

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2010-1/165

ZAKLJUČNO POROČILO O REZULTATIH RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROJEKTU

1. Osnovni podatki o raziskovalnem projektu

Šifra projekta	Z2-0826
Naslov projekta	Škatlasti jekleni profili pod hkratno tlačno in upogibno obremenitvijo
Vodja projekta	20205 Luka Pavlovčič
Tip projekta	Zt Podoktorski projekt - temeljni
Obseg raziskovalnih ur	3.400
Cenovni razred	B
Trajanje projekta	02.2008 - 01.2010
Nosilna raziskovalna organizacija	792 Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo
Raziskovalne organizacije - soizvajalke	
Družbeno-ekonomski cilj	13. Splošni napredek znanja - RiR financiran iz drugih virov (ne iz splošnih univerzitetnih fondov - SUF)

2. Sofinancerji¹

1.	Naziv	
	Naslov	
2.	Naziv	
	Naslov	
3.	Naziv	
	Naslov	

B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

3. Poročilo o realizaciji programa raziskovalnega projekta²

Zastavljeni podoktorski projekt je bil v celoti končan, z opravljenim obsežnim programom eksperimentalnih raziskav z analizo vseh rezultatov (delovni sklop 1), z numeričnimi simulacijami testov (delovni sklop 2), z numerično študijo začetnih nepopolnosti (delovni sklop 3), numerično parametrično študijo (delovni sklop 4) ter na podlagi vseh numeričnih rezultatov z natančno analizo obstoječih računskih metod za dimenzioniranje tlačno in upogibno obremenjenih elementov s podanimi predlogi izboljšav (delovni sklop 5). Eksperimentalni del raziskav sem vodil in opravil na Univerzi v Stuttgartu (Inštitut za projektiranje in zasnovu pod vodstvom prof.

dr. Ulrike Kuhlmann) v času od začetka projekta do konca novembra 2008, numerični del raziskav pa na Univerzi v Ljubljani, na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo (nosilna RO).

Natančnejše vsebinsko poročilo in opis raziskovanja, s ključnimi ugotovitvami in znanstvenimi spoznanji:

V okviru eksperimentalnega dela (*DS 1*) smo najprej natančno načrtovali teste, pri čemer sem za izbiro ustreznih preizkušancev izvedel serijo numeričnih predsimulacij po metodi končnih elementov (MKE) z obravnavo različnih vplivnih parametrov (*naloga 1*). Skrbno je bilo potrebno načrtovati vse potrebne meritve in vpenjalni sistem (razvili smo tudi poseben sistem vpenjanja za ekscentrične teste). Namesto načrtovanih 7 testov smo izvedli celo 8 »full-scale« testov na stebrih škatlastih varjenih ali hladno oblikovanih profilov, pri čemer so bili 4 obremenjeni centrično (čisti tlak) in 4 ekscentrično (interakcija tlaka in upogiba) – *naloga 2*. Oba krajša 4 metrska preizkušanca v tlaku sta odpovedala kot predvideno – v kombinirani lokalni in globalni porušni obliki, oba daljša 5.2 metrska stebra pa v pretežno globalnem uklonu. Pri krajših stebrih je hladno oblikovani profil dosegel približno 10% nižjo nosilnost kot varjeni, pri višjih pa presenetljivo obratno - nekoliko višjo. Pri ekscentričnih testih je vpliv upogibnih elementov velik z doseženo 70% redukcijo nosilnosti pri največji ekscentričnosti vnosa sile (200 mm). Dobljena interakcijska krivulja N-M pokaže pretežno linearen odnos. Dodaten test je bil izveden na hladno oblikovanem profilu z ekscentričnostjo 60 mm, ki je dosegel za 17% nižjo nosilnost kot primerljivi test na varjenem profilu. Rezultati testov so bili natančno analizirani s primerjavo nosilnosti, porušnih oblik in pomikov ter deformacij, izmerjenimi z merilnimi lističi (*naloga 3*).

Poleg »full-scale« testov smo v sklopu *naloge 2* izvedli tudi 4 natezne teste za določitev materialnih karakteristik uporabljenega jekla ter izvedli zahtevne meritve zaostalih napetosti v varjenem in hladno oblikovanem profilu. Izmerjene napetosti tečenja jekla ($f_y = R_{eL} = 373 \text{ MPa}$) so nekoliko višje od nominalnih ($S 355 - f_y = 355 \text{ MPa}$). Dva natezna testa sta bila izvedena tudi po protokolu za določitev statičnih vrednosti (lastnosti jekla neodvisne od hitrosti obremenjevanja). Rezultati občutljivih meritev zaostalih napetosti so pokazali jasno in logično sliko porazdelitve zaostalih napetosti po prerezu: pri varjenih profilih tlačne zaostale napetosti dosežejo kar 40% napetosti tečenja, pri hladno oblikovanih pa 23% f_y . V obeh primerih dosežejo natezne zaostale napetosti v območju zvarov pričakovani nivo napetosti tečenja. Pred začetkom testov na stebrih so bile natančno izmerjene začetne geometrijske nepopolnosti in pozicija (nagib) vseh stebrov med preizkusom (nenačrtovana ekscentričnost vnosa sile). Vsi rezultati »full-scale« testov, materialnih testov ter meritev vseh začetnih nepopolnosti (zaostale napetosti, geometrijske nepopolnosti in začetni nagib) sem natančno dokumentiral v eksperimentalnem poročilu (*naloga 3*), tako da so vsi izmerjeni rezultati v nadalje uporabni tudi za ostale raziskovalce, npr. za kalibracijo različnih računskih modelov in metod.

Rezultati vseh teh dodatnih testov in meritev so služili tudi za kar najbolj natančno numerično simulacijo testov (*DS 2*), ki sem jo izvedel po MKE s programskim paketom ABAQUS. V *nalogi 1* sem natančno modeliral geometrijo preizkušancev z ustreznimi robnimi pogoji (centrični in ekcentrični testi) ter račun izvedel po modificirani Riksovi metodi z ustrezno gosto mrežo končnih elementov. Za natančno implementacijo vseh izmerjenih začetnih nepopolnosti sem moral predhodno izmerjene podatke obdelati in projicirati v koordinatni sistem računskega modela (*naloga 2*). Vključil sem dva materialna modela – z aproksimacijo izmerjenega diagrama napetost-deformacija z upoštevanjem standardnih vrednosti ter z aproksimacijo dodatno določenih statičnih vrednosti (*naloga 3*). Analiza rezultatov (*naloga 4*) pokaže zelo dobro ujemanje rezultatov testov in MKE simulacije: razlike v izmerjenih in izračunanih nosilnostih so v okviru 6%, dobro pa se ujemajo tudi deformacijske oblike, tako globalno kot lokalno. Pri simulaciji ekscentričnih testov izračunan interakcijski diagram N-M kaže linearen odnos podobno kot v testih. Celotna numerična simulacija z analizo rezultatov je prav tako natančno dokumentirana v eksperimentalnem poročilu.

Numerični model mi je omogočil tudi zanimivo analizo začetnih nepopolnosti (*DS 3*), torej kakšen imajo dejanski vpliv posamezne nepopolnosti oziroma različne kombinacije nepopolnosti na nosilnost različnih tipov stebrov (*naloga 1*). Pri geometrijskih nepopolnostih sem ločeno obravnaval tudi globalne in lokalne nepopolnosti, pri čemer je bilo potrebno predhodno ugotoviti najbolj ugodno obliko obeh tipov nepopolnosti (*naloga 2*). Rezultati študije pokažejo naslednje: vpliv zaostalih napetosti je največji in prispeva kar k 37% znižanju nosilnosti pri varjenih in k

15% znižanju pri hladno oblikovanih profilih. Vpliv geometrijskih nepopolnosti in naključne ekscentričnosti stebrov je podoben – okoli 15% znižanje pri centričnih stebrih in $\pm 3\%$ odstopanja pri ekscentričnih. Kar se tiče geometrijskih nepopolnosti imajo globalne geometrijske nepopolnosti večji vpliv od lokalnih. Vzajemni vpliv vseh nepopolnosti zniža nosilnost do 45% v primerjavi s popolnim stebrom. Nadaljna numerična analiza je potrdila, da bi vpliv vseh nepopolnosti lahko ustrezno zajeli z ekvivalentnimi nepopolnostmi po priporočilih standardov SIST EN 1993-1-1 in SIST EN 1993-1-5, v kolikor se ustrezno upošteva predvideni nivo zaostalih napetosti (*naloga 3*).

