

JUNGTIES TARP ĮKLIJUOTO PLIENINIO SRIEGTOJO STRYPO IR MEDIENOS ELGSENOS TYRIMAS

Tomas Gečys¹, Kęstutis Gurkšnys², Konstantin Rasiulis³

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

El. paštas: ¹tomas.gecys@vgtu.lt; ²kestutis@st.vgtu.lt; ³konstantin.rasiulis@vgtu.lt

Įteikta 2011 01 20; priimta 2011 02 21

Santrauka. Straipsnyje aptariami pagrindiniai plieninių sriegtųjų strypų įklijavimo medienoje metodai. Eksperimentais nustatytos pavienių plieninių sriegtųjų strypų (M12 ir M16), įklijuotų medienoje, jungčių laikomosios galios. Apibendrinta dviejų skirtingų įklijavimo metodų (pirmasis – strypas įklijuojamas į 4 mm didesnio skersmens kiaurymę; antrasis – strypas įsriegiamas į 2 mm mažesnio nei strypas skersmens kiaurymę) elgsena remiantis eksperimentinių tyrimų rezultatais. Pagrindiniam eksperimentui naudoti klijuotosios medienos elementai (skerspjuvio matmenys – 100×100, ilgis – 800 mm), kurių galuose lygiagrečiai su medienos pluoštu buvo įklijuoti sriegtieji plieniniai strypai. Atliktas abipusis tempimo bandymas apkrovą perduodant strypams. Eksperimentinių tyrimų rezultatai lyginami su teorinės laikomosios galios skaičiavimais, atliktais pagal Lietuvos ir Europos medinių konstrukcijų projektavimo normų taisykles. Pateiktos jungties laikomosios galios ir geometrinių parametru priklausomybės. Aptartos pagrindinės bandinių suirimo formos ir gamybos netikslumai, turėję įtakos jungties laikomajai galiai.

Reikšminiai žodžiai: medienoje įklijuoti strypai, įtempių pasiskirstymas medienoje, medienos jungtis.

1. Įvadas

Vienas iš sudėtingiausių medinių konstrukcijų projektavimo etapų yra mazgų konstravimas. Įrengiant įprastus mazgus tarp medienos elementų (sijos ir kolonos ar kolonos ir pamato) dažniausiai naudojamos didelių matmenų plieninės plokštelės, kurios išdėstomos išorinėje elementų dalyje. Dėl didesnių kiaurymių nei varžto skersmuo medienos elementuose ir metalinėse jungiamosiose detalėse sudėtinga sukonstruoti labai standžius mazgus, o ypač pradinio slankumo neturinčius mazgus.

Medinių laikančiųjų konstrukcijų standiems mazgams padaryti vietoje klasikinių jungiamųjų detalių gali būti puikiai naudojami įklijuoti strypai (Steiger *et al.* 2007). Įklijuoti plieniniai strypai jau daugiau kaip 30 metų naudojami medienos konstrukcijų pramonėje Europos ir Pasaulio šalyse. Tai ekonominiu, architektūriniu ir pramoniniu požiūriu labai patraukli priemonė, sujungianti atskirus medienos elementus ir padedanti armuoti kritines medienos zonas (Rossignon, Espion 2008). Įklijuoti plieniniai strypai taip pat plačiai nau-

dojami istorinių objektų medinėms konstrukcijoms rekonstruoti (Lavisci, Pizzo 2003).

Šiuo klausimu yra nemažai darbų, kuriuose autoriai nagrinėja strypus, įklijuotus medienoje: skersai pluošto (Blass, Laskewitz 2001), išilgai medienos pluošto (Rossignon, Espion 2008; Serrano 2001; Bengtsson *et al.* 2000; Madhoushi, Ansel 2008a; Madhoushi, Ansel 2008b; Chans *et al.* 2010) ir kampu į medienos pluoštą (Keras, Roličius 2005).

Jungties tarp medienos ir plieninio sriegtojo įklijuoto strypo pagrindinis tyrimų tikslas – eksperimentais iširti plieninių sriegtųjų strypų įklijavimo technologijų efektyvumą ir jų pritaikymą gamybai.

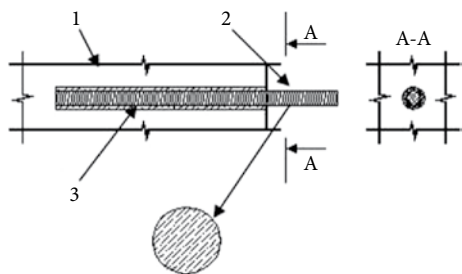
2. Plieninių sriegtųjų strypų įklijavimo medienoje metodai

Plieniniams sriegtiesiems strypams įklijuoti medienoje taikomi du pagrindiniai metodai.

Pirmasis metodas: medienos elemente išgręžiama išdroža, kurios skersmuo didesnis nei įklijuojamas

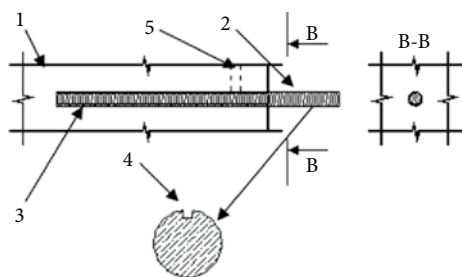
strypas. Į ją injektuojamas reikiamas klijų kiekis ir įstatomas sriegtasis strypas (1 pav.). Išstumtas klijų perteklius parodo, kad klijų pakanka. Strypas pasukiojamas aplink išilginę savo ašį, kad klijai pasiskirstytų tolygiai ir būtų išvengta oro ertmių.

