





Izdajatelj:

**Zveza društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije (ZDGITS)**, Karlovška cesta 3, 1000 Ljubljana, telefon 01 52 40 200; faks 01 52 40 199 v sodelovanju z **Matično sekcijo gradbenih inženirjev Inženirske zbornice Slovenije (MSG IZS)**, ob podpori **Javne agencije za raziskovalno dejavnost RS in Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani**

Izdajateljski svet:

ZDGITS: **mag. Andrej Kerin**  
**prof. dr. Matjaž Mikoš**  
**Jakob Presečnik**  
 MSG IZS: **Gorazd Humar**  
**mag. Črtomir Remec**  
**doc. dr. Branko Zadnik**  
 FGG Ljubljana: **izr. prof. dr. Marijan Žura**  
 FG Maribor: **doc. dr. Milan Kuhta**  
 ZAG: **akad. prof. dr. Miha Tomažević**

Glavni in odgovorni urednik:

**prof. dr. Janez Duhovnik**

Lektor:

**Jan Grabnar**

Lektorica angleških povzetkov:

**Darja Okorn**

Tajnica:

**Eva Okorn**

Oblikovalska zasnova:

**Mateja Goršič**

Tehnično urejanje, prelom in tisk:

**Kočeovski tisk**

Naklada:

**3550 izvodov**

Podatki o objavah v reviji so navedeni v bibliografskih bazah COBISS in ICONDA (The Int. Construction Database) ter na

<http://www.zveza-dgits.si>

Letno izide 12 števil. Letna naročnina za individualne naročnike znaša 23,16 EUR; za študente in upokojece 9,27 EUR; za družbe, ustanove in samostojne podjetnike 171,36 EUR za en izvod revije; za naročnike iz tujine 80,00 EUR. V ceni je všteti DDV.

Poslovni račun ZDGITS pri NLB Ljubljana:

SI56 0201 7001 5398 955

# Gradbeni vestnik •

GLASILO ZVEZE DRUŠTEV GRADBENIH INŽENIRJEV IN  
 TEHNIKOV SLOVENIJE in MATIČNE SEKCIJE GRADBENIH  
 INŽENIRJEV INŽENIRSKO ZBORNICE SLOVENIJE  
 UDK-UDC 05 : 625; ISSN 0017-2774  
 Ljubljana, marec 2014, letnik 63, str. 49-76

## Navodila avtorjem za pripravo člankov in drugih prispevkov

1. Uredništvo sprejema v objavo znanstvene in strokovne članke s področja gradbeništva in druge prispevke, pomembne in zanimive za gradbeno stroko.
2. Znanstvene in strokovne članke pred objavo pregleda najmanj en anonimen recenzent, ki ga določi glavni in odgovorni urednik.
3. Članki (razen angleških povzetkov) in prispevki morajo biti napisani v slovenščini.
4. Besedilo mora biti zapisano z znaki velikosti 12 točk in z dvojnimi presledki med vrsticami.
5. Prispevki morajo vsebovati naslov, imena in priimke avtorjev z nazivi in naslovi ter besedilo.
6. Članki morajo obvezno vsebovati: naslov članka v slovenščini (velike črke); naslov članka v angleščini (velike črke); znanstveni naziv, imena in priimke avtorjev, strokovni naziv, navadni in elektronski naslov; oznako, ali je članek strokoven ali znanstven; naslov POVZETEK in povzetek v slovenščini; ključne besede v slovenščini; naslov SUMMARY in povzetek v angleščini; ključne besede (key words) v angleščini; naslov UVOD in besedilo uvoda; naslov naslednjega poglavja (velike črke) in besedilo poglavja; naslov razdelka in besedilo razdelka (neobvezno); ... naslov SKLEP in besedilo sklepa; naslov ZAHVALA in besedilo zahvale (neobvezno); naslov LITERATURA in seznam literature; naslov DODATEK in besedilo dodatka (neobvezno). Če je dodatkov več, so ti označeni še z A, B, C itn.
7. Poglavlja in razdelki so lahko oštevilčeni. Poglavlja se oštevilčijo brez končnih pik. Denimo: 1 UVOD; 2 GRADNJA AVTOCESTNEGA ODSEKA; 2.1 Avtocestni odsek ... 3 ...; 3.1 ... itd.
8. Slike (risbe in fotografije s primerno ločljivostjo) in preglednice morajo biti razporejene in omenjene po vrstnem redu v besedilu prispevka, oštevilčene in opremljene s podnapisi, ki pojasnjujejo njihovo vsebino.
9. Enačbe morajo biti na desnem robu označene z zaporedno številko v okroglem oklepaju.
10. Kot decimalno ločilo je treba uporabljati vejico.
11. Uporabljena in citirana dela morajo biti navedena med besedilom prispevka z oznako v obliki oglatih oklepajev: (priimek prvega avtorja ali kratica ustanove, leto objave). V istem letu objavljena dela istega avtorja ali ustanove morajo biti označena še z oznakami a, b, c itn.
12. V poglavju LITERATURA so uporabljena in citirana dela razvrščena po abecednem redu priimkov prvih avtorjev ali kraticah ustanov in opisana z naslednjimi podatki: priimek ali kratica ustanove, začetnica imena prvega avtorja ali naziv ustanove, priimki in začetnice imen drugih avtorjev, naslov dela, način objave, leto objave.
13. Način objave je opisan s podatki: knjige: založba; revije: ime revije, založba, letnik, številka, strani od do; zborniki: naziv sestanka, organizator, kraj in datum sestanka, strani od do; raziskovalna poročila: vrsta poročila, naročnik, oznaka pogodbe; za druge vrste virov: kratek opis, npr. v zasebnem pogovoru.
14. Prispevke je treba poslati v elektronski obliki v formatu MS WORD glavnemu in odgovornemu uredniku na e-naslov: janez.duhovnik@fgg.uni-lj.si. V sporočilu mora avtor napisati, kakšna je po njegovem mnenju vsebina članka (pretežno znanstvena, pretežno strokovna) oziroma za katero rubriko je po njegovem mnenju prispevek primeren.

Uredništvo

# Vsebina • Contents

## In memoriam

stran **50**

prof. dr.-ing. Jože Korelc, univ. dipl. inž. grad.  
**PROF. DR. DARKO BEG, UNIV. DIPL. INŽ. GRAD., 1954–2014**

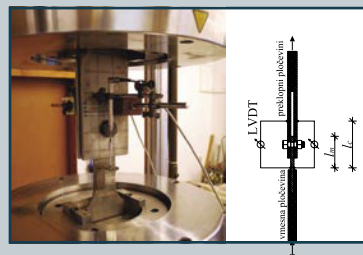
stran **52**

akad. prof. dr. Miha Tomaževič, univ. dipl. inž. grad.  
**FRANC ČAČOVIČ, UNIV. DIPL. INŽ. GRAD., 1927–2014**

## Članki • Papers

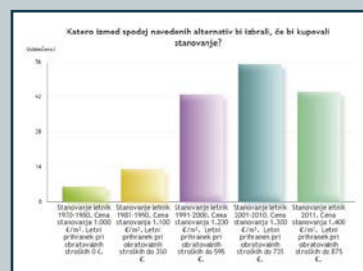
stran **53**

asist. dr. Primož Može, univ. dipl. inž. grad.  
prof. dr. Darko Beg, univ. dipl. inž. grad.  
**BOČNI PRITISK VIJAKA NA PLOČEVINO V SPOJIH Z ENIM VIJAKOM**  
BOLT BEARING IN SINGLE BOLT CONNECTIONS



stran **71**

Boštjan Donša, univ. dipl. gosp. inž. (grad.)  
**ENERGETSKA UČINKOVITOST KOT ODLOČITVENI DEJAVNIK**  
**NAKUPA NEPREMIČNINE**  
ENERGY EFFICIENCY AS A DECISION-MAKING FACTOR WHEN  
PURCHASING REAL ESTATE



## Novi diplomanti

Eva Okorn

## Koledar prireditev

Eva Okorn

Slika na naslovnici: Gradnja novih stavb Fakultete za računalništvo in Fakultete za kemijo Univerze v Ljubljani, foto Željko Stevanić

## IN MEMORIAM



### PROF. DR. DARKO BEG, UNIV. DIPL. INŽ. GRAD., 1954–2014

V začetku februarja 2014 je umrl prof. dr. Darko Beg, univ. dipl. inž. grad., redni profesor za področji Metalne konstrukcije in Teorija konstrukcij na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani, raziskovalec in znanstvenik, vrhunski strokovnjak, dragi kolega in prijatelj.

Še dober mesec dni nazaj smo polni elana kovali smelega načrte za prihodnje raziskovalno obdobje, debatirali o problemih fakultete in stroke. Sedaj smo ostali sami. Kljub mnogo prezgodnjemu odhodu je bilo življenje profesorja Darka Bega polno in bogato, tako znanstveno, strokovno kot v zasebnem življenju. Za uspešno kariero sta potrebni poleg talenta tudi izjemna volja in predanost trdemu delu. Profesor Beg je imel oboje. Zavedal se je, da je le odlično znanost, usmerjeno v svet, mogoče uporabiti v korist gospodarstva. Profesor Beg se uvršča med najbolj znane slovenske znanstvenike in inženirje z velikim mednarodnim ugledom. Na fakulteti je opravljal številne vidne funkcije, od predstojništva Katedre za metalne konstrukcije, vodenja raziskovalnega programa Gradbene konstrukcije in gradbena fizika do predstojništva podiplomskega študija konstrukcijske smeri ter članstva v senatu, upravnem odboru in kadrovske komisiji fakultete.

Profesor Beg se je že kot študent tretjega letnika gradbeništva na povabilo prof. Miloša Marinčka vključil v raziskovalno delo Katedre za metalne konstrukcije in gradiva ter z njim nadaljeval vse do diplome. Po zaposlitvi na takratni Fakulteti za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo se je v prvih letih ukvarjal predvsem z numeričnimi metodami pri nelinearni analizi konstrukcij. Kasneje se je začel ukvarjati tudi z eksperimentalnimi raziskavami s področja stabilnosti jeklenih konstrukcij in momentih stikov. Pri raziskovalnem delu je kombiniral teoretični, numerični in eksperimentalni pristop. Njegovo znanstveno delo obsega 38 originalnih znanstvenih člankov, od tega 20 v mednarodnih recenziranih revijah, več kot 100 prispevkov na konferencah v Sloveniji in tujini ter enajst prispevkov v znanstvenih monografijah. Kot član uredniškega odbora mednarodne revije *Steel Construction – Design and Research* ter znanstvenih in organizacijskih odborov številnih domačih in mednarodnih konferenc je dolga leta sooblikoval in usmerjal znanstveno politiko na področju jeklenih konstrukcij. Med drugim je bil vodja znanstvenega odbora najpomembnejše evropske konference za jeklene konstrukcije EUROSTEEL 2008 v Gradcu.

Profesor Beg je bil predan pedagog in nosilec predmetov s področja jeklenih konstrukcij. Skupaj s prof. Juretom Banovcem je v pedagoški proces vpeljal sodobne metode projektiranja jeklenih konstrukcij, temelječe na nelinearni globalni analizi in dimenzioniranju po metodi mejnih stanj. Uvajanje teh metod je podprl z več učbeniki ter z razvojem in vpeljavo specializiranih računalniških programov za nelinearno analizo in dimenzioniranje jeklenih konstrukcij v inženirsko prakso. Uvajanje mladih sodelavcev v raziskovalno delo je bilo vedno pomemben sestavni del aktivnosti profesorja Bega. Vsako leto je povabil študente tretjega letnika Konstrukcijske smeri k sodelovanju pri raziskovanem in razvojnem delu Katedre za metalne konstrukcije. Večkrat je bilo to sodelovanje zelo uspešno in se je nadaljevalo tudi po diplomi v okviru znanstvenoraziskovalnega usposabljanja mladih raziskovalcev. Profesor Beg je bil med svojo izredno kariero mentor kar 70 diplomantom, šestim magistrantom in sedmim doktorantom.

Profesor Beg ni bil le raziskovalec in pedagog, ampak tudi in predvsem uspešen inženir, ki je svoje raziskovalne dosežke prenašal v inženirsko prakso ter jih uspešno uporabljal pri razvojnem in strokovnem delu. Njegove najpomembnejše aktivnosti v zvezi s prenosom raziskovalnih dosežkov v prakso so bile povezane s standardizacijo in uvajanjem standardov Evrokod na razvoj novih izdelkov ter na pripravo ekspertih mnenj in revizijskih poročil. Sodobne metode je v inženirsko prakso uvajal s predavanji na domačih strokovnih srečanjih in z organizacijo tečajev.

Profesor Beg je bil član številnih domačih in mednarodnih strokovnih združenj in komisij. Kot predsednik tehničnega odbora za konstrukcije pri SIST je koordiniral in vodil aktivnosti za uvajanje obsežnega sistema standardov Evrokod v Slovenijo. Osebnostno je prevedel pet standardov s področja jeklenih konstrukcij in pripravil pripadajoče nacionalne dodatke. Bil je urednik in soavtor priručnika za projektiranje po standardih Evrokod v obsegu več kot tisoč strani. Kot član več tehničnih odborov pri Evropski konvenciji za jeklene konstrukcije in Evropski organizaciji za standardizacijo pa je Evrokode tudi osebno sooblikoval. Na osnovi svojega znanstvenega dela in dela svojih doktorandov je predlagal več popravkov in izboljšav, ki so bile nato vključene v evropske standarde. Pri tem so bili njegovi najpomembnejši prispevki podani na področju strižne nosilnosti pločevin in nosilnosti prerezov iz jekel visoke trdnosti.

Naštevaje vsega njegovega strokovnega dela bi bilo preobsežno, saj v zadnjih desetletjih v Sloveniji praktično ni bilo pomembnejšega objekta v jekelni izvedbi, pri čemer profesor Beg s sodelavci ne bi bil sodeloval kot projektant, revident ali svetovalec. V mednarodnem prostoru pa se je uveljavil predvsem kot projektant in revident projektov mostov in rezervoarjev. Zlasti plodno je bilo njegovo dolgoletno sodelovanje z vodilnim slovenskim podjetjem za jeklene konstrukcije, s Trimom Trebnje. Med drugim je za Trimo skupaj s sodelavci razvil dve novi profilirani pločevini za sovprežne strope, ki imata inovativno obliko in lastnosti. V okviru razvoja novih visokoizolativnih tankoslojnih fasadnih panelov je zasnoval in s sodelavci opravil teste mehanskega obnašanja teh panelov, ki so pomenili pomembno fazo razvoja novih fasadnih panelov.

Darko je bil tudi naš spoštovani kolega in prijatelj. Ko sem sam kot mladi raziskovalec začel svojo akademsko kariero na Katedri za metalne konstrukcije, sem zelo hitro opazil, da je v četrtek ob dvanajstih čas za tenis. Tenis s kolegi profesorji je bil Darkov čas za sprostitvev in druženje, ki mu je ostal zvest vse življenje. Tako kot v znanosti je tudi v zasebnem življenju vedno iskal nekaj novega. Smučanje je zamenjal za deskanje, preizkusil se je v letenju, šel je na safari v Afriko, in ko se je pred letom dni pripeljal na fakulteto z novim harleyjem, je povzročil pravo senzacijo. Vsi smo se spraševali, le kje najde čas za vse to ob vseh znanstvenih, strokovnih in pedagoških obveznostih. Vsi smo ga poznali kot sodelavca, ki je na fakultetnih prireditvah in prireditvah katedre pil samo sok, pa vendar ostal do jutra, do zadnjega, vedno dobre volje in poln humorja. Poznali smo ga po njegovem neumornem optimizmu in reku »Život nije pjesma«, s katerim je, na videz z lahkoto, prešel prek vseh razočaranj in zavrnitev, ki so sestavni del vsake akademske kariere. Predvsem pa smo ga s sestankov poznali kot strastnega razpravljavca, čigar argumente je bilo težko zavrniti in čigar doneči glas je bilo nemogoče preglasiti.

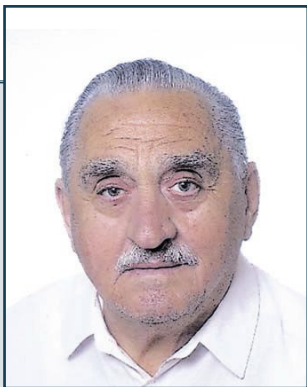
Veliko praznino, ki je ostala na fakulteti z nepričakovanim odhodom profesorja Bega, ne bo zlahka zapolniti. Vendar dosežki profesorja Bega ne bodo pozabljeni. Kot izredni pedagog je za sabo zapustil svoje diplomante, magistrande in doktorande. Izmed njih izstopajo njegovi mladi raziskovalci, zdaj doktorji znanosti, ki jim je posvetil največ svojega časa. To so Leon Hladnik, Aleš Kranjc, Erik Zupančič, Peter Skuber, Luka Pavlovčič, Primož Može in Franc Sinur. Vsi so postali priznani raziskovalci, projektanti, gradbeniki, jeklarji. V njih je skrita najpomembnejša zapuščina profesorja Bega, njegovo znanje – in v njihovem znanju bo profesor Beg živel naprej. Darko nas je prezgodaj zapustil v težkih, kriznih časih, ko bi s svojimi življenjskimi izkušnjami in mednarodnim vplivom lahko najbolj prispeval k iskanju prave poti iz krize gradbeništva ter prispeval k prepoznavnosti slovenskega gradbeništva in jeklarske stroke v Evropi in svetu.

Dragi Darko, hvala ti za vse. Vedno te bomo nosili s spoštovanjem v srcu vsi tisti, ki smo te poznali in vedeli, kaj so ti pomenili fakulteta in sodelavci.

Mir in slava mu.

**prof. dr.-ing. Jože Korelc, univ. dipl. inž. grad.**

## IN MEMORIAM



### FRANC ČAČOVIČ, UNIV. DIPL. INŽ. GRAD., 1927-2014

Na pragu pomladi je v začetku marca 2014 umrl Franc Čačovič, univerzitetni diplomirani inženir gradbeništva. Rojen je bil 28. maja 1927 v Murski Soboti, kjer je leta 1946 tudi končal srednjo šolo. Izhajajoč iz zidarske družine, se je že od mladih nog zanimal za gradbeništvo. Da bi se naučil več, se je po končani srednji šoli odpravil v Ljubljano študirat gradbeništvo in se vpisal na tedanjo Tehniško fakulteto. Ker se je moral preživljati sam, je kot obetaven študent že kmalu na začetku študija postal provizorni asistent na oddelku za tehnično mehaniko, po treh letih študija pa se je za polovični čas zaposlil v takrat novoustanovljenem Gradbenem inštitutu, kasnejšemu Zavodu za raziskavo materiala in konstrukcij, kjer se je še pred diplomo leta 1952 tudi redno zaposlil. Študij na konstrukcijskem oddelku Tehniške fakultete je z diplomom zaključil leta 1953.

Leta 1963 je za deset mesecev odšel na specializacijo v ZDA. Strokovni izzivi, ki jih je pred gradbeniško stroko postavil potres v Skopju leta 1963, so ga vodili, da si je nova znanja pridobil predvsem na področjih dinamike in modelnih preiskav konstrukcij. Po vrnitvi iz ZDA leta 1964 je postal vodja oddelka za masivne konstrukcije in modele ter skupaj s kolegi, še posebno s takratnim direktorjem ZRMK profesorjem Turnškom, raziskoval predvsem obnašanje zidanih konstrukcij pri potresni obtežbi in razvijal metode za njihovo protipotresno utrditev. Takratna skupina je na tem področju orala ledino v svetovnem merilu. Članek, objavljen leta 1971, v katerem sta opisala, kako računati strižno odpornost zidov, je eno temeljnih del, ki ga na tem področju še vedno citirajo.

V sedemdesetih letih je inženir Čačovič za štiri leta zapustil ZRMK in deloval v Razvojnem centru GIPOSS, pozneje pa se je za nekaj let kot glavni direktor spet vrnil v ZRMK. Močno razvita tozidovska samostojnost na eni strani ter mehak značaj in poštenost glavnega direktorja na drugi pa ni rodila omembe vrednih uspehov, zato je inženir Čačovič leta 1980 odšel v Splošno združenje gradbeništva in IGM, kjer je vse do upokojitve opravljal funkcije tajnika komisije za gradbeno operativno, komisije za razvoj in komisije za vodno gospodarstvo, obenem pa tudi funkcijo namestnika sekretarja združenja.

Inženir Čačovič se je ves čas z veliko zagnanostjo posvečal tudi stanovski organizaciji, tako Zvezi inženirjev in tehnikov Slovenije kot tudi v Zvezi društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije, ki ji je nekaj let predsedoval. Za dolgoletno predano in uspešno delo ga je ZDGITS imenovala za svojega častnega člana. Ne nazadnje pa se ga gradbeniki, vsaj bralci in tisti, ki pišemo prispevke za Gradbeni vestnik, spominjamo kot dolgoletnega člana uredniškega odbora in v letih 1988 do 1999 tudi glavnega in odgovornega urednika Gradbenega vestnika. Inženirju Čačoviču gre zasluga, da je Gradbeni vestnik uspešno preživel čase hude krize, ki jo je ob razpadu Jugoslavije in začetku tranzicije preživljalo slovensko gradbeništvo.

Ko sem jeseni leta 1967 kot začetnik z diplomom v žepu prišel v ZRMK, sem pristal na oddelku, ki ga je vodil inženir Čačovič. Imel sem veliko srečo, da sem imel že na začetku kariere učitelja, ki je znal vzbuditi zanimanje za raziskovalno delo in pokazati, kako strokovne odločitve niso odvisne le od praktičnih izkušenj, pač pa tudi od znanja, pridobljenega v laboratoriju. In če sem po dobljeni diplomii še menil, da je učenja konec, mi je kmalu postalo jasno, da se resno učenje šele začne. Inženir Čačovič je znal organizirati večerna predavanja, na katerih smo se tako on sam kot tudi vsi drugi trudili pojasniti kak problem in jih spremeniti v družabni dogodek. V tistih letih smo se skoraj vsi na oddelku vpisali na podiplomski študij na gradbeni fakulteti in skupaj hodili poslušat predavanja. Inženir Čačovič je vedno našel čas za razpravo ali dober nasvet in ni povzdignil glasu, četudi ga je kdo polomil.

Inženirja Franca Čačoviča bomo sodelavci in drugi slovenski gradbeniki ohranili v dobrem spominu.

**akad. prof. dr. Miha Tomaževič, univ. dipl. inž. grad.**

# BOČNI PRITISK VIJAKA NA PLOČEVINO V SPOJIH Z ENIM VIJAKOM

## BOLT BEARING IN SINGLE BOLT CONNECTIONS

asist. dr. Primož Može, univ. dipl. inž. grad.

primoz.moze@fgg.uni-lj.si

prof. dr. Darko Beg, univ. dipl. inž. grad.

dbeg@fgg.uni-lj.si

Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo

Univerza v Ljubljani, Jamova 2, 1000 Ljubljana

Znanstveni članek

UDK 624.014.2.078.4

**Povzetek** | V prispevku predstavljamo rezultate testov spojev z enim in dvema vijakoma. Spoji so bili narejeni iz pločevin kvalitete S235. Rezultate testov primerjamo z rezultati testov na podobnih spojih, narejenih iz jekla visoke trdnosti, in jih dodatno podkrepimo z numerično parametrično študijo. S temi rezultati podrobno analiziramo pločevino, obremenjeno s pritiskom vijaka. Podajamo kritično oceno kontrole nosilnosti v bočnem pritisku po SIST EN 1993-1-8 in predlagamo spremenjeno kontrolo nosilnosti, ki je konceptualno enaka obstoječi kontroli, vendar je enostavnejša, manj konservativna in se bolje ujema z rezultati testov. Obravnavamo tudi kontrolo nosilnosti oslabiljenega prereza in strižnega iztrga skupine vijakov po SIST EN 1993, kjer predlagamo tudi možne izboljšave kontrol.

Ključne besede: vijачeni spoji, duktilnost, bočni pritisk, oslabiljen prerez, neto prerez, strižni iztrg vijakov, jeklo visoke trdnosti

**Summary** | The paper presents the tests on the connections with one and two bolts made of mild steel grade S235. The results are compared with the tests on the connections made of high strength steel. The test results are substantiated by numerical parametric analysis. The effect of bolt bearing is thoroughly analysed. The bearing strength at bolt holes according to standard EN 1993-1-8 is critically evaluated and a modified design check is proposed. The modified check is conceptually the same as the current one, but it is simpler, less conservative and it is in better correlation with the test results. The block shear strength and net cross-section strength are also discussed and modifications to the EN 1993 design rules are given.

