeljena kot kulturni fenomen z umetniško vrednostjo v prostoru. Tu analiziramo možnosti odziva arhitekture na dejstvo potresne nevarnosti. Potresno arhitekturo v nadaljevanju opredelimo s križanjem izhodišč potresnega inženirstva in arhitekture. Intenzivnost relacij med enim in drugim področjem smo razdelili na več stopenj, pri čemer se z višjimi stopnjami pomikamo globlje v polje potresne arhitekture. Podajamo še nekaj primerov, ki te stopnje kooperacije znotraj potresne arhitekture ponazarjajo. Na koncu sledi diskusija, s katero želimo odpreti razpravo o sinteznih pogledih na relacije med arhitekturo in potresno odpornostjo znotraj pojma 'potresna arhitektura'.

### ključne besede:

Potresna arhitektura, potresno inženirstvo, arhitektura, konstrukcije v arhitekturi, gradnja, potresna zasnova.

### abstract

Article discusses term "earthquake architecture" as a result of intersection of principles in architecture and earthquake engineering. The paper examines the hypothesis that the architectural design, which reflects the earthquake threat, might be an important source of stronger architectural identity, characteristic to earthquake prone areas. Purpose of the article is to encourage the development of the new principles of architectural design in these areas. Technology, codes and cooperation with earthquake engineers are not the only or satisfactory solutions for appropriate design of cultural landscape in the earthquake prone areas. Earthquake engineering has developed some basic concepts of earthquake resistant design, which can be subdivided to tectonic design, basic code protection, passive protection, active protection and developing systems. Some basic issues in regard to architectural concepts of building design are also presented. The role of architecture is defined as cultural phenomena with added artistic value in space. The possibilities of architectural response to the fact of earthquake threat are also analyzed. Earthquake architecture is determined with intersections of earthquake engineering and architecture. Intensity of relations between one and another field is divided to different levels. Higher levels of intensity interfere more into the field of the earthquake architecture. The given examples interpret various levels of cooperation within earthquake architecture. The paper concludes a discussion about the synthesis and relations between architecture and earthquake engineering within the concept of earthquake architecture.

### key words:

Earthquake architecture, earthquake engineering, architecture, structures in architecture, building, earthquake design.

Izraz "potresna arhitektura" se v članku uporablja za določeno vrsto arhitekture, ki nastaja na potresno ogroženih območjih kot odziv na zahteve potresnega inženirstva oziroma je posledica križanj relacij med potresnim inženirstvom in arhitekturo. Realizacija objekta brez ustrezne potresno odporne konstrukcije danes ni mogoča, je pa možno oblikovati stavbo tako, da potresna odpornost ne pride do izraza in je njen vpliv na koncept arhitekture minimalen. V takšnih primerih lahko govorimo o prikritih načinih potresne zaščite stavbe. Po drugi strani pa se lahko arhitektura odzove v samem konceptu, lahko dejansko, s povečano horizontalno togostjo objekta, ali simbolno, z metaforiko v zasnovi. V takšnih primerih govorimo o odkritih ali vizualno izraženih načinih potresne zaščite stavbe. V obeh primerih gre za določeno kombinacijo potresnega inženirstva in arhitekture, za katero se v literaturi uporablja tudi izraz "potresna arhitektura". Gre za "manjkajoči člen" med potresnim inženirstvom in arhitekturo, ki obe disciplini povezuje v kompozicijo najboljšega z obeh področij ter vzpostavlja nov pristop h gradnji na potresno ogroženih tleh, pri čemer je pomembno, da se ustvari novo kakovost, predvsem v skladu z merili arhitekturne odličnosti.

Kompleksnost zahtev potresnega inženirstva direktno vpliva na zasnovno konstrukcije in s tem tudi na arhitekturno kompozicijo in koncepte v arhitekturi, zato je podrobna raziskava vplivov nujna in predstavlja osnovo za vsakršno arhitekturno udejstvovanje na območjih s potresi. Sodobni načini zagotavljanja potresne odpornosti stavb, kot so upoštevanje novejših standardov,

uporaba pasivnih in/ali aktivnih načinov za zagotavljanje bolj predvidljivega obnašanja objekta pod potresno obremenitvijo, sistemi za dušenje in sipanje potresne energije ipd. omogočajo svobodnejše oblikovanje stavb in fleksibilnejše rešitve v arhitekturi, predvsem pa znižujejo raven omejitev, ki jih predstavlja gradnja na potresno ogroženih območjih [Mezzi et al, 2004].

Opaziti je, da postajajo principi potresno odporne gradnje z uvedbo vse bolj podrobnih standardov in predpisov pomembni določevalci oblikovanja arhitekture na območjih s potresi. Smiselno se zdi stališče, da naj bo arhitektura vedno lokalna, torej zasnovana v skladu z mikrolokacijskimi danostmi v prostoru, in naj se na grožnjo s potresom na nek način odzove. Na prilagajanje zahtevam potresno odporne gradnje na potresnih območjih se večkrat gleda kot na pritiske na umetniško svobodo in omejitve pri sledenju trendov, ki prihajajo z nepotresnih območij razvitega sveta (Nizozemska, Velika Britanija, Skandinavija ipd.). Vendar tu ne gre za omejitve, prej za pomanjkanje znanja in nezmožnost razvoja posebne in znotraj okvirov potresno odporne gradnje izvirne arhitekture.

Izhajamo iz hipoteze, da lahko v današnjem času poudarjene skrbi za trajnostni in regionalni razvoj ter ob iskanju posebnega v arhitekturi, prilagajanje potresni ogroženosti predstavlja pomemben vir močnejše arhitekturne identitete, značilne za potresno ogrožene regije. Hipotezo preverjamo s primerjalno analizo in križanjem konceptov potresnega inženirstva za

gradnjo potresno varnih objektov in arhitekturnih konceptov, ki se uporabljajo pri kompoziciji in zasnovi arhitekture stavb. Nadalje v članku analiziramo osnovne značilnosti potresne arhitekture ter iščemo in raziskujemo polja konfliktov in omejitev. Članek se konča z diskusijo, ki poleg sklepov in ugotovitev odpira nova vprašanja, pomisleke ter izziva različna mnenja.

Potresno inženirstvo in koncepti projektiranja potresno varnih objektov

Na potresno ogroženih območjih je gradnja potresno odpornih objektov nujna in zakonsko predpisana. Upoštevanje standardov, predpisov in priporočil odločilno vpliva na zasnovo konstrukcijskega sistema objekta, ta pa posledično močno posega v samo arhitekturo. Potresno inženirstvo je razvilo vrsto načinov za povečanje potresne odpornosti stavb, ki predstavljajo različne koncepte zaščite objektov ob splošni uveljavljeni filozofiji projektiranja na potresnih območjih. V zadnjih nekaj desetletjih potresna gradnja temelji na kombinaciji nosilnosti in duktilnosti konstrukcije [Constantinou et al, 1998]. Za manjše potresne sunke se tako pričakuje, da bo konstrukcija ostala v mejah elastičnega odziva, medtem ko tega pri močnih potresih ne zahtevamo, temveč dopustimo, da se konstrukcija do določene mere poškoduje. Ta filozofija je pripeljala do uvedbe modernih standardov, ki bazirajo na metodi s horizontalnimi silami in predpisujejo podrobne zahteve za kontrolo nosilnosti in zagotovitev zadostne duktilnosti konstrukcije. Poleg kontrole nosilnosti in duktilnosti po predpisih je potresno inženirstvo z izboljšavami razvilo in še razvija inovativnejše načine potresne zaščite, ki obsegajo potresno izolacijo, pasivne sisteme za sipanje energije ter polaktivne in aktivne sisteme z računalniško krmiljenimi dušilci, ki podobno kot poskrbi sistem varnostnih blazin in zategovalcev pasov za varnost v sodobnem avtomobilu pri trku, poskrbi za varnost konstrukcije pri potresu. Zelo grobo lahko načine, s katerimi dosežemo ustrezno potresno odpornost objekta, razvrstimo v naslednje skupine:

- A) tektonska gradnja,
- B) osnovna zaščita po predpisih,
- C) pasivna zaščita,
- D) aktivna zaščita in
- E) sistemi v razvoju.