Na verificiranih numeričnih modelih sem v okviru sklopa DS 4 izvedel obširno parametrično študijo, s katero sem dobil različne baze podatkov t.i. virtualnih testov, s katerimi sem razširil število dejansko izvedenih testov. V *nalogi 1* sem definiral programsko matriko vseh izračunov. Glavna obravnavana parametra sta parametra globalne in lokalne vitkosti, ki sem ju variiral v precej širšem območju (globalna vitkost 0.2 - 2.0, lokalna 0.43 - 2.0), kot je bilo to izvedeno v eni predhodnih raziskav (Detzel, 2006), v kateri so pokrili območje vitkosti tipične za ločne mostove (globalno 0.8 - 1.4, lokalno 0.7 - 1.1). Parameter globalne vitkosti sem variiral s spreminjanjem dolžine profilov, lokalno vitkost pa s spreminjanjem debeline pločevin, pri čemer sem ohranjal obliko prečnega prereza. Poleg upoštevanja osnovne kvalitete jekla S 235, sem dodatno bazo podatkov izračunal še za jeklo višje kvalitete S 355. Posebno pozornost sem namenil implementaciji začetnih nepopolnosti (*naloga 2*). Vključil sem jih na dva načina: prvič natančneje, z modeliranjem globalnih in lokalnih geometrijskih nepopolnosti ter vključno s predvidenimi zaostalimi napetostmi, ter drugič poenostavljeno z ekvivalentnimi nepopolnostmi po priporočilih obeh relevantnih standardov SIST EN. V prvem primeru so bile amplitude geometrijskih nepopolnosti določene v skladu s smernicami standardov SIST EN in predhodne študije (Detzel, 2006), velikost zaostalih napetosti pa sem izpeljal na podlagi nekaterih izhodišč v ECCS publikaciji (ECCS, 1976), ki so služila za osnovo določitvi evropskih uklonskih krivulj. S spreminjanjem debeline pločevin se načeloma spreminja debelina zvarov in posledično nivo zaostalih napetosti, ki ga je bilo potrebno preračunati za vsak parameter lokalnih vitkosti posebej. Tak pristop je bolj konsistenten in natančen, kot modeliranje nepopolnosti v parametričnih študijah nekaterih drugih avtorjev (npr. Detzel, 2006). Celotno parametrično študijo sem ponovil za dva razreda debeline zvarov: za relativno tanke zware in relativno debele zware. Tako sem dobil dvojno bazo podatkov za nadaljno verifikacijo računskih metod. Pri tem sem konsistentno izpeljal natančnejše meje, ki definirajo oba razreda debeline zvarov in posledično nivo začetnih nepopolnosti. Izpeljana definicija mej razredov nepopolnosti, ki je odvisna tudi od kvalitete jekla, je podana kot predlog dopolnitve k obstoječim razredom za uporabo ustreznih uklonskih krivulj v standardu EN 1993-1-1. Analiza rezultatov same parametrične študije (*naloga 3*), pokaže na sprejemljivo redukcijo nosilnosti z večanjem globalne oziroma lokalne vitkosti. Vpliv ekscentričnosti obremenjevanja, torej vnos dodatnega upogibnega momenta praktično linearno zmanjšuje nosilnost stebra z večanjem ekscentričnosti. Nosilnosti v relativnem smislu pri upoštevanju različne kvalitete jekla so primerljive ob podanih izhodiščih, kar dejansko omogoča enovit pristop k dimenzioniranju elementov iz različne kvalitete jekel. To potrjuje smiselnost natančnejših definicij mej za različne razrede relativne debeline zvarov (razredi nepopolnosti) z vpeljavo parametra kvalitete jekla. Vpliv višjih zaostalih napetosti, pri predpostavljeno debelejših zvarih v primerjavi s tanjšimi zvari, znese približno do 10 % redukcije nosilnosti pri manjših globalnih vitkosti, razlika pa se z večanjem vitkosti zmanjšuje. To odstopa od običajnega primera lokalno kompaktnih stebrov, kjer so pričakovane razlike največje v območju srednjih globalnih vitkosti.

Predvsem pa so vsi ti numerični rezultati služili za oceno natančnosti treh različnih računskih metod za dimenzioniranje tlačno in upogibno obremenjenih škatlastih stebrov (DS 5). Obstoječa metoda v evrokod standardu (EN) se izkaže v območju večjih lokalnih vitkosti in predvsem pri malih globalnih vitkosti na nevarni strani. Predlog izboljšav predhodne raziskave (Detzel, 2006) je sicer natančnejši v srednjem območju vitkosti za katero je bila metoda skalibrirana, v širšem območju pa so nosilnosti precenjene, zato metode ni mogoče generalizirati. Naprednejša metoda, ki so jo na Univerzi v Dortmundu v osnovi razvili za odprte profile (Brune, 2000) in smo jo prilagodili tudi za škatalaste profile, dosega najvišjo varnost, vendar za ceno nekoliko večjega raztrosa rezultatov glede na numerične izračune, torej deloma večje konzervativnosti. Ostale ugotovitve so sledeče (*naloga 1 do 4*):

- Obstoječe interakcijske formule za tlačno in upogibno obremenjene stebre se izkažejo

zadosti varne, saj se varnost z večanjem upogibnega momenta ne slabša v primerjavi s samo tlačno obremenjenimi stebri.

- Pri upoštevanju relativno močnejših zvarov, bi bilo potrebno za zagotovitev varnosti upoštevati eno do dva razreda neugodnejšo uklonsko krivuljo (krivuljo c oz. d namesto b).
- Glede na veliko občutljivost rezultatov na vpliv začetnih nepopolnosti, te pa je na splošno v naprej težko oceniti, kar privede do velikega raztrosa rezultatov, se izkaže, da nadaljna fina kalibracija metod ni posebno smiselna. Pomembneje je dobro definirati razrede nepopolnosti (pričakovani nivo zaostalih napetosti pri različno močnih zvarih), na podlagi katerih se v računskem postopku izbere ustrezne uklonske krivulje. Z vpeljavo parametra kvalitete jekla sem podal predlog natančnejše definicije mej teh razredov. Z nadaljno sistematično raziskavo različnih postopkov varjenja in debeline zvarov bi se dalo te definicije mej posplošiti in še natančneje analizirati.
- Ne glede na računski postopek so rezultati pri majhni globalni vitkosti tankostenskih profilov (višja lokalna vitkost) na nevarni strani, kar se še slabša z relativno večjo debelino zvarov. Potrebna bi bila nadaljna eksperimentalna raziskava, s katero bi lahko ocenili dejanski odziv stebrov v takem območju vitkosti.
- Študija na koncu potrdi, da bi bilo za praktično uporabo v projektantski praksi mogoče natančnejše modeliranje nepopolnosti sorazmerno solidno nadomestiti z ekvivalentnimi geometrijskimi nepopolnostmi podanimi v standardi EN.

