



KLIJUOTOSIOS MEDIENOS SIJOS ELEMENTŲ TARPUSAVIO JUNGTIES EKSPERIMENTINIS TYRIMAS

Tomas Gečys, Alfonsas Daniūnas, Kęstutis Gurkšnys, Konstantin Rasiulis

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lietuva

Įteikta 2012 07 11; priimta 2012 11 20

Santrauka. Straipsnyje analizuojami pusiau standūs montuojamieji klijuotosios medienos konstrukcijų mazgai, kurie naudojami elementams sujungti per ilgį, rėmų kampinėms jungtims tarp kolonos ir sijos bei jungtims tarp kolonos ir pamato. Aptariami pagrindiniai pusiau standžių montuojamųjų medinių konstrukcijų mazgų konstravimo principai. Pasiūlytas ir eksperimentiškai tirtas per ilgį sujungtų lenkiamųjų klijuotosios medienos sijos elementų mazgas. Mazgas įrengiamas naudojant plienines detales, suvirintas iš lakštinio plieno, kurios inkaruojamos medienos elementuose. Kontaktas tarp medienos ir metalo užtikrinamas ir pradinis mazgo slankumas panaikinamas užpildant tarpus tarp medienos ir metalo užpildu. Pasirinkti du skirtingo pagrindo (sudėties) užpildai: dviejų komponentų poliuretano ir cementinis, kurio sudėtyje yra polimerinių plaušų. Nustatytas cementinio užpildo lekiamasis ir gniuždomasis stipriai. Eksperimentinės jungčių laikomosios galios palyginamos su teoriniais skaičiavimais pagal Lietuvos ir Europos medinių konstrukcijų projektavimo normas. Pateikiamos išvados ir rekomendacijos tolesniems tyrimams.

Reikšminiai žodžiai: klijuotosios medienos elementų jungtys; elementų sujungimas per ilgį; sijos elementų tarpusavio jungtys; klijuotosios medienos rėmai.

Nuoroda į šį straipsnį: Gečys, T.; Daniūnas, A.; Gurkšnys, K.; Rasiulis, K. 2013. Klijuotosios medienos sijos elementų tarpusavio jungties eksperimentinis tyrimas, *Engineering Structures and Technologies* 5(1): 11–19.

Įvadas

Pusiau standūs medienos elementų montuojamieji mazgai – tai mazgai, įrengiami statybvietėje ir turintys pakankamą standumą bei galintys perimti lenkiamuosius momentus, ašines ir skersines jėgas (Gečys 2011). Pusiau standžių montuojamųjų mazgų medinėse konstrukcijose reikalingi didelių matmenų konstrukcinių elementai. Klijuotosios medienos konstrukcijų gamybos galimybės yra plačios (iki 40 m ilgio tiesūs elementai ir lenktos ašies elementai, kurių gamybiniai matmenys gali siekti 10 m), tačiau kiekvieną dieną susiduriama su negabaritinių matmenų konstrukcinių elementų transportavimu. Šiam tikslui naudojami pusiau standūs montuojamieji mazgai, kuriuos naudojant elementai, sudalyti pagal gabaritinius matmenis, statybvietėje sujungiami į vientisus elementus (1 pav.). 1 pav. pateikiamas statinys, kurio denginį laikantis rė-



1 pav. Pusiau standūs montuojamieji mazgai, gauti jungiant medinius elementus per ilgį (biriųjų krovinių sandėlis Rusijoje, Temriuko rajone)

Fig. 1. Semi rigid beam to beam mounting joints in timber structures (object Bulk Warehouse in Russia, Temriuk district)

Corresponding address:

T. Gečys E-mail: tomas.gecys@vgtu.lt

mas sudarytas iš klijuotosios medienos elementų. Šiuo atveju vientisas klijuotosios medienos elementas yra 34,0 m ilgio. Jis statybvietėje viduriniame trečdalyje sujungiamas montuojamąja jungtimi.

Analizuojant medinių konstrukcijų mazgų klasifikavimą pagal standumą ir stiprumą galima teigti, kad iš esmės visi standūs medinių konstrukcijų mazgai turi būti analizuojami kaip pusiau standūs (Racher 1995). Pusiau standaus mazgo elgsena gali būti analizuojama įvairiais metodais (komponentų ir kt.) ir apibūdinama lenkiamojo momento – pasisukimo kreive (Daniūnas, Urbonas 2008; Jirka, Mikes 2010; Awaludin, Smittakorn 2004; Awaludin *et al.* 2007; Chang *et al.* 2004; Daniūnas, Urbonas 2010).

Pusiau standus montuojamasis medienos elementų mazgas paprastai komponuojamas iš plieninių jungiamųjų detalių. Svarbiausia yra tinkamas ir patikimas plieninės jungiamosios detalės inkaravimas medienos elemente. Šiam tikslui pasiekti mediena gali būti papildomai armuojama skersai medienos pluošto sriegiant savisriegius varžtus (Trautz 2009) ar tvirtinant plienines plokšteles, kurios pritaikomos kaip sprausteliai.

Pasirenkant šiame straipsnyje nagrinėjamo mazgo konstrukciją, buvo atlikta pasaulyje sukurtų pusiau standžių montuojamųjų mazgų patentų analizė. Apžvalgai buvo pasirinkta pasaulinė patentų duomenų bazė esp@cenet (www.espacenet.com), kurioje buvo surastas 81 mazgas (jungtis), kuris gali būti traktuojamas, kaip pusiau standi montuojamoji jungtis. Apžvelgus praktikoje pritaikytų ir užpatentuoatų mazgų konstrukcinius sprendinius, buvo sukurta naujai analizuojama jungtis. Konstrukcinis nagrinėjamos jungties sprendinys yra naujas, tarp analizuotų jungčių (esamų patentų) neturintis analogų. Kuriant jungties konstrukciją buvo siekiama, kad jungtis būtų nesudėtingai sumontuojama statybvietėje montažiniais varžtais, skirtingo storio ir ilgio inkaruojamomis detalėmis būtų galima pasiekti atitinkamą mazgo stiprį ir standį, atitinkamai padidinant ar sumažinant medienos skersinį ar gniuždomąjį plotus.

