

PROJEKT ARRS ŠT. L5-4319, ŠT. POGODBE 1000-11-214319 (2011-2013)

Sodelavci na projektu

Vojko Kilar (vodja projekta),
Martina Zbašnik-Senegačnik, Tomaž Slak, David Koren, Tadeja Zupančič, Lucija Ažman-Momirski, Simon Petrovčič, Vratuša Srečko, Edo Wallner (vsi UL-FA)
Tatjana Isaković (UL-FGG)
Milan Kuhta in Simon Šilih (UM-FG)
Samo Gostič, Mihael Mirtič (Gradbeni inštitut ZRMK d.o.o.)

Ključne besede

pasivna hiša, toplotna izolacija, potresna varnost

Uvod

Poročilo sestoji iz skupnega dela, ki opisuje potek in dosedanje dosežke dela na raziskovalnem projektu in štirih individualnih delov, ki opisujejo delo udeleženca posameznika v letu 2011. Individualna poročila vključujejo 1) Toplotni mostovi na temeljih pri pasivni hiši (Martina Zbašnik-Senegačnik), 2) Konfiguracija in arhitektura modelov pasivne hiše (Tomaž Slak), 3) Obnašanje XPS pod temelji pasivnih hiš pri potresu (Vojko Kilar), 4) Dinamični odziv stavb temeljenih na sloju XPS (David Koren) in 5) Raziskovalni laboratorij za varne pasivne hiše (Tadeja Zupančič).

Doseženi cilji in rezultati raziskovalnega projekta

V letu 2011 smo v okviru aplikativnega raziskovalnega projekta ARRS z naslovom "Varnost pasivnih hiš pri potresu" začeli z raziskavami potresne varnosti pasivnih hiš. Ugotovitve povezane s preprečevanjem toplotnih izgub pri pasivnih ali nizkoenergijskih hišah narekujejo, da toplotni ovoj poteka neprekinjeno okrog in okrog stavbe – tudi pod temeljno ploščo stavbe ali njenimi temelji. Pri manjših (enodružinskih) hišah tak ukrep ni konstrukcijsko vprašljiv, drugače pa je pri višjih/težjih/ožjih objektih grajenih na potresnih območjih, na katere ima potres lahko večji vpliv. Pri uporabi toplotne izolacije pod temeljno ploščo je treba paziti predvsem na naslednje: i) da zaradi nihanja stavbe med potresom niso prekoračene projektne strižne in projektne tlačne napetosti in/ali deformacije v izolaciji pod temeljno ploščo in ii) da zaradi drugačnega nihanja stavbe na mehki toplotnoizolacijski podlagi ne pride do nekontroliranega povečanja potresnih vplivov na zgornjo konstrukcijo. Potrebno se je namreč zavedati, da z vstavljanjem mehkejših slojev kot je npr. ekstrudiran polistiren (XPS) med temeljno ploščo in podložni beton podaljšamo nihajni čas stavbe, kar lahko rezultira v povečanju potresnih sil na zgornjo konstrukcijo in posledično v potencialnih poškodbah zgornje konstrukcije ali njene vsebine.

Pri sočasnem delovanju vertikalne in potresne obtežbe pride do nastopa strižnih in vertikalnih napetosti v XPS sloju. Za zagotovitev varnega obnašanja pasivne hiše na sloju izolacije med potresom je potrebno zagotoviti, da te napetosti ostanejo znotraj določenih projektnih vrednosti določenih z eksperimenti. Zato smo v prvi fazi raziskav analizirali seizmično obnašanje različnih stavb temeljnih na toplotnoizolacijskih podlagah iz XPS ob predpostavki, da je **zgornja konstrukcija toga**. Opazovali smo napetosti in pomike XPS-a pod temeljno ploščo. V raziskavi smo s pomočjo posebej v ta namen razvitega računalniškega programa analizirali vpliv mase, tlorisnih