Uporabnost rezultatov raziskave in učinki raziskovalnega projekta:

- 8 izvedenih »full-scale« testov razširja bazo vseh do sedaj izvedenih testov z rezultati za preizkušance različnih geometrij, izvedbe in vnosa sile, kar nudi uporabne podatke za različne raziskave. V ta namen so vse meritve natančno dokumentirane v eksperimentalnem poročilu.
- Dobro ujemanje numerične simulacije s testi med drugim kaže tudi na dosledno izvedbo testov in dobro dokumentiranost dejanskih lastnosti stebrov.
- Analiza vpliva različnih nepopolnosti kaže na veliko občutljivost obravnavanega problema tlačnih vitkih stebrov na vse vrste nepopolnosti in posledično na nujnost predhodnih meritev vseh nepopolnosti, njihovo dokumentiranje in natančno vključevanje v numerične modele. Pokazano je, da se lahko sorazmerno uspešno vse nepopolnosti nadomesti z ekvivalentnimi nepopolnostmi v skladu s smernicami v standardih EN 1993-1-1 in EN 1993-1-5.
- Numerična parametrična študija lahko služi kot širša baza rezultatov t.i. virtualnih eksperimentov. Predvsem pomembna je konsistentna in natančna aplikacija nepopolnosti, pri čemer je bila celotna študija izvedena za dva razreda relativne debeline zvarov, torej zaostalih napetosti. Podan je predlog nove definicije mej med razredi nepopolnosti z vpeljavo parametra kvalitete jekla.
- Natančno so analizirane tri metode dimenzioniranja stebrov – obstoječa v EN standardu in dveh modifikacij. Pokazana so območja precenjenih nosilnosti, kar je pomembno za projektantsko prakso in lahko služi kot pomembne smernice pri nadaljnjih raziskavah (problematično območje krajših lokalno vitkih stebrov). Zaradi velikega vpliva nepopolnosti je namesto fine kalibracije metod predlogana natančnejša definicija mej različnih razredov nepopolnosti.

Vpetost projekta v mednarodni prostor:

Ves čas raziskave sem tesno v sodelovanju z nemškim partnerjem - Univerza v Stuttgartu, Institut für Konstruktion und Entwurf pod vodstvom prof. Ulrike Kuhlmann, ki so omogočili izvedbo vseh testov. Po uvodnih 10 mesecih dela na Univerzi v Stuttgartu sem delo nadaljeval na Univerzi v Ljubljani, na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo (nosilna RO, Katedra za metalne konstrukcije pod vodstvom prof. Darka Bega). Vmesne rezultate raziskave smo predstavili na sestanku projektne delovne skupine DSTV (Deutscher Stahlbauverband) v Kölnu (18. 4. 2008), v Stuttgartu (26. 6. 2008) in v Hirschbergu (4. 11. 2008). S predstavitvijo rezultatov projekta sem bil povabljen na pomemben sestanek evropske delovne skupine ECCS TWG 8.3 pristojne za evropske standarde na področju stabilnosti jeklenih konstrukcij (Stuttgart, 24. 4. 2009). Ves čas smo tudi v navezi z drugim nemškim partnerjem – Tehnična univerza v Dortmundu (prof. Dieter Ungermann, doc. Betina Brune), kjer v sklopu skupnega nemškega projekta vzporedno opravljajo podobne raziskave na stebrih odprtih U profilov. Vsi omenjeni partnerji so priznani strokovnjaki s

področja stabilnosti jeklenih konstrukcij, kar mi omogoča plodno izmenjavo znanj, izkušenj in pogledov na obravnavano problematiko.

Dosedanje in načrtovane objave:

Rezultate raziskave sem dosedaj predstavil na treh konferencah: na mednarodni konferenci CC2009 v Funchalu na Madeiri (1-4. 9. 2009), na mednarodni konferenci »Stability and Ductility of Structures« v Vilniusu v Litvi (24-25. 9. 2009) in na Zborovanju gradbenih konstrukterjev Slovenije v Rogaški Slatini (8-9. 10. 2009). Zaradi narave raziskave, kjer so pomembnejši rezultati sledili šele po vseh pripravah in izvedbi obsežnega eksperimentalnega programa in numeričnih simulacij (prvo leto) je objava znanstvenih člankov mogoča s krajšim zamikom. En znanstveni članek je že sprejet v objavo (Journal of Civil Engineering and Management, ISSN 1392-3730, ISI Web of Science idr.) – v prilogi dodano potrdilo o sprejetju članka v objavo, en znanstveni članek je poslan v pregled v pomembno SCI revijo Computers and Structures (ISSN 0045-7949) – v prilogi dodano potrdilo o prejemu članka, v zaključnih fazah priprave pa je tudi celovit članek za eno najpomembnejših SCI revij s področja jeklenih konstrukcij Journal of Constructional Steel Research (ISSN 0143-974X) – v prilogi dodana zadnja verzija članka. V načrtu imamo še predvidoma dve objavi v domači znanstveni reviji Gradbeni Vestnik ter objavo zadnjih rezultatov vsaj še na eni mednarodni konferenci.

Sklicevane reference:

Brune, B. (2000). Biegeknicen von druck- und biegebeanspruchten Stahlbauteilen mit Beulschlangen Blechen – Ein Gesamtstabilitätsproblem. Bericht aus dem Fachgebiet Stahlbau. Dortmund, Konstruktiver Ingenieurbau, Technische Universität Dortmund.
Detzel, A. (2006). Zum Gesamtstabilitätsproblem geschweißter Rechteckquerschnitte unter Druckbelastung. Institut für Konstruktion und Entwurf, Stuttgart, Universität Stuttgart.
ECCS (1976). Manual on Stability of Steel Structures. Second edition N°22, European convention for constructional steelwork ECCS – Committee 8 – Stability 1976.

4. Ocena stopnje realizacije zastavljenih raziskovalnih ciljev³

Zastavljeni cilji projekta so bili v celoti doseženi in celo preseženi. Namesto zastavljenih 7 »full-scale« testov nam je namreč uspelo izvesti še dodatni 8 test, v numerični študiji pa je bila pridobljena kar dvojna baza rezultatov in sicer za profile z relativno tankimi in relativno debelimi zviri.

Pričakovani rezultati (R_i) so doseženi oziroma so v zaključku smiselno korigirani:

DS 1:

R_1 : Testi so pokazali realno obnašanje stebrov, dobili smo predvidene porušne oblike stebrov. Vpliv ekscentričnosti povečuje globalni uklon stebrov.

R_2 : Natančno smo izmerili materialne karakteristike jekla (4 testi) ter vse začetno nepopolnosti stebrov, pri čemer bi izpostavil zahtevno merjenje zaostalih napetosti na varjenem in na hladno oblikovanem profilu.

R_3 : Vsi rezultati testov so bili skrbno analizirani in dokumentirani in so tako uporabni za vse nadaljne raziskave.

DS 2:

R_4 : Numerična simulacija pokaže dobro ujemanje s testi tako glede nosilnosti kot porušnih (izbočitvenih) oblik.

R_5 : S tem so bili numerični modeli ustrezno verificirani in so uporabni za nadaljne numerične analize.

DS 3:

R_6 : Ugotovljen je bil vpliv različnih začetnih nepopolnosti in njihovih kombinacij za različne obravnavane tipe stebrov in obremenitev.

R_7 in R_8 : V parametrični študiji smo nepopolnosti prvič modelirali kar najbolj natančno, z zahtevno variacijo nivoja zaostalih napetosti pri različnih debelinah pločevin in drugič za primerjavo z ekvivalentnimi geometrijskimi nepopolnostmi v skladu s standardom EN. Slednje

dajo nekoliko nižje nosilnosti z manjšim raztrosom rezultatov, vendar je poenostavitev ocenjena kot ustrezna za natančnejšo projektantsko prakso.

DS 4:

R9: S parametrično študijo je izračunana široka baza rezultatov t.i. virtualnih testov s pokritim širokim poljem globalnih in lokalnih parametrov vitkosti in z variiranjem ekscentričnosti obtežbe. Vsi rezultati so izračunani celo za dva predpostavljena razreda relativne debeline zvarov.

R10: Natančno so analizirani vplivi obravnavanih parametrov. Odziv profilov iz jekel različne kvalitete pa ne odstopa bistveno, v kolikor ustrezno definiramo meje razredov različnih nepopolnosti z vplejavo parametra kvalitete jekla.