Keywords: bolted connections, ductility, bearing stress, net cross-section, block shear, high strength steel

### 1 • UVOD

Vijačeni preklonni spoji so v jeklenih konstrukcijah tipičen način stikovanja dveh elementov. Glede na prenos obremenitev ločimo torne in strižne vijačene preklonne spoje. V članku je obravnavan strižni tip spoja z enim in dvema vijakoma, kjer obremenitev med elementi prehajajo preko kontaktov med pločevino in vijaki. Pri tem nastanejo veliki bočni pritiski v pločevini, ki so v ravnotežju s

strižnimi napetostmi v vijakih. Takšen prenos obremenitev nastane tudi v tornem spoju, ko je torna nosilnost presežena in pločevino zdrsnejo. Bočni pritisk na vijaka na pločevino predstavlja osnovno komponento togosti in nosilnosti v vijačenih preklonnih spojih. Večina obsežnih raziskav s tega področja sega v drugo polovico prejšnjega stoletja ((Snijder, 1988a), (Snijder, 1988b), (Kulak, 2001)),

vendar je uporaba jekel visokih trdnosti odprla nova vprašanja in s tem nove raziskave ((Kouhi, 1990), (Kim, 1999), (Puthli, 2001), (Aalberg, 2002), (Može, 2010), (Može, 2011)). Hiter razvoj numeričnih simulacij v kombinaciji s testi pa je odprl vpogled v deformacijsko-napetostno stanje, ki ga je v laboratorijskih raziskavah težko izmeriti (Može, 2011). Načini porušitev preklonnega strižnega spoja z enim vijakom so poznane. Porušitev nastane, ko je prekoračena nosilnost na bočni pritisk, nosilnost oslabiljenega prereza ali nosilnost vijaka v strigu. Bočni pritiski

povzročijo več različnih tipov porušitev. Te so odvisne v glavnem od geometrije in materialnih parametrov. V literaturi najdemo tudi fenomen vihanja pločevin (Rex, 2003), ki znižuje nosilnost na bočni pritisk. Pri tej porušitvi se preklopne pločevine začnejo

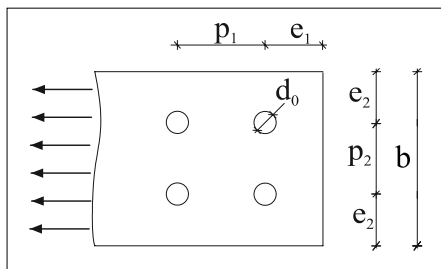
vihati navzven. Ta pojav je običajnejši pri tanjših pločevinah.

Bočni pritiski v pločevini nastanejo zaradi kontaktnih napetosti. Začetna kontaktna površina je zelo majhna, zato se pojavijo koncentracije napetosti, ki s tečenjem otopijo. Tečenje ma-

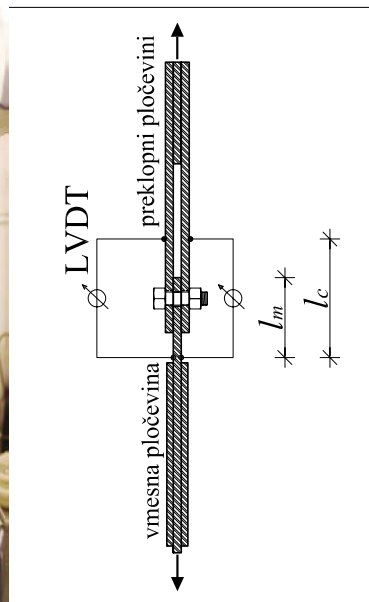
teriala s plastičnimi deformacijami omogoči ugnezdenje vijaka v pločevino in s tem večjo kontaktno površino. Takšen odziv opišemo kot nominalno elastičen odziv, saj v okolici luknje za vijak material preide v območje plastičnosti, praktično takoj, ko na vijak deluje sila.

## 2 • ZASNOVA TESTA IN PROGRAM TESTIRANJA

Testirali smo trinajst preklopnih spojev z enim vijakom in šest spojev z vijakoma, postavljenima pravokotno na smer obremenjevanja. Spoji so imeli dve strižni ravnini. Geometrije spojev so podane v preglednici 1, simboli pa so označeni na sliki 1. Za izdelavo spojev smo uporabili 12 mm debelo pločevino nominalne kvalitete S235, z napetostjo tečenja  $f_y = 313$  MPa in natezno trdnostjo  $f_u = 425$  MPa. Natezna trdnost je bila dosežena pri 16 % deformaciji, standardna natezna epruveta pa se je pretrgala pri 37 % deformaciji. Pri tem smo na mestu preloma zabeležili 30 % zmanjšanje prečnega preseza. Vijake smo vstavili v standardne luknje in jih tesno privili, tako da smo dosegli kontakt med pločevinami, vendar je bilo začetno prednapetje vijakov dovolj majhno, da se sila trenja ni razvila. Vijaki in preklopne pločevine so bili zasnovani tako, da ostanejo elastični, zato so plastične deformacije in porušitev nastale v vmesni pločevini. Spoj smo vpeli v čeljusti preizkuševalne naprave in ga obremenili s pomikom 1 mm/min. Pri tem smo poleg sile in pomika čeljusti merili tudi relativni pomik med vmesno pločevino in preklopnimi pločevinami. Ta pomik smo merili na definiranih mestih z induktivnim merilnikom pomikov (LVDT na sliki 2).



Slika 1 • Definicija razdalj



Slika 2 • Spoj M101 med testom (levo) in skica pozicij merilnikov pomikov LVDT (desno)

ime spoja	št. vijakov	velikost vijaka	$d_0$ (mm)	$e_1/d_0$	$e_2/d_0$	$p_2/d_0$	$b$ (mm)	$t$ (mm)	$l_m$ (mm)	$l_c$ (mm)
M101	1	M24	26	1,23	1,23		64	12	120	149
M102	1	M24	26	1,5	1,23		64	12	132	154
M103	1	M24	26	2	1,23		64	12	142	149
M104	1	M24	26	1	1,5		78	12	120	156
M105	1	M24	26	1,23	1,5		78	12	119	148
M106	1	M24	26	1,5	1,5		78	12	130	152
M107	1	M24	26	2	1,5		78	12	141	150
M108	1	M24	26	2,5	1,5		78	12	151	146
M109	1	M16	18	1	1,5		54	12	81	119
M110	1	M16	18	1,22	1,5		54	12	92	123
M111	1	M16	18	1,5	1,5		54	12	92	121
M112	1	M16	18	2	1,5		54	12	112	118
M113	1	M16	18	2,5	1,5		54	12	112	121
M201	2	M20	22	1,5	2,41	2,41	159	12	131	153
M202	2	M20	22	2,5	2,41	2,41	159	12	146	152
M203	2	M20	22	1,5	1,23	3,68	134	12	162	200
M204	2	M20	22	2,5	1,23	3,68	134	12	161	165
M205	2	M20	22	1,5	1,5	3	132	12	159	181
M206	2	M20	22	2,5	1,5	3	132	12	139	160

Preglednica 1 • Geometrija spojev



### 3 • REZULTATI TESTOV IN PRIMERJAVA Z JEKLOM VISOKE TRDNOSTI

V tem poglavju bomo podali rezultate opisanih testov na mehkem konstrukcijskem jeklu (MKJ) in jih primerjali z rezultati spojev, narejenih iz jekel visoke trdnosti (JVT) S690. Spoji JVT so bili zasnovani z 10 mm debelo pločevino kvalitete S690 in vijakom velikosti M27. Dejanska napetost tečenja pločevine je bila  $f_y = 847$  MPa, dejanska natezna trdnost pa  $f_u = 885$  MPa. Testi JVT so bili zasnovani enako kot prej opisani testi. Nadaljnje informacije so podane v ((Može, 2007), (Može, 2010)).

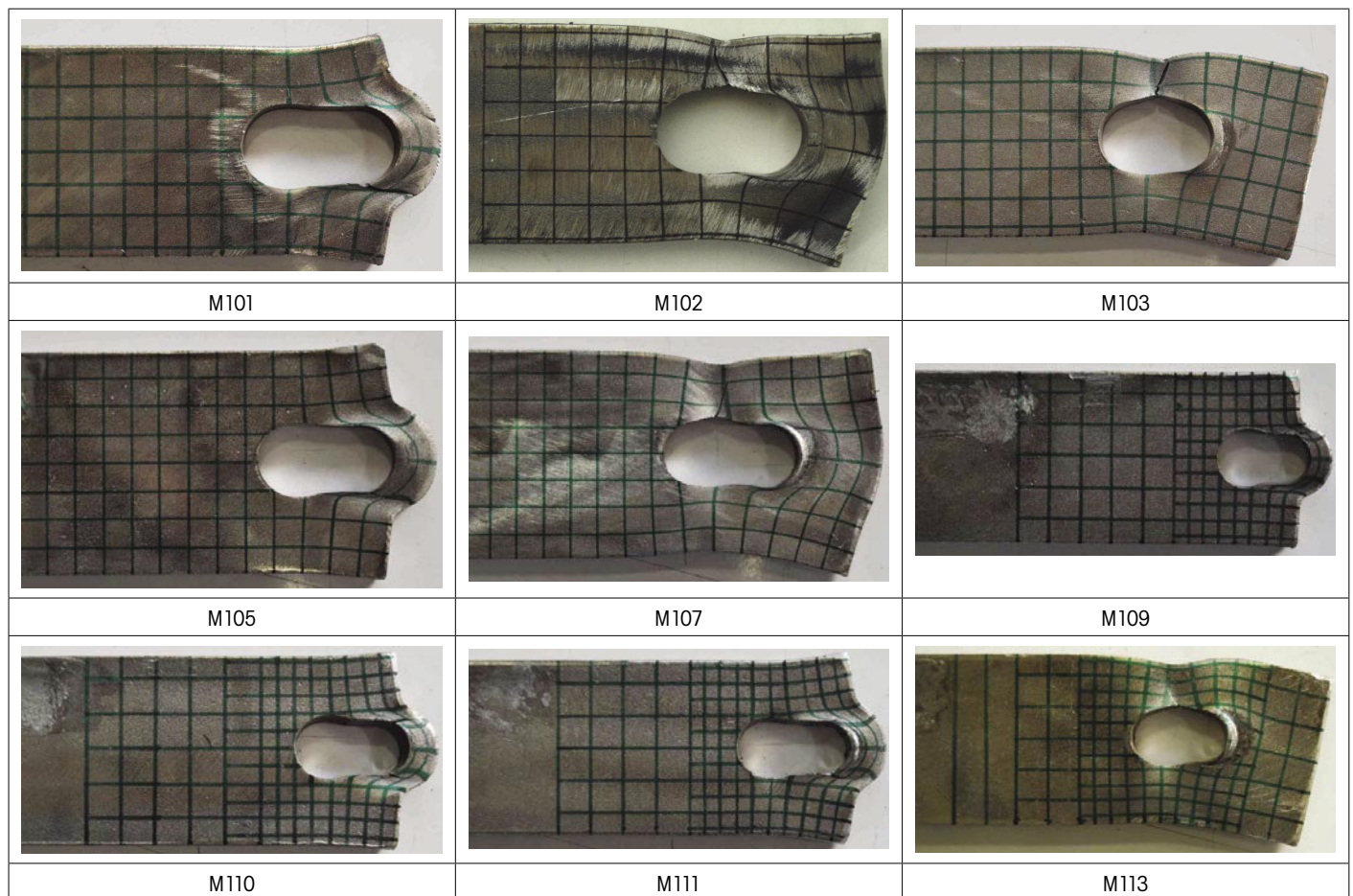
Na slikah 3 do 5 so prikazani porušeni preizkušanci. V preglednici 2 sta podana tip porušitve, nosilnosti in pomik oziroma podaljšanje luknje pri doseženi nosilnosti. Strižna porušitev se razvije, ko je robna razdalja  $e_1$  relativno kratka, nekje do  $1,5 d_0$ . Vijak potisne material iz pločevine, ki steče in se upogne, pri čemer nastaneta dve strizni ravnini (levi stolpec na sliki 4). Pretrg nastane

v območju visokih strižnih napetosti v strižni ravnini oziroma na zunanjem robu, ki je pravokoten na obremenitev, kjer nastanejo velike natezne napetosti.

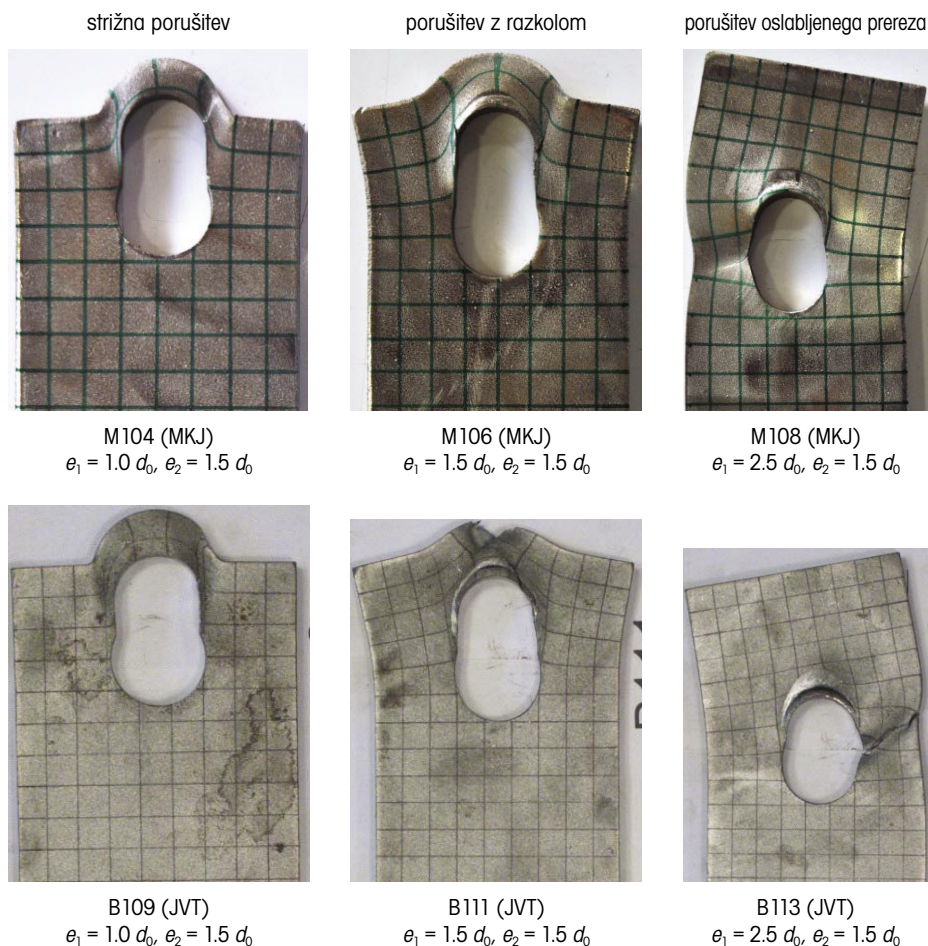
Porušitev, ki je prikazana v sredinskem stolpcu slike 4, opišemo kot porušitev z razkolom, saj se pločevina pred vijakom želi razklati na podoben način, kot se odpre zadruga. Pri tem se del oslabilenega prereza plastificira (glej sliko 6) in dovoli rotacijo v oslabiljenem prerezu oziroma upogib robov pločevine navzven. Čeprav se to porušitev uvršča med porušitve zaradi bočnih pritiskov, jo v kontrolah nosilnosti pogosto zajamemo v kontroli oslabiljenega prereza. Na pločevini iz JVT se je razpoka odprla na prostem robu zaradi prečnih natezih napetosti, medtem ko so se na pločevini iz MKJ na prostem robu razvile velike plastične deformacije, razpoka pa se je odprla v strižni ravnini. Takšen zaključek potrjuje tudi rezultat numerične analize na sliki 6, kjer so prikazane

primerjalne plastične deformacije na pločevini iz MKJ in JVT pri enakem podaljšanju luknje. Opazimo tudi, da so pri JVT plastične deformacije bolj lokalizirane kot pri MKJ (glej sliko 4 in 6). Numerični model, ki je bil uporabljen za prikaz deformacij na sliki 6, je podrobno opisan v poglavju 4.

Če je robna razdalja  $e_1$  dovolj velika, se material začne kopičiti pred vijakom, kar privede do prestriga vijaka ali do porušitve oslabiljenega prereza (desni stolpec na sliki 4). Porušitev oslabiljenega prereza lahko razdelimo v več tipov. Če je razmerje med polnim in oslabiljenim prerezom manjše od razmerja med natezno trdnostjo in napetostjo tečenja, potem se naprej plastificira poln prerez, kar vodi v duktilen odziv konstrukcijskega elementa v nategu. Če je nosilnost v bočnem pritisku podobna nosilnosti oslabiljenega prereza, potem podaljšanje luknje omogočijo plastične deformacije, ki se razvijejo v oslabiljenem prerezu in v materialu pred vijakom (M112 na sliki 5). Če je razmerje med polnim in oslabiljenim prerezom veliko, potem so plastične deformacije omejene na oslabiljen prerez. V tem primeru je



Slika 3 • Porušeni preizkušanci (glej tudi sliko 4, 5)



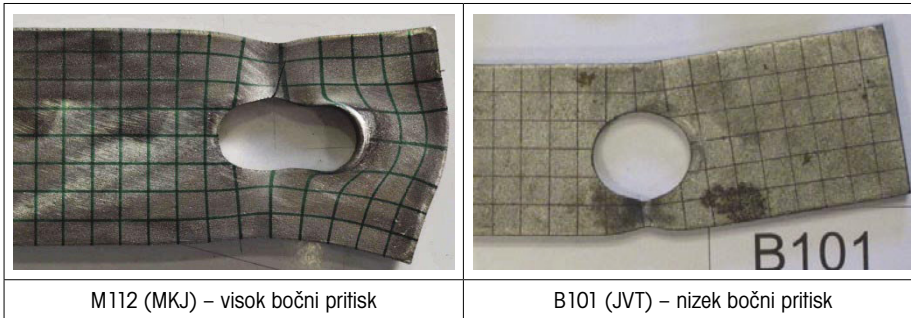
Slika 4 • Porušitve preizkušancev iz jekla kvalitete S235 in S690 (Može, 2010) z enako relativno geometrijo

nosilnost na bočni pritisk precej večja od nosilnosti oslabiljenega prereza (B101 na sliki 5), kar vodi v neduktilen odziv konstrukcijskega elementa.

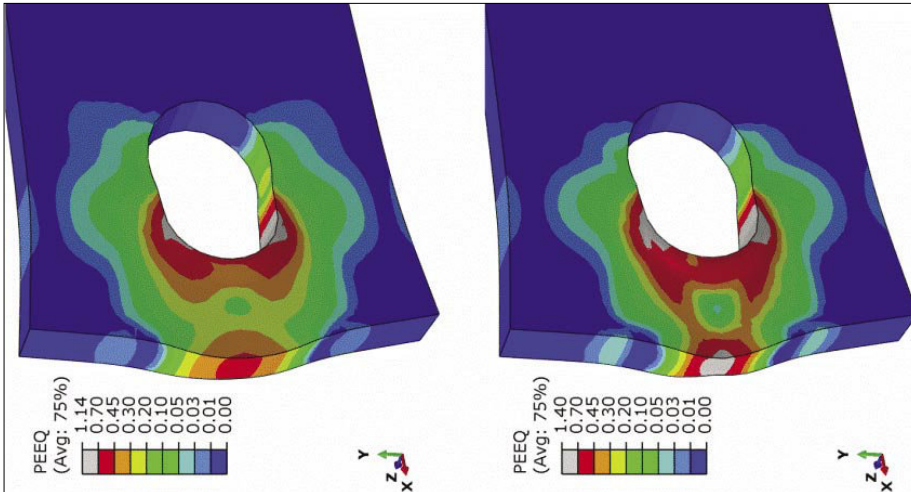
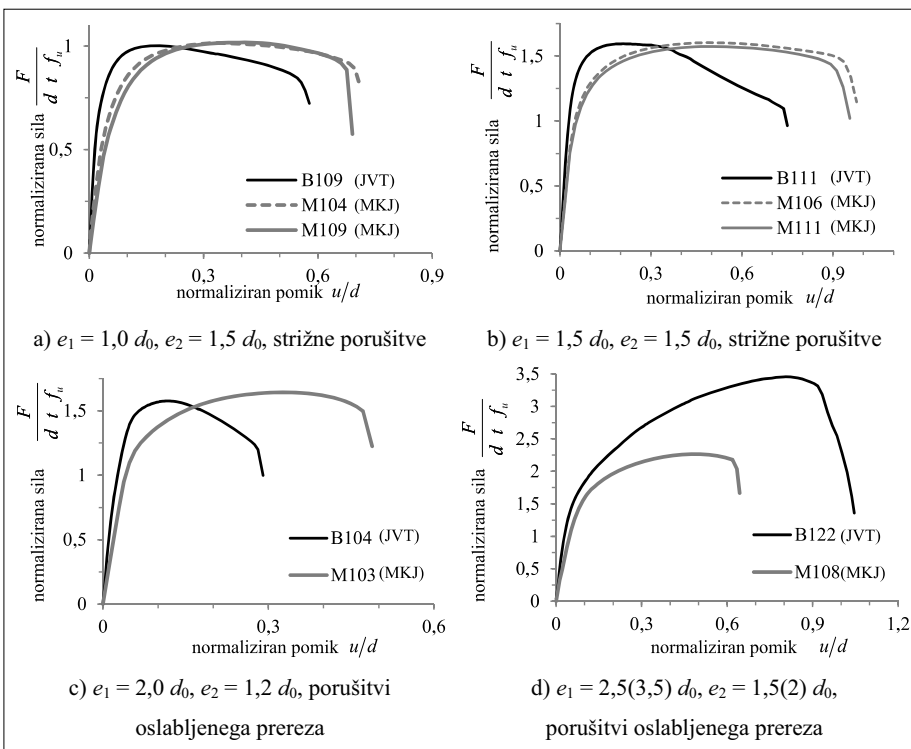
Slike 7 do 9 prikazujejo odziv spojev iz MKJ in JVT (Može, 2010) z enim vijakom. Abscise prikazujejo normiran pomik, to je pomik  $u$ , ki smo ga izmerili v testu (slika 2), deljen s premerom vijaka  $d$ . Ordinate pa prikazujejo normirano silo, ki je normirana s produktom dejanske natezne trdnosti  $f_w$  debeline pločevine  $t$  in premerom vijaka  $d$ . Na sliki 7 je relativna pozicija luknje pri MKJ in JVT enaka. Slike 8 in 9 prikazujejo odzive vseh spojev, ki so se porušili zaradi bočnih pritiskov. S teh slik je razvidno, da med MKJ in JVT praktično ni razlike v relativni nosilnosti, razlika pa se pokaže pri deformacijski kapaciteti. Krivulje za MKJ in JVT so bilinearne brez posebnega utrjevanja. Nosilnost je dosežena med 30 % in 50 % razpoložljive deformacijske kapacitete. Zadnji del krivulje po platoju je pri spojih iz JVT v primerjavi z MKJ ( $e_1 \leq 1.5 d_0$ ) približno linearen z negativnim gradientom. Padajoči del krivulje je pomemben pri spojih z več vijaki, saj omogoči prerazporeditev sil med vijake. Porušitev spojev iz MKJ smo zabeležili med  $0,7 d_0$  in  $1,0 d_0$  (slika 8), spoji iz JVT pa so se porušili med  $0,55 d_0$  in  $0,8 d_0$  (slika 9). Čeprav testov spojev iz MKJ z veliko robno razdaljo  $e_1$  nismo opravili, pričakujemo, da bi se obnašali vsaj tako kot spoji iz JVT.

	ime	tip porušitve	$F_{max}$ (kN)	$u(F_{max})$ (mm)
spoji z enim vijakom	M101	strižna porušitev	151	11,4
	M102	oslabljen prerez (visoki bočni pritiski)	192	13,7
	M103	oslabljen prerez	202	9,0
	M104	strižna porušitev	125	9,2
	M105	strižna porušitev	164	12,2
	M106	strižna porušitev/razkol	197	13,7
	M107	oslabljen prerez (visoki bočni pritiski)	283	20,5
	M108	oslabljen prerez	279	13,4
	M109	strižna porušitev	84	7,7
	M110	strižna porušitev	104	8,1
	M111	strižna porušitev	129	9,4
	M112	oslabljen prerez (visoki bočni pritiski)	182	14,7
	M113	oslabljen prerez	188	10,3
spoji z dvema vijakoma	M201	strižni iztrg vijakov	359	11,6
	M202	strižni iztrg vijakov	493	13,4
	M203	strižna porušitev/del oslabiljenega prereza	348	15,6
	M204	del oslabiljenega prereza	455	14,9
	M205	strižna porušitev	353	14,7
	M206	oslabljen prerez	469	16,3

Preglednica 2 • Rezultati testov



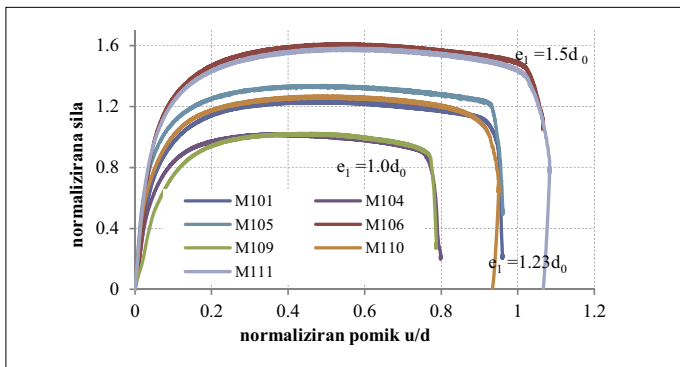
Slika 5 • Različna tipa porušitve oslabiljenega prereza

Slika 6 • Primerjalne plastične deformacije pri podaljšanju luknje  $0,5 d_0$  za S235 (levo) in S690 (desno). Geometrija pločevine:  $e_1 = 1,5 d_0$ ,  $e_2 = 1,5 d_0$ ,  $d_0 = 26$  mm,  $t = 12$  mm

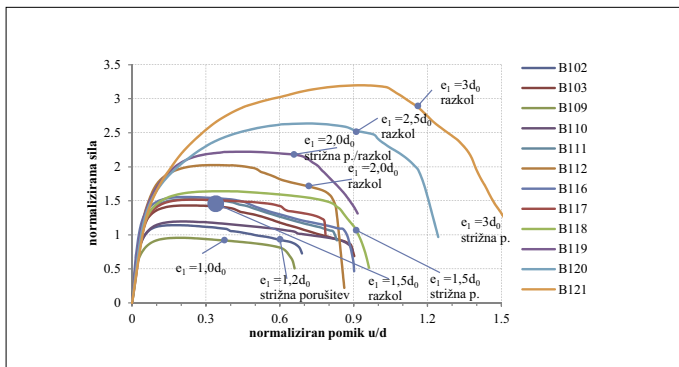
Slika 7 • Krivulje odziva (sila-pomik) za spoje iz MKJ in JVT v normirani obliki (vrednosti v oklepajih so za JVT)

Primerjava spojev iz MKJ in JVT na slikah 7 c–d pokaže, da je pri porušitvi oslabiljenega prereza odziv drugačen. Pomiki na sliki 7c so se v glavnem izvršili v oslabiljenem prerezu, medtem ko so pomiki na sliki 7d posledica deformacij zaradi bočnih pritiskov in tečenja polnega prereza. Slika 7d tudi prikazuje, da je spoj B122 iz JVT dosegel povprečni bočni pritisk  $3,5 f_u$ . Na sliki 7 je razliko opaziti tudi v začetni togosti spojev. Čeprav elastična togost ni odvisna od trdnosti materiala, spoji iz JVT izkazujejo višjo togost. Kot smo že pojasnili, se material pred vijakom plastificira že ob nizkem pritisku vijaka, saj material s tečenjem otopi konice napetosti, kar posledično vpliva na začetno togost.