dimenzij, števila etaž, temeljnih tal in karakteristik XPS-a na potresno varnost objektov na XPS podlagi. Izkazalo se je, da se nihajni čas konstrukcije z vgradnjo XPS podlage pod temeljno ploščo podaljša in lahko v nekaterih primerih pade tudi v plato spektra, kjer so potresne sile večje. Problematično je lahko tudi povečanje tlačnih napetosti pod robom plošče, še posebej pri vitkejših objektih z večjo maso. Izkazalo se je, da je največje dopustno število etaž pri majhnih tlorisih omejeno na 2 do 3 etaže, pri večjih tlorisih pa na 4 do 5 etaž, odvisno od dimenzij, mase in materiala nosilne konstrukcije. Navedene ugotovitve predstavljajo preliminarne rezultate, ki temeljijo na poenostavljenih seizmičnih analizah. Rezultate raziskave smo predstavili na strokovnem izpopolnjevanju **Pasivna hiša 2012**, ki ga je organizirala Fakulteta za arhitekturo, v Ljubljani, marca 2012.

Raziskavo smo nadaljevali z analizo **vpliva podajnosti zgornje konstrukcije**, ki v parametrični studiji prve faze raziskave ni bil zajet. Dodatno smo raziskavo nadgradili z uporabo zahtevnejših metod za račun potresnega odziva konstrukcij (linearna in nelinearna statična in dinamična analiza). Kot testne konstrukcije smo vzeli modele primere stavb, ki odražajo glavne arhitekturne značilnosti danes grajenih stanovanjskih in poslovnih pasivnih objektov. Stavbe so bile posebej projektirane za potrebe analiz v okviru projekta (prispevek T. Slaka). Glede na funkcijo in vsebino smo tako pripravili primer poslovne stavbe (tloris 20 x 8 m), stanovanjskega vila bloka (tloris 20 x 8 m) in individualne hiše (tloris 16 x 8 m). Pri tem so možne različice z variiranjem števila etaž, materiala nosilne konstrukcije, konstrukcijskega sistema, (ne-)jupoštevanje podkletenosti, spreminjanje debeline in tipa XPS, itd. Vsi objekti so temeljeni na AB temeljni plošči. S pomočjo **elastične dinamične analize** smo za model večetažne poslovne stavbe tlorisnih dimenzij 20 x 8 m analizirali vpliv togosti zgornje konstrukcije, temeljne plošče in XPS-a ter vpliv podajnosti temeljnih tal. Opazovali smo nihajne čase konstrukcij, pomike v potresnem projektnejem stanju (pri elastičnem spektru odziva), notranje statične količine in faktorje povečanja (amplifikacije) posameznih količin zaradi vgradnje XPS-a. Dosedanje raziskave so potrdile pričakovanja, da so v primeru običajnih (podajnih) konstrukcij z vidika potresne varnosti negativni vplivi vgradnje toplotnoizolacijskega sloja pod temelji načeloma manjši kot jih daje račun ob predpostavki toge zgornje konstrukcije, niso pa nezanimljivi. Še vedno so namreč lahko presežene projektne trdnosti samega toplotnoizolacijskega materiala pod temelji in/ali povečane obremenitve primarnih nosilnih elementov zgornje konstrukcije. Vplivi (negativni) na odziv zgornje konstrukcije zaradi vgradnje XPS-a pod temelji so večji pri bolj togih zgornjih konstrukcijah, na boljših temeljnih tleh in na XPS-u z manjšo togostjo. Pomembna ugotovitev je tudi ta, da togost temeljne plošče lahko bistveno vpliva na odziv. V primeru analizirane 4-etažne konstrukcije kontrola največjih napetosti v sloju XPS pod temelji pri danem vzbujanju (0,25g) tako v tlaku kot (še manj) v strigu ne kaže preseženih projektnejih trdnosti materiala XPS.