DS 5:

R11 in R12: Na podlagi baze rezultatov so bile natančno analizirane tri metode doležitve nosilnosti zaprtih profilov: obstoječa metoda v standardu EN, modificirana metoda po (Brune, 2000) in predlog izboljšave po (Detzel, 2006). Ugotovljena so bila območja in pogoji, kjer so rezultati posamezne metode na nevarni strani. Zaradi velikega vpliva začetnih nepopolnosti in posledično velikega raztrosa rezultatov se je tekom raziskave pokazalo, da fina kalibracija in korekcija obstoječe metode ni posebej smiselna, ampak je potrebno raje natančneje določiti vhodne podatke. Podan je bil predlog natančnejše definicije mej različnih razredov relativne debeline zvarov, torej razrede začetnih nepopolnosti, ki lahko znotraj obstoječe metode definirajo uporabo ustrezne uklonske krivulje.

5. Utemeljitev morebitnih sprememb programa raziskovalnega projekta⁴

Ni sprememb.

6. Najpomembnejši znanstveni rezultati projektne skupine⁵

Znanstveni rezultat			
1.	Naslov	SLO	Vitki tankostenski škatlasti stebri obremenjeni v tlaku in upogibu
		ANG	Slender thin-walled box columns subjected to compression and bending
	Opis	SLO	Članek obravnava eksperimentalne raziskave vitkih tankostenskih škatlastih stebrov in nadaljne numerične simulacije testov. Izvedenih je bilo 8 „full-scale“ testov na varjenih in hladno oblikovanih stebrih s spremenljivo globalno vitkostjo, obremenjenih s centričnim in ekscentričnim tlakom. Stebri so se porušili v kombinaciji globalne in lokalne nestabilnosti. Za namen natančnejše numerične analize testov, so bile natančno izmerjene materialne karakteristike in začetna geometrija stebrov in velikost zaostalih napetosti. Reultati MKE simulacije pokažejo dobro ujemanje z rezultati testov.
		ANG	The paper deals with experimental investigation of slender thin-walled box columns and subsequent numerical simulation of tests. Eight full-scale tests were carried out with different global slenderness of welded and cold-formed columns subjected to centric and eccentric compression. All columns failed in combined global and local buckling mode. For the purpose of profound numerical simulations of tests, material properties were also tested, and the initial column geometry and residual stresses were carefully measured. The results of FEA simulations show good agreement with the test results.
	Objavljeno v		Sprejeto v objavo v mednarodno SCI revijo Journal of Civil Engineering and Manegement (ISSN 1392-3730, ISI Web of Science) – glej potrdilo v priponki. Avtorji: PAVLOVČIČ, Luka, FROSCHEIMER, Bernadette, KUHLMANN Ulrike, BEG Darko
	Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
	COBISS.SI-ID		0
2.	Naslov	SLO	MKE simulacija vitkih tankostenskih škatlastih stebrov z vključitvijo realnega začetnega stanja
		ANG	Finite element simulation of slender thin-walled box columns by implementing real initial conditions

	Opis	SLO	Prispevek obravnava numerično simulacijo 8 testov na vitkih tankostenskih škatlastih stebrih, obremenjenih v centričnem in ekscentričnem tlaku. V numerični model so bile natančno vključene različne začetne nepopolnosti izmerjene pred testi, materialni model pa je bil zasnovan na materialnih karakteristikah iz nateznih preizkusov. Rezultati MKE simulacije pokažejo dobro ujemanje z rezultati testov. Na verificiranih numeričnih modelih se je analiziralo vpliv posameznih začetnih nepopolnosti. Določene so bile tudi ekvivalentne nepopolnosti za obravnavano geometrijo stebrov.
		ANG	The paper deals with the numerical simulation of 8 tests on slender thin-walled box columns, subjected to centric and eccentric compression. In numerical models different initial imperfections were carefully applied as measured from tests and material was modelled based on material properties obtained from tensile tests. The results of FEA simulations show good agreement with the test results. On verified numerical model the influence of each particular initial imperfection was studied and equivalent geometric imperfections were tested for the considered column configurations.
	Objavljeno v		PAVLOVČIČ, Luka, KUHLMANN, Ulrike, FROSCHMEIER, Bernardette, BEG, Darko. Finite Element Simulation of Slender Thin-Walled Box Columns by Implementing Real Initial Conditions. V: TOPPING, Barry H. V. (ur.). Proceedings of the Twelfth International Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering Computing, Funchal, Madeira, Portugal, 1-4 September 2009, (Civil-Comp Proceedings, 91). Stirlingshire, UK: Civil-Comp Press, 2009, str. 1-20.
	Tipologija		1.08 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci
	COBISS.SI-ID		4801121
3.	Naslov	SLO	Globalno vitki tankostenski škatlasti stebri obremenjeni v tlaku in upogibu
		ANG	Slender thin-walled box columns subjected to compression and bending
	Opis	SLO	Prispevek obravnava 8 »full-scale« testov na vitkih tankostenskih stebrih, ki so podvrženi dvojni nestabilnosti: uklonu celotnega stebra in lokalnemu izbočenju jeklenih pločevin. Stebri so bili centrično in dodatno upogibno obremenjeni. Izdelani so bili iz varjenih in hladno oblikovanih profilov z namenom študije učinka različnih proizvodnih postopkov. Z nateznimi preizkusi so bile določene materialne karakteristike jekla, natančno pa so bile izmerjene tudi vse začetne nepopolnosti: globalne in lokalne nepopolnosti, začetni naklon stebrov ter velikost in razporeditev zaostalih napetosti.
		ANG	This paper deals with 8 full-scale tests on slender thin-walled box columns, susceptible to instability of both types: to global Euler buckling as well as to local buckling of steel plates. Centric and eccentric loading conditions were applied. Columns were fabricated from welded and cold-formed profiles in order to observe the effect of different fabrication procedures. Material properties were also tested and different initial column imperfections were carefully measured: global and local geometric imperfections, initial column inclination and the level and distribution of residual stresses.
	Objavljeno v		PAVLOVČIČ, Luka, FROSCHMEIER, Bernardette, KUHLMANN, Ulrike, BEG, Darko. Slender thin-walled box columns subjected to compression and bending. V: Stability and Ductility of Structures : Collection of extended abstracts of the international Conference : Baltic Session of the International Colloquium, held 24. - 25. September 2009 in Vilnius, Lithuania. Vilnius: Gediminas Technical University, 2009, str. 1-2.
	Tipologija		1.08 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci
	COBISS.SI-ID		4803681
4.	Naslov	SLO	Vitki tankostenski škatlasti stebri v tlaku in upogibu
		ANG	Slender thin-walled box columns under compression and bending
	Opis	SLO	Prispevek prikazuje rezultate testov in numeričnih simulacij na vitkih tankostenskih škatlastih stebrih, ki so podvrženi kombinirani nestabilnosti. Osem »full-scale« testov je bilo izvedenih na jeklenih stebrih varjenega ali hladno oblikovanega škatlastega prereza, obremenjenih v centričnem in ekscentričnem tlaku. Dodatno so bile testirane materialne karakteristike jekla ter natančno izmerjene zaostale napetosti ter začetna geometrija stebrov. Rezultati vseh teh meritev so bili vključeni v MKE modele. Rezultati numerične simulacije pokažejo dobro ujemanje z rezultati testov.