**A) Tektonska gradnja** (regularnost, simetrija, razmerja ...)

Upoštevani so klasični, tektonski (tudi tradicionalni) principi regularne gradnje, ki so bili v veljavi v zgodovini, pred vpeljavo predpisov za gradnjo na potresnih območjih: masa je skoncentrirana v spodnjih etažah, zidovi so masivni (debeli) in se proti vrhu tanjšajo, zagotovljena je regularnost (simetrija, direktno podpiranje, razmerja stranic največ 1 : 4, tektonika gradnje), objekti so omejeni po višini – glede na uporabljen material, v tlorisu je opaziti veliko gostoto konstrukcije, med potresom poteka v glavnem strižni prenos horizontalnih sil, konstrukcija je dimenzionirana na elastičen odziv. Tektonika je sicer načeloma bolj ali manj prisotna v vsakem objektu in se ji ne moremo povsem izogniti. V našem primeru pod tem terminom razumemo poudarjene ali prevladujoče principe regularne



Slika 1: Primer mikrofragmentirane konstrukcije - Mestna multimedijska knjižnica v Sendaiu, Japonska. [vir: Techniques & architecture, 454/2001].

Figure 1: Example of micro-fragmented structure – The municipal multimedia library in Sendai, Japan. [Source: Techniques & architecture, 454/2001].



Slika 2: Primer simbolizma oz. metafore, s katero arhitektura odgovarja na potresno ogroženost: Nunotani Headquarter Building v Tokiu. [vir: Ciorra, 1995].

Figure 2: Example of symbolism or metaphor, the response of architecture to seismic hazard: Nunotani Headquarter Building in Tokio. [Source: Ciorra, 1995].



Slika 3: Muzej Te Papa Tongarewa na Novi Zelandiji, kjer je potresna simbolika skrita v konceptu arhitekture [vir: Garcia, 2000].

Figure 3: Muzej Te Papa Tongarewa in New Zealand, where seismic symbolism is hidden in the architectural concept. [Source: Garcia, 2000].



Slika 4: Objekt stoji z dokazanim izračunom inženirja, vendar gre z vidika potresne varnosti za zgrešeno zasnovo in namerno uvajanje t.i. "mehke etaže". [vir: A10, št. 13/2007].

Figure 4: The building's standing is proven with a mechanical engineers calculation, but the deliberately introduced "soft floor" in its structural concept is wrong from the aspect of seismic hazard. [Source: A10, No. 13/2007].

gradnje. Primer izrazito netektonske gradnje predstavljajo objekti z mehko etažo v pritličju, z večino mase v gornjih nadstropjih, nepravilnih oblik, z večjimi previsi in podobno.

#### **B) Osnovna zaščita po predpisih** (sodobna potresno odporna gradnja, standardi, kakovost gradnje)

Poudarek je na upoštevanju najnovejših standardov na potresnih območjih, kot so npr. evropski Eurocode 8, ki nastaja že od leta 1992, ameriški UBC-97 iz leta 1997, kalifornijski SEAONC in drugi. Ob tem je treba dosledno zagotavljati kakovost pri gradnji (nadzor) in pri izvedbi posebnih detajlov (armatura, spoji, potresne zveze, ojačitve ...). Uporabljeni so natančnejše (po potrebi tudi nelinearne, dinamične) analize konstrukcij in izdelava računalniških modelov za kontrolo obnašanja konstrukcije. Osnovna zaščita po predpisih, kot je opredeljena v tem članku, v današnjem času predstavlja minimalno stopnjo potresno odporne gradnje, ki jo je treba upoštevati pri novogradnjah in pri adaptacijah obstoječih objektov na potresno ogroženih območjih. Poudariti je treba, da gradbeni inženir, za razliko od arhitekta, zakonsko odgovarja za ustreznost konstrukcijske zasnove, kar pomeni, da morajo vsi uporabljeni sistemi ustrezati zakonsko določeni stopnji varnosti in kakovosti.

#### **C) Pasivna zaščita** (potresna izolacija, pasivni sistemi za dušenje potresne energije)

V to skupino sodi uporaba različnih načinov potresne izolacije, ki so v potresnem inženirstvu običajno kombinirani s pasivnimi sistemi za sipanje in dušenje potresne energije. Sem sodijo osnovne izvedbe potresne izolacije: elastomerno-svinčena in konkavna drsna ležišča; izpopolnjene izvedbe potresne izolacije (eno- ali večsmerna drsna ležišča) v kombinaciji s sistemi dušenja (histerezni dušilci, viskozno hidravlični in viskoelastični dušilci, odzivni masni/tekočinski dušilci (tuned mass/liquid dampers) in

dušilci s fazno transformacijo (phase transformation dampers) [Constantinou et al, 1998]. Sistemi za dušenje in sipanje potresne energije so lahko nameščeni v temeljih ob ležiščih ali kot diagonalni dušilci na kritičnih mestih po vsej konstrukciji.

#### **D) Aktivna zaščita** (potresna izolacija + polaktivni in aktivni sistemi dušenja)

Gre za nadgradnjo pasivne zaščite, ki poleg potresne izolacije zajema uporabo najnovejših tehnologij, kot so polaktivni in aktivni sistemi za sipanje energije (aktivni masni dušilci/active mass dampers, aktivni diagonalni dušilni sistemi/active bracing systems), polaktivni masni/tekočinski dušilni sistemi (semi-active mass/fluid dampers), računalniško voden odziv stavb na potresno vzbujanje z uporabo elektro- in magnetoreoloških (ER in MR) dušilcev ter variabilni togostni in dušilni sistemi (Variable stiffness and damping systems). Lastnosti magnetoreoloških (MR) in elektroreoloških (ER) materialov se lahko spremenijo v nekaj milisekundah, s spremembo nizkonapetostnega električnega ali magnetnega polja. Z ničnim električnim poljem so ti materiali viskozne tekočine, ob visokonapetostnem polju pa se obnašajo kot viskoelastično-plastična snov. Z napravami (dušilci), ki uporabljajo MR ali ER olja, lahko skorajda brez dovajanja zunanje energije reguliramo zelo velike sile. Uporabljamo jih lahko za kontrolo obnašanja konstrukcij pod izjemnimi in nepredvidljivimi obremenitvami, kakršne nastanejo v primeru potresa [Yang, 2001].