Kuriant naujos jungties konstrukciją, taip pat buvo siekiama panaikinti pradinį jungties slankumą panaikinant tarpą tarp medienos ir metalinių įdėtinių detalių. Tarpui tarp medienos ir metalo panaikinti pasirenkamas užpildas, kuris užtikrina glaudų kontaktą tarp medienos ir metalo. Kontaktas tarp medienos ir metalo užtikrinamas medienos glemžimu išilgai pluošto inkaravus plieninę jungiamąją detalę.

Apibendrinant patentinės apžvalgos duomenis, galima išskirti kelis mazgų konstravimo tipus, t. y. jungiamosios detalės ir medienos jungimo tipus: plieninių plokštelių ir smeigių ar varžtų; įklijuotųjų strypų; pleiščių ir užpildų; didelio skersmens strypų.

Nepaisant to, kad pasaulyje šiuo metu yra nemažai patentuoatų pusiau standžių medinių elementų mazgų, kurie pagal savo konstrukciją artimi standžiosioms jungtims, dažniau statyboje naudojamos jungtys yra lanksčios. Taip yra todėl, kad pagaminti jungtis, turinčias didelį sukamąjį standį, medinėse konstrukcijose yra sudėtinga.

1. Ankstesni pusiau standžių mazgų konstravimo ir elgsenos tyrimai

Vienas iš uždavinių pasirinkus konstrukcinę jungties sprendinį yra tinkamas ir patikimas jungiamosios detalės inkaravimas medienos elemente. Nuo to priklausoma mazgo stiprumas bei standis.

Pats paprasčiausias medinių elementų jungimo atvejis – jungimas plieninėmis plokštelėmis ir smeigėmis ar varžtais. Ši jungtis turi pradinį slankumą dėl medienos elemente ir plieninėje detalėje gręžiamų didesnio skersmens kiaurymių nei smeigės ar varžto skersmuo. Įvairūs mokslininkai atliko tyrimus, analizuodami šias jungtis kaip pusiau standžias (Guan, Rodd 1999), pritaikytas kampinėms rėmo jungtims (Awaludin *et al.* 2007; Kermani 1996) ir jungdami elementus per ilgį (Awaludin, Smittakorn 2004). Naudojant šias jungtis pavojingiausias medienos suirimo atvejis – tai jos skilimas išilgai pluošto kraštiniuose labiausiai apkrautuose sluoksniuose išdėstant kaiščius minčimaliais reglamentuojamais atstumais, nes dažnas kaištinių jungčių suirimo atvejis yra medienos skilimas išilgai pluošto, o ne kaiščio lenkimas ar medienos suglemžimas (Bruehl *et al.* 2011). Išdėstant varžtus ar smeiges minimaliais atstumais, jungtys papildomai armuojamos savisriegiais varžtais, kurie padeda išvengti pirmalaikio medienos skilimo.

Plieninei detalei inkaruoti medienos elemente gali būti naudojami įklijuotieji plieniniai strypai. Naudojant šiuos strypus gaunama iš esmės standi jungtis, kurioje irimo metu fiksuojama 0,5–1,0 mm slinktis (Gečys 2010). Plieniniai strypai medienos elemente gali būti įklijuojami įvairiais kampais (Keras, Roličius 2005). Įklijuotieji plieniniai strypai plačiai taikomi kampinėms pusiau standžioms rėmų jungtims konstruoti (Vašek, Vyhnalek 2006; Vašek 2008). Klijuotinė jung-

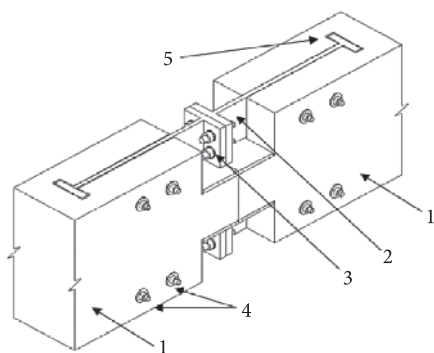
tis tarp elementų sukuria tvirtą nepaslankų kontaktą, kuris gali būti naudojamas konstrukcijoms stiprinti (Pasternak *et al.* 2010).

Pusiau standžiose medienos konstrukcijų jungtyse pradinis jungties slankumas (kiaurymės skersmuo didesnis nei kaiščio ar glaudaus kontakto tarp elementų neužtikrinimas) sukelia pradinį nevaržomą jungties pasisukimą. Norint panaikinti arba sumažinti pradinį mazgo slankumą jungties komponentams turi būti suteikiamas pradinis įtempimas arba užpildomas tarpas tarp medienos ir jungiamųjų elementų. Pradiniam mazgo apspaudimui gali būti naudojami pleištai, kuriais gali būti reguliuojamas pradinis mazgo standumas kontroliuojant apspaudimą (Komatsu, Hosokawa 1998; Shiratori *et al.* 2009). Laboratoriniais ir skaitiniais eksperimentais nustatyta, kad pleišto dydis, nuo kurio tiesiogiai priklauso apspaudimo lygis, turi įtakos mazgo standumui, tačiau galutinės jungties laikomosios galios neveikia (Guan *et al.* 2008). Peter Bertsche panaudojo cementinį skiedinį kaip užpildą tarpui tarp medienos ir metalo užpildyti pusiau standžiuose montuojamuosiuose klijuotosios medienos elementų mazguose, sukomponuotuose naudojant plienines jungiamąsias detales ir kaiščius (Steiniger 2003).

Lakštinio plieno ir betono sąveika plačiai analizuojama kompozitinėse betonšerdėse plieninėse kolonose (Goode *et al.* 2010; Szmigiera *et al.* 2010).