Antrasis metodas: medienos elemente gręžiama mažesnio skersmens išdroža ir sriegtasis strypas (su išilginiu grioveliu per įklijavimo ilgį) įsriegiamas į medieną (2 pav.). Išdrožos skersmuo priklauso nuo strypo skersmens ir dažniausiai imamas $2 \times S_r$, mažesnis nei strypo nominalusis skersmuo, čia S_r – sriegtojo strypo sriegio aukštis. Įrengiant tokio tipo jungtį gręžiama papildoma skersinė kiaurymė (statmenai išilginei, prie pat išilginės išdrožos pradžios). Į skersinę kiaurymę dideliu slėgiu injektuojami klijai tuo pat metu, kai įsriegiamas strypas. Antrojo įklijavimo metodo laikomoji galia grindžiama daugiau ne klijų ryšiu tarp medienos ir metalo, o mechanine jungtimi tarp sriegio ir medienos (Johansson 1995).



1 pav. Pirmasis plieninių sriegtųjų strypų įklijavimo metodas: 1 – medienos elementas; 2 – plieninis sriegtasis strypas; 3 – klijų juosta

Fig. 1. The first method for steel threaded rods pasted into timber: 1 – timber element, 2 – steel threaded rod, 3 – adhesive layer



2 pav. Antrasis plieninių sriegtųjų strypų įklijavimo metodas: 1 – medienos elementas; 2 – plieninis sriegtasis strypas; 3 – klijų juosta; 4 – išilginis griovelis įklijavimo zonoje; 5 – skersinė kiaurymė, į kurią klijai injektuojami naudojant slėgį

Fig. 2. The second method for steel threaded rods pasted into timber: 1 – timber element, 2 – steel threaded rod, 3 – adhesive layer, 4 – longitudinal groove attaching the area of paste, 5 – lateral hole for glue injection under pressure

Atliekant tyrimus antrasis metodas (2 pav.) buvo modifikuotas ir supaprastintas panaikinant skersinę kiaurymę, be to, strypas buvo apteptas klijais prieš sriegimą ir sriegiant.

3. Plieninio strypo, įklijuoto medienoje, laikomoji galia pagal STR 2.05.07:2005 ir EC 5-1-1:2005

Pavienio plieninio sriegtojo strypo, įklijuoto medienoje, laikomosios galios analizei pasitelktos dvi projektavimo normos: STR 2.05.07:2005 „Medinių konstrukcijų projektavimas“ (toliau – STR) ir LST EN 1995-1-1 „Eurokodas 5. Medinių konstrukcijų projektavimas. 1-1 dalis. Bendrosios nuostatos. Bendrosios ir pastatų taisyklės“ (toliau – EC 5). Abiejuose šaltiniuose pateikiama pavienio įklijuoto strypo tempiamoji-gniuždomoji laikomoji galia, grindžiama medienos skeliamosios galios skaičiavimais. Praktinio projektavimo išraiškos neanalizuoja naudojamų klijų fizinių ir mechaninių savybių (pateikiami tik naudojamų klijų tipai), teigiama, kad klijų stipris nėra jungties stiprumą nusakantis parametras.

Pagal STR tempiamosios ar gniuždomosios jungties plieninio strypo, įklijuoto išilgai ar skersai spygliuočių medienos pluošto, skaičiuotinis atsparis apskaičiuojamas pagal formulę (1):

$$R_{ax,d} = f_{v,\alpha,k} \cdot \pi \cdot (d + 0,005) \cdot l_d \cdot k_v, \quad (1)$$

čia: $f_{v,\alpha,k}$ – charakteringasis skeliamos išilgai arba skersai pluošto medienos stipris; d – nominalusis įklijuojamo strypo skersmuo; l_d – skaičiuotinis įklijuotos strypo dalies ilgis, pagal rekomendacijas imamas ne mažiau kaip $10d$ ir ne daugiau kaip $30d$; k_v – koeficientas, įvertinantis netolygų šlyties įtempių pasiskirstymą priklausomai nuo įklijuotos strypo dalies ilgio.

(1) išraiška įvertina medienos skaičiuotinę skeliamąją stiprį, kuris pagal STR yra vienodas tiek išilgai, tiek skersai medienos pluošto. Remiantis kai kurių autorių atliktais eksperimentiniais tyrimais (Keras, Roličius 2005; Blass, Laskewitz 2001) ir VGTU magistrų baigiamaisiais darbais (Gudelis 2009) ši prielaida nėra teisinga, nes kampu įklijuoto strypo ištraukiamasis atsparis yra didesnis. Medienoje kampu įklijuoto strypo ištraukiamoji galia yra apie 20 % didesnė nei išilgai ir skersai. Tiriant plieninio sriegtojo strypo, įklijuoto medienoje, elgseną, esant skirtingiems įklijavimo kampams pluošto atžvilgiu, nustatyta, kad optimalus strypo įklijavimo kampas yra 30–50° (Keras, Roličius 2005).

Skylės mediniame elemente gręžiamos 5 mm didesnio skersmens. Ši STR projektavimo normų pateikiama sąlyga nėra pakankamai korektiška, ypač tais atvejais, kai jungtis veikiama cikline apkrova (tiltai, rėmų kampinės jungtys), nes pagal (1) išraišką jungtis suyra medienos ir klijų paviršiuje. Iš autorių Madhoushi ir Ansell (2004) klijuotųjų jungčių ilgalaikių bandymų cikline apkrova publikacijų pastebėta, kad optimalus klijų juostos storis yra 0,5–1,0 mm, nes tokia jungtis suyra medienos ir klijų paviršiuje. Kitais atvejais, kai yra didesnis klijų juostos storis, jungtis suyra per klijus. (1) išraiška turi būti papildyta sąlyga, kad išdrožos skersmuo, gręžiamas 5,0 mm didesnis nei strypo, turi būti naudojamas tais atvejais, kai papildomai vertinamas klijų ilgaamžiškumas.