V nadaljevanju raziskave smo za armiranobetonsko varianto konstrukcije poslovne pasivne stavbe izdelali tudi natančen **nelinearen model**. Prvi rezultati nelinearnih statičnih in dinamičnih analiz modela potrjujejo ugotovitve predhodnih

analiz, da lahko vgradnja XPS-a poslabša seizmično obnašanje zgornje konstrukcije in da lahko togost temeljne plošče bistveno vpliva na razporeditev kontaktnih napetosti pod njo.

V okviru projekta trenutno v laboratoriju za preskušanje materialov in konstrukcij na UL FGG potekajo eksperimentalne raziskave obnašanja materiala XPS, proizvajalca Fibran Nord d.o.o. (sofinancer projekta). Pri tem za vzorce XPS-a različnih debelin in trdnostnih razredov izvajamo meritve strižnih in osnih dinamičnih karakteristik (ciklično obnašanje), kar je trenutno v svetovni literaturi še neraziskano področje. Pridobljene eksperimentalne podatke bomo potrebovali za natančne nelinearne dinamične analize obnašanja pasivnih hiš v nadaljevanju raziskave, ko je načrtovana kompleksna parametrična študija odziva različnih konstrukcij na XPS podlagi.

Rezultati

- D. Koren, V. Kilar, M. Zbašnik-Senegačnik: Potresno obnašanje večetažnih stavb na toplotni izolaciji pod temeljno ploščo. V: Zbašnik-Senegačnik, Martina (ur.): Pasivna hiša 2012: publikacija ob strokovnem izpopolnjevanju, 16. marec 2012, Plečnikova predavalnica, Fakulteta za arhitekturo. Ljubljana: Fakulteta za arhitekturo, 2012, str. 20-27.
- E. Wallner, M. Zbašnik-Senegačnik, V. Kilar: Passive houses in seismically active areas. V: Feist, Wolfgang (ur.). 15. Internationale Passivhaustagung 2011, 27.-28. Mai, Innsbruck. Tagungsband. Innsbruck: Passivhaus Institut, 2011, str. 639-640.

Martina Zbašnik-Senegačnik Toplotni mostovi na temeljih pri pasivni hiši *Thermal bridges of the foundations by PH*

Povzetek (opisi ciljev, namenov, rezultatov)

Pasivna hiša dosega vse zahteve pasivnega standarda le na ta način, da je grajena brez toplotnih mostov. Da se doseže to dokaj strogo zahtevo, morajo biti vsi detajli narejeni že v zgodnji fazi načrtovanja ter skrbno izvedeni. Pri pasivni hiši mora biti toplotni ovoj popolnoma sklenjen – toplotna izolacija mora biti neprekinjena. Največje težave pri zagotavljanju sklenjenega ovoja pasivnih hiš se pojavljajo pri stikih posameznih konstrukcijskih elementov: stik strehe z zunanjo steno, vgradnja oken in vrat, balkoni, nadstreški itd. Toplotni mostovi nastanejo tudi pri stiku ogrevanega dela zgradbe z neogrevanim (npr. neogrevana klet pod ogrevanim delo stavbe) ter pri stiku zgradbe s terenom (pasivni temelji, temeljna plošča). Ti stiki so predmet obdelave v prvem delu raziskovalnega projekta.

Toplotni mostovi na stiku ogrevanega dela stavbe z neogrevanim in na stiku s terenom predstavlja pri konvencionalno grajeni stavbi velik del celotnih toplotnih izgub. Zato velja pri pasivni hiši zahteva, da je vsak stik brez toplotnega mostu: linijska toplotna prehodnost mora biti $\psi \leq 0,01\text{W}/(\text{mK})$. V srednjeevropskem prostoru toplotne mostove pod temeljno ploščo in pasivnimi temelji rešujejo na ta način, da pod njimi namestijo toplotno izolacijo z ustrežno tlačno trdnostjo (npr. ekstrudirani polistiren, penjeno steklo). Ta ukrep v državah z visoko potresno aktivnostjo ni vedno ustrezen, oz. še ni povsod preverjen.