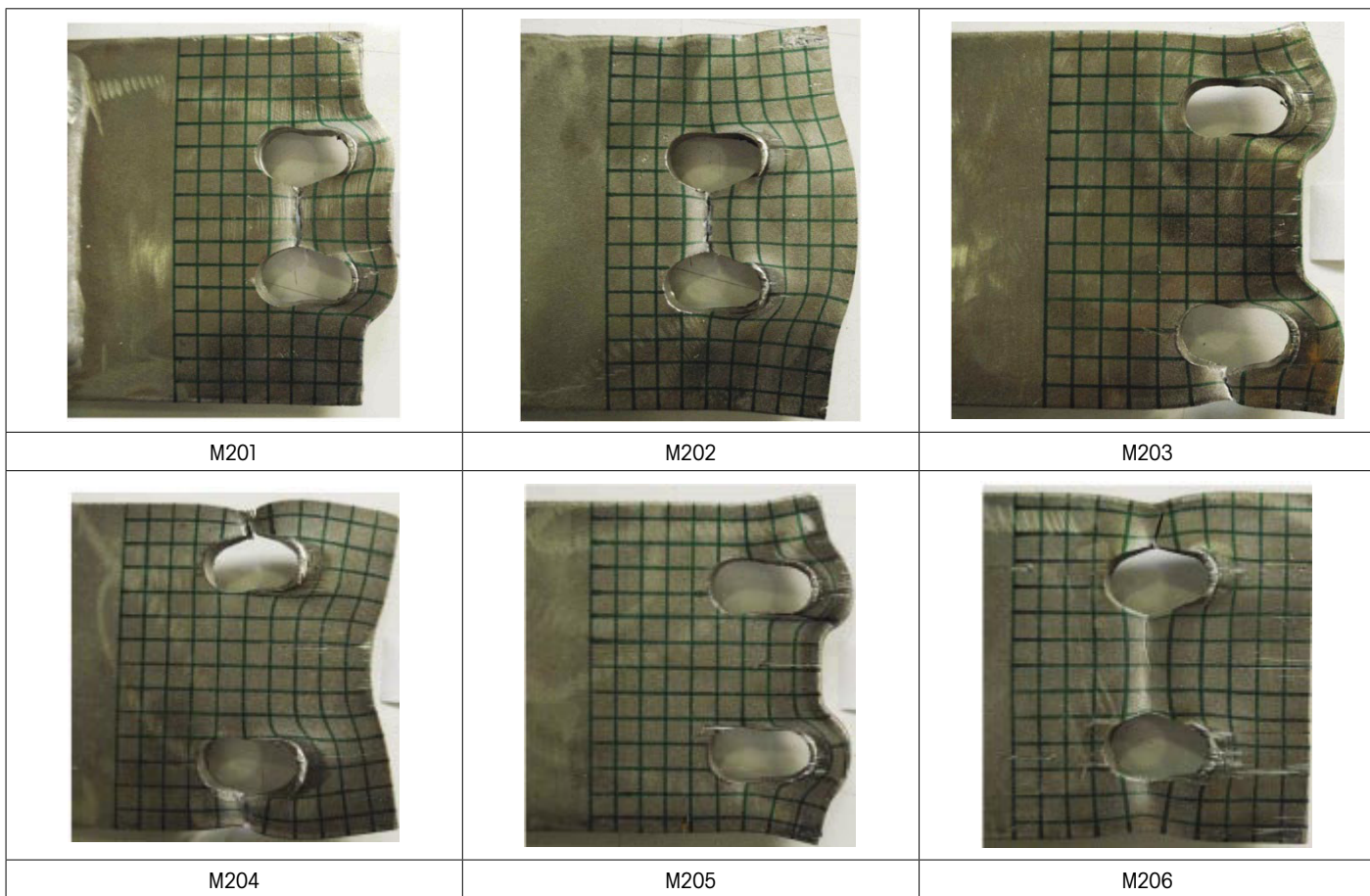
Geometrije šestih spojev z dvema vijakoma smo izbrali tako, da smo zajeli različne mehanizme porušitev (slika 10). Spoja M201 in M202 sta se porušila s strižnim iztrgom vijakov, pri M205 sta vijaka vsak zase razklala pločevino, pri spoju M206 pa se je pretrgal oslabiljen prerez. Zanimivi sta porušitvi spojev M203 in M204, kjer se je pretrgal le del oslabiljenega prereza. Če bi spoja M203 in M204 po dolgem prerezali, prezrcalili in ju staknili skupaj, bi ti porušitvi opisali kot porušitvi s strižnim iztrgom vijakov. Čeprav so vse porušitve tipične, pa ne smemo pozabiti, da sta M201 in M203 skoraj dosegli nosilnost oslabiljenega prereza.



Slika 8 • Krivulje odziva v normalizirani obliki za jeklo S235



Slika 9 • Krivulje odziva v normalizirani obliki za jeklo S690



Slika 10 • Porušitve preizkušancev z dvema vijakoma

#### 4 • NUMERIČNA PARAMETRIČNA ŠTUDIJA SPOJEV Z ENIM VIJAKOM

V okolju Abaqus v6.10 smo zasnovali relativno preprost numerični model spoja z enim vijakom (slika 11a), da bi s parametrično študijo analizirali napetostno stanje, ki nastane zaradi bočnih pritiskov. Spoj smo modelirali z deformabilno pločevino in s togim

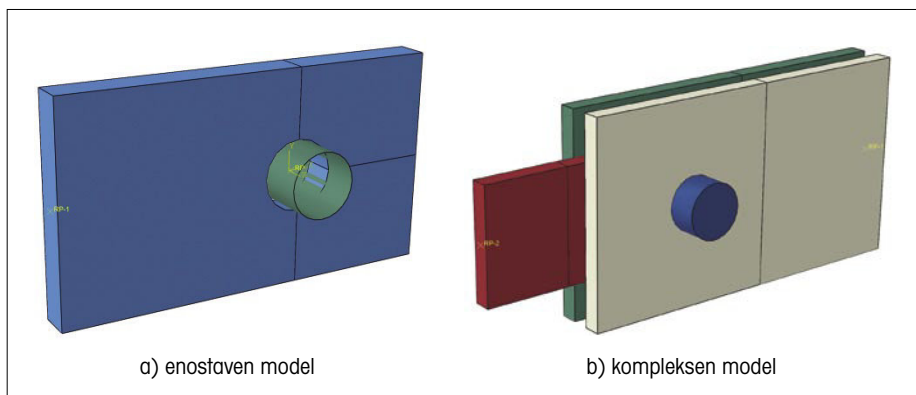
plaščem valja, ki predstavlja vijak. Preklopnih pločevin nismo upoštevali, saj bi to podaljšalo računski čas. Med pločevino in vijakom smo v normalni smeri definirali kontakt. Pločevino smo modelirali z osemvoziščnimi prostorski končnimi elementi z inkompatibilnimi

prostostnimi stopnjami (C3D8I). Ti elementi imajo boljše upogibno obnašanje kot osnovni osemvoziščni elementi z reducirano integracijo (C3D8R), hkrati pa so cenejši od kvadratičnih elementov z 20 vozlišči. Jeklu smo pripisali elasto-plastičen materialni model z Misesovim pogojem izotropičnega tečenja, ki je bil definiran z dejanskimi deformacijami in napetostmi, iz vrednotenimi s simulacijo standardnega nateznega testa (slika 12). Elastični

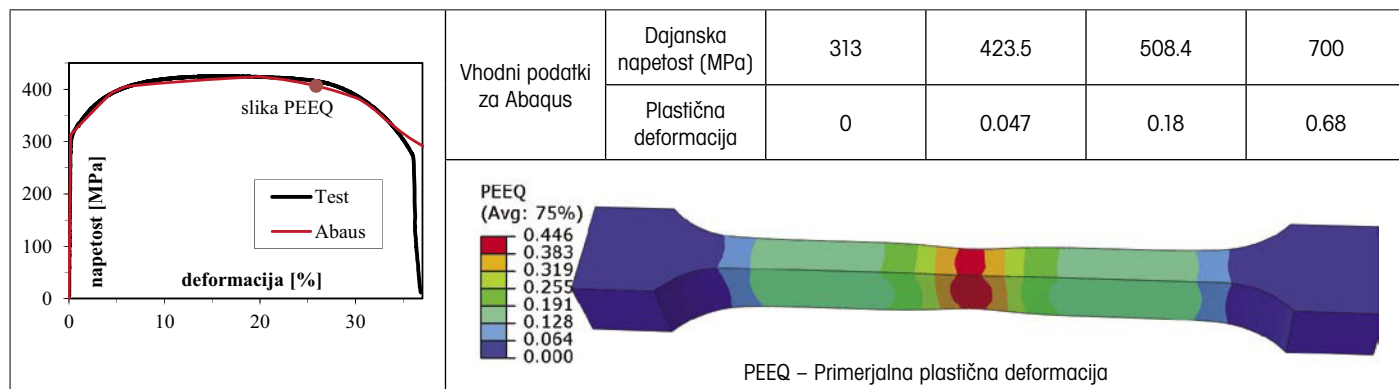
del je bil zajet z elastičnim modulom 210 GPa in koeficientom prečne kontrakcije 0,3.

Ustreznost preprostejšega numeričnega modela spoja smo preverili s kompleksnejšim modelom (slika 11b), v katerem smo zajeli preklopne pločevine in vse kontakte, ki nastopijo v spoju.

Na sliki 13 je prikazana primerjava med izračunanimi in izmerjenimi krivljami odziva za spoje z enim vijakom. Numerične krivulje so bile izračunane s preprostejšim numeričnim modelom in se dobro ujemajo s testom. Razlika se pojavi v začetnem delu krivulje, saj v analizah nismo zajeli začetnega zdrsa.



Slika 11 • Numerična modela



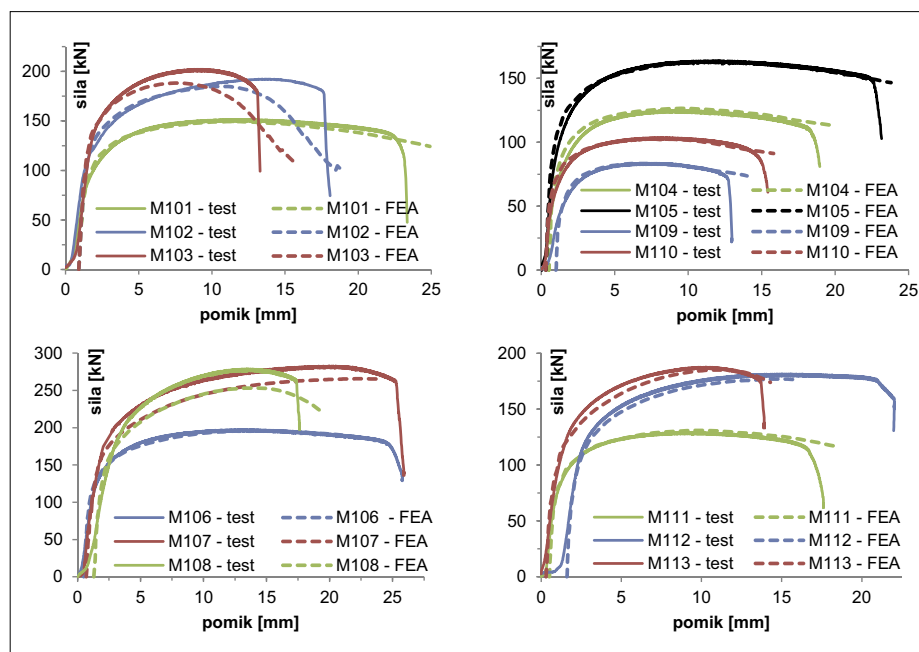
Slika 12 • Numerična simulacija standardnega nateznega testa in vhodni podatki za plastičen del materialnega modela za Abaqus

Odstopanje nastopi tudi pri spojih M102, M103, M107 in M108. Vsi ti spoji so se porušili v oslabiljenem prerezu, hkrati pa so razvili visoke bočne pritiske. Definicija numerično izračunane nosilnosti je trivialna, saj je izračun zajel tudi padajoči del krivulje. Primerjava preprostega in kompleksnejšega numeričnega modela je prikazana na sliki 14. Opazimo, da so preklopne pločevine pomembne prav pri spojih, kjer se razvijejo visoki bočni pritiski (M102, M107), saj preprečijo kopičenje materiala pred vijakom in s tem vsiljujejo ravninsko deformacijsko stanje (RDS). RDS v splošnem poveča togost v plastičnem območju in predstavlja zgornjo mejo odziva, ravninsko napetostno stanje (RNS) pa na račun togosti dopušča deformacije pločevine v smeri debeline in s tem predstavlja spodnjo mejo odziva. Eksperimentalni odziv je bil vedno nekje med RNS in RDS, pri nižjih bočnih pritiskih bliže RNS, višji bočni pritiski pa pričnejo ustvarjati RDS. Na sliki 14 je ta fenomen prikazan na primeru spoja M102, kjer sta prikazani krivulji odziva za čisti RNS in RDS.

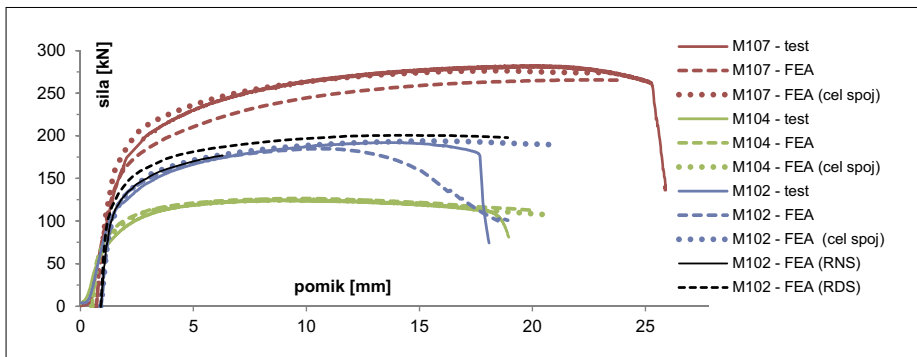
Slika 15 primerja numerično in eksperimentalno nosilnost. Korelacija med rezultati je 0,999, naklon regresije premice pa 1,04. S

tem zaključimo, da so numerični rezultati zanesljivi. Podobno zaključke lahko strnemo za spoje iz JVT (sliki 16, 17). Vpliv RDS na

nosilnost se pokaže pri spoju B120, kjer preprostejši numerični model ni približno ni ujel togosti v območju visokih bočnih pritiskov,



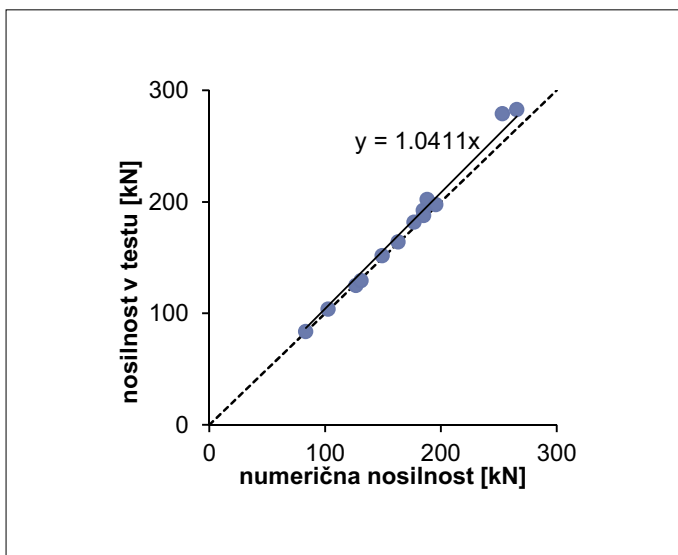
Slika 13 • Primerjava numeričnih (FEA) in eksperimentalnih krivulj odziva



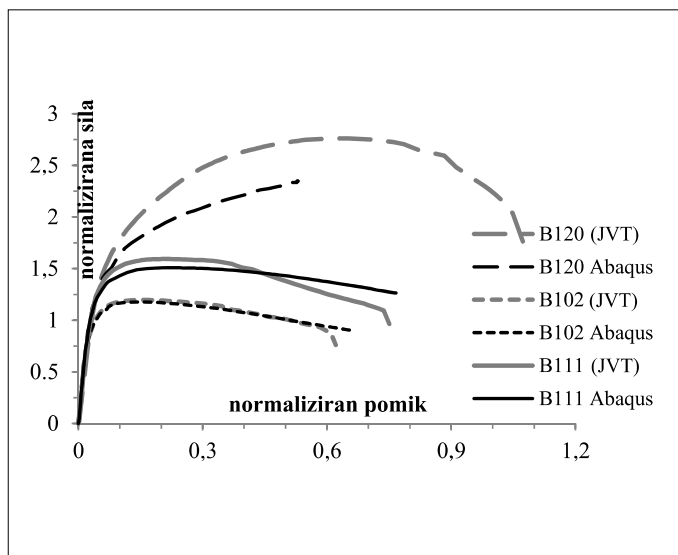
Slika 14 • Primerjava med različnimi numeričnimi modeli in testom

zaradi težav s konvergenco pa nosilnost ni bila dosežena.

V parametrično študijo je bilo vključenih 228 spojev (114 različnih geometrij in dva materiala). Geometrija spojev, normirana nosilnost in pomik pri doseženi nosilnosti so prikazani v preglednicah 3 in 4. V preglednicah je nosilnost normirana s produktom natezne trdnosti, debelino pločevine in premerom vijaka, pomik pri  $F_{max}$  pa predstavlja podaljšanje luknje. V analizi smo uporabili materialni model za MKJ S235 iz te preiskave in model za JVT S690 iz ((Može, 2010), (Može, 2011)). Upo-



Slika 15 • Primerjava numerične nosilnosti z eksperimentalno nosilnostjo



Slika 16 • Numerične in eksperimentalne krivulje odziva za spoje kvalitete S690 z enim vijakom (Može, 2010) v normalizirani obliki

B102	B111	B120
$e_1 = 1.2 d_0, e_2 = 1.2 d_0$	$e_1 = 1.5 d_0, e_2 = 1.5 d_0$	$e_1 = 2 d_0, e_2 = 2.5 d_0$
$t = 10 \text{ mm}, d_0 = 30 \text{ mm}, f_y = 847 \text{ MPa}, f_u = 885 \text{ MPa}$		

Slika 17 • Porušitve in osnovni podatki za preizkušance S690 (glej (Može, 2010))

rabljena materiala se razlikujeta v trdnosti in predvsem v duktilnosti, saj ima MKJ razmerje med natezno trdnostjo in napetostjo tečenja enako 1,36, medtem ko je pri JVT to razmerje le 1,05.

V študiji smo spreminjali naslednje parametre: premer vijaka  $d$ , debelino pločevine  $t$ , robno razdaljo  $e_1$  in robno razdaljo  $e_2$ . Pri izbranih robnih razdaljah  $e_1 / d_0 = 1,2; 1,5; 2; 3$  smo spreminjali robno razdaljo  $e_2 / d_0$ . Najkrajša izbrana robna razdalja  $e_2$  je bila tista, pri kateri je nosilnost oslabiljenega prereza približno enaka nosilnosti v bočnem pritisku (npr. slika 18b – oslabiljen prerez je polno plastificiran). Za krajše robne razdalje  $e_2$  je oslabiljen prerez vedno kritičen. Robno razdaljo smo povečevali, dokler nosilnost spoja ni pričela konvergirati k zgornji meji (slika 18a, c). Pri vseh spojih z geometrijo  $e_1 = 3 d_0$  in  $e_2 = 1,5 d_0$  se je oslabiljen prerez polno plastificiral, zato mora biti

S235 $f_y = 313 \text{ Mpa}$ $f_u = 425 \text{ Mpa}$		Normalizirana sila bočnega pritiska $F_{max}/(d \cdot t \cdot f_u)$						Pomik pri nosilnosti $F_{max}$ (mm)					
		M16 $d = 16 \text{ mm}$ $d_0 = 18 \text{ mm}$			M24 $d = 24 \text{ mm}$ $d_0 = 26 \text{ mm}$			M16 $d = 16 \text{ mm}$ $d_0 = 18 \text{ mm}$			M24 $d = 24 \text{ mm}$ $d_0 = 26 \text{ mm}$		
$e_1/d_0$	$e_2/d_0$	debelina pločevine $t$ (mm)						debelina pločevine $t$ (mm)					
		8	12	16	8	12	20	8	12	16	8	12	20
1,2	1,2	1,26	1,26	1,26	1,22	1,23	1,54	7,3	7,3	7,3	10,7	11,1	11,0
	1,5	1,29	1,29	1,30	1,26	1,26	1,58	7,6	7,4	7,5	11,1	10,8	10,8
	2	1,36	1,37	1,37	1,32	1,33	1,66	7,8	7,7	7,7	10,6	10,3	10,8
	3	1,39	1,39	1,40	1,35	1,35	1,70	6,9	7,0	8,0	10,3	10,2	10,1
	5	1,39	1,40	1,40	1,35	1,35	1,70	7,3	7,6	7,5	9,9	10,2	9,9
1,5	1,25	1,67	1,66	1,66	1,62	1,63	2,03	10,5	11,4	11,2	14,8	16,2	15,4
	1,5	1,65	1,65	1,65	1,60	1,61	2,01	9,1	9,1	9,2	14,3	13,3	14,3
	2	1,71	1,71	1,72	1,67	1,67	2,09	9,2	9,5	9,5	13,6	13,8	14,7
	3	1,79	1,79	1,80	1,74	1,74	2,18	9,6	9,6	9,8	13,2	13,9	13,2
	5	1,80	1,80	1,80	1,75	1,74	2,19	9,8	9,8	9,9	13,0	13,9	13,2
2	1,5	2,21	2,21	2,20	2,16	2,15	2,69	14,1	13,9	13,6	21,2	21,4	22,1
	2	2,21	2,21	2,20	2,16	2,16	2,69	11,9	11,9	12,0	18,4	18,9	18,2
	3	2,33	2,33	2,32	2,28	2,26	2,84	14,7	14,4	14,3	20,4	17,6	20,1
	5	2,38	2,38	2,37	2,32	2,32	2,89	13,2	13,2	13,1	19,5	19,0	18,5
3	1,5*	2,29	2,32	2,35	2,19	2,21	2,81	10,2	10,9	11,6	13,2	13,8	15,5
	2	3,02	3,03	3,02	2,95	2,76	3,71	20,2	22,1	23,5	26,4	17,1	30,0
	3	3,09	3,09	3,09	3,00	2,80	3,76	18,7	20,9	22,4	24,5	16,2	26,8
	5	3,21	3,20	3,22	3,14	2,83	3,95	18,5	19,3	22,2	25,7	15,7	29,5
	7	3,23	3,22	3,24	3,16	2,84	3,96	18,4	19,8	22,4	25,5	15,6	29,2

\* oslabljen prerez je polno plastificiran

Preglednica 3 • Rezultati parametrične študije za spoje z enim vijakom kvalitete S235

nosilnost teh spojev zajeta v kontroli oslabljenega prereza. Slika 18a prikazuje, da se pri povečanju robne razdalje za faktor 4 nosilnost poveča le za 10 %. To pomeni, da je nosilnost v bočnem pritisku skorajda neodvisna ob robne razdalje  $e_2$ , če je seveda ta razdalja dovolj velika, da prepreči porušitev oslabljenega prereza (glej tudi preglednici 3 in 4). Iz rezultatov parametrične študije zaključimo, da porušitev v razkolu predstavlja spodnjo mejo nosilnosti v bočnem pritisku, strižna porušitev pa zgornjo mejo (glej sliko 18a).