		ANG	Paper presents the results of tests and numerical simulations on slender thin-walled box columns, susceptible to combined buckling modes. Eight full-scale tests were performed on welded and cold-formed box profiles, loaded in centric and eccentric compression. In addition, material properties were tested and residual stresses as well as initial column geometry was carefully measured. The measured data was implemented in FE model. The results of numerical simulations show good agreement with the test results.
	Objavljeno v		PAVLOVČIČ, Luka, FROSCHMEIER, Bernardette, KUHLMANN, Ulrike, BEG, Darko. Vitki tankostenski škatlasti stebri v tlaku in upogibu = Slender thin-walled box columns under compression and bending. V: LOPATIČ, Jože (ur.), SAJE, Franc (ur.), MARKELJ, Viktor (ur.). Zbornik 31. zborovanja gradbenih konstruktorjev, Rogaška Slatina, 8.-9. oktober 2009. Ljubljana: Slovensko društvo gradbenih konstruktorjev, 2009, str. 227-234.
	Tipologija		1.08 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci
	COBISS.SI-ID		4772961
5.	Naslov	SLO	Kontrola stabilnosti H-profilov v sestavljivi zagatni steni v skladu z EC 3
		ANG	Stability verification of H-Sections used in combined quay walls according to EC 3
	Opis	SLO	V prispevku so predstavljeni rezultati študije stabilnosti glavnih profilov v sestavljivi zagatni steni iz jeklenih pločevin. Nekateri obstoječi sistemi jeklenih pločevinastih sten ne zadoščajo več pogojem stabilnosti v skladu z novimi Evrokod 3 standardi. V študiji je bil razvit naprednejši računski model, ki upošteva vgreznjenost stebrov v okoliško zemljinu, ki jo lahko upoštevamo kot elastično rotacijsko in translatorsko podporo. Če upoštevamo ta efekt skupaj z elastično podporo priključene jeklene pločevine, je zahtevana stopnja stabilnosti lahko uspešno dosežena.
		ANG	The paper presents results of the research on the stability aspects of king-piles of combined steel sheet piles. Some existing systems of steel sheet piles could not satisfy all stability requirements according to new Eurocode 3 design rules. In the study an advanced design procedure was developed taking into account the embedment of king-piles into surrounding soil being considered in the form of rotational and translational spring supports. Considering this effect together with elastic supports from adjacent steel sheeting, the required stability level may be successfully reached.
	Objavljeno v		KUHLMANN, Ulrike, GRABE, Jürgen, FROSCHMEIER, Bernardette, PAVLOVČIČ, Luka, SCHÜMANN, Björn. Stabilitätsnachweis für Tragpfähle von kombinierten Stahlpundwänden nach EC3. Stahlbau, 2009, letn. 78, št. 11, str. 832-840.
	Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
	COBISS.SI-ID		4801633

7. Najpomembnejši družbeno-ekonomsko relevantni rezultati projektne skupine⁶

Družbeno-ekonomsko relevantni rezultat			
1.	Naslov	SLO	Varjeni in hladno oblikovani škatlasti stebri v tlaku in upogibu
		ANG	Welded and cold formed box columns under compression and bending
	Opis	SLO	V eksperimentalnem poročilu so zajeti vsi rezultati izvedenih testov in meritev in dodatno numerične simulacije testov z obravnavo vpliva začetnih nepopolnosti. Opisan je izbor ustreznih preizkušancev, izvedba vseh osmih "full-scale" testov in vseh spremljujočih preiskav, vsi rezultati testov pa so analizirani in dokumentirani na način, da lahko služijo za splošno uporabo v različnih raziskavah. Rezultati numerične simulacije z upoštevanjem vseh izmerjenih materialnih karakteristik in nepopolnosti pokažejo dobro ujemanje z rezultati testov.
		ANG	Experimental report contains the results of all tests and measurements as well as numerical simulations of tests with the analysis of initial imperfections. The specimen selection as well as test set-up of eight full-scale tests and accompanying tests is described in detail. All test results are analysed and documented thoroughly with a purpose to serve for a general use for any other research activities. The numerical simulations, taking into account the measured material properties and imperfections, show good

		agreement with test results.
	Šifra	D.01 Vodenje/koordiniranje (mednarodnih in domačih) projektov
	Objavljeno v	PAVLOVČIČ, Luka, FROSCHMEIER, Bernardette, KUHLMANN, Ulrike. Welded and cold formed box columns under compression and bending : final report of tests. Stuttgart: Institute for Structural Design, University of Stuttgart, 2009. 138 str.
	Tipologija	2.12 Končno poročilo o rezultatih raziskav
	COBISS.SI-ID	4975201
2.	Naslov	SLO
		ANG
	Opis	SLO
		ANG
	Šifra	
	Objavljeno v	
	Tipologija	
	COBISS.SI-ID	
3.	Naslov	SLO
		ANG
	Opis	SLO
		ANG
	Šifra	
	Objavljeno v	
	Tipologija	
	COBISS.SI-ID	
4.	Naslov	SLO
		ANG
	Opis	SLO
		ANG
	Šifra	
	Objavljeno v	
	Tipologija	
	COBISS.SI-ID	
5.	Naslov	SLO
		ANG
	Opis	SLO
		ANG
	Šifra	
	Objavljeno v	
	Tipologija	
	COBISS.SI-ID	

8. Drugi pomembni rezultati projektne skupine²

Ad 6)
 Članek z naslovom: »Finite Element Simulation of Slender Thin-Walled Box Columns by Implementing Real Initial Conditions«,
 v avtorstvu: Pavlovčič Luka, Froschmeier Bernadette, Kuhlmann Ulrike, Beg Darko
 poslan v pregled v pomembno SCI revijo Computers and Structures (ISSN 0045-7949) – v prilogi dodano potrdilo o prejemu članka,

V zaključnih fazah priprave pa je tudi celovit članek
»Slender thin-walled box columns subjected to compression and bending«
v avtorstvu: Pavlovčič Luka, Froschmeier Bernadette, Kuhlmann Ulrike, Beg Darko
za ključno SCI revij s področja jeklenih konstrukcij Journal of Constructional Steel Research
(ISSN 0143-974X) – v prilogi dodana zadnja verzija članka.

Ad 7)

Projektna dokumentacija PZI mostu Orinoco III v Venezueli

Strokovno sodeloval pri načrtovanju in dimenzioniranju palične konstrukcije tretjega mostu preko Orinoca v Venezueli, v sodelovanju s projektivnim birojem Kuhlmann-Gerold-Krauss-Eisele iz Ostfilderna blizu Stuttgarta, katerega partner je prof. dr. Ulrike Kuhlmann. Pasova paličnih nosilcev sta namreč sestavljena iz varjenih škatlastih profilov in obremenjena v tlaku in upogibu - uporabnost raziskave na konkretnem primeru iz projektantske prakse.

9. Pomen raziskovalnih rezultatov projektne skupine⁸

9.1. Pomen za razvoj znanosti⁹

SLO

Pomen za razvoj znanosti je sledeč:

- 8 izvedenih »full-scale« testov razširja bazo izvedenih testov z rezultati za preizkušance različnih geometrij, izvedbe in vnosa sile, kar nudi uporabne podatke za različne raziskave. Na podlagi dobro dokumentiranih in objavljenih rezultatov testov so možne nadaljne kalibracije oziroma verifikacije računskih in numeričnih modelov in razvoj metod za opis obravnavane problematike.
- Zelo pomembna je uspešna izvedba spremljevalnih testov in meritev, kar daje čim boljše podlago za numerične simulacije in analizo različnih vplivov nepopolnosti. Rezultati izvedenih testov so dobro dokumentirani in lahko služijo za splošno uporabo.
- Uspešna izvedba meritev zaostalih napetosti na varjenem in primerljivem hladno oblikovanem profilu nudi možnost direktne primerjave vpliva različnih postopkov izdelave profilov na razvoj zaostalih napetosti in posledično na nosilnost stebrov. V konkretnem primeru varjencev je nivo tlačnih napetosti zaradi tankih pločevin in sorazmerno debelih zvarov zelo visok (okoli 40% nateznih zaostalih napetosti). Vpliv hladnega oblikovanja prispeva k večjemu gradientu napetosti skozi debelino pločevine, sam nivo povprečnih napetosti pa ni povečan.
- Pomemben prispevek je tudi uspešnost numeričnih simulacij, saj so tlačeni stebri očitno zelo občutljivi na različne vrste nepopolnosti. Z vidika težavnosti meritev zaostalih napetosti in (ne) natančnosti geometrijskih nepopolnosti in dodatno velikega vpliva nepopolnosti na redukcijo nosilnosti stebrov, kaže odstopanje izračunanih in izmerjenih nosilnosti maksimalno do 6% na veliko natančnost MKE simulacij.
- Uspešnost numeričnih simulacij in razpoložljivost izmerjenih podatkov o nepopolnostih je omogočila tudi kvantitativno analizo vpliva različnih nepopolnosti (zaostale napetosti, globalne in lokalne geometrijske nepopolnosti, začetni naklon stebrov), kot tudi njihovih različnih kombinacij. Dokaže se, da je za potrebe zahtevnejše projektantske prakse možno natančnejši vnos različnih nepopolnosti nadomestiti z ustreznimi ekvivalentnimi geometriskimi nepopolnostmi tudi v primeru obravnavanih stebrov.
- Numerična parametrična študija je pokrila široko območje parametrov globalne in lokalne vitkosti. V več različnih primerih so bili stebri dodatno upogibno obremenjeni z variiranjem ekscentričnosti sile. Obravnavani sta bili dve kvaliteti jekla ter vsi izračuni izvedeni za dva razreda zaostalih nepopolnosti – za relativno tanke in relativno debele zware. Na ta način je bila pridobljena obširna baza rezultatov t.i. virtualnih testov, ki so na razpolago tudi drugim raziskovalcem.
- Na podlagi pridobljene baze rezultatov je bil natančno analiziran obstoječ postopek določitve nosilnosti stebrov po evropskem standardu EN (EN 1993-1-1 in EN 1993-1-5) hkrati z dvema novjšima predlogoma modifikacij po (Detzel, 2006) in (Brune, 2000). Ugotovljena so območja vitkosti, kjer dajo metode rezultate na nevarni strani. Namesto fine kalibracije oz. korekcije obstoječih metod, sem zaradi velike nezanesljivosti in raztrosa vhodnih podatkov (začetnih nepopolnosti) v zaključku raziskave predlagal doslednejšo sistematizacijo različnih razredov nepopolnosti z vpeljavo parametra kvalitete jekla v natančnejšo definicijo mej med razredi.
- Raziskava odpira tudi nova vprašanja in podaja smernice za nadaljne raziskave in sicer v dveh smereh: natančno eksperimentalno raziskati območje stebrov z malo globlano vitkostjo (okoli 0.2) in veliko lokalno vitkostjo (vsaj 1.0), saj so rezultati v tem območju ne glede na metodo precejšeni do 8 % v primeru tanjših zvarov in v primeru debelejših celo do 15 %. Druga smer nadaljnjih raziskav bi bila sistematična eksperimentalna analiza vpliva različnih postopkov

varjenja in debelin zvarov na razvoj zaostalih napetosti in posledično nosilnosti stebrov. Na ta način bi lahko natančneje sistematizirali in definirali različne razrede nepopolnosti.

ANG

Scientific contributions are the following:

- 8 performed full-scale tests expand the base of available tests with the results for different specimen geometry, manufacturing procedure and load introduction, serving as a useful data base for different researches. Based on fully documented and published test results further calibration or verification of any other calculation or numerical model is possible as well as the development of a method concerning the considered problem.
- The successful performance of accompanying tests and measurements is very important as a basis for numerical simulations and the analysis of different imperfections. Results of executed tests and measurements are fully documented and can serve for general use.
- The successful measurement of residual stresses on welded as well as comparable cold-formed profile offers the direct comparison of the influence of different manufacturing procedures to the development of residual stresses and consequently to the column capacity. The measured level of compression residual stresses in the welded profile appeared to be very high (40% of f_y) due to large weld-to-plate thickness ratio. The cold-forming contributes to the stress gradient though the plate thickness rather than to the level of membrane residual stresses.
- The important contribution represents also the successful numerical simulation especially in the respect of large sensitivity of column capacity to any kind of imperfections. For the demanding measurements of residual stresses and geometric imperfections as well as large sensitivity of columns to imperfections, the difference in column capacities within 6 % proves the accuracy of FE simulations.
- The verified FE models together with the available data on imperfections offered also the quantitative influence analysis of different imperfections (residual stresses, global and local geometric imperfections, column inclination) and their arbitrary combinations. It was proven that for advanced engineering practice implication of different imperfections could be replaced by proper equivalent geometric imperfections also in the case of considered columns.
- Numerical parametric study has covered a wider range of global and local slenderness parameters. In several cases columns were additionally loaded in bending by variation of load eccentricity. Two steel grades were taken into account and all the calculations were carried out for two classes of initial imperfections – for relatively light welds and relatively heavy welds. From the results of calculations a broad data base of »virtual tests« was created, which is available also for any other researchers.
- Based on obtained data base the present design procedure for column capacity according to Eurocode 3 was analysed into detail, together with two recent proposals of modifications – (Detzel, 2006) and (Brune, 2000). The slenderness regions where each method gives unsafe results were diagnosed. Due to remarkable uncertainty and scatter of the inputted initial imperfections, instead of fine calibration or corrections of existing methods research finally proposes more accurate definition of imperfection classes with the introduction of steel grade parameter into the definition of limits between these classes.
- The research opens some new questions and gives two suggestions for necessary further research activities: to experimentally investigate columns with small global slenderness (around 0.2) and large local slenderness (at least 1.0) since the results in this slenderness range – no matter the design procedure – are up to 8 % unsafe for the light weld situation and even up to 15 % overestimated for heavy welds. The second research direction may be an experimental study of the influence of different welding procedures and weld thicknesses to the development of residual stresses and consequently to the column capacity. In this way different imperfection classes could be accurately systemized and defined.

9.2. Pomen za razvoj Slovenije¹⁰

SLO

Pomen za razvoj Slovenije vidim predvsem v uspešnem mednarodnem sodelovanju in vpetosti podoktorskega projekta v aktualne mednarodne raziskave na priznanih evropskih univerzah. Na ta način je možen pretok znanja in izkušenj med različnimi raziskovalnimi okolji in državami. Slovenija se na ta način kaže kot agilna in relevantna članica evropske skupnosti na področju raziskav in prav tako glede strokovnih vprašanj. Vse omenjeno se izkazuje v naslednjem:

- 10 mesečno bivanje na Univerzi v Stuttgart, na Inštitutu za projektiranje in zasnovo pod vodstvom prof. Ulrike Kuhlmann, kjer sem opravil in vodil eksperimentalni del raziskav.
- Povezanost s Tehnično univerzo v Dortmundu (prof. Dieter Ungermann, doc. Betina Brune), kjer vzporedno opravljajo podobne raziskave na odprtih C profilih.
- Kot aktivni raziskovalec na področju stabilnosti sem na Univerzi v Stuttgartu sodeloval pri predavanjih za izbirni predmet K4a: Jeklene ploskovne konstrukcije (Stahlflächentragwerke)

- Članstvo v znanstvenem odboru ključne mednarodne konference s področja jeklenih konstrukcij: Eurosteel 2008, ki je bila 3.-5. septembra 2008 v Gradcu, v Avstriji.
- Udeležba različnih sestankov v okviru projekta ter dodatnih usposabljan na področju s podobno tematiko: Stahlbau-Kalender-Tag 20. junija 2008 v Stuttgartu, Deutscher Stahlbautag 9.-10. oktobra 2008 v Mainzu ter COMBRI Workshop »Stahl- und Verbundbrücken« 7. novembra 2008 v Düsseldorfu.
- Strokovno sodeloval pri načrtovanju in dimenzioniranju palične konstrukcije tretjega mostu preko Orinoca v Venezueli, v sodelovanju s projektivnim birojem Kuhlmann-Gerold-Krauss-Eisele iz Ostfilderna blizu Stuttgarta, katerega partner je prof. dr. Ulrike Kuhlmann. Pasova paličnih nosilcev sta namreč sestavljena iz varjenih škatlastih profilov in obremenjena v tlaku in upogibu - uporabnost raziskave na konkretnem primeru iz projektantske prakse.
- Vabilo na predstavitev rezultatov projekta na pomembnem sestanku evropske delovne skupine ECCS TWG 8.3 pristojne za aktualizacijo evropskih standardov s področja stabilnosti jeklenih konstrukcij.
- Udeležba in predstavitev rezultatov na različnih mednarodnih in domačih konferencah (Civil-Comp 2009, Funchalu na Madeiri; Stability and Ductility of Structures, Vilnius, Litva; ZGKS, Rogaška Slatina) in sestankih projektnih delovnih skupin (Köln, Stuttgart, Hirschberg, Hamburg).
- Kot aktivnega raziskovalca na področju stabilnost bil v času bivanja v Stuttgartu vključen dodatno v krajši razvojno-raziskovalni projekt na temo problema stabilnosti stebrov jeklenih zagatnih sten v elastični podlagi. Omogočeno mi je bilo sodelovanje pri dodatnih predstavitev rezultatov študije in pri objavah (priznana nemška revija Stahlbau – 5. navedba pod točko 6, prispevek v zborniku kolokvija »Spundwände« v Hamburgu).