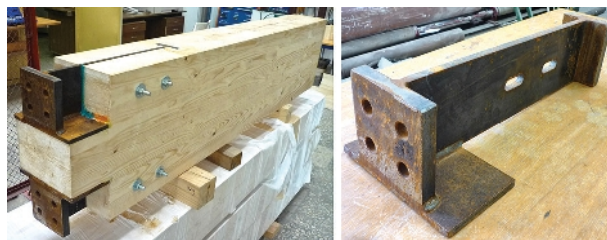
2. Tiriamo mazgo modelis

Jungtis komponuojama iš plieninių suvirintų plokštelių, kurios naudojamos kaip jungiamosios detalės atskiriems medienos elementams jungti (2 pav.). Jungties



2 pav. Sijos elementų tarpusavio jungtis: 1 – medienos elementas; 2 – plieninė jungiamoji detalė; 3 – montuojamieji varžtai; 4 – konstrukciniai varžtai; 5 – medienos ir metalo sąlyčio zona

Fig. 2. Beam to beam connection: 1 – timber element; 2 – steel detail; 3 – mounting bolts; 4 – constructive bolts; 5 – contact zone between timber and steel



3 pav. Medienos elementas su įtvirtinta jungiamąja detale (kairėje); plieninė jungiamoji detalė (dešinėje)

Fig. 3. Timber element with steel detail (left), steel detail (right)

jungiamoji detalė (3 pav.) pasirenkama vienodos konstrukcijos viršutinėje ir apatinėje mazgo konstrukcijos pusėse.

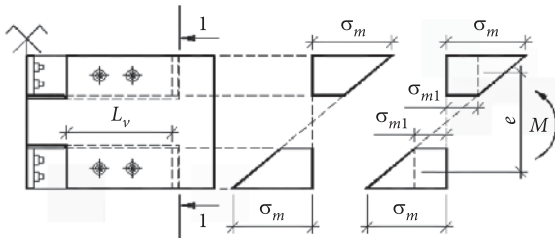
Jungties tempiamojoje ir gniuždomojoje zonos plieninės jungiamosios detalės inkaruojamos galine T formos dalimi (2 pav., 2 pozicija). Kontaktas tarp medienos ir metalo užtikrinamas glemžiant medieną sąlyčio zonoje. Plieninei detalei centruoti medienos elemente išdroža sąlyčio zonoje (2 pav., 5 pozicija) įrengiama platesnė nei galinė plokštelė.

Sumontavus konstrukcinius varžtus, sąlyčio zona tarp medienos ir metalo užpildoma užpildu. Šio tyrimo metu pasirinkti du tipai mišinių: dviejų komponentų poliuretano ir cementinis (armuotas polimeriniais plaušais) užpildai. Užpildai pagal fizines savybes nesiplečia kietėdami, todėl jungčiai nesuteikia pradinio įtempimo.

3. Jungties skaičiavimas pagal medinių konstrukcijų projektavimo normas

Projektuojant medienos konstrukcijas tiek pagal STR 2.05.07:2005 „Medinių konstrukcijų projektavimas“, tiek pagal LST EN 1995–1–1 „Medinių konstrukcijų projektavimas“, lenkiamajame elemente nustatomas tiesinis normalinių įtempių pasiskirstymas. Normalinių įtempių nuo lenkiamojo momento pasiskirstymas jungtyje pateikiamas 4 pav., kuriame pateikiami 1–1 pjūvio įtempiai.

Jungties lenkiamoji laikomoji galia randama iš vidinių įtempių pusiausvyros. 4 pav. σ_m yra maksimalūs normaliniai įtempiai kraštiniuose lenkiamojo elemento skerspjūvio sluoksniuose; σ_{m1} – normaliniai įtempiai ties jungiamosios detalės skerspjūvio išpjova. Plieninės jungiamosios detalės inkaravimo ilgyje šlyties (skėlimo išilgai medienos pluošto) įtempiai medienoje pasiskirsto netolygiai. Maksimalūs šlyties įtempiai skėlimojoje medienos plokštumoje L_v susidaro plieninės detalės T viršutinės dalies ir



4 pav. Įtempiai nuo lenkiamojo momento jungtyje (pjūvyje 1-1)

Fig. 4. Normal stresses form bending moment in connection (in section 1-1)

medienos glaudaus sąlyčio zonoje (4 pav. 1-1 pjūvis). Dėl šios priežasties sąlyčio zonoje turi būti išvengta bet kokių skerspjūvio susilpninimų ir įtempių koncentracijų (šakos, išilginiai džūvimo plyšiai).

Skaičiuojant charakteristinę medienos skeliamąją laikomąją galią ruože L_v pagal Eurokodą 5, vidutinė stiprio reikšmė imama lygi charakteristinei stiprio reikšmei $f_{v,k}$. Nustatant skaičiuotinį skeliamąjį medienos stiprį pagal STR 2.05.07:2005 „Medinių konstrukcijų projektavimas“, galima taikyti įkirčių skaičiavimo metodiką, pagal kurią vidutinis skaičiuotinis skeliamasis medienos stipris skeliamajame ilgyje L_v nustatomas taip:

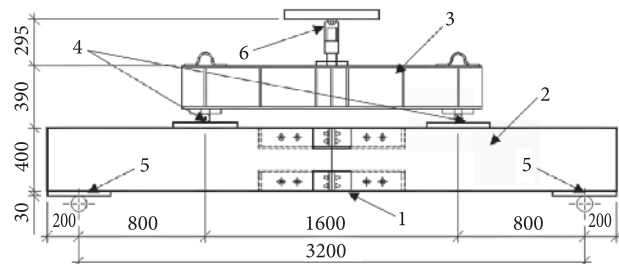
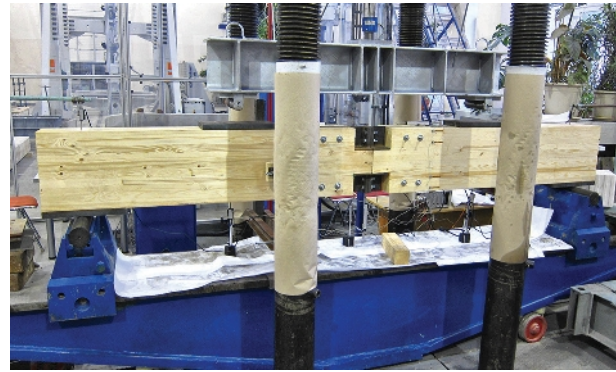
$$f_{v,m,d} = \frac{f_{v,d}}{1 + k_v \frac{L_v}{a_e}}, \quad (1)$$

čia $f_{v,m,d}$ – vidutinis skaičiuotinis skeliamasis medienos stipris; $f_{v,d}$ – skaičiuotinis skeliamasis medienos stipris; k_v – koeficientas, įvertinantis jungties darbo schemą; L_v – skeliamojo pločio ilgis; a_e – atstumas tarp skeliamųjų jėgų ašių.