S690 $f_y = 796 \text{ Mpa}$ $f_u = 844 \text{ Mpa}$		Normalizirana sila bočnega pritiska $F_{max}/(d \cdot t \cdot f_u)$						Pomik pri nosilnosti $F_{max}$ (mm)					
		M16 $d = 16 \text{ mm}$ $d_0 = 18 \text{ mm}$			M24 $d = 24 \text{ mm}$ $d_0 = 26 \text{ mm}$			M16 $d = 16 \text{ mm}$ $d_0 = 18 \text{ mm}$			M24 $d = 24 \text{ mm}$ $d_0 = 26 \text{ mm}$		
$e_1/d_0$	$e_2/d_0$	debelina pločevine $t$ (mm)						debelina pločevine $t$ (mm)					
		8	12	16	8	12	20	8	12	16	8	12	20
1,2	1,2	1,15	1,15	1,16	1,11	1,12	1,13	2,9	3,0	2,9	3,5	3,8	3,5
	1,5	1,19	1,19	1,20	1,15	1,16	1,16	2,9	3,0	2,9	4,0	4,3	4,2
	2	1,23	1,23	1,24	1,20	1,21	1,20	3,1	3,1	3,0	4,8	4,7	4,5
	3	1,23	1,23	1,24	1,22	1,22	1,22	2,8	3,2	2,9	4,7	4,3	4,6
	5	1,24	1,25	1,25	1,22	1,22	1,23	2,9	2,8	2,9	4,3	4,3	4,1
1,5	1,25	1,44	1,45	1,45	1,41	1,41	1,42	3,7	3,8	3,2	5,4	5,2	5,3
	1,5	1,45	1,46	1,46	1,42	1,42	1,43	4,2	4,3	2,9	5,5	6,0	5,4
	2	1,51	1,51	1,51	1,48	1,48	1,47	5,2	5,3	3,6	7,6	7,6	7,2
	3	1,54	1,54	1,54	1,51	1,51	1,51	5,4	4,6	4,4	7,5	6,6	5,0
	5	1,55	1,55	1,55	1,52	1,51	1,52	5,3	4,5	4,3	7,0	6,6	5,2
2	1,5	1,90	1,88	1,87	1,87	1,85	1,84	9,1	8,8	8,8	12,2	11,9	11,9
	2	1,93	1,91	1,90	1,89	1,88	1,86	9,4	9,3	9,2	13,6	14,5	13,2
	3	2,00	1,98	1,96	1,97	1,95	1,93	10,1	10,2	10,0	15,1	14,7	14,9
	5	2,02	2,00	1,99	1,99	1,98	1,95	10,2	10,3	9,9	14,2	13,8	14,0
3	1,5*	2,21	2,25	2,26	2,10	2,14	2,18	12,8	15,2	16,8	15,7	18,0	22,9
	2	2,49	2,54	2,56	2,39	2,34	2,49	12,1	14,3	16,9	14,8	14,5	20,8
	3	2,47	2,54	2,56	2,38	2,33	2,48	11,9	14,3	16,4	14,5	14,0	20,2
	5	2,47	2,55	2,60	2,38	2,31	2,53	11,9	14,3	16,8	14,6	13,5	21,5
	7	2,47	2,56	2,61	2,39	2,32	2,53	11,8	14,2	16,7	14,6	13,7	20,9

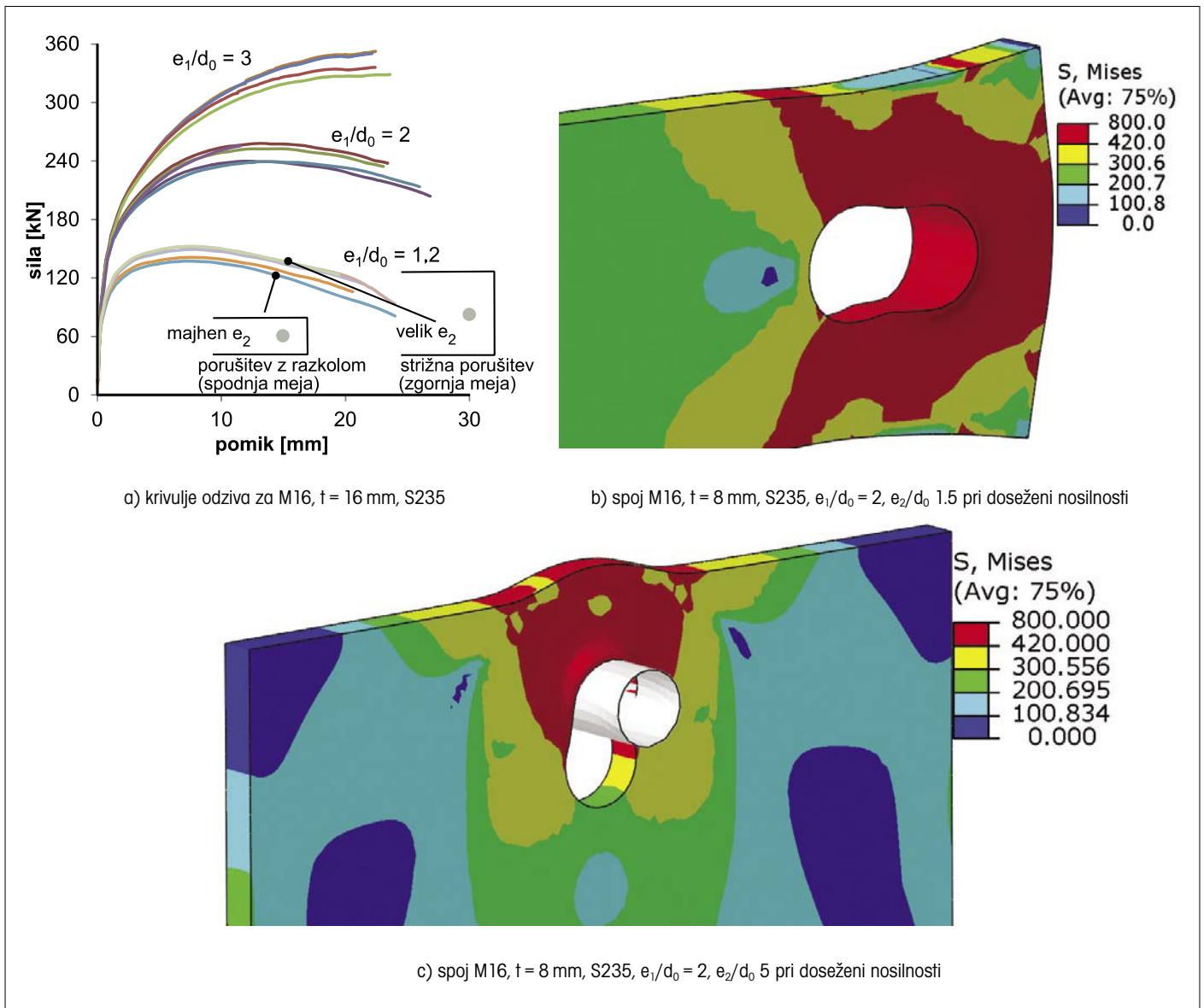
\* oslabljen prerez je polno plastificiran

Preglednica 4 • Rezultati parametrične študije za spoje z enim vijakom kvalitete S690

Analiza rezultatov parametrične študije je pokazala, da je numerični izračun pri spojih z robno razdaljo  $e_1/d_0 \leq 2$  vedno zajel padajoči del odziva. S tem je nosilnost  $F_{max}$  določena neposredno iz rezultatov. V primeru daljših robnih razdalj  $e_1/d_0 = 3$  je bila nosilnost definirana s platojem, ki je nastal pri velikem podaljšanju luknje (glej npr. krivulje za  $e_1/d_0 = 3$  na sliki 18a), saj so se analize prenehale zaradi težav s konvergenco, ki jo je povzročilo kopičenje materiala pred vijakom. Zato so rezultati analiz verodostojni

za  $e_1/d_0 \leq 2$ , medtem ko so nosilnosti za daljše robne razdalje precej na varni strani. To smo pokazali že s primerjavo festnih in numeričnih rezultatov na slikah 13 in 16. Rezultati spojev z daljšimi robnimi razdaljami so zato predstavljeni zgolj zaradi trenda. Teh rezultatov za MKJ ne moremo primerjati s testi, saj teh za takšne geometrije ni na voljo. Ne smemo pa pozabiti, da so spoji iz JVT dosegli bočne pritiske  $3,5 f_u$ , ki so nastali pri podaljšanju luknje za cel premer vijaka (sliki 7, 9).





Slika 18 • Krivulje odziva in polje Misesovih napetosti za izbrane spoje

## 5 • TEORETIČNI MODELI NOSILNOSTI V BOČNEM PRITISKU

### 5.1 Primerjava eksperimentalnih rezultatov s kontrolami nosilnosti v Evrokodu

Standarda SIST EN 1993-1-1 (CEN, 2005a) in SIST EN 1993-1-8 (CEN, 2005b) podajata več mejnih kontrol nosilnosti, ki ustrezajo mejni nosilnosti spojev z enim in dvema vijakoma. Podajamo samo kontrole nosilnosti v pločevini, saj nosilnost vijaka v predstavljeni študiji ni merodajna.

Mejna projektna nosilnost oslabiljenega prereza, ki velja za MKJ in JVT, je podana ob

predpostavki enakomerne napetosti v oslabiljenem prerezu:

$$F_{net,Rd} = \frac{0,9 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}} \quad (1)$$

Mejna projektna nosilnost v bočnem pritisku za en vijak pri kratkih robnih razdaljah  $e_1$  preprečuje iztrg vijaka iz pločevine, za daljše razdalje pa omeji povprečno napetost na  $2,5 f_u$  z namenom preprečitve prevelikega podaljšanja luknje za vijak:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b d \cdot t \cdot f_u}{\gamma_{M2}}, \quad (2)$$

kjer koeficienta  $k_1$  in  $\alpha_b$  upoštevata pozicijo vijaka in smer obtežbe:

- v smeri prenosa obtežbe

$$\alpha_b = \min \left( \alpha_d; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1 \right) \quad (3)$$

$$\alpha_d = \frac{e_1}{3d_0} \quad \text{za robne vijake} \quad (4)$$

$$\alpha_d = \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4} \quad \text{za notranje vijake} \quad (5)$$

- pravokotno na smer delovanja obtežbe

$$k_1 = \min\left(2, 8 \frac{e_2}{d_0} - 1, 7; 2, 5\right)$$

za robne vijake (6)

$$k_1 = \min\left(1, 4 \frac{p_2}{d_0} - 1, 7; 2, 5\right)$$

za notranje vijake (7)

Pri spoju z dvema vijakoma, ki sta postavljena pravokotno na smer obtežbe, moramo upoštevati, da lahko vijak zavzame pozicijo robnega ali notranjega vijaka. Zato je treba upoštevati manjšo izmed vrednosti enačb (6) in (7).

Interakcijo med vijakoma preverimo s projektno kontrolo strižnega iztrga vijakov  $V_{eff,Rd}$ . V obravnavanem primeru spoja je skupina vijakov obremenjena simetrično:

$$V_{eff,Rd} = \frac{A_{nt} f_u}{\gamma_{M2}} + \frac{A_{nv} f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} \quad (8)$$

Koeficienti, ki nastopajo v enačbah (1) do (8), so definirani kot:

$f_y, f_u, f_{ub}$  napetost tečenja pločevine, natezna trdnost pločevine in vijaka

$A_{net}$  oslabljen prerez

$e_v, p_1$  robna razdalja, razdalja med vijaki v smeri obtežbe

$e_2, p_2$  robna razdalja, razdalja med vijaki pravokotno na smer obtežbe

$d, d_0$  premer vijaka in luknje za vijak

$t$  debelina pločevine

$A_{nt}, A_{nv}$  oslabljen prerez v nategu, oslabljen prerez v strigu

$\gamma_{Mi}$  delni varnostni faktorji

Evrokod (CEN, 2005a) podaja tudi projektno nosilnost polnega prereza, ki pa ne predstavlja zloma materiala in tudi v nobenem izmed primerov ni merodajna.

V preglednici 5 so podane nosilnosti, dosežene v testu, z opisom porušitve in nosilnosti, izračunane po EC3, kjer je podana kritična oziroma merodajna kontrola. V izračunih so bile upoštevane dejanske vrednosti parametrov geometrije in materiala brez upoštevanja delnih varnostnih faktorjev. Opazimo, da EC3 večinoma pravilno opiše tip porušitve za spoje z enim vijakom (z izjemo M102, M103, M107 in M112), medtem ko pri spojih z dvema vijakoma edino spoja M2065 in M206 ustrezata dejanskim porušitvam. Čeprav so se spoji M102, M107, in M112 porušili v oslabljenem prerezu, so pred vijakom nastali veliki bočni pritiski, zato je

lahko tu merodajna tudi kontrola nosilnosti v bočnem pritisku, saj sta porušitev oslabljenega prereza in porušitev zaradi bočnih pritiskov zelo izenačeni. Na sliki 19 pa so prikazane eksperimentalne nosilnosti v odvisnosti od merodajne nosilnosti po EC3. Če je merodajna nosilnost oslabljenega prereza, potem je takšna porušitev tudi nastopila. Opozoriti velja, da implikacija v nasprotni smeri ne velja. Zato krogi, ki na sliki 19 predstavljajo rezultate nosilnosti oslabljenega prereza po EC3, skoraj popolno ležijo na

regresijski premici. Naklon premice  $b = 1,16$  nakazuje na to, da je koeficient 0,9 v kontroli oslabljenega prereza (1) odveč (glej tudi (Može, 2007), ki obravnava nosilnost oslabljenih prerezov). Diamanti na sliki 19 predstavljajo rezultate, kjer je bila merodajna nosilnost v bočnem pritisku. Povsem jasno je, da je za določeno skupino rezultatov ta kontrola na precej varni strani. Iz tega velja zaključiti, da kontrola nosilnosti v bočnem pritisku po EC3 ni osnovana na pravilnem modelu nosilnosti.

ime	test	kontrola nosilnosti po SIST EN 1993-1-8							
		tip porušitve	$F_{max}$ (kN)	bočni pritisk		$\Sigma F_b$ (kN)	$F_{net}$ (kN)	$V_{eff}$ (kN)	kritična kontrola
				$k_1$ $\alpha_b$	$F_b$ (kN)				
spoji z enim vijakom	M101	strižna porušitev	151	0.72	88	88	174		bočni pritisk
	M102	oslabljen prerez (visoki bočni pritiski)	192	0.87	107	107	174		bočni pritisk
	M103	oslabljen prerez	202	1.16	143	143	174		bočni pritisk
	M104	strižna porušitev	125	0.83	102	102	239		bočni pritisk
	M105	strižna porušitev	164	1.03	126	126	239		bočni pritisk
	M106	strižna porušitev/razkol	197	1.25	153	153	239		bočni pritisk
	M107	oslabljen prerez (visoki bočni pritiski)	283	1.67	204	204	239		bočni pritisk
	M108	oslabljen prerez	279	2.08	255	255	239		oslabljen prerez
	M109	strižna porušitev	84	0.83	68	68	165		bočni pritisk
	M110	strižna porušitev	104	1.02	83	83	165		bočni pritisk
	M111	strižna porušitev	129	1.25	102	102	165		bočni pritisk
	M112	oslabljen prerez (visoki bočni pritiski)	182	1.67	136	136	165		bočni pritisk
	M113	oslabljen prerez	188	2.08	170	170	165		oslabljen prerez
spoji 2 vijaka	M201	strižni iztrg vijakov	359	0.84	85	171	528	254	bočni pritisk
	M202	strižni iztrg vijakov	493	1.40	142	285	528	349	bočni pritisk
	M203	strižna porušitev/del oslabljenega prereza	348	0.87	89	177	418	259	bočni pritisk
	M204	del oslabljenega prereza	455	1.45	148	295	418	354	bočni pritisk
	M205	strižna porušitev	353	1.25	128	255	404	320	bočni pritisk
	M206	oslabljen prerez	469	2.08	213	425	404	415	oslabljen prerez

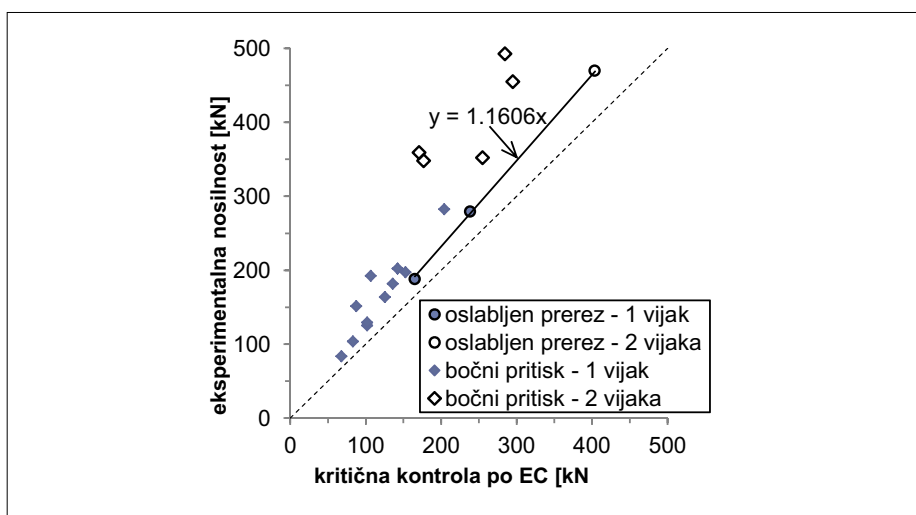
Preglednica 5 • Rezultati testov in nosilnosti po Evrokodu 3

Na slikah 20 in 21 so predstavljeni rezultati parametrične študije z vidika nosilnosti v bočnem pritisku in nosilnosti oslabiljenega prereza po EC3, ločeno za jeklo S235 in S690. Na sliki 20a so podane absolutne vrednosti nosilnosti, na sliki 20b pa normirane vrednosti. Na sliki 20a se razločno opazi skupino rezultatov, ki odstopajo na zgornjo stran regresijske premice. To skupino lahko identificiramo na sliki 20b, kjer se rezultati s kratkimi robnimi razdaljami  $e_2 < 1,5 d_0$  pomaknejo precej nad regresijsko premico z naklonom  $b = 1,299$ . Na sliki 20b so krogci, ki predstavljajo nosilnosti v bočnem pritisku, združeni v navpične linije. Zaradi formulacije modela nosilnosti v bočnem pritisku vsaka izmed linij predstavlja konstantno robno razdaljo  $e_1$ . Spodnji krogec predstavlja porušitev z razkolom, zgornji pa čisto strižno porušitev oziroma širina pločevine narašča od spodaj navzgor (glej tudi 18). Za robno razdaljo  $e_1 < 3 d_0$  je razlika v nosilnosti med spodnjim in zgornjim krogcem majhna. Nosilnost je omejena na  $2,5 f_u$  za spoje z robno razdaljo  $e_1 \geq 3 d_0$  (glej tudi enačbo (2)). Vsi numerični rezultati za spoje iz MKJ so dosegli nosilnost, višjo od  $2,5 f_u$ , čeprav so se analize končale zaradi težav s konvergenco. Ker je poleg tega tudi primerjava z eksperimentalnimi rezultati pokazala, da so numerični rezultati za daljše robne razdalje  $e_1$  vedno precej na varni strani, teh rezultatov ne smemo upoštevati kot verodostojnih. Podobni zaključki veljajo za spoje iz JVT na sliki 21. Pri teh spojih je razlika med porušitvijo z razkolom in čisto strižno porušitvijo manjša. Nižji je tudi naklon regresijske premice ( $b = 1,091$ ), nosilnost pa je malenkost nižja, kar razberemo tudi iz testov.

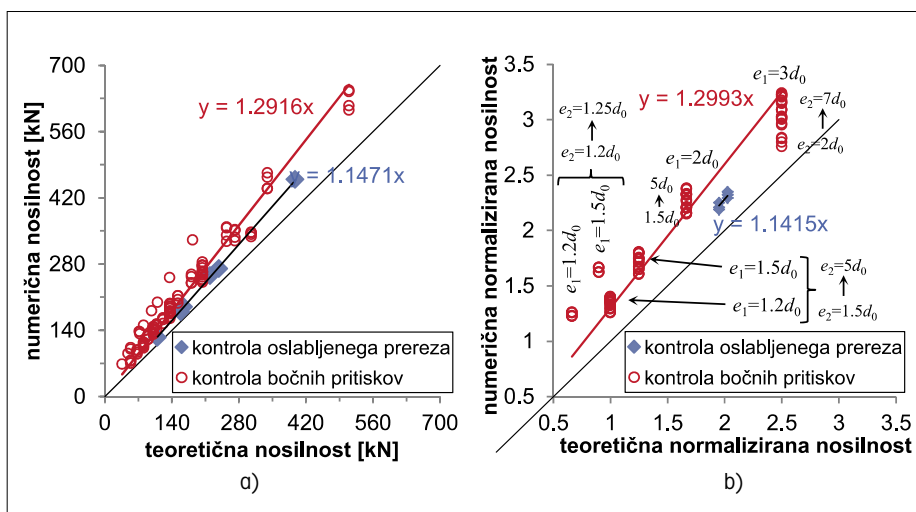
Za šest rezultatov je kritična kontrola nosilnosti oslabiljenega prereza. Ti rezultati so označeni v preglednicah 3 in 4, na slikah 20 in 21 pa so označeni z diamanti, ki ležijo zelo blizu ali celo na regresijski premici. Glede na naklon premice tudi tu opazimo, da bi lahko v enačbi (1) koeficient 0,9 povečali na 1.

## 5.2 Spremenjeni modeli nosilnosti z vidika Evrokoda

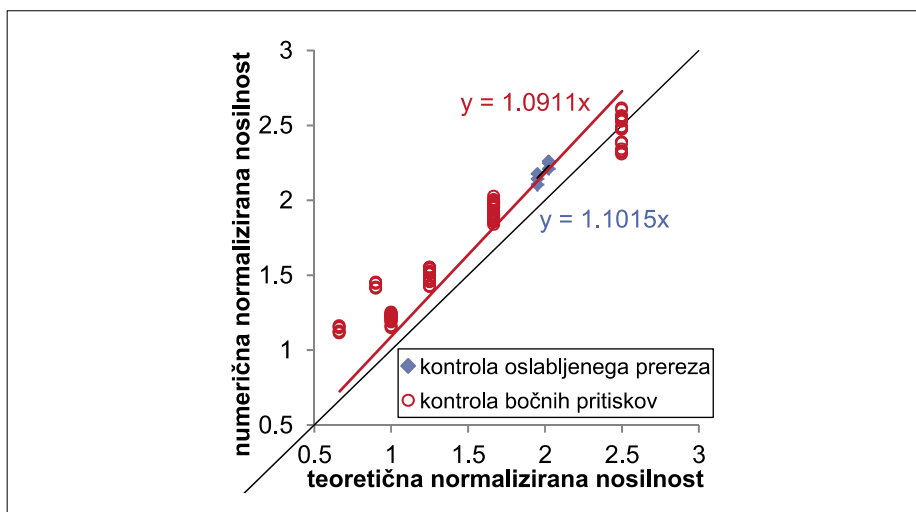
Bočni pritisk povzroči velike tlačne glavne napetosti v bližini kontakta med vijakom in pločevino (slika 22). Pločevina tlakom nasprotuje z nateznim lokom, ki se tvori v pločevini okoli vijaka (sliki 22 b, d) in se sidra v oslabiljenem prerezu. Zaradi majhne površine kontakta se v pločevini razvijejo visoke tlačne napetosti (sliki 22 a, c), ki povzročijo tečenje materiala že pri nizki obremenitvi. Razpoka se odpre v temenu nateznega loka ali v



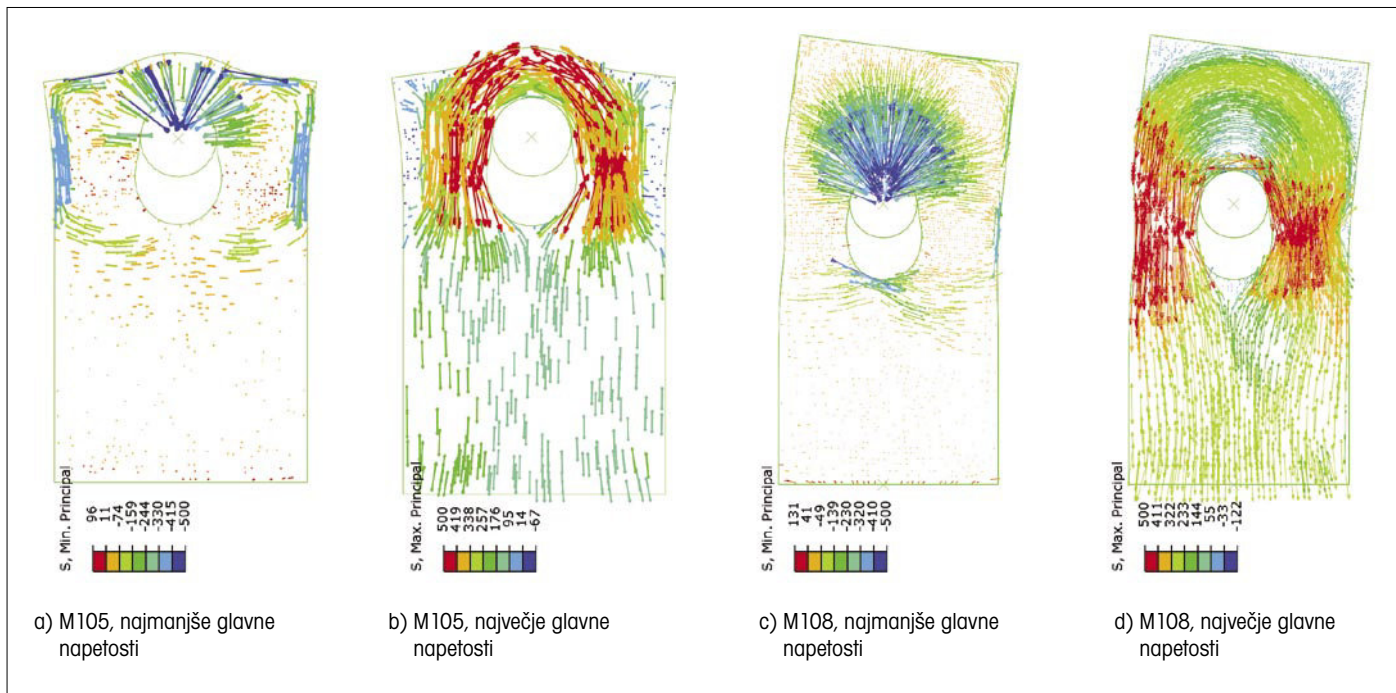
Slika 19 • Kontrole nosilnosti po Evrokodu 3 v primerjavi z rezultati testov



Slika 20 • Kontrole nosilnosti Evrokoda 3 v odvisnosti od numeričnih nosilnosti za jeklo S235



Slika 21 • Kontrole nosilnosti Evrokoda 3 v odvisnosti od numeričnih nosilnosti za jeklo S690



Slika 22 • Glavne napetosti pri doseženi nosilnosti

strižni ravnini (slika 4). Razvoj polne nosilnosti v bočnem pritisku lahko omejuje prekratka robna razdalja  $e_2$  ali prekratka razdalja med vijaki  $p_2$ . Zato se visoke napetosti ne razvijejo v nateznem loku, ampak nekje drugje, s čimer nastane porušitev drugega tipa, kot na primer porušitev oslabiljenega prereza (slika 22d) ali strižni iztrg vijakov. Te porušitve pa so zajete v drugih kontrolah nosilnosti.