V raziskavi so bili evidentirani najbolj pogosti toplotni mostovi pri stiku toplega ovoja stavbe s hladno okolico. Izpostavljeni so bili detajli z različnimi debelinami izolacije na različnih tipih

konstrukcij (opeka, beton, les). Predstavljena je bila toplotna izolativnost posameznih rešitev, pri katerih je potrebno preveriti primernost uporabe na potresno ogroženih področjih in sicer pri različnih statičnih obremenitvah in oblikah zgradb, kar bodo obravnavale nadaljnje raziskave.

Uporabnost rezultatov (teoretična, praktična)

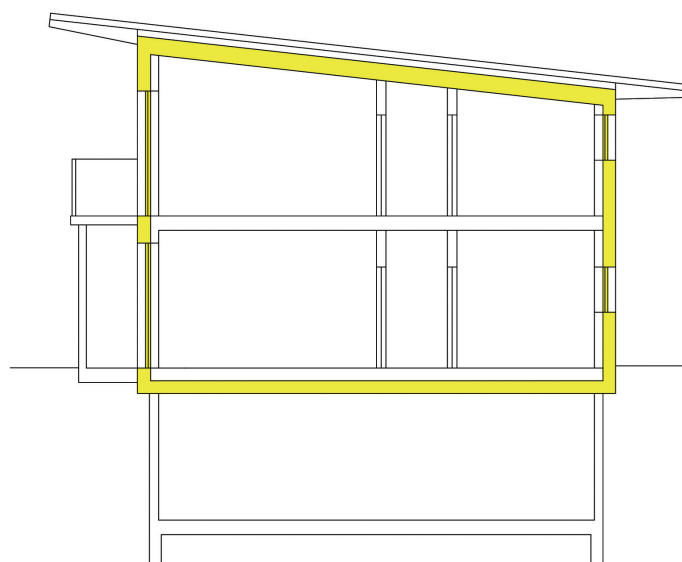
V Sloveniji je zgrajenih vsako leto več pasivnih, oziroma nizkoenergijskih hiš. Pri večini so pri odpravljanju toplotnih mostov na stiku s terenom uporabljene rešitve iz tujine. Pri manjših objektih take rešitve niso problematične, pojavljajo pa se že večji pasivni objekti, ki zahtevajo ustrezen napotek. Rezultati naloge bodo torej uporabni v vsakdanji gradbeni praksi.

Ključne besede

temeljenje, toplotni most, pasivna hiša, toplotna izolacija

Key words

foundation, thermal bridge, passive house, thermal insulation



Slika 01: Toplotni ovoj pasivne hiše mora biti popolnoma sklenjen.
Figure 01: Passive house thermal envelope must be uninterrupted.

Tomaž Slak Konfiguracija in arhitektura modelov pasivne hiše *Configuration and architecture layout of the model*

Povzetek (opisi ciljev, namenov, rezultatov)

Za izvedbo simulacij delovanja potresne obtežbe na pasivne hiše temeljene na toplotni izolaciji smo v prvem delu projekta pripravili analizo obstoječih pasivnih hiš. Pri tem smo poskušali identificirati tipologijo, morfologijo in osnovne konstrukcijske konfiguracije objektov pri katerih bi lahko vstavitve toplotne izolacije pod temeljno podkonstrukcijo objekta lahko povzročila neustrezno ali nekontrolirano obnašanje med potresi. Trendi kažejo na velik interes investitorjev po gradnji predvsem eno- in večstanovanjskih hiš ter poslovnih objektov, zato smo v analizo vključili le te tipe stavb. V prvi fazi so bili pripravljene računalniški modeli enodružinske hiše z gabaritom 8x16m (P+1) ter večstanovanjskega vilabloka in poslovnega objekta