Plieninio strypo, įklijuoto medienoje ir apkrauto ašine gniuždymo ar tempimo jėga, charakteristinė laikomoji galia, remiantis EC 5, nustatoma pagal šią formulę:

$$R_{ax,k} = \pi \cdot d_{equ} \cdot l_a \cdot f_{v,\alpha,k}, \quad (2)$$

čia: $d_{equ} = \min[d_0; 1,25d]$; d_0 – nominalusis medienoje išgręžtos kiaurymės skersmuo; d – nominalusis strypo skersmuo; l_a – strypo įklijavimo ilgis, pagal rekomendacijas imamas ne mažiau kaip $8d$ ir ne daugiau kaip $25d$; $f_{v,\alpha,k}$ – charakteringasis medienos skeliamasis stipris kampu α į pluoštą.

EC 5 pateikiama išraiška (2) įvertina kampo tarp medienos pluošto ir jėgos pridėjimo ašies įtaką (skirtingos medienos skeliamojo stiprio reikšmės kintant kampui). (2) išraiškai pateikiami papildomi apribojimai neapibrėžia medienos elemente gręžiamos minimalios išdrožos skersmens. Šis apribojimas turi būti įtraukiamas, nes tai nusako įklijavimo metodo technologijos taikymo pobūdį. Įklijuojant plieninį sriegtąjį strypą į mažesnio skersmens kiaurymę, kontaktas tarp medienos ir metalo užtikrinamas mechanine jungtimi tarp strypo sriegio ir medienos, o klijai tik padidina medienos vietinį glemžiamąjį stiprį (Steiger *et al.* 2006). EC 5 taip pat neapibrėžia naudojamų įklijuotų strypų tipo (sriegtasis, armatūrinis lygusis ar rumbuo-tasis).

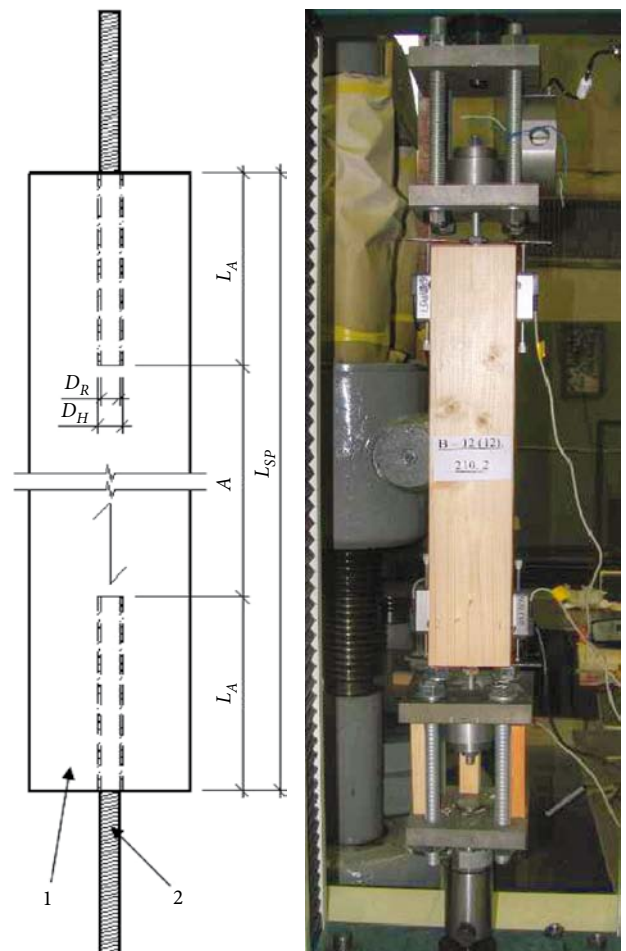
4. Eksperimentiniai tyrimai

Pagrindinis tyrimo tikslas – bandymais nustatyti jungčių su skirtingais įklijavimo metodais laikomąsias galias, elgsenos ypatumus bei jų irimo pobūdžius, esant skirtingiems plieninių strypų skersmenims ir įklijavimo ilgiams.

Šiems tikslams pasiekti jungties modeliai buvo bandomi kvazistatinėmis apkrovomis specialiai sukurta bandymų stende. Bandymai atlikti Vilniaus Gedimino technikos universiteto Statybos fakulteto Metalinių ir medinių konstrukcijų katedros laboratorijoje.

Bandiniams tirti taikytas tempimo bandymas pagal LST EN 26861 rekomendacijas. Plieninis sriegtasis strypas įklijuotas išilgai medienos pluošto (3 pav.). Abu strypo galai įtvirtinti lanksčiai.

Medinei bandinių daliai naudota klijuota spygliuočių mediena, kurios stiprumo klasė GL24h (skerspjūvio matmenys – 100×100, ilgis – 800 mm). Bandiniuose naudoti 12 mm ir 16 mm sriegtieji strypai, 5.8 stiprumo klasės. Mechaniniai medžiagų rodikliai nustatyti bandymais ir pateikiami Gečio (2010) darbe.



3 pav. Principinė jungčių su įklijuotais strypais schema ir bandymo vaizdas: 1 – medienos elementas; 2 – plieninis sriegtasis strypas; dešinėje – bandinys tempimo prese

Fig. 3. A principal schematic view of joints with glued rods and a test image: 1 – timber element; 2 – steel threaded rod; on the right – a sample in a tension machine

Plieniniams sriegtiesiems strypams įklijuoti medienoje naudoti epoksidiniai klijai Hilti HIT-RE 500. Šie klijai naudojami strypams inkaruoti tiek medienoje, tiek betone. Strypai įklijuoti medienoje UAB „Jūrės medis“ (laikančiųjų klijuotos medienos konstrukcijų gamintojo) gamybinėse patalpose.