#### **E) Sistemi v razvoju** (nevronske mreže, mikrofragmentacija, inteligentni materiali)

V potresnem inženirstvu – tako kot v drugih strokah – gre razvoj nezadržno naprej. Tako je danes ena obetavnejših tehnologij v razvoju na območjih s pogostim (rednim) seizmičnim delovanjem t. i. "Neuro-fuzzy logic systems" oz.



Slika 5: Konstrukcija muzeja Guggenheim v Bilbao zgolj sledi arhitekturni zamisli, ki je popolnoma formalistična in likovna. Konstrukcija vpliva na arhitekturo nima in ji je tudi v celoti podrejena. V končni obliki je konstrukcija povsem prikrita s fasado. [vir: Lyall, 2002].

*Figure 5: The structure of the Guggenheim museum in Bilbao simply follows the architectural idea, which is emphatically formal and artistic. The structure has no effect on the architecture and is completely subordinated. In the final form, the structure is completely hidden by the façade. [Source: Lyall, 2002].*

"Fuzzy systems" (v prostem prevodu npr. nevronska mreža z logiko razpršenosti oz. sistem razpršenosti, tudi Neural fuzzy models – modeli nevronske mreže) [Kim et al, 2005]. Gre za aktiven računalniško nadzorovan sistem, ki spremlja potresno aktivnost na lokaciji samega objekta ter obravnava objekt in njegovo okolico kot kompleksen dinamičen sistem. Po obdelavi informacij lahko na ta način izračuna največjo verjetnost smeri potresa in se samodejno 'pripravi' na potres. Po več potresih uporabi računalnik kot nevronska mreža princip "fuzzy logic" za sklepanje oziroma napoved naslednjega potresa. Nevronska mreža z logiko razpršenosti omogoča določeno obliko lokalnih seizmoloških napovedi, ki naj bi bile najbolj točne za obravnavan objekt.

Ko se odločamo med posameznimi načini potresne zaščite objektov, lahko izberemo en način ali pa kombiniramo več načinov skupaj. Logično je, da več načinov kot bomo uporabili, večjo zaščito bomo zagotovili objektu. Obenem se tudi zdi, da bolj sofisticirano (tehnološko dovršeno) obliko zaščite kot bomo uporabili, več svobode pri oblikovanju arhitekture si bomo lahko privoščili. Če uporabimo več načinov potresne zaščite naenkrat, s tem morda v določeni meri omejimo arhitekturno svobodo, vendar lahko po drugi strani izkoriščamo principe, ki veljajo v potresnem inženirstvu, kot principe arhitekturnega izraza. Tako dobimo izvirno in 'potresno logično' arhitekturo. Ker pa je arhitektura v večini primerov kulturni in prostorski fenomen, je močna identifikacija s potresno zasnovano konstrukcijo samo eden od konceptov v arhitekturi potresnih območij, še zdaleč pa ni edini ali najpomembnejši. Arhitektura, ki se v konceptu podreja prostoru in je v kontekstu drugih, ne pa predvsem potresne danosti, bo skušala izrabljati takšne sisteme zaščite, ki nepoudarjeno zagotavljajo njeno realizacijo.



Slika 6: Primer dejanske in vidno izražene konstrukcijske odpornosti na horizontalne (potresne) obremenitve: stavba Hancock v Chicagu s tektonsko obliko (trapezoid) in z vidnimi diagonalami preko fasade. [vir: [www.greatbuildings.com/buildings/John\\_Hancock\\_Center.html](http://www.greatbuildings.com/buildings/John_Hancock_Center.html)].

*Figure 6: Example of actual and visually expressed structural resilience to horizontal (seismic) loads: the Hancock Building in Chicago with tectonic form (trapezoid) and visible diagonals across the façade. [Source: [www.greatbuildings.com/buildings/John\\_Hancock\\_Center.html](http://www.greatbuildings.com/buildings/John_Hancock_Center.html), <March 2007>].*

### Arhitekturni koncepti kompozicije in projektiranja stavb

Kompozicija arhitekture in koncepti, iz katerih v osnovi izhaja arhitekt pri svojem delu, se od Vitruvija do danes niso bistveno spremenili. V vsakem primeru arhitekturo določajo konstrukcija (firmitas), uporabnost (utilitas) in estetika (venustas). Te postulate, ki v svojem bistvu od nastanka pa do danes ostajajo temeljne, srečamo večkrat in v najrazličnejših oblikah. Kljub razlikam v tolmačenjih pa za nobeno resnejših definicij ni vprašljiv status arhitekture kot umetnosti. Arhitektovo delo ima značaj kulturnega dejanja in umetniškega dosežka. Umetnost arhitekture pa je prav v razliki med graditeljstvom in samo arhitekturo [Vodopivec, 1991: 14–16].

Z razvojem arhitekturne teorije so bili prej omenjenim osnovnim postulatam dodani še številna druga podrobnejša izhodišča in členitve, med katerimi največkrat naletimo predvsem na prostorske (urbanistične) vidike, ki pa so tudi že stvar konteksta. Arhitektura, ki kontrolira in regulira relacije med človekom in okolico, s tem tudi opredeli svoje poslanstvo [Norberg-Schultz, 1965]. Tako koncepte arhitekture, ki izhajajo skozi prizmo vrednotenja in etike, danes določajo še: lokacija in urbaniziranost okolice (mesto, primestje, podeželje, infrastruktura ...), morfologija objekta in okolice (morfološki tip), kontekst, pomembnost objekta po namenu in/ali pomenu, zgodovinska opredelitev, tipologija objekta, koncept arhitekturne zasnove, elementi arhitekturnega oblikovanja, skladnost kompozicije (razmerja, odnosi) ... in druga izhodišča, do katerih arhitekt zavzame stališče, ovrednoti obstoječo situacijo ter izpelje arhitekturni poseg v prostor.

Prevladujoča kategorija, ki določa arhitekturo, je torej v prvi vrsti prostor, v katerega umeščamo objekt. Etično gledano je kontekst



Slika 7: Dva primera dejanske in vidno izražene konstrukcijske odpornosti na horizontalne (potresne) obremenitve: Wool House v Wellingtonu in stavba Union House v Aucklandu z dodanimi ojačitvenimi diagonalami. [vir: Charleson, 2000 in [www.rcp.co.nz/project-union-house.php](http://www.rcp.co.nz/project-union-house.php)].

Slika 8: Primer objekta, kjer je bila kooperacija arhitekture in potresnega inženirstva eno od vodil pri zasnovi arhitekture: Manantiales building, Čile. [vir: Garcia, 2000].

Figure 7: Two examples of actual and visually expressed structural resilience to horizontal (seismic) loads: Wool House in Wellington and the Union House Building in Auckland with added reinforcing diagonals [Source: Charleson, 2000 and [www.rcp.co.nz/project-union-house.php](http://www.rcp.co.nz/project-union-house.php), >March 2007<].