Čeprav je dejansko napetostno polje kompleksno, ga lahko dobro opišemo s povprečnim bočnim pritiskom, ki nastane pred vijakom. Utrjevanje jekla in prostorsko napetostno stanje dovolita nastanek napetosti, ki so višje od napetosti tečenja. Takšen pristop je uporabljen v različnih standardih, na primer ((CEN, 2005b), (AISC, 2010)). Osnovna parametra, ki opredelita nosilnost v bočnem pritisku sta robna razdalja  $e_1$  in natezna trdost pločevine. Evrokod 3 (CEN, 2005b) v nosilnosti v bočnem pritisku upošteva tudi robno razdaljo  $e_2$  in razdaljo med vijaki  $p_2$ , ki sta pravokotni na smer obtežbe. Ta parameter je bil v osnovi dodan modelu verjetno zaradi posredne kontrole nosilnosti oslabiljenega prereza in strižnega iztrga. Pokazali pa smo, da ta parameter nesmiselno znatno zniža nosilnost v bočnem pritisku.

Tu predpostavljeni model nosilnosti je konceptualno enak osnovnemu modelu v Evrokodu, vendar je preprostejši in manj konservativen kot trenutno pravilo. Pomembno je tudi vedeti, da je bila kontrola nosilnosti v EC3 statistično

ovrednotena brez koeficienta  $k_1$  (glej enačbi (6), (7)). Predlagano je bilo tudi, da redukcija nosilnosti zaradi kratkih robnih razdalj ni potrebna, vendar je bil koeficient  $k_1$  vključen v končno formulo nosilnosti samo zaradi pomanjkanja eksperimentalnih rezultatov (Snijder, 1988a). Poleg tega je v spremljajočem dokumentu k Evrokodu (Snijder, 1988b) navedeno, da bi bila lahko kontrola nosilnosti v bočnem pritisku za jekla kvalitete S235 manj konservativna (rezultati so takrat obstajali večinoma le za S235).

Spremenjeni model nosilnosti upošteva, da je povprečna nosilnost v bočnem pritisku linearno odvisna od robne razdalje  $e_1$  in razdalje med vijaki  $p_1$ , ne upošteva pa razdalj pravokotno na smer obtežbe. Zato lahko definiramo, da ima nosilnost v bočnem pritisku lokalni značaj. Nosilnost pločevine v bočnem pritisku tako definiramo kot:

$$F_b = k_B \alpha_d \cdot t \cdot d \cdot f_u, \quad (9)$$

kjer koeficienti  $k_B$  in  $\alpha_d$  upoštevajo kvaliteto pločevine in geometrijske parametre:

$$\alpha_d = \frac{e_1}{d_0} \quad \text{za robne vijake} \quad (10)$$

$$\alpha_d = \frac{p_1}{d_0} - \frac{3}{4} \quad \text{za notranje vijake} \quad (11)$$

$$k_B = \begin{cases} 1,0; & \text{za S235} \\ 0,9; & \text{za S690} \end{cases} \quad (12)$$

Če upoštevamo, da robna razdalja  $e_2$  in razdalja  $p_2$  ne vplivata na bočni pritisk ( $k_1 = 2,5$ ), potem bi bila ob upoštevanju vrednosti iz Evrokoda vrednost koeficienta  $k_B$  enaka  $2,5 / 3 = 0,83$ . Iz enačbe (12) sledi, da vrne spremenjeni model nosilnosti 17 % višjo vrednost za S235 in 7 % višjo za S690. Če so robne razdalje krajše od  $e_2 < 1,5 d_0$ , potem so vrednosti pri spremenjenem modelu še višje. Za notranji vijak lahko vrednost za  $\alpha_d$  (11) izpeljemo neposredno iz enačb (5) in (6):

$$2,5 \left( \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4} \right) = \frac{2,5}{3} \left( \frac{p_1}{d_0} - \frac{3}{4} \right). \quad (13)$$

Enačba (11) je tu predstavljena samo zaradi celovitosti rešitve. Vpliv razdalje med vijaki je še predmet raziskave.

Poleg nosilnosti v bočnem pritisku spreminimo tudi nosilnost oslabiljenega prereza. V (Može, 2007) je predstavljeno, da lahko nosilnost oslabiljenega prereza tvorimo kot:

$$F_{net,Rd} = \frac{A_{net} f_u}{\gamma_{M2}} \quad (14)$$

S takšno definicijo bo kontrola oslabiljenega prereza kritična le za spoje, ki razvijejo na-

petost  $f_u$  po celotnem oslavljenem prerezu, in ne tudi za porušitev z razkolom, ki doseže skoraj polno nosilnost v oslavljenem prerezu. Porušitev z razkolom bi morala biti zajeta z enačbo (9).

Pokazali smo, da je v primeru naših spojev nosilnost strižnega iztrga vijakov po EC3 zelo konservativna. Zato to nosilnost spremenimo po zgledu ameriškega standarda AISC (AISC, 2010) in jo v Evrokodovi terminologiji zapišemo kot:

$$V_{eff} = \min\left(\frac{f_u}{\sqrt{3}} A_{nv}; \frac{f_y}{\sqrt{3}} A_{gv}\right) + f_u A_{nt}, \quad (15)$$

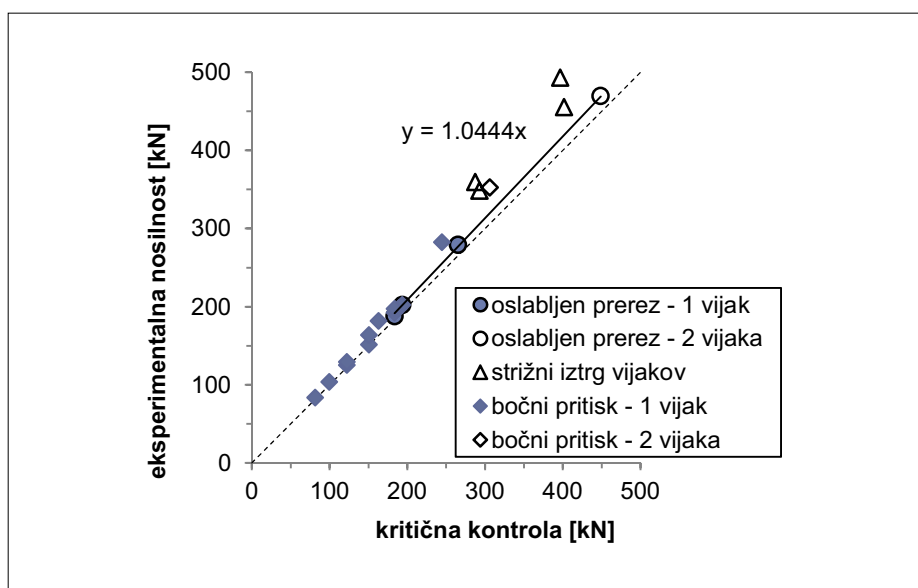
kjer je  $A_{gv}$  poln prerez v strigu.

V preglednici 6 so navedeni rezultati testov in nosilnosti, izračunane po spremenjenih modelih nosilnosti, podanih v enačbah (9), (14) in (15). Kritična kontrola nosilnosti se po spremembah modelov nosilnosti ujema z dejansko porušitvijo. Na sliki 23 je prikazana odvisnost med spremenjenimi teoretičnimi modeli nosilnosti in testi, kjer so rezultati ločeni glede na kritični teoretični model nosilnosti in na število vijakov. Diamanti označujejo kontrolo nosilnosti v bočnem pritisku in so poravnani blizu simetrale diagrama brez večjega raztrosa. Krogci podobno kot na sliki 19 ležijo blizu regresijske premice, le da je tu naklon premice nižji  $b = 1,04$ . Najbolj izmed vseh rezultatov so raztreseni trikotniki, ki predstavljajo kontrolo strižnega iztrga vijakov, vendar je raztros manjši kot na sliki 19. Če te rezultate, ki so izračunani po ameriškem AISC-modelu nosilnosti na strižni iztrg (15), primerjamo z Evrokodovo kontrolo (8), zaznamo, da AISC podaja boljše rezultate. Zanimivo je, da je v primeru spojev M201 in M203 nosilnost v bočnem pritisku (9) 12 % in 15 % nižja od nosilnosti, dosežene v testu. Spoja sta se porušila s strižnim iztrgom vijakov, vendar je bil bočni pritisk blizu svoje mejne nosilnosti oziroma blizu porušitve z razkolom. Iz tega sklepamo, da spremenjeni model nosilnosti v bočnem pritisku predstavlja spodnjo mejo nosilnosti (informacije o spodnji meji so prikazane na sliki 18a)

Na sliki 24 je predstavljena spremenjena kontrola nosilnosti v bočnem pritisku (9) za 31 testov spojev z enim vijakom iz JVT, ki so plod preiskav različnih avtorjev ((Kim, 1999), (Aalberg, 2001), (Aalberg, 2002), (Rex, 2003)). Naši testi so podrobneje predstavljeni v (Može, 2010), na sliki 24 pa so podani samo spoji, ki so se porušili v bočnem pritisku. V (Rex, 2003) so zabeležili vihanje pločevin, ki znižuje nosilnost v bočnem pritisku. Teh rezultatov na

ime	test		spremenjene kontrole nosilnosti						
	tip porušitve	$F_{max}$ (kN)	bočni pritisk		$\Sigma F_b$ (kN)	$F_{net}$ (kN)	$V_{eff}$ (kN)	kritična kontrola	
			$k_B$ $\alpha_d$	$F_b$ (kN)					
spoji z enim vijakom	M101	strižna porušitev	151	1,23	151	151	194		bočni pritisk
	M102	oslavljen prerez (visoki bočni pritiski)	192	1,50	184	184	194		bočni pritisk
	M103	oslavljen prerez	202	2,00	245	245	194		oslavljen prerez
	M104	strižna porušitev	125	1,00	122	122	265		bočni pritisk
	M105	strižna porušitev	164	1,23	151	151	265		bočni pritisk
	M106	strižna porušitev/razkol	197	1,50	184	184	265		bočni pritisk
	M107	oslavljen prerez (visoki bočni pritiski)	283	2,00	245	245	265		bočni pritisk
	M108	oslavljen prerez	279	2,50	306	306	265		oslavljen prerez
	M109	strižna porušitev	84	1,00	82	82	184		bočni pritisk
	M110	strižna porušitev	104	1,22	100	100	184		bočni pritisk
	M111	strižna porušitev	129	1,50	122	122	184		bočni pritisk
	M112	oslavljen prerez (visoki bočni pritiski)	182	2,00	163	163	184		bočni pritisk
	M113	oslavljen prerez	188	2,50	204	204	184		oslavljen prerez
spoji 2 vijaka	M201	strižni iztrg vijakov	359	1,50	153	306	587	288	strižni iztrg
	M202	strižni iztrg vijakov	493	2,50	255	510	587	397	strižni iztrg
	M203	strižna porušitev/ del oslavljenega prereza	348	1,50	153	306	464	293	strižni iztrg
	M204	del oslavljenega prereza	455	2,50	255	510	464	402	strižni iztrg
	M205	strižna porušitev	353	1,50	153	306	449	354	bočni pritisk
	M206	oslavljen prerez	469	2,50	255	510	449	463	oslavljen prerez

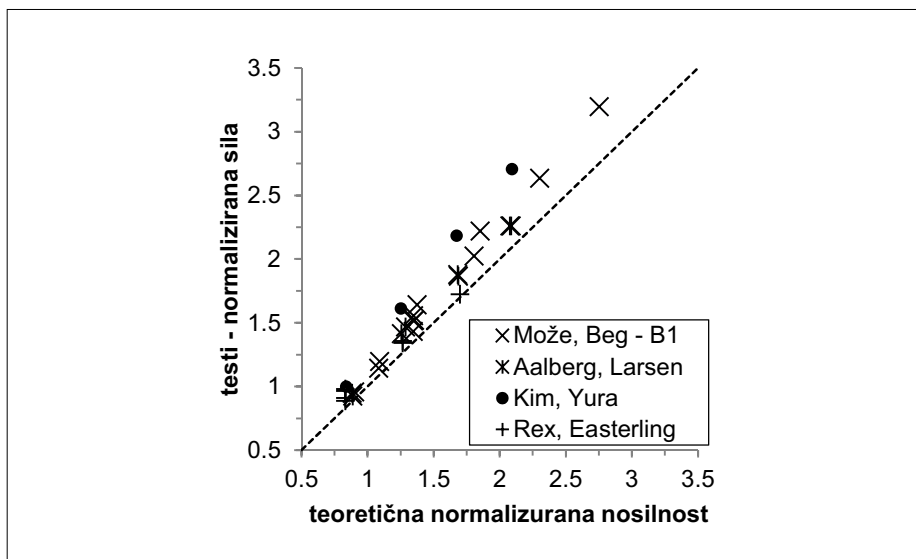
Preglednica 6 • Rezultati testov in spremenjene kontrole nosilnosti



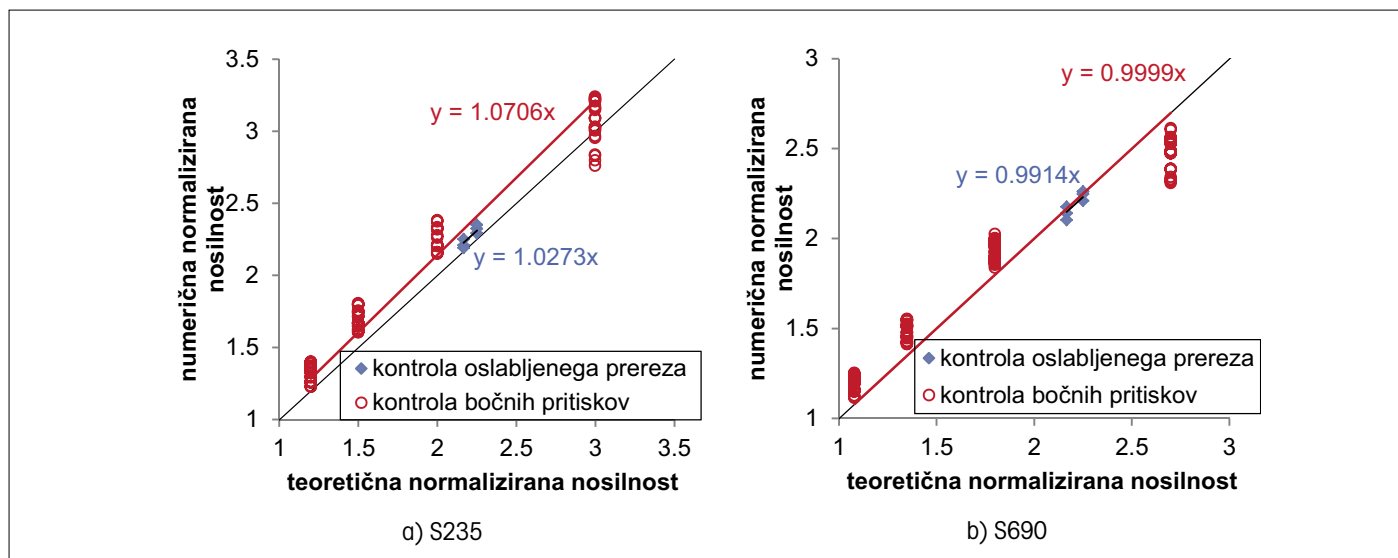
Slika 23 • Spremenjene kontrole nosilnosti v primerjavi z rezultati testov

sliki 24 ne prikazujemo. Vsi rezultati so nad simetralo (»varna stran«). Na diagramu so zabeležene normirane nosilnosti, z najvišjo nosilnostjo  $3,2 f_{lv}$  doseženo pri porušitvi z razkolom.

Na sliki 25 so prikazani rezultati parametrične analize, ločeno za S235 in S690. Krogi označujejo rezultate, kjer je kritična kontrola nosilnost v bočnem pritisku. Vsi ležijo nad simetralo, razen rezultatov, kjer je robna razdalja  $e_1 = 3 d_0$ . Za te spoje smo zaključili, da niso pomembni, saj numerični model pri daljših robnih razdaljah  $e_1$  ne ustreza dejanskemu odzivu pločevin.



Slika 24 • Spremenjene kontrole nosilnosti v primerjavi z rezultati testov za JVT iz literature



Slika 25 • Spremenjeni kontroli nosilnosti v odvisnosti od numeričnih nosilnosti za jekli S235 in S690

## 6 • DISKUSIJA

V preklonih spojih z vijaki v strigu se razvijejo visoke napetosti zaradi bočnega pritiska vijaka na pločevino. Pri obravnavi vijaka predpostavimo, da upogib ni pomemben in da celotno obremenitev prevzamejo strižne napetosti v strižni ravnini. Tak model poenostavi obravnavo vijaka, saj je strižna nosilnost vijaka s kontrolo nosilnosti dobro ovrednotena. Nosilnost pločevine pa je odvisna od njene geometrije in trdnosti materiala. V dobro zasnovanem spoju vijaki ne predstav-

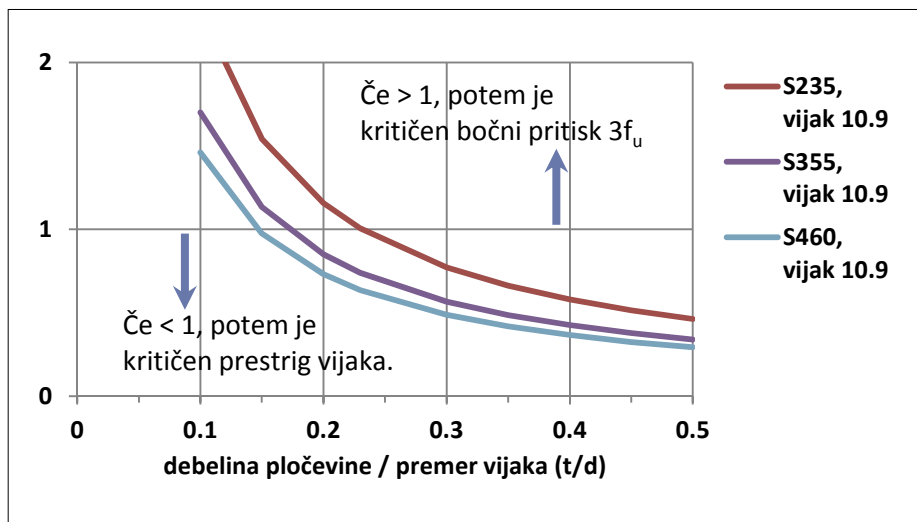
ljajo šibkega člena. Če je dejanska nosilnost pločevine v bočnem pritisku višja, kot jo upoštevamo v izračunu, potem se dejanski odziv spoja razlikuje od predpostavljenega. Zato moramo pravilno razumeti nosilnost v bočnem pritisku. Pomembno je razumeti, da bočni pritisk povzroči lokalno porušitev, saj plastično deformira material pred vijakom. Nosilnost v bočnem pritisku pa je odvisna od natezne trdnosti pločevine in robne razdalje  $e_1$  oziroma od razdalje med vijaki v smeri

obtežbe  $p_1$  in je praktično neodvisna od razdalj pravokotno na smer obtežbe. V spojih z več vijaki lahko porušitev zaradi bočnih pritiskov nastane pred enim vijakom ali pred več vijaki hkrati (Može, 2011).

Pokazali smo, da spremenjeni model nosilnosti v bočnem pritisku zelo dobro ustreza testnim rezultatom tako za MKJ kot za JVT. Kontrola nosilnosti je definirana v smislu, da je porušitev v bočnem pritisku lokalna, kar pomeni, da je neposredno odvisna le od volumna in kvalitete materiala pred vijakom. Parametrična študija je pokazala, da je nosilnost pri kratkih robnih razdaljah (ozke pločevine) vedno zajeta s kontrolo nosilnosti

oslabljenega oziroma polnega prereza in da pri širokih pločevinah nosilnost v bočnem pritisku konvergira k zgornji vrednosti. Zato smo se osredotočili na robne razdalje, ki povzročijo mešano porušitev, kjer je nosilnost oslabljenega prereza približno enaka nosilnosti v bočnem pritisku. Temu tipu porušitve ustreza porušitev z razkolom, ki predstavlja spodnjo mejo nosilnosti v bočnem pritisku. Zgornja meja je le približno 10 % višje od spodnje, zato spremenjena kontrola nosilnosti ni preveč konservativna.

V spremenjenem modelu nosilnosti nismo definirali zgornje meje za bočni pritisk, ki je pomembna pri pločevinah z dolgimi razdaljami med vijaki  $p_1$  ali dolgo robno razdaljo  $e_1$ . Vprašajmo se, ali je omejitev bočnih pritiskov potrebna. V odgovoru na to vprašanje moramo upoštevati vse možne porušne mehanizme. Če zgornjo mejo postavimo prenizko, potem lahko najprej odpove vijak, vendar šele pri preobremenitvi spoja. Ta situacija zato ni skrb vzbujajoča, saj se pred porušitvijo luknje dovolj podaljšajo, da se obtežba prerazporedi med skupino vijakov. To je seveda res, če meja ni postavljena v nominalno elastičnem odzivu spoja. Če zgornja meja ni podana, potem jo definira strižna nosilnost vijaka. Primerna zgornja meja bi bila  $3 f_u$ , pa čeprav smo izmerili tudi višjo nosilnost. Iz predlagane kontrole za nosilnost v bočnem pritisku sledi, da povprečni bočni pritisk, enak  $3 f_u$ , nastane, če je  $p_1 = 3,75 a_0$  ali  $e_1 = 3 a_0$ . V tem primeru je nosilnost v bočnem pritisku v primerjavi s strižno nosilnostjo vijaka le redko kritična. Na sliki 26 prikazujemo, da je nosilnost v bočnem pritisku kritična le v primeru tankih pločevin, ko je debelina pločevine manjša od približno četrtine premera vijaka za jeklo S235. Pri jeklu



Slika 26 • Strižna nosilnost vijaka kot zgornja omejitev nosilnosti v bočnem pritisku za dve strižni ravnini

boljše kvalitete morajo biti pločevine še tanjše. Krivulje na sliki 26 izvirajo iz pogoja, da je strižna nosilnost vijaka preko dveh strižnih ravnin ( $m = 2$ ) manjša ali enaka nosilnosti pločevine v bočnem pritisku:

$$mF_v \leq F_b$$

$$m \cdot \alpha_v \cdot f_{ub} \frac{d^2}{4} \leq 3 \cdot d \cdot t \cdot f_u$$

$$\frac{m \cdot \alpha_v \cdot f_{ub}}{12} \cdot \frac{d}{f_u} \cdot \frac{d}{t} \leq 1$$

Omejitev bočnih pritiskov je smiselna le v primerih, ko podaljšanje luknje za vijak vpliva na deformacije elementa v mejnem stanju uporabnosti (MSU). Primerno omejitev bočnega pritiska pri delovni obtežbi bi lahko predstavljala napetost, enaka 80 % mejnega

bočnega pritiska, vendar ne več kot  $2 f_u$ . Ker so krivulje odziva za kratke robne razdalje  $e_1$  izrazito bilinearne, bi v primeru kratkih razdalj meja 80 % mejnega bočnega pritiska ležala v nominalno elastičnem delu krivulje. V primeru daljših robnih razdalj  $e_1$  pa se pri bočni napetosti  $2 f_u$  izvrši podaljšanje luknje, enako približno šestini premera vijaka  $d / 6$ . Takšno podaljšanje luknje pa predstavlja primerno omejitev za MSU (glej sliki 8, 9). Pri tem ne smemo pozabiti dejstva, da so obremenitve pri karakteristični kombinaciji MSU okvirno 1,4-krat nižje kot v mejnem stanju nosilnosti, v primeru pogoste kombinacije MSU pa so obremenitve še nižje. Zato kontrola podaljšanja luknje za vijak oziroma kontrola bočnih pritiskov v MSU običajno ni potrebna, s tem pa tudi omejitev bočnih pritiskov ni potrebna.