Pagrindiniai tiriamieji jungties parametrai:

1. Įklijavimo ilgis L_A . Projektavimo rekomendacijose mažiausias ilgis yra $10 D_R$; didžiausias – $25 D_R$, čia D_R – įklijuojamo strypo skersmuo. Tyrimams pasirenkami trys įklijavimo ilgiai: $10 D_R$, $17,5 D_R$ ir $25 D_R$.
2. Medienos elemente gręžiamos išdrožos skersmuo D_{FP} , kuris priklauso nuo įklijavimo technologijos: pirmuoju atveju išdroža gręžiama 4 mm didesnė nei strypo skersmuo D_R ; antruoju atveju – 2 mm mažesnė.

Bandinių serijų geometriniai parametrai pateikiami 1 lentelėje.

1 lentelė. Bandinių geometriniai parametrai

Table 1. The parameters of specimen geometry

Bandinių serijos numeris	Išdrožos skersmuo D_{FP} , mm	Strypo skersmuo D_R , mm	Strypo įklijavimo medienoje ilgis L_A , mm	Įklijuojamos dalies sąlyginis liaunis L_A/D_R
1	16	12	120	10
2	16	12	210	17,5
3	16	12	300	25
4	10	12	120	10
5	10	12	210	17,5
6	10	12	300	25
7	20	16	160	10
8	20	16	280	17,5
9	14	16	160	10
10	14	16	280	17,5

Trumpalaikiai medienoje įklijuotų plieninių strypų jungčių ištraukiamieji bandymai atlikti pagal LST EN 26891 reikalavimus ir atsižvelgta į šio standarto rekomenduojamą apkrovos ir laiko priklausomybės kreivę.

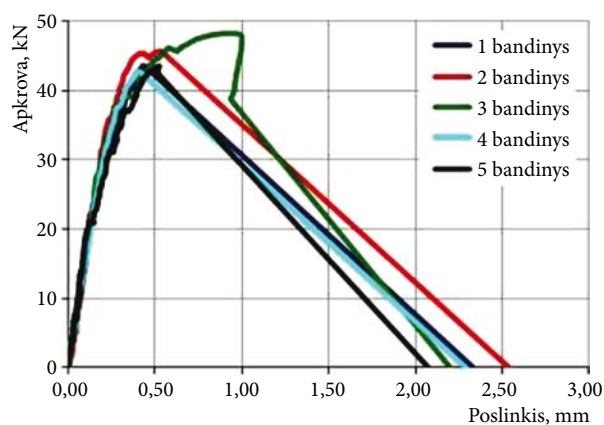
Slinktys tarp plieninio strypo ir medienos buvo matuotos tiesinės įtampos skirtumų davikliais.

Bandymo rodmenų informacija apdorota programine įranga ALMEMO AMR5.

5. Jungčių elgsena ir pagrindinės bandinių suirimo formos

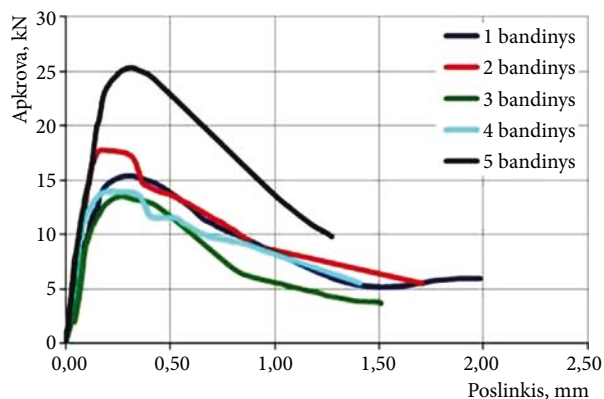
Išanalizavus bandinių apkrovos ir poslinkio kreives bei apžiūrėjus suirusius bandinius, pastebėtas pagrindinis skirtumas tarp pirmojo ir antrojo įklijavimo metodų – irimo pobūdis. Klijuotųjų jungčių tarp medienos ir metalo elgsenai apibūdinti pasirinkti du tų pačių parametrų skirtingais metodais suklijuotų bandinių apkrovos ir poslinkio kreivės (4, 5 pav.).

Pirmuoju įklijavimo metodu suklijuoti bandiniai suiro staigiai, kai mediena skyla išilgai medienos pluošto ir poslinkiai tarp medienos ir metalo staiga tampa labai dideli. Įvyksta staigus suirimas. Maksimalūs laikomųjų galių kreivės taškai aiškiai matomi 4 pav. Suirusių bandinių, suklijuotų pirmuoju įklijavimo metodu, vaizdai pateikiami 6 pav. Jungtis tarp medienos



4 pav. 12 mm strypo pirmojo įklijavimo metodo apkrovos ir poslinkio kreivės, kai įklijavimo ilgis – 120 mm

Fig. 4. Load and slip curves of the first paste method for 12 mm diameter rod when anchorage length – 120 mm



5 pav. 12 mm strypo antrojo įklijavimo metodo apkrovos ir poslinkio kreivės, kai įklijavimo ilgis – 120 mm

Fig. 5. Load and slip curves of the second paste method for 12 mm diameter rod when anchorage length – 120 mm