Figure 8: Example of a building where cooperation between the architect and seismic engineer was one of the leading principles of architectural design: Manantiales building, Chile. [Source: Garcia, 2000].

prostora vedno pomembnejši od funkcionalnosti oz. potreb, zaradi katerih objekt sploh gradimo. Funkcionalnost je tako postala organizacijska kategorija, ki predstavlja osnovni vzgib za objekt, vendar pa mora biti podrejena prostoru in kontekstu. Zaključeno arhitekturno delo je vedno le del širše celote in šele v njenem kontekstu se konstituirata tako pomen kot umetniška vrednost arhitekturnega dela. Od prve zgradbe arhitektura vedno nastaja znotraj konteksta [Vodopivec, 1991: 26]. Arhitektura tako ni idealizirana forma, postavljena v prostor, ampak posledica izhodišč, ki jih nudi prostor, ko ga v procesu kreacije vrednotimo, beremo in analiziramo. Na ta način postaja manj ali vsaj argumentirano subjektivna. Čeprav docela objektivne metodologije razčlenjevanja (ali obratno: sestavljanja v procesu nastajanja) arhitekture ni, težimo k objektivizaciji [Košir, 2001: 6]. Ob tem arhitekt prevzema vso odgovornost do prostora, ki ga lahko s svojo intervencijo nadgradi, nevtralizira, pohabi ipd.

Konstrukcija in v našem primeru potresna zasnova objekta je tista nujnost, ki zagotavlja varnost in obstojnost objekta. Z razvojem materialov in konstrukcij postaja ta kategorija manj odločilna ali vplivna na arhitekturo. Sodobna znanost v gradbeništvu in potresnem inženirstvu omogoča bistveno več, kot je nekdaj, zato se je tudi potreba po arhitekturni svobodi povečala, saj naj bi bila s tehnologijo lažje dostopna. Arhitekt kot načrtovalec objekta ne obvladuje več konstrukcijskih znanosti, ampak jih pozna le v toliko, da je sposoben maksimalno izkoristiti možnosti za doseganje koncepta arhitekture.

Arhitekturo dojemamo različno. Obsega vizualne vidike objekta v prostoru, ki zajemajo (vsaj) štiri dimenzije in abstraktno dojetje arhitekture, ki očem ni vidno, je pa dojemljivo skozi uporabo in čitljivost (tudi čutenje) objekta. Konstrukcija je glede vizualnega lahko poudarjena ali pa zabrisana in prikrita, medtem ko jo prek abstraktnega dojetja kot naravno kategorijo vedno zaznavamo. Lebbeus Woods v članku *A post-biblical view* jasno poudari pomen ustrezne gradnje na območjih s potresi: "Potresi niso nujno katastrofa, saj ta naravni pojav ni sam po sebi kriv za ruševine in katastrofe, ampak neustrezne stavbe, ki tudi na območjih, kjer so potresi pogosti, niso grajene tako, da bi delovale v harmoniji z velikimi silami, ki se občasno sprostijo" [Garcia, 2000: 14]. Prav ta sposobnost harmonije glede dejanskega (konstrukcijskega) in arhitekturnega (estetskega) odziva na potresne sile je tisto, kar moramo pri vrednotenju iskati in najvišje ceniti.

Koncepti potresne zaščite skozi sodobno arhitekturo se razvijajo v novih smereh, kjer bistvo ni več v iskanju konkretnega, formalnega ali tistega, kar se da posnemati. Išče se več poti za rešitev istega problema, kot npr. bionika, ki združuje biologijo in tehniko z analiziranjem biološke tehnologije. Pri tem se izhaja iz idej, ki se jih lahko aplicira na inženirstvo in arhitekturo. Eden konkretnjših primerov tega je mikrofragmentacija sile [Garcia, 2000: 18–21, 197–205], pri kateri množica drobnih elementov konstrukcije razprši silo in kjer se v primeru koncentracije ali prekoračenja obremenitev poškoduje le majhen del strukture oz. nekaj elementov, ki na stabilnost celote nimajo pomembnejšega vpliva. Tu je opazen premik iz metafore strojev na metaforo



Slika 9: Dva primera identifikacije arhitekture s konstrukcijo: Zgoraj: Palazzo dello Sport [vir: Huxtable, 1960]. Spodaj: Plesni center Aix-en-Provence. [vir: A10, št. 13/2007].

Figure 9: Two examples of identification of architecture by structure: Above: Palazzo dello Sport [Source: Huxtable, 1960]. Below: Dance centre Aix-en-Provence. [Source: A10, No. 13/2007].

organizmov [Abley in Heartfield, 2001: 65]. Z vidika potresnega inženirstva gre pri tem v osnovi za "princip varovalke" in poudarjeno duktilnost konstrukcije kot celote. Oblika takšne arhitekture/objekta je pogojena z razpršeno strukturo (konstrukcijo) in materialom, ki pa ju artikulira in koncipira arhitekt. Cilj takšnega pristopa je z visoko stopnjo sodelovanja z inženirji ali z integralnim znanjem zasnovati arhitekturo, ki bi bila sinteza inteligentnih materialov (smart materials), oblike in konstrukcije. Slika 1 prikazuje primer strukture/konstrukcije v obliki mrežnih jeder, ki imajo kljub veliki togosti majhno maso. Konstrukcija je v osnovi povzeta iz biologije, mikrofragmentacija se vrši v številnih elementih ene konstrukcijske enote. Drugi primer navajamo v diskusiji (poglavje št. 5, slika 12).

## Potresna arhitektura

### Opredelitev pojma

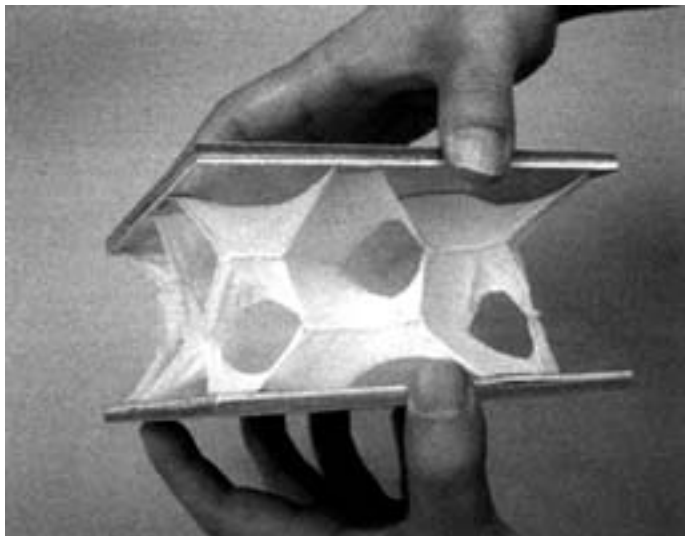
Izraz potresna arhitektura pokriva široko paleto načinov prekrivanja arhitekture s potresno odpornostjo. Tako je lahko na primer oblika konstrukcije stavbe rezultat analize seizmične učinkovitosti in analize raznosa sil, pri čemer v tem primeru