## 7 • SKLEP

Prispevek obravnava nosilnost pločevine ob pritisku vijaka na pločevino. Predstavljeni so rezultati testov spojev iz običajnega konstrukcijskega jekla z enim in dvema vijakoma. Rezultate testov smo primerjali s testi spojev iz jekel visoke trdnosti, ki so podani v literaturi ((Kim, 1999), (Aalberg, 2001), (Aalberg, 2002), (Rex, 2003), (Može, 2010)). Podana je tudi deformacijska kapaciteta običajnih jekel in jekel visoke trdnosti v smislu podaljšanja luknje za vijake pri doseženi nosilnosti spoja. Predstavljena je tudi parametrična numerična

študija spojev z enim vijakom. Narejena je primerjava numeričnih rezultatov in rezultatov testov s kontrolami nosilnosti, ki so definirane v Evrokodu 3. Ugotovili smo, da se kritična kontrola nosilnosti v več primerih ne ujema z dejansko porušitvijo. Izstopala je kontrola nosilnosti v bočnem pritisku, ki se je mnogokrat pokazala kot zelo konservativna. Glavni razlog je v tem, da ta kontrola upošteva vpliv robne razdalje in razdalje med vijaki pravokotno na smer obtežbe. Sistematično smo pokazali, da je nosilnost v bočnem pritisku linearno odvisna

od razdalj pred vijakom in od natezne trdnosti materiala in je praktično neodvisna od razdalj pravokotno na smer obtežbe. Drugi razlog je skrit v tem, da Evrokod podaja enako relativno nosilnost ne glede na kvaliteto pločevine. Pokazali smo, da je nosilnost pločevin iz jekla visoke trdnosti, relativno gledano, malenkost nižja. Zato smo podali spremenjeni model nosilnosti v bočnem pritisku in ga ovrednotili glede na eksperimentalne in numerične rezultate. Kontrola, ki smo jo podali, je enostavnejša kot tista v Evrokodu 3, podaja enolično interpretacijo nosilnosti v bočnem pritisku in dobro pokriva rezultate testov. Zavedati se je treba, da je porušitev v bočnem pritisku lokalna porušitev materiala pred vijakom zaradi pritiska enega

vijaka in se v spojih z več vijaki izrazi kot iztrg robnega vijaka ali kot strižna porušitev med vijaki (Može, 2011). Porušitve, kot so pretrg oslabiljenega prereza in strižni iztrg vijakov, so globalnega tipa, kjer nosilnost v bočnem pritisku enega vijaka ni dosežena. Pri strižnem iztrgu vijakov nastane interakcija

bočnih pritiskov več vijakov, kjer je kritično mesto oslabiljeni prerez med vrstama vijakov. Pokazali smo tudi, da je kontrola nosilnosti strižnega iztrga skupine vijakov, kot jo definira Evrokod 3, zelo konservativna. Spremenjena kontrola, ki temelji na ameriškem AISC-standardu (AISC, 2010), se bolj približa testnim

rezultatom. Pokazali smo tudi, da v različnih primerih, tako pri mehkih konstrukcijskih jeklih kot pri jeklih visoke trdnosti, oslabiljen prerez lahko razvije polno natezno trdnost  $A_{net} f_u$ , torej velja razmisliti, pri kakšnih pogojih lahko koeficient 0,9 v kontroli nosilnosti oslabiljenega prereza po Evrokodu 3 povečamo na 1.

## 8 • ZAHVALA

Zahvaljujemo se Agenciji za raziskovalno dejavnost RS, ki je financirala raziskavo v okviru podoktorskega projekta Z2-4172.

## 9 • LITERATURA

- Aalberg, A., Larsen, P. K., Bearing strength of bolted connections in high strength steel, V: P. Mäkeläinen, J. Kesti, A. Jutila, O. Kaitila, (ur). Nordic Steel Construction Conference 2001 – NSCC 2001: proceedings. Helsinki, NSCC: str. 859–866, 2001.
- Aalberg, A., Larsen, P. K., The effect of steel strength and ductility on bearing failure of bolted connections, V: A. Lamas, L. S. d. Silva, (ur). The Third European Conference on Steel Structures: Proceedings of the 3rd European conference on steel structures. Coimbra, Universidade de Coimbra: str. 869–878, 2002.
- ANS/AISC 360-05, Specifications for Structural Steel Buildings, Chicago, American Institute of Steel Construction, Inc, 2010.
- EN 1993-1-1, Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings, Brussels, European Committee for Standardisation, 2005a.
- EN 1993-1-8, Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-8: Design of joints, Brussels, European Committee for Standardisation, 2005b.
- Kim, H. J., Yura, J. A., The effect of ultimate-to-yield ratio on the bearing strength of bolted connections, J Construct Steel Res, 49, 3: 255–270, 1999.
- Kouhi, J., Kortessmaa, M., Strength tests on bolted connections using high-strength steels (HSS steels) as a base material. Research notes 1185, 1185, Espoo, Technical Research Centre of Finland, 1990.
- Kulak, G. L., Fisher, J. W., Struik, J. H. A., Guide to Design Criteria for Bolted and Riveted Joints, Chicago, American Institute Of Steel Construction, Inc.str, 2001.
- Može, P., Beg, D., High strength steel tension splices with one or two bolts, Journal of Constructional Steel Research, 66, 8-9: 1000-1010, 2010.
- Može, P., Beg, D., Investigation of high strength steel connections with several bolts in double shear, Journal of Constructional Steel Research, 67, 3: 333–347, 2011.
- Može, P., Beg, D., Lopatič, J., Net cross-section design resistance and local ductility of elements made of high strength steel, Journal of Constructional Steel Research, 63, 11: 1431–1441, 2007.
- Puthli, R., Fleischer, O., Investigations on bolted connections for high strength steel members, Journal of Constructional Steel Research, 57, 3: 313–326, 2001.
- Rex, C. O., Easterling, W. S., Behavior and modeling of a bolt bearing on a single plate, Journal of Structural Engineering-Asce, 129, 6: 792–800, 2003.
- Snijder, H. H., Ungermann, D., Stark, J. W. B., Sedlacek, G., Bijlaard, F. S. K., Hemmert-Halswick, A., Evaluation of test results on bolted connections in order to obtain strength functions and suitable model factors – Part A: Results. V: Eurocode No.3 - Part 1 - Background documentation, Chapter 6, Document 6.01, Brussels, Commission of the European Communities, 1988a.
- Snijder, H. H., Ungermann, D., Stark, J. W. B., Sedlacek, G., Bijlaard, F. S. K., Hemmert-Halswick, A., Evaluation of test results on bolted connections in order to obtain strength functions and suitable model factors – Part B: Evaluations. V: Eurocode No.3 – Part 1 – Background documentation, Chapter 6, Document 6.02, Brussels, Commission of the European Communities, 1988b.



# ENERGETSKA UČINKOVITOST KOT ODLOČITVENI DEJAVNIK NAKUPA NEPREMIČNINE

## ENERGY EFFICIENCY AS A DECISION-MAKING FACTOR WHEN PURCHASING REAL ESTATE

**Boštjan Donša, univ. dipl. gosp. inž. (grad.)**  
bostjandonsa@gmail.com  
Kupšinci 47 b, 9000 Murska Sobota

**Znanstveni članek**  
UDK 332.6:699.8(497.4)

**Povzetek** | Članek obravnava vlogo in pomen energetske učinkovitosti objekta pri doseganju prodajne cene nepremičnine. V uvodu smo glede na temeljni namen, to je ugotoviti vpliv energetske učinkovitosti na prodajno ceno nepremičnin kot nakupnega dejavnika, analizirali nekaj študij, ki so bile na to temo opravljene po svetu. To nam je bilo izhodišče za pripravo hipotez. V empiričnem delu smo analizirali, ali energetska učinkovitost lahko predstavlja enega izmed odločitvenih kriterijev pri nakupu nepremičnin. Ugotovili smo podobno, kot ugotavljajo že študije, ki so bile opravljene v Evropi, Aziji, Avstraliji in ZDA. Energetska učinkovitost je za uporabnike in kupce nepremičnin pomemben dejavnik in vpliva na odločitev o nakupu nepremičnine. Kupci so za energetske učinkovite nepremičnine v povprečju pripravljeni odšteti nekaj več denarja.

Ključne besede: energetska učinkovitost, energetske učinkovite gradnje, trajnostna gradnja, obnovljivi viri energije, nakupni odločitveni dejavniki, prodajna cena nepremičnin.

**Summary** | The paper deals with the impact and importance of energy-efficient building to achieve a better sales price in the market. In the introduction, the basic purpose of the paper is explained and that is to determine the impact of energy efficiency on the sales price of real estate as one of the purchasing factors. We analyse a number of studies on this issue from various parts of the world. This was the starting point for the hypothesis. In the empirical part, we analyse whether energy efficiency can be a decision-making criterion when purchasing real estate. Similarities with the existing studies from Europe, Asia, Australia, and the USA are evident. Energy efficiency is an important factor for users and buyers of real estate and influences purchasing decisions. Customers are, on average, willing to pay more for energy-efficient property.

Key words: energy efficiency, energy-efficient construction, sustainable construction, renewable energy sources, purchasing factors, sale price of real estate.

### 1 • UVOD

Začeli bi lahko s sloganom *Energetska učinkovitost se izplača*. Pa je res tako? V članku bomo poskušali dokazati, da se energetske

učinkovito splača graditi, kupcem pa se izplača kupiti energetske učinkovite nepremičnine. Poraba energije v stavbah predstavlja največji

delež končne porabe energije in s tem z izpusti toplogrednih plinov prispeva zajeten delež k onesnaževanju okolja. Boazu, Bienert, Popescu, Schützenhofer (Boazu, 2012) v svojem članku dokazujejo, da so stavbe največji porabnik primarne energije na svetu in prispevajo največji delež k emisijam toplogrednih plinov. Energet-

sko učinkovite stavbe imajo zaradi tega velik prispevek pri varčevanju primarne energije. Kupci nepremičnin postajajo energetske vse bolj ozaveščeni. Ne želijo več kupovati niti graditi energetske potratnih stavb, saj se zavedajo, da je to za daljši čas popolnoma nerentabilno. Cilj pričujočega članka je z metodo primerjalne analize primerjati stroške konkretnega gradbenega projekta in obratovnih

stroškov v dobi uporabe objekta ter prikazati vzorec obnašanja bodočih kupcev energetske učinkovite nepremičnine. Prikazali smo vzorec obnašanja kupcev, v kolikor ti tehtajo med vložki in učinki zaradi boljše energetske učinkovitosti stavbe. Izhajali smo iz treh hipotez, ki so prikazane v nadaljevanju članka. Potrditev hipoteze pomeni, da bi bil kupec, tudi v gospodarsko neugodnem

času, pripravljen kupiti nepremičnino, če bi to zanj pomenilo energetske učinkovitejši in bolj ekonomičen učinek. Na ta način bi se izničil negativen predznak naraslih stroškov gradbenih projektov. To pomeni, da bi bil investitor, kljub povečanim stroškom gradbenih projektov, pripravljen investirati v energetske učinkovitejšo nepremičnino kljub morda nekoliko višji začetni investiciji.

## 2 • PREGLED ŠTUDIJ O VPLIVU ENERGETSKE UČINKOVITOSTI NA VREDNOST IN PRODAJNO CENO NEPREMIČNIN

Literature in študij o vplivu energetske učinkovitosti in energetske izkaznice pred letom 2008 skoraj ni zaznati, vendar pa se število študij v zadnjem času povečuje. Ena od prvih študij, ki so jih izdelali Banfi in sodelavci (Banfi, 2008), proučuje pripravljenost gospodinjstev, da plačajo več za energetske učinkovite stavbe v Švici. Analiza ne temelji na tržnih podatkih, ampak gre za raziskavo na vzorcu ljudi. Študija sprašuje lastnike stanovanj in najemnike, koliko bi, hipotetično, bili pripravljeni plačati za varčevanje z energijo. Za svoj vzorec anketirancev so avtorji izbrali gospodinjstva, ki so se pred kratkim preselila v novo stanovanje. Rezultati kažejo podobno stopnjo pripravljenosti do večjega plačila med lastniki stanovanj in najemniki; anketiranci so pripravljeni plačati približno 8 % več za izboljšano prezračevanje v novih in obstoječih stavbah ter 6 do 7 % več za izolacijo stavb. Prva študija o vplivu energetske učinkovitosti na stanovanjski trg je študija avstralskega oddelka za okolje, vodo, dediščino in umetnost (ABS, 2008). Študija ugotavlja, da se je leta 2005, za vsakih dodatnih 0,5 % zmanjšanja porabe energije, cena stanovanj povečala za 1,23 %, ta številka se je leta 2006 povečala na 1,91 % za podatke hiš cene iz leta 2006. Ti rezultati dokazujejo, da je vpliv vedno pozitiven in pomemben v skoraj vseh primerih.

Brounen in Kok (Brounen, 2009) proučujeta vpliv energetske ocen na cene stanovanj na Nizozemskem. Avtorici uporabljata dvostopenjski model in na podlagi tega ugotavljata, kakšen vpliv ima energetska učinkovitost na transakcijske cene. Ugotavlja se, da se posebno velik vpliv kaže pri večjih stavbah, kjer ima energetska izkaznica stavbe velik vpliv na prodajo. Hiše z energijskim razredom A, B ali C (zeleni energijski razredi) imajo višjo ceno v primerjavi z energetske neučinkovitimi

hišami. Dokazali so, da ima nepremičnina z energijskim razredom A 10,2 % višjo transakcijsko ceno kot podobna nepremičnina z energijskim razredom D. Prav tako so ugotovili, da se nepremičnina z energijskim razredom G proda za 5 % manj kot nepremičnina z energijskim razredom D.

Zheng in sodelavci (Zheng, 2011) so proučevali nastajajoči trg okolju prijaznih nepremičnin na Kitajskem. Avtorji so uporabili regresijski model za ocenjevanje vpliva energetske učinkovitosti na cene stanovanjskih nepremičnin. Avtorji so ugotovili, da »zelenih stavb« sicer dosega neko cenovno premijo, vendar se to kasneje ne pozna pri tržni ceni oziroma pri najemninah za tako stanovanje. Ker na Kitajskem ni uradnega modela, ki bi ocenjeval energetske učinkovitost, avtorji priporočajo uvedbo energetske izkaznice.

Vse te študije govorijo o pozitivnem vplivu med vrednostjo nepremičnin in energetske učinkovitostjo, vendar študije Yoshida in Suguira (Yoshida, 2010) in Amecke (Amecke, 2012) predstavljajo malo drugačne rezultate. Analiza transakcijskih cen v Tokiu pokaže (Yoshida, 2010), da čeprav zelene stavbe dosega cenovne premije, ta učinek izgine glede na leto izgradnje ter kakovost, in v določenih primerih so celo ugotovili, da energetska učinkovitost nima nikakršnega vpliva na transakcijske cene oziroma so v nekaj primerih dosegle celo nižjo prodajno ceno. Avtorji menijo, da je to lahko posledica dojemanja višjih prihodnjih stroškov vzdrževanja in negotovosti o vgrajeni kakovosti energetske učinkovitih materialov med potencialnimi kupci.

Narejena je bila tudi raziskava Evropske komisije o energetske učinkovitosti in njenem vplivu na prodajno in najemno ceno nepremičnin (EC DG E, 2013). Raziskava navaja povezavo med energetske izkaznico stavb in vrednostjo

nepremičnine. Narejena je na podlagi 22 študij v Evropski uniji. Končni zaključek raziskave je, da ima večja energetska učinkovitost in energetska izkaznica pozitiven vpliv na prodajno in najemno ceno nepremičnine, in sicer so se za energetske učinkovitejšo stavbo prodajne cene v povprečju povišale za 2,8 %, najemnine pa za 1,4 %.

Amecke (Amecke, 2012) proučuje učinkovitost energetske izkaznice in njihov vpliv na nakupno odločitev. Avtor je opravil raziskavo med lastniki nepremičnin, ki so kupili svoje nepremičnine od leta 2009, in proučuje dejavnike, ki vplivajo na nakupne odločitve na splošno in še zlasti z energijsko učinkovitostjo. Rezultati kažejo na omejen vpliv energetske učinkovitosti na nakupne odločitve. Vendar pa avtorji menijo, da bo nova zakonodaja, ki je začela veljati leta 2013, povečala vpliv energetske ocen na ceno nepremičnin.

Dokazi o pozitivni povezavi med zelenimi stavbami in finančno uspešnostjo poslovnih nepremičnin so predstavljeni v študijah Wiley in sodelavci (Wiley, 2008), Fuerst in McAllister (Fuerst, 2011) in Reichardt s sodelavci (Reichardt, 2012).

Eichholtz in sodelavci (Eichholtz, 2010) ugotavljajo pomemben pozitiven učinek za stavbe, ki so certificirane kot energetske učinkovite, saj v povprečju tovrstne pisarne dosega približno 3 % višje najemnine. Poleg tega so ugotovili, da energetske izkaznice stavb, ki sodijo v razrede A, B ali C, povečajo možnost za oddajo v najem za 7 % in povečanje prodajne cene za 16 %. Avtorji ugotavljajo, da je dodatna cenovna premija za zelene stavbe višja na območjih, kjer so tržni pogoji na splošno slabši. V drugem dokumentu z razširjenim naborom podatkov in bolj rafinirano ekonometrično tehniko Eichholtz s sodelavci potrdijo svojo prvotno ugotovitev, da se energetska učinkovitost odraža v vrednosti nepremičnin, obenem pa niso našli nobenega dokaza, da bi se relativno povpraševanje za energetske učinkovite pisarniške prostore zmanjšalo v času nedavne gospodarske recesije.

Kok in Jennen (Kok, 2011) sta proučevala vpliv bonitetnih ocen za energetska učinkovitost in dostopnost na trgu poslovnih nepremičnin na Nizozemskem in pri tem našla značilne povezave med bonitetno oceno energetske učinkovitosti in višino najemnine. Z uporabo regresijskega modela sta ugotovila, da energetska neučinkovite stavbe dosegajo za 6,5 % nižje najemnine.

Z energetska učinkovitimi stavbami lahko znižamo obratovalne stroške, zmanjšamo porabo primarne energije in zreduciramo negativne posledice na okolje. Bienert, Bobsin, Huttler, Leopodsberger, Schutzenhofer, Leutgob (Bienert, 2007) menijo, da morajo vse te kvalitete energetska učinkovite stavbe pomeniti tudi dvig vrednosti nepremičnine.

Do zdaj je bilo opravljenih tudi nekaj študij, kjer so ugotavljali pripravljenost kupcev, da bi kupili nekaj dražjo energetska učinkovito stavbo. Raziskava centra za korporativno odgovornost in trajnostni razvoj (Center for Corporate Responsibility and Sustainability) navaja, da so kupci v Švici pripravljeni plačati 7 % večjo ceno za hišo in 3,5 % večjo ceno za stanovanjsko enoto, če to pomeni energetska učinkovito stavbo (Horejajova, 2008). Brounen in sodelavci (Brounen, 2009) so v svojem delu analizirali preko 100.000 transakcij na

Nizozemskem in razkrili, da je prodajna cena stavb, ki so označene z energetska izkaznico v razredu A, B in C, večja za v povprečju 3,4 do 6,6 % v primerjavi s stavbami, označenimi z energetska izkaznico razreda D.

Podobne evropske raziskave kažejo, da so kupci enako kot na energetska učinkovitost pozorni tudi na videz energetska učinkovitih elementov in stavbe kot celote. Poleg tega se v raziskavah odkriva dejstvo, da kupci investirajo v energetska učinkovito stavbo, če to pomeni razumno povračilno dobo investicije ((Bartiaux, 2007), (Fabri, 2010)).

Naša raziskava je pokazala, da so potencialni kupci v povprečju nevtralni glede na energetska učinkovitost svojega stanovanja/hiše in mesečne stroške obratovanja, obstaja pa korelacija med mesečnimi obratovalnimi stroški in zadovoljstvom z energetska učinkovitostjo, ki je prikazana v nadaljevanju članka, kar nas v nadaljnjem proučevanju rezultatov ankete privede do zaključka, da so potencialni kupci pripravljeni investirati v bolj energetska učinkovito prenovo ali nakup stanovanja/hiše, če to pomeni zmanjšanje obratovalnih stroškov.

Analiza ekonomske upravičenosti investiranja v energetska učinkovito stavbo nam daje samo stroškovno videnje, medtem ko se druge

prednosti politike energetska učinkovite gradnje in spodbujanju prenove in nakupa energetska učinkovitih stavb kažejo kot dolgoročno okoljsko pozitivne. Poleg stroškovne koristi energetska učinkovitih stavb Clements, Sayce, Sundberg (Clements, 2010) ugotavljajo, da nam vlaganje v energetska učinkovitost prinaša tudi naslednje prednosti: večja tržna vrednost nepremičnine, ugoden vpliv energetska učinkovite stavbe na zdravje ljudi in boljše razmere bivanja. Podobno ugotavljajo tudi Chegut, Eichholtz, Kok, Quigley (Chegut, 2010).

Raziskave po svetu kažejo na smiselnost uvajanja energetska izkaznic stavb. Fisher in Pivo v svoji raziskavi, ki sta jo naredila na 336 »zelenih« in 1114 »nezelenih« stavbah, ugotavljata, da imajo zelene stavbe, ki so energetska učinkovite, za 5,9 % večji čisti dobiček od prodaje, 9,8 % manjše stroške obratovanja, 4,8 % večje prihodke od najemnine in 13,5 % večjo tržno vrednost (Fisher, 2009). McGraw-Hillovo poročilo za energetska učinkovite stavbe navaja, da so se prodajale za po povprečno 15 % višji prodajni ceni, imele za 8 % večji prihodek iz naslova najema in za 10 do 20 % manjše obratovalne stroške kot primerljive stavbe, ki niso bile energetska učinkovite (Murray, 2008).

### 3 • RAZISKAVA O VPLIVU ENERGETSKE UČINKOVITOSTI STAVB NA NAKUPNE ODLOČITVE SLOVENSКИH POTROŠNIKOV

Raziskava je bila pripravljena in opravljena z namenom, da bi preizkusili hipotezo med širšim krogom potencialnih kupcev in dokazali, da je smiselno načrtovati in graditi stavbe, ki bodo čim bolj energetska učinkovite, tudi bolj, kot to zahteva obstoječi slovenski pravilnik PURES 2010, saj to pomeni prihranke pri porabi energije skozi večletno obratovanje stavbe. Energetska učinkovitost predstavlja tudi enega od odločitvenih dejavnikov pri nakupu nepremičnine med potencialnimi kupci. Anketiranje se je izvajalo elektronsko preko domene <http://www.mojaanketa.si>. Vprašalnik je vseboval 30 vprašanj. Vprašanja so bila razdeljena v dva glavna sklopa. V prvem sklopu (vprašanja 1–18) smo ugotavljali osnovne značilnosti anketirancev in njihovo trenutno bivanjsko stanje. V drugem sklopu (vprašanja 19–30) smo ugotavljali preference anketirancev, v kolikor bi se odločali za nakup novega stanovanja v povezavi z energetska učinkovitostjo. Odgovori so nam služili za

preverjanje hipoteze, da so kupci pripravljeni za nepremičnino plačati več, če je ta energetska učinkovitejša. Z anketiranjem smo uspeli pridobiti 161 uporabnih vprašalnikov. Povprečna starost anketirancev je bila 41 let. Sodelovali so anketiranci z območja celote Slovenije, največ pa jih je bilo iz vzhodne Slovenije. V raziskavi je sodelovalo 22 udeležencev, ki so prihajali iz večjih slovenskih mest, 57 jih je bilo iz srednje velikih slovenskih mest, 17 iz manjših slovenskih mest in naselij, 65 udeležencev v raziskavi pa je bilo s podeželja. Največji delež anketirancev trenutno prebiva v trisobnem stanovanju velikosti več kot 70 m<sup>2</sup>, sledijo jim tisti, ki prebivajo v dvosobnih stanovanjih velikosti do 60 m<sup>2</sup>.