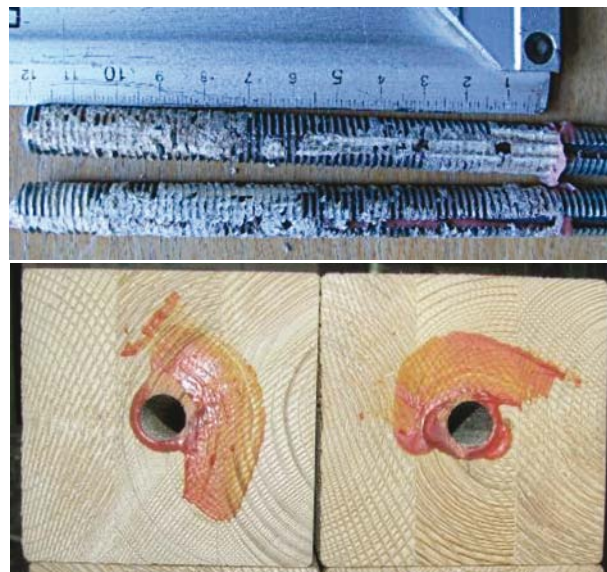
6 pav. Pirmojo įkljavimo metodo bandinių po suirimo vaizdai
 Fig. 6. The images of the first paste method for rods after collapse

ir metalo yra standi ir, priklausomai nuo įkljavimo ilgio, suyra esant 0,5–0,75 mm slinkčiai tarp medienos ir metalo. Iš 6 pav. matyti, kad medienos skilimui didelę įtaką turi įtempių samplaika ties medienos ydomis (šakomis, medienos pluošto nuokrypiais ir kt.). Nepriklausomai nuo to, kad šios 5 bandinių serijos išskeltos dalies paviršiaus plotai skiriasi iki 2–3 kartų, rezultatų sklaida yra tik iki 10 %.

Pirmojo įkljavimo metodo visi bandiniai, kurių įkljavimo zonos ilgis buvo $25 D_R$, suiro nutrūkstam plieniniam strypui. Tęsiant tyrimus ir norint išnagrinėti jungties elgseną esant didžiausiajam įkljavimo ilgiui, reikia naudoti aukštesnės stiprumo klasės plieninius strypus, kad suirimas įvyktų medienos ir metalo sąlyčio paviršiuje.

Antruoju plieninių strypų įkljavimo metodu jungtis suyra plastiškai. Jungčiai pasiekus didžiausiąją reikšmę, jungties laikomoji galia laipsniškai mažėja, nes kontaktas palaikomas trintimi (5 pav.). Nors trinties jėgų laikomoji galia yra didelė, palyginti su didžiausiąja, mažėjanti apkrovos kreivė parodo, kad kontaktas tarp medienos ir metalo jau yra suiręs. Pagrindiniai bandinių suirimo formos vaizdai pateikiami 7 pav.

Taikant antrąjį plieninių strypų įkljavimo metodą pagrindinė suirties forma yra medienos suglemžimas po strypo sriegiu ir strypo ištraukimas (7 pav.). Nors bandinių suirties forma ir pobūdis yra tie patys, tačiau



7 pav. Antrojo įkljavimo metodo bandinių po suirimo vaizdai: plieninio sriegiamojo strypo įkljavimo zona (viršuje); medienos elementas (apačioje)
 Fig. 7. The images of the second paste method for rods after collapse: the paste area of the threaded steel rod (above), timber element (below)

rezultatai skiriasi iki 50 %. Rezultatų sklaida bandinių serijoje rodo, kad įkljavimo technologija nėra patikima, nes klajai pasiskirsto labai netolygiai.

Pirmojo įkljavimo metodo laikomoji galia yra 1,5–2,5 karto didesnė už antrąjį įkljavimo metodą (2 lentelė), priklausomai nuo įkljuojamo strypo ilgio.

Didėjant įkljuojamos strypo dalies liauniui, santykis tarp laikomųjų galių mažėja. Kuo didesnis strypo skersmuo, tuo mažesnis santykis tarp įkljavimo metodų laikomųjų galių.

2 lentelė. Pirmojo ir antrojo įkljavimo metodų laikomųjų galių lyginimas

Table 2. A carrying capacity comparison of the first and second paste methods

Strypo skersmuo D_R mm	Įkljuojamos dalies sąlyginis liaunis L_A/D_R	1-ojo įkljavimo metodo vidutinė laikomoji galia, kN	2-ojo įkljavimo metodo vidutinė laikomoji galia, kN	Santykis tarp pirmojo ir antrojo įkljavimo metodų
12	10,0	42,51	17,21	2,47
12	17,5	48,43	18,49	2,62
12	25,0	*	30,11	*
16	10,0	62,39	27,54	2,26
16	17,5	74,3	49,91	1,49

*Bandiniai suiro nutrūkus plieniniam strypui

Didžiausieji šlyties įtempiai, pasiekti medienos ir klijų paviršiuje suirimo metu, pateikiami 3 lentelėje. Sukibimo įtempiai mažėja didėjant įklijuojamos dalies liauniui. Santykis tarp pirmojo ir antrojo įklijavimo metodų didžiausiųjų šlyties įtempių kinta nuo 1,11 iki 1,68 karto.