sama strukturna logika konstrukcije prevzame vlogo arhitekta in oblikovalca. Prvo omembo termina potresna arhitektura (angl.: earthquake architecture) lahko zasledimo leta 1985 v članku Boba K. Reithermanna "Earthquake Engineering and Earthquake architecture", kjer se sprašuje: "Če obstaja potresno inženirstvo kot razvita veja znanosti znotraj gradbene stroke, ali bi lahko obstajala tudi potresna arhitektura kot veja znanosti in umetnosti znotraj arhitekturne stroke?" [Reitherman, 1985]. C. Arnold je leta 1996 uporabil izraz 'potresna arhitektura', s katerim je opisal stopnjo vpliva potresne obremenitve oz. potresne odpornosti na arhitekturo [Arnold, 1996]. Široka paleta izraznih možnosti, opisanih v tem članku, sega od metaforičnega (vizualno izraženege) izkoriščanja potresno-inženirskih dejstev, do bolj konkretnih odkritij potresne tehnologije. Primer simbolizma in metafore, s katero arhitektura odgovarja na potresno odporno gradnjo, je na primer stavba Nunotani Headquarter Building v Tokiu (slika 2), pri kateri premaknjena in odtrgana fasada objekta poskuša "predstavljati metaforo gibanja v valovih, kjer potres občasno stisne in razmakne plasti konstrukcije". Drugi primer potresne gradnje, vključene v arhitekturo, je muzej Te Papa Tongarewa, Wellington (slika 3). Gre za idejo o velikem zidu, ki diagonalno poteka čez stavbo in ponazarja geološko moč prelomnice, ki v resnici poteka paralelno v bližini. Kot pri prvem primeru tudi tu uporabnik – obiskovalec težko prepozna (mentalno poveže) fizično formo in princip prelomnice, ki je bil vodilo arhitektu. V obeh primerih je potrebna razlaga. V vsakem primeru pa dejstvo ostaja: seizmologija je generirala inovativen arhitekturni koncept oblikovanja [Charleson et al, 2000].

### Kako do potresne arhitekture?

Potresno arhitekturo lahko oblikujemo z različnimi stopnjami povezav med principi potresnega inženirstva (glej poglavje 2) in principi v arhitekturi (glej poglavje 3), torej z določeno stopnjo kooperacije. Vključevanje zahtev potresno varne gradnje v proces nastajanja in koncipiranja arhitekture realnega objekta lahko temelji samo na abstraktnem (arhitekturna zasnova in koncept) ali vizualnem vključevanju (dojemanje v prostoru). Vizualno gledano tako lahko govorimo o prikritih načinih potresne odpornosti arhitekture na eni strani in razkritih ali poudarjenih na drugi. Konceptualno (abstraktno) gledano potresno arhitekturo realiziramo samo z vključevanjem principov potresnega inženirstva v sam koncept arhitekture, pri čemer dosežemo najvišjo stopnjo z identifikacijo (poistovetenjem), pri kateri arhitektura v celoti izhaja iz principov potresnega inženirstva in samih potresnih elementov konstrukcije. V članku, ki predstavlja rezultate prvih raziskav, smo se odločili poenostavljeno analizirati tri stopnje vključenosti potresnega inženirstva v arhitekturo:

1. stopnja:
  - potresna odpornost je kot koncept podrejena arhitekturi (asimetrija po pomenu),
2. stopnja:
  - koncepta arhitekture in potresne odpornosti se dopolnjujeta (enakovrednost),
3. stopnja:
  - potresno odporna konstrukcija = arhitektura (zlitje konceptov: identifikacija).



Slika 10: Primer lupinasto oblikovane konstrukcije, ki determinira arhitekturo (ali/in obratno). Projekt za Forum za glasbo, ples in vizualno kulturo v Gentu. [vir: Lotus, 71-72/2005].

Figure 10: Example of a shell structure that defines the architecture (or/and vice versa): Project for the Music, dance and visual culture forum in Ghent. [Source: Lotus, 71-72/2005].

Pri tem morajo konstruktorji/potresni inženirji postati katalizatorji, ki bodo to vizijo usmerjali in omogočali [Charleson et al, 2001]. Ugotavljamo, da je na potresno ogroženih območjih le malo potresno oblikovane arhitekture. Trdimo lahko, da veliko število objektov ne izkazuje arhitekturnih, torej vidnih ali konceptualnih značilnosti potresno zasnovane arhitekture ali uporabljajo zgolj prikrite načine potresno varne gradnje in tehnologijo potresnega inženirstva. Fenomen posebne potresne arhitekture kot priložnost za izvirno v arhitekturi potresnih območij tako ostaja neizkoriščen potencial.

Obstaja sicer tudi negativni pol potresne arhitekture, recimo ji 'anti-' ali 'nepotresna' arhitektura. V tem primeru vizualno in abstraktno v arhitekturi dosegamo z nasprotovanjem potresni realnosti, ki negira (konfrontacija) ali ignorira (indiferentnost)

zahteve potresne gradnje. V najslabšem primeru lahko arhitektura z namernimi napakami v zasnovi izziva pravila potresno odporne gradnje. Ta negativni pol predstavlja konfliktnost v odnosu med potresnim inženirstvom in arhitekturo, torej tudi znotraj pojava potresne arhitekture same. Zakonodaja je v tem primeru edino zagotovilo, da se 'antipotresna' arhitektura v praksi na potresnih območjih ne more realizirati.

### Primeri potresne arhitekture

Kot smo že omenili, v pričujočem članku analiziramo tri možne stopnje vključenosti potresnega inženirstva v arhitekturo, ki kažejo intenzivnost prepletanja in učinek na končni rezultat. Lahko pa po teh stopnjah vrednotimo tudi samo potresno arhitekturo. Kratak opis stopenj podajamo v nadaljevanju.

**1. stopnja:** potresna odpornost je kot koncept podrejena arhitekturi (asimetrija po pomenu)

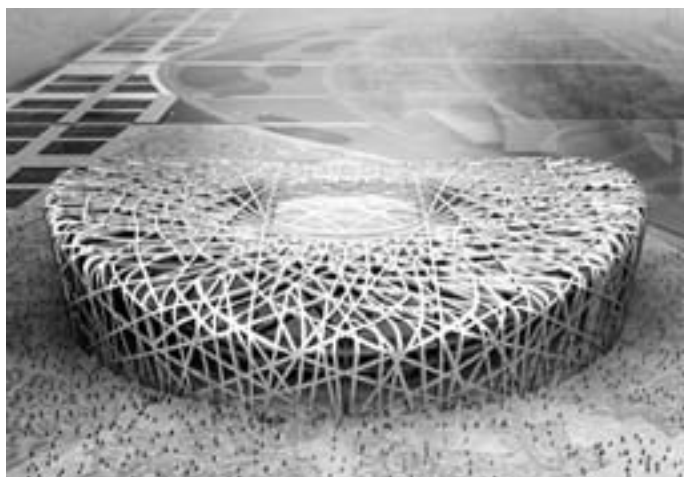
Izraznost arhitekture je nad konstrukcijo, ki kot podrejeni partner v glavnem zagotavlja trdnost in je v službi umetnosti, ki pravzaprav ne izhaja iz potresne zasnove. Že koncipiran objekt s konstrukcijo vred predvsem išče potrditev s strani gradbeništva oz. potresnega inženirstva in se v nadaljnjih postopkih sodelovanja minimalno prilagaja zahtevam potresne varnosti. Uporabljene so lahko napredne tehnologije, konstrukcija je skrita za obešenimi fasadami, večina detajlov je skritih, diagonale so v stenah. Dva taka primera sta na slikah 4 in 5. V nekaterih primerih je konstrukcija predimenzionirana, spet drugač ostaja kljub dokazu v primeru močnejših potresov nevarna zaradi različnih neregularnosti ipd. (slika 4). Ravno zaradi slednjega so tu večkrat potrebni natančnejši postopki nelinearne analize [Lyall, 2002: 9]. Arhitektura dosega visoko raven avtonomije na račun potresne odpornosti konstrukcije. Vpliv konstrukcije na arhitekturo je tako minimalen in je v pretežno podrejeni vlogi (slika 5).