4. Laboratoriniai eksperimentiniai jungties tyrimai

Pagrindinis laboratorinių eksperimentų tikslas – nustatyti jungties lenkiamąją laikomąją galią ir jungties standumą bei palyginti su teoriškai apskaičiuota pagal medinių konstrukcijų projektavimo normas. Jungčių laboratoriniai eksperimentai atlikti Vilniaus Gedimino technikos universitete. Lenkimo eksperimentui naudotas 1000 tonų galios bandymo stendas. Taip pat siekta nustatyti dviejų skirtingu pagrindu (poliuretano ir cementinio su polimeriniais plaušais) sukurtų užpildų naudojimo tinkamumą pusiau standžiose medinių konstrukcijų jungtyse.

Ekspertiškai ištirtos dvi vienodų geometriinių parametrų jungtys naudojant skirtingą užpildą. Tiriama jungtis yra 3,2 m (5 pav.) lanksčiai paremta lenkiamojo elemento viduryje; statinė apkrova sijai



5 pav. Jungties bandymo schema: 1 – tiriamoji jungtis; 2 – medienos elementas; 3 – skerssijė; 4 – apkrovos pridėjimo vietos; 5 – lankstinės atramos; 6 – dinamometras

Fig. 5. Connection test scheme: 1 – analyzed joint; 2 – timber element; 3 – spanner; 4 – load addition points; 5 – pinned supports; 6 – the dynamometer

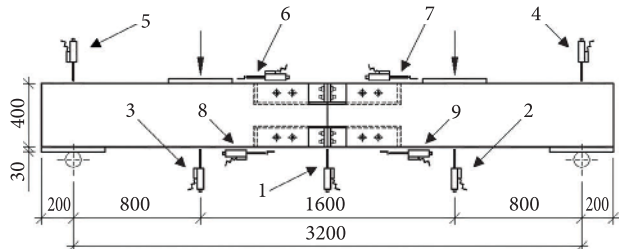
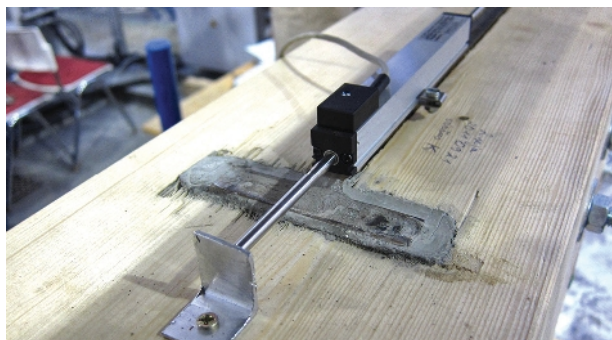
(jungčiai) perduodama metaline skerssijė į du sutelktinius taškus. Naudojama GL24h stiprumo klasės klijuotoji mediena. Medienos elementų skerspjūvis yra 200×400 mm ir suklijuotas iš 40 mm storio lentų. Plieninėms detalėms naudojamas S275 stiprumo klasės lakštinis plienas pagal LST EN 10025 standartą.

Laboratorinis eksperimentas atliekamas vadovaujantis LST EN 26891 standarto nurodymais.

Bandymo metu buvo fiksuojami sijos ir jungties poslinkiai bei deformacijos. Sijoje sumontuoti 9 linijiniai poslinkių davikliai (6 pav. apačioje). 1–5 linijiniai poslinkių davikliai jungties poslinkiams vertikalia linkme matuoti, o 6–9 poslinkių davikliai skirti sąlyčio deformacijoms horizontalia linkme matuoti, kurie fiksuoja bendras medienos, metalinės detalės ir užpildo deformacijas sąlyčio zonoje (6 pav. viršuje).

Gamintojų deklaruojamos užpildų mechaninės savybės pateikiamos 1 lentelėje. Pirmasis – tai dviejų komponentų poliuretano pagrindu sudarytas užpildas PURBOND CR 421, sukuriantis tvirtą jungtį tarp medienos ir metalo. Naudojant iki 8,0 mm storio, kietėdamas nesusitraukia.

Antrasis užpildas – EMACO Nanocrete R4 Fluid, kurio sudėtyje yra portlandcemenčio, frakcionuoto smėlio, specialiai parinkto polimerinio plaušo



6 pav. Poslinkių daviklių išdėstymo schema (apačioje) ir sąlyčio deformacijų (6–9 poslinkių davikliai) tarp medienos ir metalo nustatymas (viršuje)

Fig. 6. Location scheme of displacement indicators (below) and contact deformation setting (6–9 displacement indicator) between timber and steel (above)

ir specialių priedų, kurie kompensuoja susitraukimo deformacijas. Cementinis užpildas, priklausomai nuo vandens kiekio jo sudėtyje, gali būti nuo slankios iki liejamos konsistencijos. Šiuo atveju buvo pasirinktas liejamosios konsistencijos mišinys, kuris gerai užpildo ertmę tarp medienos ir metalo. Užpildomo tarpo plotis varijavo 3–8 mm ir dėl sudėtyje esančių polimerinių plaušų kietėjimo metu nesutrūkinėjo.

Tyrimų metu papildomai eksperimentiškai nustatyti cementinio užpildo lenkiamasis ir gniuždomasis stipriai pagal EN 1015–11 standartą. Cementinio užpildo EMACO Nanocrete R4 Fluid (skiedinio) mechaninės savybės, nustatytos po 28 parų kietėjimo, yra tokios: lenkiamasis stipris – 5,50 MPa (N/mm²); gniuždomasis stipris – 57,0 MPa (N/mm²).