#### 3.1 Analiza hipotez o vplivu energetske učinkovitosti na stroške gradnje nepremičnine, obratovalne stroške nepremičnine in na nakupne odločitve kupcev nepremičnin

Hipotezo H1: »Zaradi uveljavitve novih minimalnih tehničnih zahtev o učinkoviti rabi energije v stavbah bodo stroški gradbenih projektov narasli.« in H2: »Zaradi uveljavitve novih minimalnih tehničnih zahtev o učinkoviti porabi energije v stavbah se bodo obratovalni stroški v dobi uporabe objekta zmanjšali.« smo preverjali na podlagi vzorčnega stanovanjskega objekta MozaiK, ki se je gradil v Kocljevi ulici 21 v Gornji Radgoni. Pričetek gradnje objekta je bil april 2009, prvi stanovalci so se vselili oktobra 2010. Stanovanjski objekt je zgrajen kot zadnji v sklopu večstanovanjskih objektov znotraj obstoječega stanovanjskega kompleksa, ki je bil načrtovan z zazidalnim načrtom. Objekt je zgrajen v štirih etažah nad terenom (P + 3). Objekt je v celoti podkleten. V kleti objekta so izvedene podzemna garaža in shrambe za posamezna stanovanja. Preostale etaže so namenjene stanovanjem in skupnim prostorom. Objekt je zgrajen v dimenzijah 42,40 x 14,40 m. Nosilna konstrukcija je armiranobetonska, sestavljena iz monolitnih AB-sten in stebrov. Stropne konstrukcije so izvedene kot klasične AB-plošče. Strop v kleti je dodatno toplotno in zvočno izoliran

Konstrukcija	PTZURES Ur. I., 42/2002			PURES Ur. I., 52/2010		
	U (W/m <sup>2</sup> K)	Izolacija/element	deb. izolacije	U (W/m <sup>2</sup> K)	Izolacija/element	deb. izolacije
Zunanja stena	0,60	Fasadni panel ali DE-MIT-sistem <sup>1</sup>	6 cm	0,28	Fasadni panel ali DE-MIT-sistem	15 cm
Streha <sup>2</sup>	0,35	XPS <sup>3</sup>	10 cm	0,20	XPS	18 cm
	0,35	Kamena volna – 180	12 cm	0,20	Kamena volna – 180	20 cm
Tla	0,40	XPS	8 cm	0,35	XPS	11 cm
Okna <sup>4</sup>	1,80	prof., zastekl. U = 1,33		1,60	prof., zastekl. U = 1,10	

Preglednica 1 • Karakteristične sestave izolacij po PTZURES 2002 in PURES 2010

z 10 cm izolacijo. Stene med posameznimi stanovanjskimi enotami so betonske ali zidane z opeko ter popleskane. Vse stene med stanovanji in proti skupnemu hodniku so dodatno zvočno in toplotno izolirane. Predelne stene v objektu, znotraj posameznih stanovanjskih enot, so izvedene kot montažne stene iz mavčnokartonskih plošč z vmesno zvočno in toplotno izolacijo. Fasada na celotnem objektu je izvedena kot kontaktna toplotnoizolacijska fasada z 12 cm toplotne izolacije. Izvedena je ravna streha z 20 cm toplotne izolacije, trajnoelastično folijo kot kritino in procem kot finalnim zaščitnim slojem. Stavbno pohištvo (okna in balkonska vrata) so iz visokokvalitetne PVC-mase, s prekinjenim toplotnim mostom, zastekljene z izolacijskim float steklom 4-16-4 mm z izolativnostjo  $U = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Na vseh oknih v stanovanjih je zagotovljeno senčenje. Na oknih fasade so izvedene zunanje rolete, ustrezno zasenčenje steklenih površin na ložah pa je zagotovljeno z nadstreški. Vhodna vrata v blok so aluminijasta, zastekljena z izolacijskim float steklom 4-16-4 mm z izolativnostjo  $U = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$  (float pomeni navadno prozorno steklo, ki ima zelenkast odtenek).

Plinska kotlovnica je locirana v sklopu skupnih prostorov v tretjem nadstropju objekta. Preko nje se ogrevajo vsi stanovanjski prostori v bloku. Vsako stanovanje je opremljeno z ločenimi merljivimi porabe energije v omarici pred vhodom v stanovanje. Stanovanja se ogrevajo s ploščatimi radiatorji. Prezračevanje kopalnic je prisilno z ventilatorji z nepovratnimi loputami. Vsako stanovanje ima tudi priključek za kuhinjsko napo s predvidenim prezračevanjem do 300 m<sup>3</sup>/h. Preostali stanovanjski prostori se prezračujejo naravno. V

objektu so hlajena vsa stanovanja, hladilne enote so split sistemi, vsako stanovanje ima notranjo hladilno enoto in zunanjo kompresorsko kondenzacijsko enoto, postavljeno na streho. Vsi sistemi ohlajevanja v vseh stanovanjih so v enojni izvedbi.

Da bi potrdili ali ovrgli hipotezo:

H1: »Zaradi uveljavitve novih minimalnih tehničnih zahtev o učinkoviti porabi energije v stavbah bodo stroški gradbenih projektov narasli.«, smo primerjali stroške gradnje obravnavane nepremičnine, zgrajene po PTZURES 2002 in PURES 2010. Za boljše razumevanje so razlike med pravilnikoma podane v preglednici 1.

Če preverimo spremembe zahtev po izolaciji ovoja objekta, opazimo, da so korekcije po novem pravilniku minimalne, saj smo mi na našem obravnavanem objektu izolirali stavbo z izolacijo debeline 12 cm (po zahtevi PTZURES 2002 bi zadostovala izolacija debeline 6 cm). Prav tako smo pri izolaciji strehe nastopali z debelino 20 cm, čeprav bi zadostovala že debelina 18 cm. Tla imamo že zdaj izolirana s skoraj enkrat večjo izolacijo, kot je potrebna po PURES 2010. Enako se dogaja pri zasteklitvi objekta. Razlog za takšno stanje so minimalne razlike v ceni materiala glede na povečanje izolacije in ugotovitev, da država z regulativo sledi dogajanju na trgu (podatki so povzeti po preglednici 1).

Kot smo ugotovili, sprememba nastane samo pri fasadni steni, kjer je namesto 12 cm debelega izolacijskega sloja potreben 15 cm izolacijski sloj in seveda pri dodatnih delih zaradi dodatnih strojnih inštalacij (solarni paneli), kar po starem pravilniku PTZURES 2002 ne bi bilo potrebno.

Ugotovili smo naslednje. Izdelava 12 cm fasade z zaključnim slojem je ovrednotena na 26,80 EUR/m<sup>2</sup>, skupaj je fasade 1112 m<sup>2</sup>, se pravi, izvedba stane 29.809 EUR. Na podlagi preteklih izvedenih projektov vemo, da nas vsak dodaten cm fasade stane dodaten 1 EUR/m<sup>2</sup>, torej nas stane izdelava 15 cm fasade 33.138 EUR. Razlika, ki nastane pri izdelavi fasade, če upoštevamo pravilnik PURES 2010, je »zanemarljivih« 3330 EUR za celotno fasado. To pomeni, da če bi se v celoti držali novega pravilnika, bi se naša gradnja podražila (brez zahteve 25 % OVE) za 0,15 %. Da zagotovimo zahteve po pridobitvi 25 % energije iz obnovljivih virov, smo v naših izračunih predvideli 37,00 m<sup>2</sup> solarnih zastekljenih panelov za pripravo tople sanitarne vode. Po ponudbi izvajalca panelov je cena izdelave panelov in priklop na obstoječi 1000 l bojler blizu 15.000 EUR, kar pomeni podražitev objekta za 0,69 %. Raziskava, ki je bila narejena na ravni Evropske unije (med letoma 1978 in 2009), kaže, da so koristi solarnih panelov za ogrevanje minimalni, če jih primerjamo z večjimi dobitki na račun boljše fasade in bolj učinkovite zasteklitve (Hens, 2010). Skupna podražitev projekta znaša manj kot 1 % celotne investicije, če izvajamo gradnjo objekta po novem PURES 2010 namesto po PTZURES 2002. Razlog za takšno minimalno podražitev projekta vidimo v tem, da novi pravilnik sledi dogajanju na trgu, saj so zavedni investitorji že zdaj izvajali gradnjo objektov po energetsko bolj učinkoviti gradnji, kot je veleval PTZURES 2002. Hipotezo smo na podlagi izračuna v predhodnem odstavku potrdili, saj se nam objekt podraži za 1 % skupnih stroškov gradbenih projektov, kar je minimalna podražitev. Nadalje lahko zaključimo, da se proizvajalci in investitorji hitro prilagajajo razmeram na trgu in zaradi

<sup>1</sup> Fasadni panel Trimo širine 12 cm ima toplotno prehodnost (U) 0,32 W/m<sup>2</sup>K. Kljub zahtevi starega pravilnik iz leta 2002, da je minimalna zahtevana toplotna prehodnost fasadne stene 0,6 W/m<sup>2</sup>K, smo pri projektiranju predvideli panele debeline 12 cm.

<sup>2</sup> Zaradi zahtev požarne varnosti (kamena volna) je prikazana toplotna prehodnost obih najbolj pogostih materialov za toplotno izolacijo ravnih streh, ki pa imata različna faktorja toplotne prevodnosti.

<sup>3</sup> Kljub zahtevi starega pravilnik iz leta 2002, da je minimalna zahtevana toplotna prehodnost ravne strehe 0,35 W/m<sup>2</sup>K, smo pri projektiranju predvideli debelino izolacije 18 do 20 cm.

<sup>4</sup> Kljub zahtevi starega pravilnika, da se lahko vgradijo okna s toplotno prehodnostjo (U) do 1,80 W/m<sup>2</sup>K oz. zasteklitvi 1,33 W/m<sup>2</sup>K, smo pri projektiranju vedno predvideli zasteklitve s faktorjem prehodnosti najmanj 1,10 W/m<sup>2</sup>K (U do 1,23 W/m<sup>2</sup>K).

konkurenčnosti na trgu ponudijo energetsko učinkovitejši izdelek, kot ga pa predpisujejo pravilniki. S hipotezo H2: »Zaradi uveljavitve novih minimalnih tehničnih zahtev o učinkoviti porabi energije v stavbah se bodo obratovalni stroški v dobi uporabe objekta zmanjšali.«

pa smo analizirali vpliv upoštevanja pravilnika o učinkoviti porabi energije PURES 2010 na obratovalne stroške stanovanjskega objekta. Kot smo ugotovili, nam uporaba novega pravilnika PURES 2010 poveča investicijske stroške projekta za manj kot 1 %. Podražitev ni velika, nam pa povzroči dokaj opazen varčevalni učinek pri porabi energije v stavbi. Za doseganje zahtev PURES 2010 bi lahko uporabili več načinov, mi smo povečali debelino izolacije z 12 na 15 cm in »vgradili« solarne panele za pripravo tople sanitarne vode. Na ta račun smo znižali letno porabo toplote na enoto površine (kWh/m<sup>2</sup>) z 38,53 kWh/m<sup>2</sup>

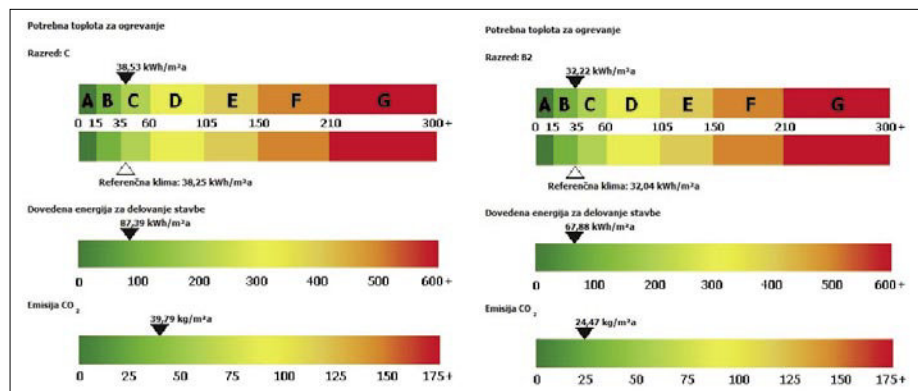
na 32,22 kWh/m<sup>2</sup>. Energijski razred stavbe je prešel s C na B2, kar nam pokaže slika 1. Kot že večkrat ugotavljamo, so te razlike v stroških projekta majhne zaradi zavedanja investitorjev, ki v želji zadovoljive kupca presegajo uveljavljene standarde, tako da gradijo bolj energetsko učinkovito, kot pa to predpisuje pravilnik. Posledično nam v stavbo, ki je zgrajena po PTZURES 2002, ni treba veliko investirati, da dosežemo zahteve po PURES 2010. Primerjava investicije je dosežena ob predpostavki, da se za energetsko učinkovitejšo gradnjo odločimo pri novogradnji in v fazi projektiranja, saj nam kasnejši posegi v dodatne izolacije povzročijo dodatne stroške. Za izračun povračilne dobe investicije po metodi odplačilne dobe in analiziranja smiselnosti naložbe moramo poznati

ceno primarnih energentov, v našem primeru ceno električne energije, ki je v času nastajanja članka znašala 0,08 EUR/kWh, in zemeljskega plina, ki je znašala 0,55 EUR/m<sup>3</sup>. S programom URSA 4.0 smo izračunali porabo energije v obravnavani stavbi. Letna poraba primarne energije Q<sub>p</sub> ob upoštevanju pravilnika PTZURES 2002 bi znašala 214,426 kWh, kar bi po trenutnih cenah pomenilo strošek ogrevanja 14.733 EUR. Letna poraba energije, pridobljene iz primarnih virov (električna energija in plin), ob upoštevanju PURES 2010, bi za obravnavani objekt znašala 142,052 kWh. 25,514 kWh energije bi pridobili iz OVE. Glede na trenutne cene energentov to pomeni strošek v višini 8097 EUR. Razlika je 6697 EUR/leto.

$$\text{doba (l)} = \frac{\text{razlika v investiciji (€)}}{\text{razlika v obratovalnih stroških (€/l)}} = \frac{18.330 \text{ €}}{6.697 \text{ €/l}} = 2,73 \text{ l}$$

Pravilnik	Energent (enota)	Namen	Cena energenta na enoto	Letne potrebe energije (kWh)	Potrebne letne količine energenta (enota)	Strošek energentov (EUR)
PTZURES 2002	Zemeljski plin (m <sup>3</sup> )	Ogrevanje in sanitarna voda	0,55 EUR/m <sup>3</sup>	109.482	11.524 m <sup>3</sup>	6338
	Električna energija (kWh)	Hlajenje in razsvetljava	0,08 EUR/kWh	104.944	104.944 kWh	8396
	Skupaj			214.426		14.734
PURES 2010	Zemeljski plin (m <sup>3</sup> )	Ogrevanje in sanitarna voda	0,55 EUR/m <sup>3</sup>	83.691	8810 m <sup>3</sup>	4845
	Električna energija (kWh)	Hlajenje in razsvetljava	0,08 EUR/kWh	58.361	58.361 kWh	4669
	Skupaj			142.052		9514
	Dobiček energije iz OVE (kWh)	Sanitarna voda	0,55 EUR/m <sup>3</sup>	25.515	2686 kWh	1477
	Skupaj z OVE					8037

Preglednica 2 • Primerjava porabe primarne energije



Slika 1 • Kazalniki v energetski izkaznici z upoštevanjem mejnih vrednosti po PTZURES 2002 (levo) in PURES 2010 (desno)

Če povzamemo rezultate potrebne letne primarne energije za ogrevanje, hlajenje, mehansko prezračevanje, pripravo tople vode in razsvetljava za obravnavani stanovanjski objekt po programu URSA<sup>5</sup>, izračunamo povračilno dobo, ki znaša 2,73 leta. Iz izračuna opazimo in lahko zagotovimo, da je izračunana povračilna doba investicije v dodatno izolacijo in OVE (zahtevanih 25 %) blizu treh let, kar je zelo zadovoljivo in samo potrjuje našo domnevo, da je stroškovna razlika med zahtevami PTZURES 2002 in PURES 2010 izredno majhna in se povrne v zelo dobljenem času, ob predpostavki, da je investicija novogradnja (glej pojasnilo v prejšnjem odstavku). Poleg

<sup>5</sup> Vir: Izračun po programu URSA 4.0 za objekt Mozaik. Prikaz po verziji Pravilnika o metodologiji izdelave in izdaji energetskih izkaznic stavb iz leta 2009, pred dodatkom primarne energije kot posebnega kazalnika, uvedenega z novo verzijo tega pravilnika v letu 2012.

zadovoljive dobe povratka investicije obstajata tu še faktor bivalnega ugodja bodočega kupca in možnost dobrega marketinga zaradi boljše energetske učinkovitosti objekta ter posledično višjo prodajno ceno nepremičnine ali pospešitev prodaje ob isti ceni ob zanemarljivo majhnem povečanju investicije projekta.

Hipotezo potrjujemo, saj nam izračuni v predhodnem poglavju pokažejo, da se z minimalnim povečanjem stroškov investitorja, zaradi uveljavitve novega PURES 2010, da doseči večji prihranek v porabi primarne energije na leto in v celotni dobi uporabe.

K tej razlagi hipotez lahko dodamo še, kar ugotavljajo Boazu, Bienert, Popescu, Schützenhofer (Boazu, 2012), da se energetska učinkoviti stavbi sorazmerno poveča tudi prodajna cena, kar pomeni, da bo imel kupec pri morebitni prodaji svoje nepremičnine, ki bo energetska učinkovitejša od primerljivih nepremičnin na trgu, poleg prihranka pri obratovalnih stroških tudi boljše izhodiščno prodajno ceno.

Hipotezo H3: »Kupec bi se odločil za nakup nepremičnine, če bi imel dolgoročno korist glede na njegov vložek.« smo na podlagi analize odgovorov, pridobljenih iz v uvodnem delu tega poglavja predstavljene ankete in opisne povezave med vprašanji, preverili s tremi podhipotezami:

H3a: »Zadovoljstvo z energetska učinkovitostjo stanovanja/hiše je odvisno od povprečnih mesečnih obratovalnih stroškov.« Pri preverjanju hipoteze H3a smo uporabili podatke o stališčih anketirancev o njihovem zadovoljstvu z energetska učinkovitostjo stanovanj, ki smo ga merili na petstopenjski lestvici, kjer je 1 pomenilo zelo nezadovoljen in 5 zelo zadovoljen, ter o višini povprečnih obratovalnih stroškov, ki smo jih prav tako merili na petstopenjski lestvici, pri čemer je odgovor 1 pomenil, da so stroški bistveno nad povprečjem, in odgovor 5, da so bistveno pod povprečjem. Obravnavano predstavljamo na slikah 2 in 3.

S slike 2 je razvidno, da je večina anketirancev izbrala oceno 3, kar pomeni, da ocenjujejo svoje sedanje povprečne mesečne obratovalne stroške kot srednje povprečne. Povprečna vrednost te spremenljivke znaša 2,72. Srednja zadovoljnost s povprečnimi obratovalnimi stroški in z energetska učinkovitostjo v obstoječih stavbah je znak, da so anketiranci (morebitni kupci) pripravljeni plačati za energetska učinkovitejšo stavbo, kot jo trenutno posedujejo. S slike 3 je razvidno, da je večina anketirancev ocenila svoje zadovoljstvo z oceno 3, kar



Slika 2 • Porazdelitev zadovoljstva pri povprečnih mesečnih obratovalnih stroških



Slika 3 • Porazdelitev zadovoljstva pri energetska učinkovitosti

		Povprečni mesečni obratovalni stroški	Zadovoljstvo z energetska učinkovitostjo
Povprečni mesečni obratovalni stroški	Pearsonova korelacija	1	0,412
	Statistična značilnost		0,000
	N	161	
Zadovoljstvo z energetska učinkovitostjo	Pearsonova korelacija	0,412	1
	Statistična značilnost	0,000	
	N	161	

Preglednica 3 • Korelacijska odvisnost z zadovoljstvom s povprečnimi obratovalnimi stroški in energetska učinkovitostjo stavbe

pomeni srednje zadovoljstvo z energetske učinkovitostjo sedanjega stanovanja/hiše. Njena povprečna vrednost znaša 3,04. Moč linearne zveze med spremenljivkama »Povprečni mesečni obratovalni stroški« in »Zadovoljstvo z energetske učinkovitostjo« smo preverili s Pearsonovim korelacijskim koeficientom, ki znaša 0,412 (preglednica 3) in je statistično različna od nič pri  $p < 0,001$ . Pearsonov koeficient korelacije je matematična in statistična številska mera, ki predstavlja velikost linearne povezanosti spremenljivk X in Y, merjenih na istem predmetu proučevanja. Pogoj za računanje tega koeficienta je linearna odvisnost obeh vpletenih spremenljivk. Vrednost Pearsonovega koeficienta korelacije je lahko med vrednostma -1 in 1. Tako vrednost -1 predstavlja popolno negativno povezanost spremenljivk, pri čemer je na grafu odvisnosti videti le ravno črto, ki z naraščajočo neodvisno spremenljivko potuje navzdol; obratno vrednost 1 pomeni popolno pozitivno povezanost in navzgor usmerjeno črto na grafu.

Kvadrat korelacijskega koeficienta ali determinacijskega koeficienta ( $R^2$ ) pokaže, kolikšen del celotne variance odvisne spremenljivke je pojasnjen z linearno zvezo med odvisno in neodvisno spremenljivko.

Zanimal nas je še vpliv mesečnih obratovalnih stroškov na zadovoljstvo potencialnih kupcev z energetske učinkovitostjo stanovanja/hiše, ki smo ga izmerili z regresijskim koeficientom. Odvisna spremenljivka v regresijski enačbi je »Zadovoljstvo z energetske učinkovitostjo stanovanja/hiše«, neodvisna spremenljivka pa je »Povprečni mesečni obratovalni stroški stanovanja/hiše«. Determinacijski koeficient ( $R^2$ ), ki kaže delež pojasnjene variance v skupni varianci za odvisno spremenljivko, znaša 0,138. To pomeni, da je 13,8 % celotne variance pojasnjene z variabilnostjo spremenljivke »Povprečni mesečni obratovalni stroški stanovanja/hiše«. Iz preglednice 4 razberemo rezultate F-testa, ki kažejo, da obstaja med spremenljivkama linearna odvisnost.

Vrednost statistike t in raven značilnosti (Sig.) kažeta, da je regresijski koeficient značilno različen od nič, kar pomeni, da obstaja odvisnost med opazovanima spremenljivkama. Enačba regresijske premice je:

$$\hat{y} = 1,891 + 0,424 x \quad (1),$$

kar razberemo iz preglednice 4. Regresijski koeficient pri spremenljivki povprečni mesečni obratovalni stroški je pozitiven in kaže pozitiven vpliv te spremenljivke na zadovoljstvo lastnikov

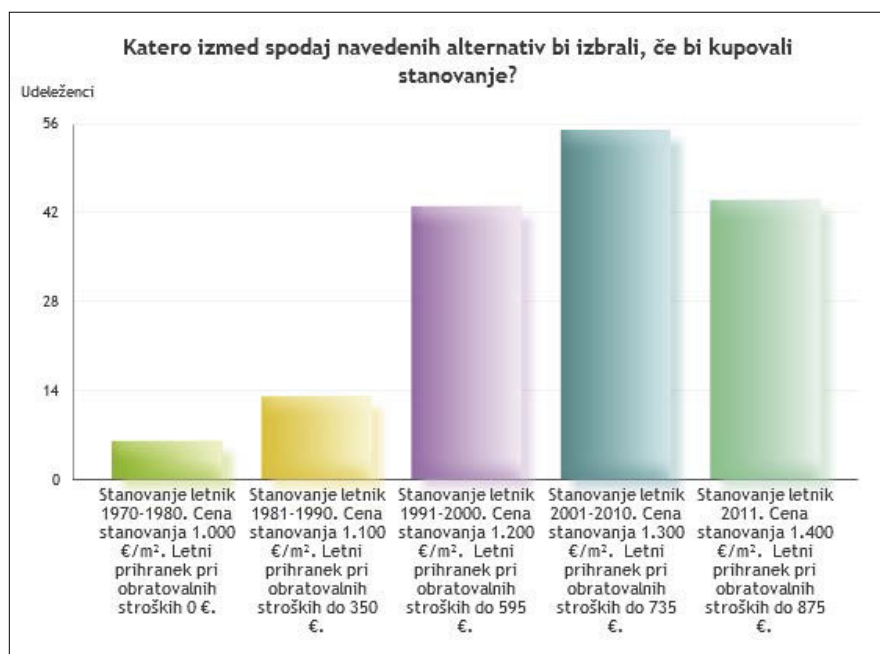
	Model	R	R-kvadrat	Prilagojeni R-kvadrat	Standardna napaka
	1	0,372	0,138	0,133	0,973
	Vsota kvadratov	Razlika	Kvadrat	F	Stat. značilnost (Sig.)
<b>Regresija</b>	24,133	1	24,133	25,486	0,000
<b>Preostalo</b>	150,562	159	0,947		
<b>Skupaj</b>	174,696	160			
	Nestandardizirani koeficient		Standardizirani koeficient	Vrednost statistike (t)	Stat. značilnost (Sig.)
	B	Standardna napaka	Beta		
<b>Povprečni mesečni obratovalni stroški stanovanja/hiše</b>	1,891	0,241		7,850	0,000
	0,424	0,084	0,372	5,048	0,000

Preglednica 4 • Model za izračun regresijskega koeficienta

nepremičnine. Če se povprečni mesečni obratovalni stroški zmanjšajo za eno oceno, se zadovoljstvo lastnikov stanovanja/hiše poveča za 0,424. Obe spremenljivki smo merili na petstopenjski lestvici. Zadovoljstvo kupca se poveča, v kolikor se mu obratovalni stroški zmanjšajo, sledi, da je kupec pozitivno naravnani pri razmerju povprečni obratovalni stroški/cene nepremičnine, tudi pri morebitnem nakupu novogradnje. Podhipotezo H3a potrdimo. Podhipoteza H3b se je glasila: »Kupci, ki menijo, da imajo nadpovprečne mesečne

obratovalne stroške stanovanja/hiše, bi pri nakupu izbrali stanovanje/hišo, ki je novejše, in bi bili pripravljeni zanj plačati več, če bi s tem povečali letni prihranek pri obratovalnih stroških.«

S slike 4 je razvidno, da bi v primeru nakupa nepremičnine večina anketirancev izbrala ponujeno alternativo 4, kar pomeni, da bi kupili stanovanje z letom izgradnje od 2001 do 2010, po ceni 1300 EUR/m<sup>2</sup>, pri čemer bi bil letni prihranek obratovalnih stroškov do 735 EUR. Sledita ponujeni alternativni 5 in



Slika 4 • Katero izmed alternativ bi izbrali v primeru nakupa nepremičnine

3. Zelo malo anketirancev pa se je odločilo za alternativni 1 in 2, ki ne nudita nobenih prihrankov ali zelo majhne prihranke pri obratovalnih stroških.