**2. stopnja:** koncepta arhitekture in potresne odpornosti se dopolnjujeta (enakovrednost)

Konstrukcijska zasnova je izražena in vidna na pročeljih objektov in v interieru. Zasnova konstrukcije je eden od motivov arhitekture in je tudi logična posledica zasnove objekta. Tudi tu upoštevamo nove postopke analize, pri čemer lahko iz njih v določeni meri generiramo arhitekturne oblike. V to skupino bi lahko uvrstili posebne nove principe pri zasnovi arhitekture, ki bazirajo na inovativnih načinih uporabe novih materialov in konstrukcij. Za ta rezultat sta potrebna visoka stopnja sodelovanja obeh strok in medsebojno razumevanje. Vpliv na arhitekturo je lahko precej visok, lahko pa tudi skorajda neviden oz. minimalen, če pomeni integracijo konstrukcije v arhitekturno zasnovo. Nekaj primerov enakovrednosti konceptov arhitekture in potresne odpornosti je na slikah 6, 7 in 8.

**3. stopnja:** potresno odporna konstrukcija = arhitektura (zlitje konceptov: identifikacija)

Gre za princip izrabe konstrukcije kot izključujoče estetske norme oz. konstrukcije kot edine artikulirane oblike, ki



Slika 11: Vizije in poigravanje z arhitekturo odziva Lebbeusa Woodsa. [vir: [www.zugmann.com/online\\_exhibitions\\_viewer.php?exhibition=transforming&id=1](http://www.zugmann.com/online_exhibitions_viewer.php?exhibition=transforming&id=1)].

Slika 12: Primer konstrukcije z mikrofragmentirano delitvijo sil, ki jo je precej naključno določil arhitekt brez posebnega upoštevanja konstrukcijske logike: stadion "Bird's Nest" za potrebe olimpijade na Kitajskem leta 2008. [vir: *El Croquis*, 129-130/2006].

Figure 11: Visions and playing with responsive architecture by Lebbeus Woods. [Source: [www.zugmann.com/online\\_exhibitions\\_viewer.php?exhibition=transforming&id=1](http://www.zugmann.com/online_exhibitions_viewer.php?exhibition=transforming&id=1), <March 2007>].

Figure 12: Example of a structure with multi-fragmented division of forces, which was quite by chance determined by the architect, without special respect for structural logic: stadium "Bird's nest" for the 2008 Olympic games in China. [Source: *El Croquis*, 129-130/2006].

determinira arhitekturo. Ta princip lahko poimenujemo tudi (potresno odporna) konstrukcija kot arhitektura in omogoča visoko intenziteto razvoja tako za potresno-inženirsko kot tudi za arhitekturno stroko [Lyll, 2002: 9–15]. O vplivu na arhitekturo težko govorimo, saj gre za konstrukcijo, ki je arhitektura. Avtor je lahko inženir, ki objektu s konstrukcijsko zasnovo poda končno obliko, ali arhitekt, ki dobro obvlada znanje s področja potresnega inženirstva, materiale in konstrukcije. Lahko gre tudi za sodelovanje. Primeri takšnega odnosa so npr. Eiffelov stolp, Palazzo dello Sport v Italiji, Plesni center Aix-en-Provence (slika 9), Hotel de las Artes v Barceloni in center Georges Pompidou v Parizu. Ta princip je največkrat uveljavljen pri zasnovah stadionov, letaliških terminalov, nebotičnikov in podobnih objektov, kjer gre za prekrivanje zelo velikih površin ali gradnjo v ekstremne višine. Eden (še) nerealiziranih takšnih primerov je tudi na sliki 10.

Primer lupinasto oblikovane konstrukcije, ki determinira arhitekturo (ali/in obratno). Projekt za Forum za glasbo, ples in vizualno kulturo v Gentu. [Lotus, 71–72/2005]

Zgoraj našete stopnje relacij v potresni arhitekturi niso izključujoče, tako da lahko v procesu arhitekturnega dela na potresnem področju prehajamo iz ene stopnje v drugo, višjo ali obratno, če se izkaže takšna potreba. Pri vsem naštetem je treba razlikovati med dejanskim učinkom, ki ga ima zasnova arhitekture na horizontalno odpornost objekta in med simbolično ali metaforično reakcijo kot odgovorom arhitekture – umetnosti na neobvladljive sile potresa, ki v nekaterih primerih zaradi neregularnosti in želje po "provokaciji" povzroča celo slabosti (šibke točke) ali zavestne konstrukcijske napake. V takšnem primeru govorimo o negativni verziji odnosa znotraj potresne arhitekture.

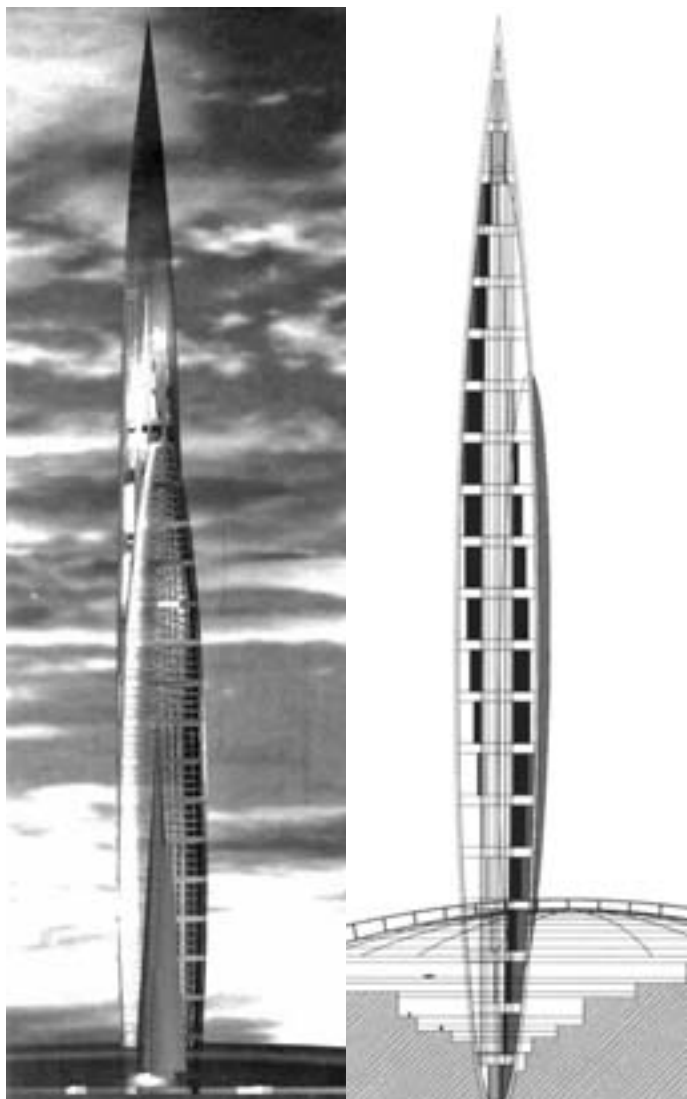
### Diskusija

V diskusiji, ki sledi, želimo prek načinov, s katerimi potresno inženirstvo zagotavlja določeno stopnjo potresne odpornosti objektov, odpreti razpravo o sinteznih pogledih na relacije med arhitekturo in potresno odpornostjo znotraj pojma "potresna arhitektura".