1 lentelė. Gamintojų deklaruojamos užpildų mechaninės savybės

Table 1. Manufacturers' declared mechanical properties of fillers

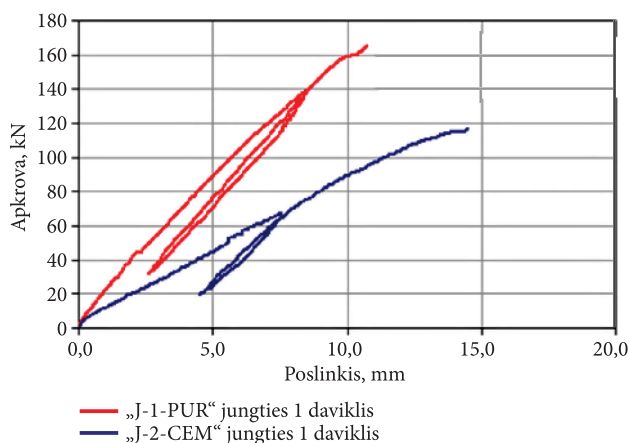
Užpildas	Tempiamasis stipris, MPa	Gniuždomasis stipris, MPa	Tamprumo modulis, GPa
PURBOND CR 421	25,0–30,0	79,9	1,56
EMACO Nanocrete R4 Fluid	–	55,0	20,0

5. Laboratorinių eksperimentinių tyrimų rezultatai

Viso bandymo metu fiksuojami poslinkiai pagal 6 pav. pateiktą poslinkių daviklių išdėstymo schemą. 7 pav. pateikiamos pirmosios poliuretano užpildo (J-1-PUR) ir antrosios cementinio užpildo (J-2-CEM) jungčių apkrovos – poslinkio kreivės (jungties vertikalojo įlinkio, sijos vidurinio taško). Iš kreivės matyti, kad jungčių elgsena yra labai panaši, tačiau, net ir esant vienodiems medienos sijos ir metalinių detalių geometriniais ir fiziniams parametrams, laikomoji galia ir standumas skiriasi apie 1,4 karto. Pažymėtina, kad jungtis yra labai standžios, nes suirimo metu pasiektas sijos poslinkis atitinka tinkamumo ribinio būvio reikalavimus.

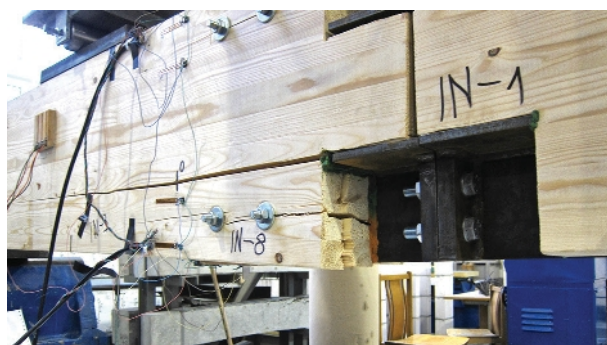
Abi jungtys suiro tempiamajoje apatinėje jungties dalyje, medienai skylant išilgai pluošto (8 pav.).

9 ir 10 pav. pateikiamos sąlyčio zonos apkrovos – poslinkio kreivės gniuždomajai ir tempiamajai zonoms. 9 pav. matyti, kad skirtingu pagrindu sukurti



7 pav. J-1-PUR ir J-2-CEM jungties apkrovos – vertikalaus poslinkio (vidurinio jungties taško) grafikas

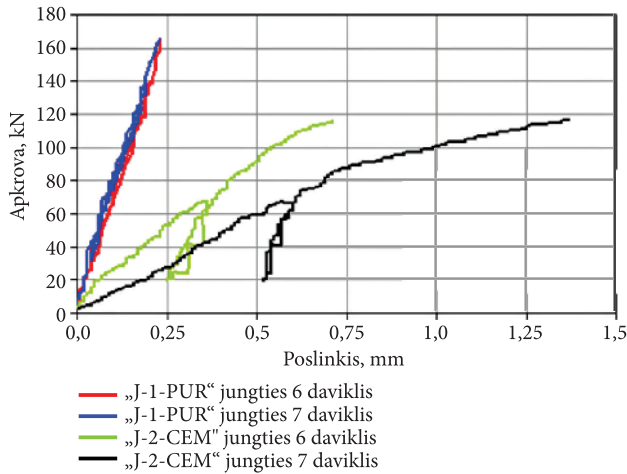
Fig. 7. Load – displacement curve of J-1-PUR and J-2-CEM beam's (joint) middle point



8 pav. Sijos suirimas tempiamajoje jungties zonoje medienai skylant išilgai pluošto

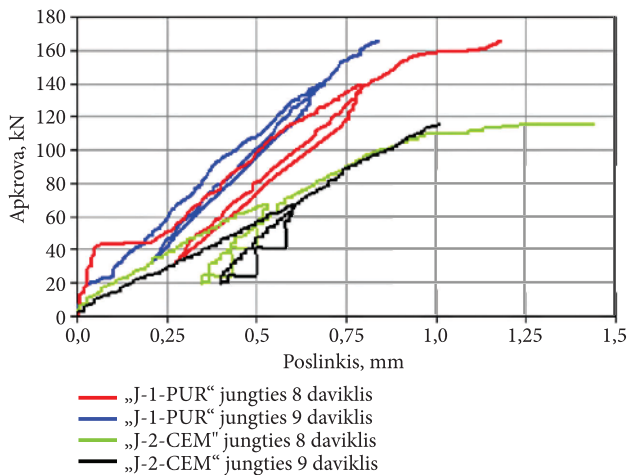
Fig. 8. Beam's collapse while splitting timber along grain

užpildai gniuždomojoje zonoje apkrovimo metu elgiausi skirtingai. Cementiniu pagrindu sukurto užpildo deformacijos yra apie 5,0 kartus didesnės esant atitinkamai apkrovai nei dviejų komponentų poliuretano pagrindu sukurto užpildo. Gniuždomojoje zonoje pastebimos negrįžtamosios deformacijos užpilde pasiekus apie 50 proc. ardančiosios apkrovos. Tai papildomai reiktų vertinti konstrukcijoms, kurias veikia ciklinės apkrovos ar ženkklą keičiantys momentai.