3 lentelė. Pirmojo ir antrojo įklijavimo metodų didžiausiųjų šlyties įtempių palyginimas

Table 3. An ultimate shear stress comparison of the first and second paste methods

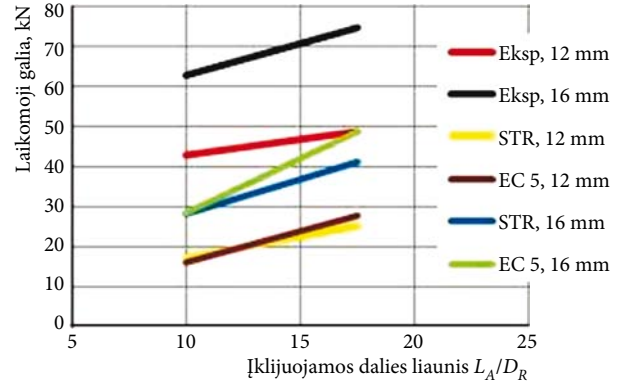
Strypo skersmuo D_R , mm	Įklijuojamos dalies sąlyginis liaunis L_A/D_R	1-ojo įklijavimo metodo suirimo įtempiai, MPa	2-ojo įklijavimo metodo suirimo įtempiai, MPa	Santykis tarp pirmojo ir antrojo įklijavimo metodų
12	10,0	6,814	4,501	1,51
12	17,5	4,408	2,759	1,60
12	25,0	*	3,183	*
16	10,0	5,993	3,557	1,68
16	17,5	4,141	3,748	1,11

*Bandiniai suiro nutrūkus plieniniam strypui

6. Eksperimentinių ir teorinių rezultatų vertinimas

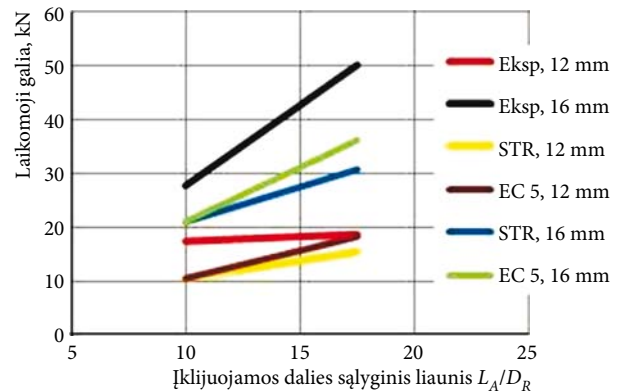
Metalinio strypo, įklijuoto medienoje, jungčių teorinės laikomosios galios rezultatai pagal 3 skyriuje aptartas metodikas sugretinti su eksperimentinių tyrimų rezultatais. Jungčių teorinės ir eksperimentinės laikomosios galios apibendrintos 4 lentelėje ir 8 bei 9 pav. Juose pateikiami rezultatai tik tų bandinių, kurie suiro medienos ir metalo sąlyčio zonoje ar medienoje (atmetami rezultatai, kai suiro plieninis strypas). Iš 4 lentelėje pateiktų jungčių laikomosios galios eksperimentinių ir teorinių rezultatų sugretinimų matyti, kad pirmojo ir antrojo įklijavimo metodų eksperimentinės laikomosios galios kai kuriais atvejais skiriasi iki 3,3 karto, esant vienodam įklijuojamo strypo skersmeniui ir ilgiui.

Didėjant įklijuotosios dalies liauniui ir strypo skersmeniui, santykis tarp eksperimentinės ir teorinės laikomosios galios mažėja (8, 9 pav.). Iš kreivių matyti, kad esant minimaliam strypo įklijavimo ilgiui, santykis tarp eksperimentinės ir teorinės laikomųjų galių yra didžiausias.



8 pav. Pirmojo įklijavimo metodo įklijuojamos dalies liaurio ir laikomosios galios priklausomybės kreivės

Fig. 8. The curves of anchorage length slenderness and carrying capacity dependence of the first paste method



9 pav. Antrojo įklijavimo metodo įklijuojamos dalies liaurio ir laikomosios galios priklausomybės kreivės

Fig. 9. The curves of anchorage length slenderness and carrying capacity dependence of the second paste method

Vertinant eksperimentinius ir teorinius jungčių rezultatus galima teigti, kad pirmasis įklijavimo metodas turi pakankamą 1,47–2,87 karto atsargą. Tačiau antrojo įklijavimo metodo atsarga nėra pakankama, kai kuriais atvejais ji mažesnė nei 1,0. Taip yra, nes šios įklijavimo technologijos laikomosios galios skaičiavimas atskirais atvejais turi būti grindžiamas medienos vietiniu glemžiamuoju stipriu, o nagrinėtų projektavimo normų skaičiavimo metodika grindžiama skeliamuoju medienos stipriu. Antrojo metodo bandinių plastiškas suirimo pobūdis ir elgsena irimo metu įrodo, kad jungtis suyra viršijus medienos glemžiamąjį stiprį.

Nustatyta, kad bandinių su pirmuoju įklijavimo metodu rezultatai turi mažą sklaidą (5 lentelė), tačiau antrojo įklijavimo metodo bandinių laikomosios galios reikšmių sklaida yra gana didelė.

4 lentelė. Eksperimentinių ir teorinių laikomųjų galių rezultatai ir jų skirtumai