Tektonska gradnja za arhitekta pomeni dokaj rigorozno in dosledno zasnovo arhitekture, ki je praviloma močno povezana s konstrukcijo in naj bi sledila tradicionalnim tektonskim principom gradnje objektov. Seveda gre lahko tudi za zelo sodobne objekte, ki se v strogi tektonski maniri največkrat gradijo iz arhitekturnih in oblikovalskih vzgibov, saj izključujoče argumentacije (če ne gre za objekte izjemnih dimenzij) v konstrukciji danes ni več možno najti. Arhitektura se samoomejuje na poudarjeno strogost, red in regularnost in v primeru konceptualne doslednosti odstopanj ne zasledimo nikjer.

Tektonska arhitektura enakovredno vključuje potresno zasnovano konstrukcijo, morebitna odstopanja od regularnosti pa inženir rešuje z uporabo prikritih načinov ojačevanja. Pri upoštevanju tektonike v gradnji so konflikti precej omejeni, saj takšna gradnja skriva precej rezerve in upošteva starejša, v potresih večkrat preizkušena pravila, s pristopom k temu principu pa se predvsem





Slika 13: Primer bionike v arhitekturi konstrukcij: Bionic tower in prezez, ki kaže sidranje stolja v "pestu" multiradialnega načina temeljenja, brez direktnega kontakta s terenom. [vir: Garcia, 2000].

Figure 13: Example of bionics in architectural structure: Bionic tower and section showing anchoring of the tower in the "nave" of the multi-radial foundation method, without direct contact with the ground. [Source: Garcia, 2000].

arhitekt že v osnovi odreče preveliki drznosti ali neregularnosti. Na ta princip danes naletimo tudi v primeru zelo visokih stavb (na primer projekt za Millennium Tower arhitekta Normana Fosterja), kjer bi vsaka napaka in odstopanje od pravilne oblike pomenila bistveno dražjo konstrukcijo in visoka tveganja.

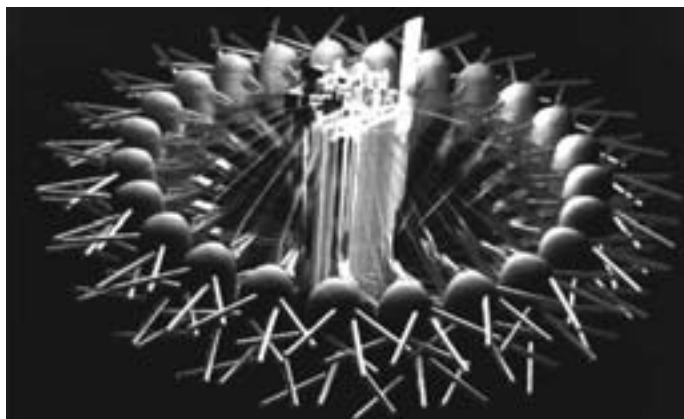
Osnovna zaščita po predpisih danes predstavlja minimalno zakonsko predpisano potresno zaščito. Predvsem gre za upoštevanje standardov in pravil potresno odporne gradnje. Ta pravila inženirji praviloma sestavljajo za inženirje in so vezana na statične izračune, ki jim arhitekti pogosto niso kos. Dejstvo je, da moderni standardi zahtevajo bistveno več potresno-inženirskega znanja. Ker gre za zakonsko zahtevano raven zaščite, odstopanj ne sme biti. Določene zahteve (robni stebri pri stenah, sidrne površine, ojačitve v spojih, zavetrovanja in

minimalni odstotki sten v nosilnih smereh ...), izhajajoče iz standardov, lahko močno vplivajo na arhitekturo. Trenutno gre za največkrat uporabljen način potresne zaščite pri nas. Pomembno je, da pri zasnovi objekta enakovredno sodelujeta oba: inženir in arhitekt, pri čemer se morata zavedati vsak svoje odgovornosti. S premišljeno uporabo standardov, zahtevnejšimi analizami in sodobno filozofijo potresne gradnje lahko arhitekt prosto razvija kreativnost ob sodelovanju inženirja, saj je slednji kot soustvarjalec bolj zainteresiran za aktivnejšo vlogo v projektiranju.

Z uvedbo pasivne zaščite bistveno izboljšamo obnašanje objekta pod potresno obremenitvijo. Arhitektura pridobi na avtonomiji oz. je na potresnih območjih lažje izvedljiva. Možnosti reševanja neregularnosti konstrukcij s pomočjo potresne izolacije so omejene in še niso podrobneje raziskane. Problemi nastajajo predvsem zaradi velikih pomikov, ki so jim izpostavljeni izolirani objekti ter zaradi dilatacij. Z visoko stopnjo sodelovanja lahko dosegamo največje sinergijske učinke, saj ob precejšnji meri arhitekturne avtonomije, z ustrezno sokreativno vlogo inženirja, realiziramo presežke – tako v arhitekturi kot inženirstvu. Še posebej, če se arhitekturna vrednost konstrukcije ne konča samo kot pomagalo znotraj sistema izolacije, ampak predstavlja določeno mero principov arhitekture celotnega objekta.

Pri aktivnih sistemih je bistvena visoka tehnologija (dejanska izolacija in (pol)aktivni sistemi za dušenje potresne energije), ki vgrajena na strateška mesta po vsej konstrukciji izničuje konfliktno situacije. Takšnih sistemov je po svetu vgrajenih relativno malo, tako da prave analize, koliko arhitekturne svobode dejansko omogočajo, še ni. Vsaj v tem teoretičnem razmišljanju pa je videti, da je pri aktivnih sistemih kooperacija potrebna v glavnem na območju sistema (tehnične etaže, vgradnja sistemov, namestitve tekočinskih ali masnih dušilcev). Ta kombinacija nas tako vrača na stopnjo, kjer arhitekt prosto zastavi objekt, inženir pa – tokrat z visokotehnološkimi rešitvami – odpravlja napake in povečuje potresno odpornost.

Identifikacija, ki s sistemi aktivne potresne izolacije določa arhitekturo, je polje z večjo mero interferenc. Tako sodobna tehnologija lahko navdušuje kot inteligentni sistem in lahko velikokrat predstavlja kakovostne izdelke industrijskega oblikovanja. Celotna stavba bi že samo s to tehnologijo lahko postala vizionarska ideja dinamičnih objektov prihodnosti, ki bi "oživeli" v primeru "napada" potresnih sil. Pravzaprav bi na ta način dobili 'robotski' objekt z visoko odzivnostjo na potresno vzbujanje. To je najbrž ena najdražjih kombinacij v tej razpravi in ostaja tako samo teoretična možnost. Vizijo takšne kombinacije lahko zasledimo v delu arhitekta Lebbeusa Woodsa (slika 11). Po 'robotski' hiši smo se približali viziji v prihodnost. Sistemi v razvoju so princip zaščite, ki se razvija skozi obe področji: potresno inženirstvo in arhitekturo. Ločeno dajeta vsaka svoje rezultate, mi pa se bomo osredotočili na področje, kjer se stikata pod terminom potresna arhitektura. Arhitekt je v tej kombinaciji običajno usmerjevalec tehnologije, katere lastnosti obvladuje inženir. Kot ekipa lahko ustvarita arhitekturo prihodnosti, ki obema predstavlja izziv in interes. Konvergenca je opazna v smeri popolne identifikacije, konflikte pa lahko povzroči



Slika 14: Princip multiradialnega plavajočega sistema temeljenja povzet iz gnezde konstrukcije "nest structure" drevesnih korenin, ki z visoko kapaciteto multifragmentacije sil, ohranjajo veliko odpornost in fleksibilnost. [vir: Garcia, 2000].