9 pav. J-1-PUR ir J-2-CEM jungties gniuždomosios sąlyčio zonos deformacijos

Fig. 9. Load – displacement curve of J-1-PUR and J-2-CEM beams' compression zone



10 pav. J-1-PUR ir J-2-CEM jungties tempiamosios sąlyčio zonos deformacijos

Fig. 10. Load – displacement curve of J-1-PUR and J-2-CEM beams' tension zone

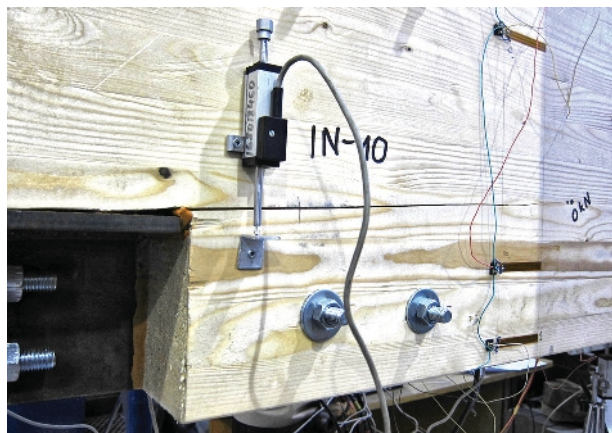
10 pav. pateikiamos tempiamosios sąlyčio zonos apkrovos ir poslinkio priklausomybės. Pirmoji jungtis J-1-PUR suiro ties devintuoju deformacijų davikliu, kur pastebimos staigesnės sąlyčio zonos deformacijos. Antroji jungtis J-2-CEM suiro ties aštuntuoju poslinkių davikliu. Jungčių suirimo vieta ir pobūdis yra vienodi. Abiejų užpildų tempiamosios zonos elgsena yra labai panaši, kreivių posvyrio kampo skirtumas nėra toks ryškus kaip gniuždomojoje zonoje.

Jungčių lenkiamosios laikomosios galios ir maksimalios deformacijos pateikiamos 2 lentelėje. J-1-PUR ir J-2-CEM jungties lenkiamosios laikomosios galios skiriasi 1,425 karto. J-2-CEM jungties vidurinio taško įlinkis yra 1,35 karto didesnis nei J-1-PUR. Toks J-2-CEM sijos/jungties standumo (atitinkamai ir laikomosios galios) sumažėjimas gali būti grindžiamas tuo, kad jungtyje staigaus skerspūvio pasikeitimo vietoje pastebėtas išilginis technologinis džiūvimo plyšys, pateikiamas 11 pav. Mikroskopu nustatytas pradinis plyšio plotis yra 1,580 mm, ilgis – apie 300 mm. Apkrovimo metu plyšio ilgis nedidėjo išilgine linkme, tik pamažu plėtėsi didinant apkrovą. Technologinių trūkumų įtaką mazgo standžiui ir stipriui reiktų atskirai nuodugnai iširti. J-2-CEM jungties sąlyčio zonoje pastebimos negrįžtamosios deformacijos, pasiekus apie 50 proc. nuo maksimalios eksperimentinės laikomosios galios.

2 lentelė. Jungčių lenkiamosios laikomosios galios ir deformacijos suirimo metu

Table 2. Joints' rotational bearing capacities and deformations at failure

Jungtis	Lenkiamoji laikomoji galia, kNm	Sijos vidurinio taško įlinkis, mm	Gniuždomos sąlyčio zonos deformacija, mm	Tempiamos sąlyčio zonos deformacija, mm
1-oji jungtis (sąlyčio zonoje naudotas poliuretano užpildas)	66,24	10,78	0,23	0,97
2-oji jungtis (sąlyčio zonoje naudotas cementinis užpildas)	46,48	14,52	1,350	1,440



11 pav. Išilginiai technologiniai džiūvimo plyšiai tempiamojoje jungties zonoje staigaus skerspjuvio pasikeitimo vietoje
Fig. 11. Longitudinal technological cracks in timber

6. Eksperimentinių rezultatų ir skaičiavimo pagal Lietuvos ir Europos projektavimo normas vertinimas

Sijos elementų mazgo lenkiamoji laikomoji galia pagal projektavimo normas randama sudarant mechaninį jungties modelį ir kaip klasikinėse kaištinėse jungtyse analizuojant visus galimus jungties suirimo atvejus. Teorinė laikomoji jungties galia pagal projektavimo normas, apskaičiuota pavojingiausiam atvejui, tiek pagal STR „Medinių konstrukcijų projektavimas“, tiek pagal Eurokodą 5, yra tokia pati. Teorinės ir eksperimentinės mazgo laikomosios galios reikšmės pateikiamos 3 lentelėje. J-1-PUR jungties, užpildytos poliuretano užpildu, eksperimentinė laikomoji galia yra 1,574 karto didesnė nei teorinė, apskaičiuota naudojant charakteristines medienos mechaninių savybių reikšmes. J-2-CEM jungties, užpildytos cementiniu

3 lentelė. Jungčių teorinės ir eksperimentinės lenkiamosios laikomosios galios
Table 3. Joints’ theoretical and experimental rotational bearing capacities

Jungtis	Eksperimentinė lenkiamoji laikomoji galia, kNm	Teorinė lenkiamoji laikomoji galia pagal STR ir EC5, kNm	Santykis tarp eksperimentinės ir teorinės laikomųjų galių
Jungtis, naudojant poliuretano pagrindo užpildą	66,24	42,09	1,574
Jungtis, naudojant cemento pagrindo užpildą	46,48	42,09	1,104

užpildu, eksperimentinė laikomoji galia yra 1,104 karto didesnė nei teorinė. Tai nėra pakankamas santykis, nes, lyginant su kitų autorių ankstesniais laboratoriniais eksperimentiniais medienos konstrukcijų jungčių tyrimais, šis santykis paprastai būna ne mažesnis nei 1,5 karto (Rossignon, Espion 2008; Gečys 2010). Todėl būtini papildomi jungčių su cementiniu užpildu tyrimai. Šis eksperimentas parodė, kad labai didelę įtaką laikomajai galiai turi technologiniai gamybos netikslumai.