ANG

The importance for the development of Slovenia may be found in the international cooperation and the involvement of posdoc project in the actual international research carried out at the acknowledge European institutions. This frame offers the possibility of free exchange of knowledge and research experiences between different research environments and countries. In this way Slovenia proves to be one of the agile and relevant members of the European community on the field of research as well as in professional matters. These objectives are proved by the following:

- 10 month of the research stay at the University of Stuttgart, Institute of Structural Design (Prof. Ulrike Kuhlmann), where the experimental part of the research was carried out.
- The partnership with the Technical University of Dortmund (Prof. Dieter Ungermann, Assoc. Prof. Betina Brune), where at the same time the similar investigation on open C profiles is carried out.
- As the active researcher on the field of stability problems I helped at giving lectures at the University of Stuttgart for the elective course K4a: Steel plated structures (Stahlflächentragwerke).
- Membership of the scientific committee of the relevant international conference from the field of steel structures: Eurosteel 2008, taking place on 3rd to 5th of September 2008 in Graz, Austria.
- Attending of different meetings in the project framework as well as other workshops necessary for the improvement of knowledge from the same field: Stahlbau-Kalender-Tag on 20th of June 2008 in Stuttgart, Deutscher Stahlbautag on 9th – 10th of October 2008 in Mainz and COMBRI Workshop »Stahl- und Verbundbrücken« on 7th of November 2008 in Düsseldorf.
- Involvement in bridge design of the third bridge over Orinoco in Venezuela, within the Kuhlmann-Gerold-Krauss-Eisele design office from Ostfildern-Nellingen nearby Stuttgart, with Prof. Ulrike Kuhlmann as one of the partners. Both chords of truss girders are welded in box profile subjected to the compression and bending – the application of this research in the design practice.
- Invitation to present research results to the important meeting of european working group ECCS TWG 8.3, which is competent for actualisation of Eurocodes from the field of stability of steel structures.
- The participation and presentation of the results at different international and national conferences (Civil-Comp 2009, Funchalu, Madeiri; Stability and Ductility of Structures, Vilnius, Litva; ZGKS, Rogaška Slatina) and meetings of different project working teams (Köln, Stuttgart, Hirschberg, Hamburg).
- As a competent researcher in the field of stability problems I was additionally included in smaller research project on stability problem of king-profiles of steel sheet quay walls in elastic soil embedment (during Stuttgart working period). I participated also at some result presentations and publications (in acknowledge german journal Stahlbau - 5th input under chapter 6, contribution in proceeding of »Spundwände« workshop in Hamburg).

10. Samo za aplikativne projekte!

Označite, katerega od navedenih ciljev ste si zastavili pri aplikativnem projektu, katere konkretne rezultate ste dosegli in v kakšni meri so doseženi rezultati uporabljeni

Cilj		
F.01	Pridobitev novih praktičnih znanj, informacij in veščin	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.02	Pridobitev novih znanstvenih spoznanj	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.03	Večja usposobljenost raziskovalno-razvojnega osebja	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.04	Dvig tehnološke ravni	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.05	Sposobnost za začetek novega tehnološkega razvoja	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.06	Razvoj novega izdelka	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.07	Izboljšanje obstoječega izdelka	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.08	Razvoj in izdelava prototipa	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.09	Razvoj novega tehnološkega procesa oz. tehnologije	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	

F.10	Izboljšanje obstoječega tehnološkega procesa oz. tehnologije	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.11	Razvoj nove storitve	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.12	Izboljšanje obstoječe storitve	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.13	Razvoj novih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.14	Izboljšanje obstoječih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.15	Razvoj novega informacijskega sistema/podatkovnih baz	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.16	Izboljšanje obstoječega informacijskega sistema/podatkovnih baz	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.17	Prenos obstoječih tehnologij, znanj, metod in postopkov v prakso	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.18	Posredovanje novih znanj neposrednim uporabnikom (seminarji, forumi, konference)	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.19	Znanje, ki vodi k ustanovitvi novega podjetja ("spin off")	

	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.20	Ustanovitev novega podjetja ("spin off")	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.21	Razvoj novih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.22	Izboljšanje obstoječih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.23	Razvoj novih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.24	Izboljšanje obstoječih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.25	Razvoj novih organizacijskih in upravljavskih rešitev	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.26	Izboljšanje obstoječih organizacijskih in upravljavskih rešitev	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.27	Prispevek k ohranjanju/varovanje naravne in kulturne dediščine	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.28	Priprava/organizacija razstave	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	

	Uporaba rezultatov	
F.29	Prispevek k razvoju nacionalne kulturne identitete	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.30	Strokovna ocena stanja	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.31	Razvoj standardov	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.32	Mednarodni patent	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.33	Patent v Sloveniji	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.34	Svetovalna dejavnost	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.35	Drugo	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	

Komentar

--

11. Samo za aplikativne projekte!

Označite potencialne vplive oziroma učinke vaših rezultatov na navedena področja

	Vpliv	Ni vpliva	Majhen vpliv	Srednji vpliv	Velik vpliv	
G.01	Razvoj visoko-šolskega izobraževanja					
G.01.01.	Razvoj dodiplomskega izobraževanja	☐	☐	☐	☐	

G.01.02.	Razvoj podiplomskega izobraževanja	☐	☐	☐	☐	
G.01.03.	Drugo:	☐	☐	☐	☐	
G.02	Gospodarski razvoj					
G.02.01	Razširitev ponudbe novih izdelkov/storitev na trgu	☐	☐	☐	☐	
G.02.02.	Širitev obstoječih trgov	☐	☐	☐	☐	
G.02.03.	Znižanje stroškov proizvodnje	☐	☐	☐	☐	
G.02.04.	Zmanjšanje porabe materialov in energije	☐	☐	☐	☐	
G.02.05.	Razširitev področja dejavnosti	☐	☐	☐	☐	
G.02.06.	Večja konkurenčna sposobnost	☐	☐	☐	☐	
G.02.07.	Večji delež izvoza	☐	☐	☐	☐	
G.02.08.	Povečanje dobička	☐	☐	☐	☐	
G.02.09.	Nova delovna mesta	☐	☐	☐	☐	
G.02.10.	Dvig izobrazbene strukture zaposlenih	☐	☐	☐	☐	
G.02.11.	Nov investicijski zagon	☐	☐	☐	☐	
G.02.12.	Drugo:	☐	☐	☐	☐	
G.03	Tehnološki razvoj					
G.03.01.	Tehnološka razširitev/posodobitev dejavnosti	☐	☐	☐	☐	
G.03.02.	Tehnološko prestrukturiranje dejavnosti	☐	☐	☐	☐	
G.03.03.	Uvajanje novih tehnologij	☐	☐	☐	☐	
G.03.04.	Drugo:	☐	☐	☐	☐	
G.04	Družbeni razvoj					
G.04.01	Dvig kvalitete življenja	☐	☐	☐	☐	
G.04.02.	Izboljšanje vodenja in upravljanja	☐	☐	☐	☐	
G.04.03.	Izboljšanje delovanja administracije in javne uprave	☐	☐	☐	☐	
G.04.04.	Razvoj socialnih dejavnosti	☐	☐	☐	☐	
G.04.05.	Razvoj civilne družbe	☐	☐	☐	☐	
G.04.06.	Drugo:	☐	☐	☐	☐	
G.05.	Ohranjanje in razvoj nacionalne naravne in kulturne dediščine in identitete	☐	☐	☐	☐	
G.06.	Varovanje okolja in trajnostni razvoj	☐	☐	☐	☐	
G.07	Razvoj družbene infrastrukture					
G.07.01.	Informacijsko-komunikacijska infrastruktura	☐	☐	☐	☐	
G.07.02.	Prometna infrastruktura	☐	☐	☐	☐	
G.07.03.	Energetska infrastruktura	☐	☐	☐	☐	
G.07.04.	Drugo:	☐	☐	☐	☐	
G.08.	Varovanje zdravja in razvoj zdravstvenega varstva	☐	☐	☐	☐	