Podhipotezo H3b smo preverili s kontingenčno preglednico in testom hi-kvadrat. Zaradi majhnega števila podatkov pri alternativah 1 in 2 smo podatke pri alternativah 1, 2 in 3 združili v eno alternativo in jo v preglednici 3 poimenovali alternativno 3. Iz združene kontingenčne preglednice 5 lahko ugotovimo, da ima največ, to je 110 anketirancev od 161, srednje velike povprečne mesečne obratovalne stroške. Pri izbiri alternative pa bi se 62 anketirancev od 161 odločilo za alternativno 3 pri nakupu stanovanja, kar pomeni stanovanje, leto izgradnje 1971 do 2000, po ceni 1000 do 1200 EUR/m<sup>2</sup>, pri čemer bi bil letni prihranek obratovalnih stroškov do 595 EUR. Alternativno 4 bi izbralo 55 anketirancev, kar pomeni stanovanje z letom izgradnje 2001 do 2010, cena 1300 EUR/m<sup>2</sup>, pri čemer bi bil letni prihranek obratovalnih stroškov do 735 EUR. Alternativno 5 bi izbralo 44 anketirancev, kar pomeni stanovanje letnik 2011, cena 1400 EUR/m<sup>2</sup>, pri čemer bi bil letni prihranek obratovalnih stroškov do 875 EUR.

Iz tega sledi, da bi se potencialni kupci nepremičnin ne glede na sedanjo višino mesečnih obratovalnih stroškov odločili za nakup energetske učinkovitega stanovanja/hiše. Iz tega sledi, da bi se tisti potencialni kupci, ki imajo že podpovprečne mesečne obratovalne stroške stanovanja/hiše, ponovno odločili za nakup energetske učinkovitega stanovanja/hiše. Prav tako bi se tisti, ki imajo sedaj v svojem stanovanju/hiši nadpovprečne mesečne obratovalne stroške, odločili za nakup energetske učinkovitejšega stanovanja/hiše. Na podlagi dobljenih rezultatov podhipotezo H3b delno potrdimo. Čeprav smo podhipotezo H3b le delno potrdili, nam ta ugotovitev vseeno pomaga pri potrjevanju glavne hipoteze. Rezultati naše raziskave kažejo, da se slovenski potencialni kupci nepremičnin zavedajo pomena energetske učinkovitosti stanovanja/hiš, kar bi tudi udeležili pri nakupu. Tako bi se potencialni kupci, ki imajo sedaj nadpovprečne obratovalne stroške, odločili za nakup novejšega stanovanja/hiše in za to plačali več, če bi dobili energetske učinkovitejše stanovanje/hišo in nižje obratovalne stroške; prav tako bi se enako odločili tudi kupci, ki imajo že sedaj podpovprečne obratovalne stroške, saj imajo s tem dobre izkušnje, ki bi jih prenesli na nakup novega stanovanja/hiše.

Tretjo podhipotezo H3c: »Kupci, ki so nezadovoljni z energetske učinkovitostjo stanovanja/

		Katero izmed navedenih alternativ bi izbrali, če bi kupovali stanovanje?			Skupaj
		Alternativa 3	Alternativa 4	Alternativa 5	
Povprečni mesečni obratovalni stroški	Nadpovprečni	17	6	9	32
	Srednji	39	44	27	110
	Podpovprečni	6	5	8	19
Skupaj		62	55	44	161

Preglednica 5 • Združena kontingenčna preglednica

Odgovori		Frekvenca	Odstotek	Veljavni odstotek	Skupni odstotek
Veljavni	Da	6	3,7	8,3	8,3
	Ne	66	41,0	91,7	100,0
	Skupaj	72	44,7	100,0	
Manjkajoči	0	89	55,3		
Skupaj		161	100,0		
	Načrtovanje celovite obnove stavbe	N	Povprečje	Standardni odklon	Standardna napaka povprečja
Zadovoljstvo z energijsko učinkovitostjo stavbe	Da	6	2,170	0,983	0,401
	Ne	66	3,140	1,065	0,131

Preglednica 6 • Skupna statistika za t-test

Zadovoljstvo z energijsko učinkovitostjo stanovanja/hiše			
Test Levenes in neodvisni test	Enaka varianca domnev	Neenaka varianca domnev	
<b>Test Levenes</b>			
F	0,890		
Statistična značilnost	0,349	-2,296	
Vrednost statistike (f)	-2,146	6,119	
Odstotne točke	70	0,610	
Statistična značilnost, 2-delna	0,035	0,061	
Povprečje razlik	-0,970	-0,970	
Standardna napaka razlik	0,452	0,422	
<b>t-test (enakosti povprečij)</b>			
95 % interval zaupanja	Spodnji	-1,871	-1,998
	Zgornji	-0,069	0,059

Preglednica 7 • Neodvisni t-test



hiše, načrtujejo v kratkem celovito obnovo stanovanja/hiše.« smo preverili s t-testom za dva neodvisna vzorca podatkov. Analiza vključuje vprašanja »Ali ste zadovoljni energetske učinkovitostjo stanovanja/hiše?« in »Ali načrtujete celovito energetske obnovo stanovanja/hiše?«. Pri čemer smo predvidevali, da fisti kupci, ki so nezadovoljni z energetske učinkovitostjo stanovanja/hiše, načrtujejo v kratkem celovito energetske obnovo obstoječega stanovanja/hiše.

Iz preglednice 6 lahko ugotovimo, da fisti kupci, ki so nezadovoljni z energetske učinkovitostjo stanovanja/hiše, nameravajo v kratkem celovito obnoviti obstoječe stanovanje/hišo. Teh anketirancev je šest in povprečna vrednost zadovoljstva znaša 2,2, kar pomeni, da so nezadovoljni z obstoječo energetske učinkovitostjo stanovanja/hiše. V preglednici 7 so izračunani podatki za neodvisni t-test.

Dobljene podatke nam potrjuje tudi statistična značilnost podatkov, saj znaša 0,03 in je v mejah dovoljene vrednosti 0,05. Podhipotezo H3c lahko potrdimo. Na podlagi rezultatov podhipotez H3a, H3b in H3c hipotezo H3 potrjujemo. T-test je metoda za ugotavljanje

statistične značilnosti razlik med aritmetičnimi sredinami dveh spremenljivk.

### 3.2 Razlaga rezultatov raziskave

Potrditev hipotez pomeni, da bi bil kupec, tudi v gospodarsko neugodnem času, pripravljen kupiti energetske učinkovito nepremičnino, ker je prepričan, da mu bo ta prinesla ekonomsko korist v obliki zmanjšanih obratovalnih stroškov. Na ta način bi se izničil negativen predznak naraslih stroškov gradbenih projektov. To pomeni, da bi investitor, kljub naraslim stroškom gradbenih projektov, bil pripravljen investirati v nepremičnino več zaradi boljše energetske učinkovitosti in posledično lažje prodaje.

Iz naše raziskave je razvidno, da se z implementacijo pravilnika PURES 2010 glede na PTZURES 2002 za konkretno izbrani gradbeni projekt gradbeni stroški bistveno ne povečajo in da se obratovalni stroški in dobi obratovanja objekta, zaradi boljše izolacije in vpeljave OVE, občutno zmanjšajo. Zato lahko ugotovimo, da vpeljava pravilnika PURES 2010 spreminja stroškovno raven projekta v zelo minimalnem, skoraj zanemarljivem

obsegu, zato bo sprememba prodajne cene verjetno minimalna. Trdimo lahko, da se bodo nepremičnine ob enaki prodajni ceni prodajale še boljše, saj bodo imele zaradi novega pravilnika večjo dodano vrednost za kupce.

Podobne evropske raziskave pokažejo, da so kupci, enako kot na energetske učinkovitost, pozorni tudi na videz energetske učinkovitih elementov in stavbe kot celote, zato se v teh raziskavah odkriva dejstvo, da kupci investirajo v energetske učinkovito stavbo samo v primeru, če to pomeni razumno povračilno dobo investicije, vendar pa so poleg tega zelo pozorni tudi na videz (Bartiaux, 2007). Potencialni kupci so bili, v našem primeru, v povprečju zelo nevtralni glede zadovoljstva z energetske učinkovitostjo svojega stanovanja/hiše in mesečnimi stroški obratovanja. S korelacijo smo dokazali pozitivno povezanost v primeru zmanjšanja obratovalnih stroškov, kar nas privede do zaključka, da bi bili kupci pripravljeni investirati v celovito energetske učinkovito prenavo ali nakup stanovanja/hiše, če bi to pomenilo zmanjšanje obratovalnih stroškov.

## 4 • SKLEP

Članek je osnova za nadaljnja raziskovanja energetske učinkovitosti stavb pri uveljavljanju novih sodobnejših pravilnikov o učinkoviti porabi energije v stavbah. Članek obravnava pomen energetske učinkovitosti v stavbah v neposredni povezavi z veljavnim pravilnikom o učinkoviti porabi energije v stavbah PURES 2010.

V teoretičnem delu smo prikazali analizo nekaterih že opravljenih raziskav s tega področja, ki so bile do sedaj opravljene samo v tujini. V empiričnem delu smo prikazali korelacijo med spremembo stroškov gradbenega projekta kot posledice uveljavitve novega pravilnika o učinkoviti porabi energije v stavbah in obratovalnimi stroški objekta po pravilnikih PTZURES 2002 in PURES 2010. Z anketo je prikazana neposredna korelacija med odločitvami kupcev glede na energetske učinkovitost stavbe.

Rezultati podajajo informacijo, da nam novi zaostreni pravilnik o učinkoviti porabi energije minimalno podraži gradnjo in prinese dodatno zadovoljstvo pri kupcih. Na podlagi raziskave, kako pomembna je ener-

getske učinkovitosti stavb, kot eden izmed odločitvenih dejavnikov pri nakupu, so se med raziskovanjem izoblikovali določeni predlogi za nadaljnja raziskovanja. Osnovna ideja je, da imajo energetske učinkovite stavbe pomemben prispevek za investitorje, kupce, najemnike, družbeno okolje in podnebje. Rezultati raziskave nakazujejo potrebo po nadaljnem raziskovanju, saj so bila z raziskavo preverjena samo nekatera področja. Vsekakor je smiselno, da so nadaljnja raziskovanja energetske učinkovitosti v stavbah povezana z uveljavitvijo še strožjih zahtev po učinkoviti porabi energije v stavbah.

Prenovljena direktiva EPBD zahteva navedbo energijskih indikatorjev pri oglaševanju stavb v primeru prodaje ali oddajanja v najem.

Za vsako stavbo lahko izračunamo porabo energije. Manjše energijske izgube pomenijo manjšo porabo energije in obratno. Energija se v stavbi porabi ogrevanje prostorov, pripravo sanitarne vode in druge opreme (gospodinjski aparati, razsvetljava in drugo). Na podlagi seštevka porabljene energije, ki predstavlja celotno porabo energije v stavbi,

izračunamo porabo energije na površinsko enoto uporabne površine bivalnega prostora v obdobju enega leta. Ta podatek je osnova za prikaz porabe energije v stavbi v obliki energetske izkaznice.

Večina energetske izkaznice stavbe po Evropi ima vertikalno skalo, na kateri so razredi od A do G, s katerimi se označi, kako energetske učinkovite je zgradba. Zgradbe, ki so v razredu A, so najbolj energetske učinkovite (pasivne zgradbe), zgradbe v razredu G so najbolj energetske potratne zgradbe. Razredi pa so določeni na podlagi letne potrebne toplote za ogrevanje stavbe. V energetske izkaznici stavbe so prikazani trije vidiki energijske učinkovitosti stavbe: to so toplotna zaščita ovoja stavbe vključno z arhitekturno zasnovo, končna poraba vse energije, potrebne za delovanje stavbe, in emisije CO<sub>2</sub>, ki jih stavba oddaja v ozračje.

Smiselnost uvedbe energetske izkaznice potrjuje tudi raziskava, predstavljena v članku. Ugotovili smo, da energetske učinkovitost pozitivno vpliva na nakupne odločitve posameznikov. Na ta način se z uvedbo energetske izkaznice stavb na to področje vnaša večja preglednost in primerljivost, kar je pozitivna odločitev pri nakupu nepremičnin.

## 5 • LITERATURA

- Amecke, H., The impact of energy performance certificates, A survey of German homeowners, *Energy Policy*, 46, str. 4–14, 2012.
- ABS, Australian Bureau of Statistics, Energy efficiency rating and house price in the ACT, Canberra, Department of the Environment, Water, Heritage and the Arts, 2008.
- Banfi, S., Farsi, M., Filippini, M., Jakob, M., Willingness to pay for energy saving measures in residential buildings, *Energy Economics*, 30(2), str. 503–516, 2008.
- Bariaux, F., Cantaert, M., Gram-Hanssen, K., Jensen, OM, Do homeowners use energy labels? A comparison between Denmark and Belgium. *Energy Policy*, 42, str. 2879–2888, 2007.
- Bienert, S., Bobsin, K., Huttler, W., Leopodsberger, G., Schutzenhofer, C., Leutgob, K. Methodologies for integration of energy performance and lifecycle costing indicators into property valuation practice, RICS research report, str. 1–241, dostopno na: [http://immoval.e-sieben.at/pdf/immvalue\\_wp7\\_report\\_d7.2.pdf](http://immoval.e-sieben.at/pdf/immvalue_wp7_report_d7.2.pdf), povzeto 9. 10. 2013, 2007.
- Boazu, R., Bienert, S., Popescu, D., Schützenhofer, C., Impact of energy efficiency measures on the economic value of buildings, *Applied Energy*, 89, str. 454–463, 2012.
- Brounen, D., Kok, N., On the economics of energy labels in the housing market, *Journal of Environmental Economics and Management*, 62(2), str. 166–179, 2011.
- Brounen, D., Menne, J., Kok, N., Energy performance certification in the housing market, Implementation and valuation in the European Union, European Centre for Corporate Engagement, Maastricht University, str. 1–24, dostopno na: [http://www.dgbc.nl/images/Energy\\_Performance\\_Certification\\_in\\_the\\_Residential\\_Sect.pdf](http://www.dgbc.nl/images/Energy_Performance_Certification_in_the_Residential_Sect.pdf), povzeto 9. 10. 2013, 2009.
- Chegut, A., Eichholtz, P., Kok, N., Quigley, J., The Value of green buildings new evidence from the United Kingdom, 17th ERES annual conference, str. 1–44, dostopno na: <http://www.eres2010.org/contents/papers/id150.pdf>, povzeto 7. 10. 2013, 2010.
- Clements, B., Sayce, S., Sundberg, A., Is sustainability reflected in commercial property prices: an analysis of the evidence base, RICS research report, str. 1–99, dostopno na: <http://eprints.kingston.ac.uk/15747/1/Sayce-S-15747.pdf>, povzeto 7. 10. 2013, 2010.
- Eichholtz, P., Kok, N., Quigley, J. M., Doing Well by Doing Good? Green Office Buildings, *American Economic Review*, 100(5), str. 2492–2509, 2010.
- EC DG E, European Commission (DG Energy), Energy performance certificates in buildings and their impact on transaction prices and rents in selected EU countries, str. 1–157, Bio Intelligence Service, Ronan Lyons, IEEP, 2013.
- Fabri, K., Tronchin, L., A round robin test for buildings energy performance in Italy, *Energy Build*, 42, str. 1862–1877, 2010.
- Fisher, J., Pivo, G., Investment returns from responsible property investments: energy efficient, transit-oriented and urban regeneration office properties in the US from 1998–2008, Responsible Property Investing Center, Boston College/University of Arizona/Benecki Center for Real Estate Studies/Indiana University, working paper, str. 1–33, dostopno na: <http://www.uic.edu/cba/mare/CureEvents/InvestmentReturns.pdf>, povzeto 8. 10. 2013, 2009.
- Fuerst, F., McAllister, P., The impact of Energy Performance Certificates on the rental and capital values of commercial property assets, *Energy Policy*, 39(10), str. 6608–6614, 2011.
- Hens, H., Energy efficient retrofit of an end of the row house: confronting predictions with long-term measurements, *Energy Build*, 10, str. 1939–1947, 2010.
- Horejajova, A., Muri, R., Salvi, M., Minergie macht sich bezahlt. Report from Centre for Corporate Responsibility and Sustainability. University of Zurich, Switzerland, str. 1–11, dostopno na: [http://minergie.ch/tl\\_files/download/ZKB\\_MINERGIE\\_Studie\\_2008.pdf](http://minergie.ch/tl_files/download/ZKB_MINERGIE_Studie_2008.pdf), povzeto 9. 10. 2013, 2008.
- Interno gradivo podjetja SGP Pomgrad – Nepremičnine, d. o. o., Objekt Mozaik, 2009.
- Kok, N., Jennen, M., The impact of energy labels and accessibility on office rents, *Energy Policy*, 46, str. 489–497, 2011.
- Murray, R., McGraw-Hill construction's green outlook 2009: trends driving change. McGraw-Hill Publication, 2008.
- Reichardt, A., Fuerst, F., Rottke, N. B., Zietz, J., Sustainable Building Certification and the Rent Premium: A Panel Data Approach. *Journal of Real Estate Research*, 34(1), str. 99–126, 2012.
- Wiley, J. A., Benefield, J. D., Johnson, K. H., Green Design and the Market for Commercial Office Space, *Journal of Real Estate Finance and Economics*, 41, str. 228–243, 2008.
- Yoshida, J., Sugiura, A., Which »Greenness« is valued? Evidence from Green Condominiums in Tokyo, 6th Annual AREUEA Conference Paper, dostopno na: <http://ssrn.com/abstract=1636426>, povzeto 1. 10. 2013, 2010.
- Zheng, S., Wu, J., Kahn, M. E., Deng, Y., The Nascent Market for "Green" Real Estate in Beijing, IRES Working Paper Series, IRES2011-013, 2011.

# NOVI DIPLOMANTI

## UNIVERZA V LJUBLJANI, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO IN GEODEZIJO

### UNIVERZITETNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

**Nejc Potočnik**, Kazalci za sprotno vrednotenje hidrološke suše, mentorica doc. dr. Mojca Šraj, somentorica asist. dr. Mira Kobold  
**Aleksander Gantar**, Izboljšava bivalnih in delovnih pogojev v večnamenski stavbi, mentor doc. dr. Mitja Košir, somentorica dr. Živa Kristl

**Igor Marušič**, Celovita obnova toplotnega ovoja večstanovanjske stavbe na Obali, v pogledu ekonomike in ogljičnega odtisa, mentor doc. dr. Roman Kunič, somentorica doc. dr. Andreja Kuntar

**Matevž Kocjan**, Numerično modeliranje preskusov na leseno steklenih stenastih elementih, mentor prof. dr. Boštjan Brank, somentor prof. dr. Miroslav Premrov

### UNIVERZITETNI ŠTUDIJ VODARSTVA IN KOMUNALNEGA INŽENIRSTVA

**Simon Vilhar**, Možnosti izkoriščanja vodnega potenciala na jezu na Gruberjevem prekopu, mentor doc. dr. Andrej Kryžanowski, somentor doc. dr. Simon Schnabl

**Gregor Lovšin**, Izdelava kart poplavne in erozijske nevarnosti z 2D hidravličnim modelom, mentor prof. dr. Franc Steinman, somentor asist. mag. Gašper Rak

### MAGISTRSKI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

**Denis Petelin Žerovnik**, Analiza časovnih odstopanj pri gradbenih projektih z empirično raziskavo stanja v Republiki Sloveniji, mentorica izr. prof. dr. Jana Šelih

## UNIVERZA V MARIBORU, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO

### VISOKOŠOLSKI STROKOVNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

**Aljoša Fruk**, Razvoj jeklenih konstrukcij, mentor red. prof. dr. Stojan Kravanja, somentor doc. dr. Tomaž Žula

**Borut Podbevšek**, Organizacija gradbišča in tehnološki procesi gradnje bencinskega servisa v Trbovljah, mentor izr. prof. dr. Uroš Klanšek, somentor izr. prof. dr. Andrej Štrukelj

**Luka Kovačič**, Dimenzioniranje in izvedba lovilcev lahkih tekočin, mentor viš. pred. Matjaž Nekrep Perc, somentorica asist. Blanka Grajfoner

### UNIVERZITETNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

**Damjan Novak**, Modeliranje in dimenzioniranje armiranobetonskih T nosilcev, mentor doc. dr. Milan Kuhta, somentor pred. Aljoša Klobučar

### 2. STOPNJA, MAGISTRSKI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

**Iztok Arnuga**, Projektiranje železniškega mostu čez Dravo pri Velikovcu, mentor doc. dr. Milan Kuhta, somentor Fritsch Michael, Dipl.-Ing.

**Mojca Roženičnik Korošec**, BIM kot trajnostni koncept načrtovanja objektov, mentor doc. dr. Nenad Čuš Babić

Rubriko ureja • Eva Okorn, gradb.zveza@siol.net

Vsem diplomantom čestitamo!

Skladno z dogovorom med ZDGITS in FGG-UL vsi diplomanti gradbenega oddelka Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani prejemaajo Gradbeni vestnik (12 števil) eno leto brezplačno. Vse, ki bodo želeli po prejemu 12. številke postati redni naročniki, prosimo, naj to čimprej sporočijo uredništvu na naslov: GRADBENI VESTNIK, Karlovska cesta 3, 1000 Ljubljana; telefon: (01) 52 40 200; faks: (01) 52 40 199; e-mail: [gradb.zveza@siol.net](mailto:gradb.zveza@siol.net).

ZDGITS in Uredništvo Gradbenega vestnika

# KOLENDAR PRIREDITEV

**27.4.-2.5.2014**

**EGU General Assembly**

Dunaj, Avstrija  
[www.egu2014.eu](http://www.egu2014.eu)

**7.-9.5.2014**

**7th China International Underground Engineering & Tunnel Technology Exhibition**

Peking, Kitajska  
[www.tunnel-expo.com/TunnelExpo\\_en/](http://www.tunnel-expo.com/TunnelExpo_en/)

**1.-6.6.2014**

**82nd ICOLD Annual Meeting**

Bali, Indonezija  
[www.icold2014bali.org/en/agenda.html](http://www.icold2014bali.org/en/agenda.html)

**2.-6.6.2014**

**3rd World Landslide Forum "Landslide risk mitigation: Constructing a safe geo-environment"**

Peking, Kitajska  
[www.wlf3.org](http://www.wlf3.org)

**5.-6.6.2014**

**Prvi srpski kongres o putevima**

Beograd, Srbija  
[www.kongresoputevima.rs](http://www.kongresoputevima.rs)

**23.-27.6.2014**

**10th International Symposium on Ecohydraulics**

Trondheim, Norveška  
[www.ntnu.edu/ecohydraulics2014](http://www.ntnu.edu/ecohydraulics2014)

**30.6.-2.7.2014**

**EURODYN 2014**

**9th International Conference on Structural Dynamics**  
Porto, Portugalska  
<http://paginas.fe.up.pt/~eurodyn2014/>

**3.-5.7.2014**

**International Scientific Conference »Contemporary Materials«**

Banja Luka, Republika Srpska  
<http://savremenimaterijali.info/index.php?idsek=15>

**16.-18.7.2014**

**Footbridge 2014: Past, Present & Future**

London, Anglija  
[www.footbridge2014.com](http://www.footbridge2014.com)

**24.-29.8.2014**

**2ECEES**

**2nd European Conference on Earthquake Engineering and Seismology**

Istanbul, Turčija  
[www.2ecesistanbul.org](http://www.2ecesistanbul.org)

**3.-5.9.2014**

**37th IABSE Symposium Madrid 2014**

Madrid, Španija  
[www.iabse.org/Images/Conferences/Madrid/symposium\\_iabse2014.pdf](http://www.iabse.org/Images/Conferences/Madrid/symposium_iabse2014.pdf)

**15.-19.9.2014**

**IAEG XII Congress Engineering Geology for Society and Territory**

Torino, Italija  
[www.iaeg2014.com](http://www.iaeg2014.com)

**17.-19.9.2014**

**ECCPM 2014 – 10th European Conference on Product and Process Modelling**

Dunaj, Avstrija  
<http://info.tuwien.ac.at/ecppm/>

**23.-24.9.2014**

**10th International Symposium on Cable Dynamics**

Kopenhagen, Danska  
<http://www.aimontefiore.org/iscd2014/>

**1.-2.10.2014**

**10th »CCC« Central European Congress on Concrete Engineering**

Liberec, Češka  
[www.cbsbefon.eu/ccc2014](http://www.cbsbefon.eu/ccc2014)

**20.-22.10.2014**

**EEBP7 – 7th International Symposium on Environmental Effects on Buildings and People – Actions, Influences, Interactions, Discomfort**

Krakov, Poljska  
<http://psiw.org.pl/eebp7>

**6.-8.11.2014**

**International Conference on Sustainable Infrastructure 2014**

Long Beach, Kalifornija, ZDA  
<http://content.asce.org/conferences/icsi2014/index.html>

**12.-17.4.2015**

**7th World Water Forum**

Daegu-Gyeongbuk, Republika Koreja  
<http://worldwaterforum7.org/en>

**13.-15.5.2015**

**IABSE Conference Nara 2015**

Nara, Japonska  
[www.iabse.org/Nara2015](http://www.iabse.org/Nara2015)

**25.-29.5.2015**

**XVth IWRA World Water Congress**

Edinburgh, Škotska  
[www.worldwatercongress.com](http://www.worldwatercongress.com)

**22.6.-2.7.2015**

**XXVIth IUGG General Assembly**

Praga, Češka  
[www.iugg.org/programmes/grants2015.php](http://www.iugg.org/programmes/grants2015.php)

Rubriko ureja • **Eva Okorn**, ki sprejema predloge za objavo na e-naslov: [gradb.zveza@siol.net](mailto:gradb.zveza@siol.net)