Abi jungtys suiro staigiai, medienai skylant išilgai pluošto – išskeliamas visas šlyties blokas, kuriuo inkaruojama plieninė detalė medienos elemente. Dėl medienos anizotropiškumo sudėtinga sukonstruoti didelį stiprumą turinčius mazgus, nes medienos stipris ir tamprumo modulis skersai medienos pluošto yra apie penkis kartus mažesnis nei išilgai medienos pluošto.

Kai kurios praktinio projektavimo metodikos įvertina medienos šlyties įtempių netolygų pasiskirstymą inkaravimo ilgyje. Staigiai suyrančios jungtys medinėse konstrukcijose turi būti projektuojamos naudojant suirimo pobūdį įvertinančią atsargos koeficientą. Medienos jungtims, kurios suyra staigiai, su įklijuotais plieniniais strypais siūlomas koeficientas yra apie 1,4 (Connolly, Mettem 1999).

Skaičiuojant jungties stiprumą, sudaromas mechaninis jungties modelis ir nagrinėjamos visos galimos suirimo formos: medienos suglemžimas, medienos nutraukimas, medienos šlytis, varžtų tempimas, plieninės detalės lenkimas. Tiriamos jungties charakteristinė lenkiamoji laikomoji galia pagal Lietuvos ir Europos projektavimo normas yra $M_{Rk} = 42,09$ kNm.

Išvados

1. Pasiūlyta nauja dviejų sijų mazgo konstrukcija yra tinkama serijinei gamybai, nes mazgas visiškai paruošiamas gamykloje, patogus transportuoti ir montuoti statybvietyje.
2. Eksperimentais nustatyta, kad dviejų komponentų poliuretano ir cementinis užpildai gali būti naudojami kaip užpildomoji medžiaga sąlyčiui tarp medienos ir metalo užtikrinti bei pradiniam jungties slankumui eliminuoti.
3. Laboratoriniai eksperimentai parodė, kad J-1-PUR jungties eksperimentinė lenkiamoji laikomoji galia yra 1,574 karto, o J-2-CEM jungties laikomoji gali yra 1,104 karto didesnė nei apskaičiuota pagal Lietuvos statybos techninius reglamentus (STR) ir Europos medinių konstrukcijų projektavimo standartus (EC).

4. Standžiuosiuose medienos elementų mazguose rekomenduotina naudoti papildomas priemones, mažinančias išilginių technologinių džiūvimo plyšių atsivėrimą sąlyčio zonoje ties staigiu skerspjuvio pasikeitimu (įtempių koncentratoriai). Viena iš priemonių – tai stačiųjų kampų apvalinimas.
5. Jungtis gali būti skaičiuojama sudarant mazgo vidinių jėgų pusiausvyros lygtį naudojant projektavimo normose pateikiamas medžiagų stiprių reikšmes. Reikia vertinti netolygų šlyties įtempių pasiskirstymą inkaravimo plote pagal aukštį.

Literatūra

- Awaludin, A.; Smittakorn, W. 2004. Flexural resistance of steel to wood connection with various multiple-bolt configurations, in *The 17th KCCNN Symposium on Civil Engineering*, Ayutthaya, Thailand, 321–326.
- Awaludin, A.; Smittakorn, W.; Hayashikawa, T.; Hirai, T. 2007. M–theta curve of timber connection with various bolt arrangements under monotonic loading, *Journal of Structural Engineering* 53/A: 853–862.
- Bruehl, F.; Kuhlmann, U.; Jorissen, A. 2011. Consideration of plasticity within the design of timber structures due to connection ductility, *Engineering Structures* 33: 3007–3017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.engstruct.2011.08.013>
- Chang, W. S.; Hsu, M. F.; Chen, C. J. 2004. Estimating Rotational Stiffness of Timber Joints by Using Fractional Factorial Experiments Combined With Computer Simulation, in *8th World Conference on Timber Engineering*, Lathi, Finland.
- Daniūnas, A.; Urbonas, K. 2008. Analysis of the steel frame with semi-rigid beam-to-beam and beam-to-column knee joints under bending and axial forces, *Engineering Structures* 30: 3114–3118. <http://dx.doi.org/10.1016/j.engstruct.2008.04.027>
- Daniūnas, A.; Urbonas, K. 2010. Influence of the semi-rigid bolted steel joints on the frame behaviour, *Journal of Civil Engineering and Management* 16: 237–241. <http://dx.doi.org/10.3846/jcem.2010.27>
- EN 1015–11. *Mūro skiedinio bandymo metodai. 11 dalis. Sukietėjusio skiedinio stiprio lenkiant ir gniuždant nustatymas. Europos standartas (lietuviškoji versija)*. 1999. 11 p.
- Gečys, T. 2010. *Plieninių strypų, įklijuotų medienoje, tyrimas ir analizė* (baigiamasis magistro darbas). VGTU, Vilnius.
- Gečys, T.; Gurkšnys, K.; Rasiulis, K. 2011. Jungties tarp įklijuotojo plieninio sriegtojo strypo ir medienos elgsenos tyrimas, *Statybinės konstrukcijos ir technologijos* 3(1): 5–15.
- Goode, C. D.; Kuranovas, A.; Kvedaras, A. K. 2010. Buckling of slender composite concrete-filled columns, *Journal of Civil Engineering and Management* 16(2): 230–237. <http://dx.doi.org/10.3846/jcem.2010.26>
- Guan, Z. W.; Rodd, P. D. 1999. Hollow steel dowels – a new application in semi – rigid timber connections, *Engineering Structures* 23: 110–119. [http://dx.doi.org/10.1016/S0141-0296\(00\)00027-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0141-0296(00)00027-4)
- Guan, Z. W.; Kitamori, A.; Komatsu, K. 2008. Experimental study and finite element modelling of Japanese „Nuki“ joints – Part two: Racking resistance subjected to different wedge configurations, *Engineering Structures* 30: 204 –2049.
- Jirka, O.; Mikes, K. 2010. Semi – rigid joints of timber structures, *An International Journal for Engineering and Information Sciences* 5(2): 19–26.
- Keras, V.; Roličius, J. 2005. In-situ investigation of concentration of strains around an implanted bar, *Journal of Civil Engineering and Management* 11(1): 39–47.
- Kermani, A. 1996. A study of semi-rigid and non-linear behaviour of nailed joints in timber portal frames, *International Journal of Forest Engineering* 7(2): 17–33.
- Komatsu, K.; Hosokawa, K. 1998. Glulam semi-rigid portal frames composed of hardwood wedges and metal wares, in *Proceedings of the 5th World Conference on Timber Engineering 2*: 246–253, Montreux, August.
- LST EN 1995–1–1. *Medinių konstrukcijų projektavimas. 1–1 dalis. Bendrosios nuostatos. Bendrosios ir pastatų taisyklės*. Vilnius, 2006. 130 p.
- LST EN 26891. *Medinės konstrukcijos. Sujungimai mechaninėmis tvirtinimo detalėmis. Bendrieji mechaninio stiprio ir deformacijų būdingųjų savybių nustatymo principai* (ISO 6891:1983) Vilnius, 2000. 6 p.
- Pasternak, H.; Kubieniec, G.; Piekarczyk, M. 2010. Adhesives in strengthening of steel structures, *Engineering Structures and Technologies* 2(2): 45–50. <http://dx.doi.org/10.3846/skt.2010.06>
- Racher, P. 1995. Moment resisting connection, in *Proceedings of Timber Engineering STEP 1*, C16/1–C16/10, Central Hout.
- Rosignon, A.; Espion, B. 2008. Experimental assessment of the pull-out strength of single rods bonded in glulam parallel to the grain, *European Journal of Wood and Wood Products* 66(6): 419–432. <http://dx.doi.org/10.1007/s00107-008-0263-3>
- Shiratori, T.; Leijten, A. J. M.; Komatsu, K. 2009. The structural behaviour of a pre-stressed column–beam connection as an alternative to the traditional timber joint system, *Engineering Structures* 31: 2526–2533. <http://dx.doi.org/10.1016/j.engstruct.2009.05.003>
- Steiniger, M. 2003. *Tensile strength and performance of the IN-DUO-heavy timber connector in combination with structural composite lumber and Douglas fir* (Master's thesis). The University of British Columbia, Vancouver, Kanada.
- STR 2.05.07:2005. *Medinių konstrukcijų projektavimas*. Vilnius, 2005.
- Szmigiera, E.; Zoltowski, W.; Siennicki, M. 2010. Research on load capacity of concrete filled columns with battened steel sections, *Journal of Civil Engineering and Management* 16(3): 313–319. <http://dx.doi.org/10.3846/jcem.2010.36>
- Trautz, M.; Koj, Ch. 2009. Self-tapping screws as reinforcement for timber structures, in *Proceedings of the International Association for Shell and Spatial Structures (IASS) Symposium 2009, Evolution and Trends in Design, Analysis and Construction of Shell and Spatial Structures*, Universidad Politecnica de Valencia, Spain.
- Vašek, M.; Vyhnaek, R. 2006. Timber semi rigid frame with glued-in-rods joints, in *World Conference on Timber Engineering 2006 Conference Proceedings*, Vol. 1, S. 275, Portland Oregon State University, Portland.
- Vašek, M. 2008. Semi rigid timber frame and space structure connections by glued-in rods, in *World Conference on Timber Engineering 2008 Conference Proceedings*, Vol. 1, S. 207, Miyazaki, Japan.