Figure 14: Example of a multi-radial floating foundation system taken from a "nest structure" of tree roots, whose high capacity of multi-fragmentation of forces helps maintain high resilience and flexibility. [Source: Garcia, 2000].

nedosledna ali nepravilna uporaba materialov in konstrukcij, če npr. mikrofragmentacijo sil ali konstrukcijo z naključno gosto prepleteno mrežo elementov vzpostavlja arhitekt, ki mu je izhodišče forma in ne konstrukcijska logika. Tako se lahko pojavi veliko elementov, ki so bolj v breme kot v korist in jih nato inženir obravnava kot obremenitev (dodatna obtežba) sistema. Princip identifikacije je tako okrnjen in izgubi na konceptualni argumentaciji, rezultat pa je "overdesign" arhitekture ali formalizem. Za logično izrabo potenciala novih materialov in futurističnih sistemov potresnega inženirstva je treba imeti veliko inženirskega znanja, rezultat pa je lahko najbolj kakovostna arhitektura prihodnosti (slike 1, 10, 12 in 13). Že omenjeni premik iz metafore strojev na metaforo organizmov [Abley in Heartfield, 2001: 65] je izražen na sliki 14.

### Sklepi in ugotovitve

Ugotavljamo, da lahko z naraščanjem stopnje intenzivnosti odnosa med potresnim inženirstvom in arhitekturo zagotavljamo zadostno mero sožitja med strokama. Z napredovanjem tehnologije sicer povečujemo potresno odpornost stavb, vendar se obenem kaže potreba po višjih stopnjah relacij znotraj potresne arhitekture. To govori v prid hipotezi, da lahko pričakujemo večje sinergijske učinke potresne arhitekture z intenzivnejšimi odnosi kot pa z izpopolnjevanjem tehnoloških in inženirskih dosežkov. Ker gre pri teh odnosih za dejavnejšo vlogo arhitekta, je ta zato tudi bolj odgovoren in poklican k uveljavitvi principov potresne arhitekture.

Na tem mestu dopuščamo odprto razpravo za drugačne interpretacije, vendar prepričanje, da je z izboljšano intenziteto relacij znotraj potresne arhitekture mogoče vzpostaviti sinergije za bolj kakovostno arhitekturo na potresnih območjih, ostaja.

Danes se zdi, da je precejšen del potresnega inženirstva usmerjen v natančnejše analize in kontrole obnašanja konstrukcij med

potresi (t. i. Performance Based Design), pa tudi sofisticirane izolacijske sisteme v kombinaciji s sistemi za sipanje potresne energije, arhitektura pa v razvoj novih oblikovalskih usmeritev, ki konstrukcijo aktivno integrirajo v elemente prostora in prevzemajo zakonitosti potresno odporne gradnje kot določevalke arhitekture same. Opaziti je zlivanje arhitekture in inženirstva v enotne (enakovredne) ekipe, ki so ob medsebojnem razumevanju sposobne participirati k razvoju posebne arhitekture na potresno ogroženih območjih. Identifikacija enega z drugim je najvišja oblika sodelovanja, kjer prek ožje specializacije konvergiramo k "projektantu generalistu", usposobljenemu za vzpostavitev posebne – potresne arhitekture in načina gradnje na območjih s potresi.

### Viri in literatura

- Abley, I., Heartfield, J., (2001): Sustaining architecture in the anti-machine age. Wiley-Academy, John Wiley & Sons Ltd. London.
- Arnold, C., (1996): Architectural aspects of Seismic resistant Design. Proceedings of the 11th World Conference on Earthquake Engineering, <http://nisee.berkeley.edu/lessons/arnold.html>.
- Charleston, A. W., Taylor M., (2000): Towards an Earthquake Architecture, Proceedings 12th World Conference on Earthquake Engineering January 2000, NZ National Society for Earthquake Engineering, Paper 0858, 8p
- Charleston, A. W., Taylor, M., Preston, J., (2001): Envisioning Earthquake Architecture in New Zealand, Proceedings of the Technical Conference of the New Zealand Society for Earthquake Engineering Annual Conference, Wairakei, March 2001, Paper 3.01.01, 7 pp.
- Constantinou, M. C., Soong, T. T., Dargush, G. F., (1998): Passive Energy dissipation systems for structural design and retrofit. MCEER, University of Buffalo, NY 14261, USA.
- Garcia, B., (2000): Earthquake Architecture, New construction techniques for earthquake disaster prevention. Loft Publications, Barcelona.
- Kim, H.-S., Roschke, P. N., Lin P.-Y., Loh C.-H., (2005): Neuro-fuzzy model of hybrid semi-active base isolation system with FPS bearings and an MR damper. <http://www.sciencedirect.com/>.
- Košir, F., (2001): Izbrani članki. 1992/1995: Vrednote: metode in merila. UL-Fakulteta z arhitekturo, Ljubljana.
- Lyll, S., (2002): Masters of Structure, Engineering Today's Innovative Buildings. Laurence King Publishing Ltd, London.
- Mezzi, M., Parducci, A. and Verducci, P., (2004): Architectural and Structural Configurations of Buildings with Innovative Aseismic Systems, Proceedings of the 13th World Conference on Earthquake Engineering.
- Norberg-Schulz, C., (1965): Intentions in Architecture. The M.I.T. Press, Massachusetts.
- Reitherman, R., (1985): Earthquake Engineering and Earthquake Architecture. Part of the AIA "Workshop for Architects and Related Building Professionals" on Designing for Earthquakes in the Western Mountain States, 1985. [http://www.curee.org/architecture/about\\_us.html](http://www.curee.org/architecture/about_us.html).
- Slak, T. in Kilar, V., (2005): Potresno odporna gradnja in zasnova konstrukcij v arhitekturi. Univerza v Ljubljani, Fakulteta z arhitekturo, Ljubljana.
- Vodopivec, A., (1987): Vprašanja umetnosti gradnje v: Koželj, J., Vodopivec, A.: Iz arhitekture. HacVia, d. o. o., Ljubljana.
- Yang, G., 2001. Large-scale magnetorheological fluid damper for vibration mitigation: modeling, testing and control. (dissertation) Graduate school of the University of Notre Dame, Indiana. [http://cee.uiuc.edu/sstl/gyang2/gyang2\\_thesis.htm](http://cee.uiuc.edu/sstl/gyang2/gyang2_thesis.htm).
- Ciorra, P., 1995: Peter Eisenman. Bauten und projekte. Deutsche Verlags-Anstalt GmbH, Stuttgart.

mag. Tomaž Slak  
prof. dr. Vojko Kilar  
Fakulteta za arhitekturo, UL  
tomaz.slak@arh.uni-lj.si  
vojko.kilar@arh.uni-lj.si