G.09.	Drugo:		☐	☐	☐	☐	
--------------	---------------	--	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	--

Komentar

--

12. Pomen raziskovanja za sofinancerje, navedene v 2. točki¹¹

1.	Sofinancer			
	Vrednost sofinanciranja za celotno obdobje trajanja projekta je znašala:		EUR	
	Odstotek od utemeljenih stroškov projekta:		%	
	Najpomembnejši rezultati raziskovanja za sofinancerja		Šifra	
		1.		
		2.		
		3.		
		4.		
		5.		
	Komentar			
Ocena				
2.	Sofinancer			
	Vrednost sofinanciranja za celotno obdobje trajanja projekta je znašala:		EUR	
	Odstotek od utemeljenih stroškov projekta:		%	
	Najpomembnejši rezultati raziskovanja za sofinancerja		Šifra	
		1.		
		2.		
		3.		
		4.		
		5.		
	Komentar			
Ocena				
3.	Sofinancer			
	Vrednost sofinanciranja za celotno obdobje trajanja projekta je znašala:		EUR	
	Odstotek od utemeljenih stroškov projekta:		%	

Najpomembnejši rezultati raziskovanja za sofinancerja			Šifra
	1.		
	2.		
	3.		
	4.		
	5.		
Komentar			
Ocena			

C. IZJAVE

Podpisani izjavljam/o, da:

- so vsi podatki, ki jih navajamo v poročilu, resnični in točni
- se strinjamo z obdelavo podatkov v skladu z zakonodajo o varstvu osebnih podatkov za potrebe ocenjevanja, za objavo 6., 7. in 8. točke na spletni strani <http://sicris.izum.si/> ter obdelavo teh podatkov za evidence ARRS
- so vsi podatki v obrazcu v elektronski obliki identični podatkom v obrazcu v pisni obliki
- so z vsebino zaključnega poročila seznanjeni in se strinjajo vsi soizvajalci projekta

Podpisi:

Luka Pavlovčič	in	
podpis vodje raziskovalnega projekta		zastopnik oz. pooblaščen oseba RO

Kraj in datum:

Ljubljana

16.4.2010

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2010-1/165

¹ Samo za aplikativne projekte. [Nazaj](#)

² Napišite kratko vsebinsko poročilo, kjer boste predstavili raziskovalno hipotezo in opis raziskovanja. Navedite ključne ugotovitve, znanstvena spoznanja ter rezultate in učinke raziskovalnega projekta. Največ 18.000 znakov vključno s presledki (približno tri strani, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

³ Realizacija raziskovalne hipoteze. Največ 3.000 znakov vključno s presledki (približno pol strani, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

⁴ Samo v primeru bistvenih odstopanj in sprememb od predvidenega programa raziskovalnega projekta, kot je bil zapisan v predlogu raziskovalnega projekta. Največ 3.000 znakov vključno s presledki (približno pol strani, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

⁵ Navedite največ pet najpomembnejših znanstvenih rezultatov projektne skupine, ki so nastali v času trajanja projekta v okviru raziskovalnega projekta, ki je predmet poročanja. Za vsak rezultat navedite naslov v slovenskem in angleškem jeziku (največ 150 znakov vključno s presledki), rezultat opišite (največ 600 znakov vključno s presledki) v slovenskem in angleškem jeziku, navedite, kje je objavljen (največ 500 znakov vključno s presledki), izberite ustrezno šifro tipa objave po Tipologiji dokumentov/del za vodenje bibliografij v sistemu COBISS ter napišite ustrezno COBISS.SI-ID številko bibliografske enote. Navedeni rezultati bodo objavljeni na spletni strani <http://sicris.izum.si/>.

PRIMER (v slovenskem jeziku):

Naslov: Regulacija delovanja beta-2 integrinskih receptorjev s katepsinom X;

Opis: Cisteinske proteaze imajo pomembno vlogo pri nastanku in napredovanju raka. Zadnje študije kažejo njihovo povezanost s procesi celičnega signaliziranja in imunskega odziva. V tem znanstvenem članku smo prvi dokazali... (največ 600 znakov vključno s presledki)

Objavljeno v: OBERMAJER, N., PREMŽL, A., ZAVAŠNIK-BERGANT, T., TURK, B., KOS, J.. Carboxypeptidase cathepsin X mediates $\beta 2$ - integrin dependent adhesion of differentiated U-937 cells. Exp. Cell Res., 2006, 312, 2515-2527, JCR IF (2005): 4.148

Tipologija: 1.01 - Izvirni znanstveni članek

COBISS.SI-ID: 1920113 [Nazaj](#)

⁶ Navedite največ pet najpomembnejših družbeno-ekonomsko relevantnih rezultatov projektne skupine, ki so nastali v času trajanja projekta v okviru raziskovalnega projekta, ki je predmet poročanja. Za vsak rezultat navedite naslov (največ 150 znakov vključno s presledki), rezultat opišite (največ 600 znakov vključno s presledki), izberite ustrezen rezultat, ki je v Sifrantu raziskovalnih rezultatov in učinkov (Glej: <http://www.arrs.gov.si/sl/gradivo/sifranti/sif-razisk-rezult.asp>), navedite, kje je rezultat objavljen (največ 500 znakov vključno s presledki), izberite ustrezno šifro tipa objave po Tipologiji dokumentov/del za vodenje bibliografij v sistemu COBISS ter napišite ustrezno COBISS.SI-ID številko bibliografske enote.

Navedeni rezultati bodo objavljeni na spletni strani <http://sicris.izum.si/>. [Nazaj](#)

⁷ Navedite rezultate raziskovalnega projekta v primeru, da katerega od rezultatov ni mogoče navesti v točkah 6 in 7 (npr. ker se ga v sistemu COBISS ne vodi). Največ 2.000 znakov vključno s presledki. [Nazaj](#)

⁸ Pomen raziskovalnih rezultatov za razvoj znanosti in za razvoj Slovenije bo objavljen na spletni strani: <http://sicris.izum.si/> za posamezen projekt, ki je predmet poročanja. [Nazaj](#)

⁹ Največ 4.000 znakov vključno s presledki [Nazaj](#)

¹⁰ Največ 4.000 znakov vključno s presledki [Nazaj](#)

¹¹ Rubrike izpolnite/prepišite skladno z obrazcem "Izjava sofinancerja" (<http://www.arrs.gov.si/sl/progproj/rproj/gradivo/>), ki ga mora izpolniti sofinancer. Podpisan obrazec "Izjava sofinancerja" pridobi in hrani nosilna raziskovalna organizacija – izvajalka projekta. [Nazaj](#)

Obrazec: ARRS-RPROJ-ZP/2010 v1.00a

70-70-F3-86-C5-CB-3B-02-B0-24-D2-36-59-10-AF-15-6E-3B-EE-A8