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF GLUED LAMINATED TIMBER BEAM-TO-BEAM CONNECTION

T. Gečys, A. Daniūnas, K. Gurkšnys, K. Rasiulis

Abstract. Semi rigid mounting joints of glued laminated timber elements are connections that are fully assembled on construction site and capable to handle bending moments, axial and shear forces. The need for new type of semi rigid timber elements' connection is obvious. The manufacturing possibilities of glued laminated timber elements' are wide: straight element's length may extend up to 40 m or curved axis elements with dimensions of up to 10 meters in height, therefore, manufacturers, erectors and others face with transportation problems of non-standard, oversized elements. Semi-rigid mounting joints are used to solve this problem. In factory non-standard, oversized, glued, laminated timber elements are cut into standard transportation dimensions and fully mounted into integral element on construction site, using semi rigid mounting joints. In this article semi-rigid, glued, laminated timber elements' joints which are used as beam to beam, beam to column and column to foundation connections are analysed. Also the main design principles of semi-rigid joints are discussed. The new type of semi rigid beam to beam connection is proposed and experimentally analysed. The experimentally and theoretically analysed connection is composed of welded steel details which are anchored into timber element. The main experiment is four point bending; the analysed connection is in the middle of the span. The beam's span is 3.20 m; the dimensions of the timber element's cross section are: width 200 mm; height 400 mm; mounting bolts are M16. Glued laminated timber strength class is GL24h. The tight contact between timber element and steel detail is created by anchoring steel detail's T shape part into timber element. The initial movement between timber element and steel detail is eliminated using fillers. Two types of fillers are used in these experiments: two component polyurethane and cement based filler with polymer fibres. Two joints with different fillers are tested in laboratory experiments. Bending bearing capacity and stiffness (displacements) of the joints' are determined in laboratory. Experimental bearing capacities are compared with theoretical calculations according to European (EC5) and Lithuanian timber structures design codes. Conclusions and recommendations are presented for further experiments and computer simulations.

Keywords: glued laminated timber joints, beam-to-beam connections, glued laminated timber frames.

Tomas GEČYS. PhD student at the Department of Steel and Timber Structures of Vilnius Gediminas Technical University. Research interests: timber and timber joints.

Alfonsas DANIŪNAS. Dr, Assoc. Prof. at the Department of Steel and Timber Structures of Vilnius Gediminas Technical University. He is an author and co-author of over 150 articles in science and organization of higher education. Research interests: steel and timber structures, analysis and optimization of elastic and plastic steel structures, numerical methods, semi-rigid joints of steel structures.

Kęstutis GURKŠNYS. Dr, Assoc. Prof. at the Department of Steel and Timber Structures of Vilnius Gediminas Technical University. Research interests: steel and timber structures.

Konstantin RASIULIS. Dr, Assoc. Prof. of the Department of Steel and Timber Structures of Vilnius Gediminas Technical University. Field of research: steel and timber structures.