Table 4. A comparison of experimental and theoretical carrying capacity

Bandinio žymuo*	Įkliajavimo metodas	Eksperimentinė jungties laikomoji galia F_{exp} , kN	Laikomoji galia pagal EC5, $F_{teor, EC5}$, kN	Laikomoji galia pagal STR, $F_{teor, STR}$, kN	Santykis $F_{exp} / F_{teor, EC5}$	Santykis $F_{exp} / F_{teor, STR}$
12(16).120.1	1	43,47	15,90	17,02	2,73	2,55
12(16).120.2	1	45,62	15,90	17,02	2,87	2,68
12(16).120.3	1	38,58	15,26	16,48	2,53	2,34
12(16).120.4	1	42,73	16,15	17,24	2,65	2,48
12(16).120.5	1	42,15	15,90	17,02	2,65	2,48
12(16).210.1	1	36,73	–	–	–	–
12(16).210.2	1	48,43	27,47	24,92	1,76	1,94
12(16).210.3	1	36,45	–	–	–	–
12(16).210.4	1	46,22	–	–	–	–
12(16).210.5	1	44,48	–	–	–	–
12(16).300.1	1	41,48	–	–	–	–
12(16).300.2	1	43,76	–	–	–	–
12(16).300.3	1	43,62	–	–	–	–
12(16).300.4	1	45,19	–	–	–	–
12(16).300.5	1	42,52	–	–	–	–
12(10).120.1	2	15,41	10,34	10,31	1,49	1,49
12(10).120.2	2	17,78	10,26	10,24	1,73	1,74
12(10).120.3	2	13,5	10,51	10,44	1,28	1,29
12(10).120.4	2	14,03	10,34	10,31	1,36	1,36
12(10).120.5	2	25,35	10,26	10,24	2,47	2,48
12(10).210.1	2	17,41	17,97	15,22	0,97	1,14
12(10).210.2	2	17,05	18,14	15,30	0,94	1,11
12(10).210.3	2	16,92	18,06	15,26	0,94	1,11
12(10).210.4	2	19,13	18,14	15,30	1,05	1,25
12(10).210.5	2	21,93	18,14	15,30	1,21	1,43
12(10).300.1	2	26,10	–	–	–	–
12(10).300.2	2	26,64	25,52	17,82	1,04	1,49
12(10).300.3	2	31,40	25,69	17,85	1,22	1,76
12(10).300.4	2	33,16	–	–	–	–
12(10).300.5	2	33,22	25,60	17,84	1,30	1,86
16(20).160.1	1	62,40	27,98	27,80	2,23	2,24
16(20).160.2	1	72,51	27,98	27,80	2,59	2,61
16(20).160.3	1	60,59	28,15	27,94	2,15	2,17
16(20).160.4	1	60,25	28,49	28,20	2,12	2,14
16(20).160.5	1	56,20	27,98	27,80	2,01	2,02
16(20).280.1	1	74,17	48,32	40,77	1,53	1,82
16(20).280.2	1	77,63	48,49	40,86	1,60	1,90
16(20).280.3	1	54,97	–	–	–	–
16(20).280.4	1	71,09	48,49	40,86	1,47	1,74
16(20).280.5	1	55,21	–	–	–	–
16(14).160.1	2	33,24	20,99	20,89	1,58	1,59
16(14).160.2	2	18,10	20,61	20,59	0,88	0,88
16(14).160.3	2	26,7	20,99	20,89	1,27	1,28
16(14).160.4	2	26,34	20,61	20,59	1,28	1,28
16(14).160.5	2	33,29	21,12	20,99	1,58	1,59
16(14).280.1	2	49,75	36,23	30,66	1,37	1,62
16(14).280.2	2	55,86	35,97	30,53	1,55	1,83
16(14).280.3	2	49,51	35,84	30,47	1,38	1,62
16(14).280.4	2	57,54	35,84	30,47	1,61	1,89
16(14).280.5	2	36,86	35,84	30,47	1,03	1,21

*Pirmas žymuo rodo įkliajuojamo strypo skersmenį D_R , mm; žymuo skliausteliuose rodo medienoje gręžiamos skylės skersmenį D_H , mm; trečias žymuo rodo įkliajuojamo strypo medienoje ilgį L_A , mm; ketvirtas žymuo rodo bandinio numerį

5 lentelė. Eksperimentinių laikomųjų galių rezultatų sklaida**Table 5.** The dispersion of experimental carrying capacity

Įklijuojamos dalies sąlyginis liaunis L_A/D_R	Pirmojo įklijavimo metodo eksperimentinių rezultatų sklaida, %	Antrojo įklijavimo metodo eksperimentinių rezultatų sklaida, %
10	7,0	30,0
17,5	10,0	35,0
25	–	50,0

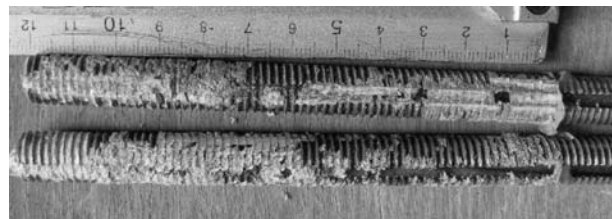
Kuo vienodesni gaunami rezultatai, tuo patikimesnė įklijavimo technologija. 5 lentelės rezultatai rodo, kad didėjant strypo įklijuojamos dalies ilgiui, laikomosios galios variacija didėja – kuo ilgesnis strypas įklijuojamas, tuo netolygiau pasiskirsto klijai ir jų indėlis į bendrą jungties laikomąją galią yra sunkiau prognozuojamas.

7. Gamybos netikslumai, jų įtaka laikomajai galiai

Atlikus eksperimentinius tyrimus, visi suirę bandiniai buvo apžiūrėti ir fiksuojami gamybos netikslumai, kurie galėjo turėti įtakos jungties elgsenai ir laikomajai galiai. Apibendrinus rezultatus galima išskirti pagrindinius gamybos netikslumus:

1. Netolygus klijų pasiskirstymas (10 pav.). Šis klijavimo defektas pastebėtas taikant tik antrą įklijavimo metodą, kai strypai įsriegiami į mažesnio skersmens nei strypas išdrožą. Didėjant įklijuojamo strypo ilgiui, didėja klijų pasiskirstymo netolygumas, atsiranda atskirų ruožų, kuriuose visiškai nėra klijų. Dėl tokio įklijavimo technologijos netikslumo rezultatų sklaida siekia iki 50 %.
2. Medienos ydos įklijavimo ruože (11 pav.). Šis veiksnys įtakos turi tik pirmajam įklijavimo metodui, nes dėl stipraus medienos sukibimo su metalu įtempiai sklinda skersai pluošto daug plačiau nei taikant antrą metodą. Dėl šių netikslumų bandiniuose mediena skilo pirma laiko.
3. Necentriškas strypo įklijavimas medienos išdrožoje (12 pav.). Strypas necentriškai įklijuojamas medienoje tais atvejais, kai išdroža yra didesnio skersmens (pirmasis įklijavimo metodas). Dėl šio netikslumo strypo galas sulinko, nes išilginė ašis buvo necentriška.
4. Oro ertmių susidarymas klijų sluoksnyje (13 pav.). Oro ertmės susidaro klijų sluoksnyje, kai strypas įklijuojamas į didesnio skersmens išdrožą (pirmasis metodas). Tokiu būdu įklijuojant strypus išdrožoje

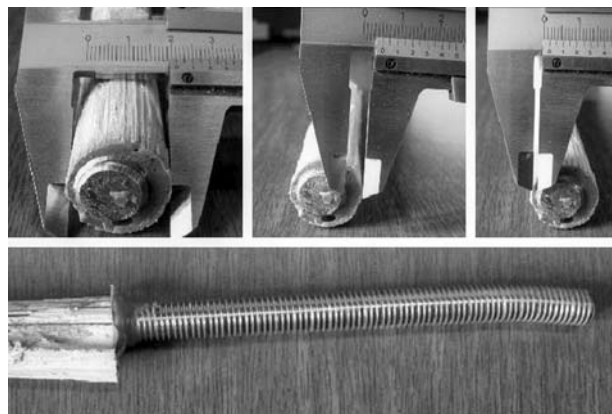
1/3 ilgio pripildoma klijų, strypas lėtai įstatomas, pasukiojamas apie išilginę ašį ir centruojamas išdrožoje. Įklijavimo technologija yra labai paprasta, tačiau susidaro oro ertmių. Oro tarpų dydis siekia iki 12 mm ir laikomajai galiai įtakos neturi. Remiantis kitų autorių (Steiger *et al.* 2006) atliktais tyrimais galima teigti, kad oro ertmės, susidariusios strypo galuose, turi teigiamą įtaką laikomajai jungties galiai, nes strypo galuose medienai nesukibus su metalu išvengiama įtempių samplaikos.



10 pav. Netolygus klijų pasiskirstymas
Fig. 10. An uneven distribution of glue



11 pav. Medienos ydos įklijavimo ruože
Fig. 11. Defects to wood at the edges of anchorage length



12 pav. Necentriškas strypo įklijavimas medienos išdrožoje (viršuje); strypo išlinkis išilginės ašies atžvilgiu dėl necentrinio įklijavimo

Fig. 12. Eccentric paste of the rod in a timber hole (above), rod crook in terms of the longitudinal axis due to eccentric paste into timber



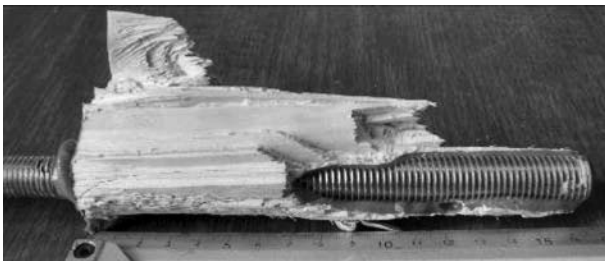
13 pav. Oro ertmės, susidariusios klijų sluoksnyje

Fig. 13. Air bubbles in a glue layer



14 pav. Neišvalytas išdrožos paviršius prieš įklijuojant

Fig. 14. Uncleaned groove before glue paste



15 pav. Plieninis strypas, nuo kurio nepašalinti riebalai

Fig. 15. An ungreased steel rod

5. Neišvalytas medienos paviršius (14 pav.). Išgręžus išdrožą medienos elemente, specialiu prietaisu išpučiamos drožlės ir smulkios dulkės, tačiau akivaizdu, kad to nepakanka, nes lieka smulkių dalelių, kurios yra prikibusios prie išdrožos sienelių (14 pav.). Šiai problemai spręsti siūloma prieš išpučiant dulkes išdrožą išvalyti metaliniu šepečiu (Bengtsson *et al.* 2000).
6. Nepašalinti plieninio strypo riebalai (15 pav.). Nepašalinus nuo plieninio strypo paviršiaus riebalų, klijų sukibtis su metalu yra bloga. Atskiruose ruožuose metalui nesukimbant su mediena, sąlyčio įtempiai persiskirsto. Persiskirstant sąlyčio įtempiams, didžiausieji įtempiai gali susikoncentruoti įklijuojamo ruožo galuose, tada mediena pirma laiko skilo kontaktiniams įtempiams nepasiekus ribinės reikšmės.

8. Išvados

1. Pasaulyje paplitę du pagrindiniai plieninių sriegtųjų strypų įklijavimo medienoje metodai: pirmasis – plieninis sriegtasis strypas įklijuojamas didesnio skersmens medienos išdrožoje; antrasis – plieninis sriegtasis strypas įsriegiamas į mažesnio skersmens medienos išdrožą aptepant strypą kljais.
2. Pirmojo įklijavimo metodo bandinių suirtis įvyksta staigiai, kai mediena skyla išilgai pluošto; antrojo – plastiškai, kai mediena suglemžiama po sriegiu.
3. Pirmojo įklijavimo metodo eksperimento metu pasiekti didžiausieji šlyties įtempiai suirimo metu buvo 7,15 MPa; antrojo įklijavimo metodo – 4,61 MPa. Esant didžiausiajam įklijavimo ilgiui $25 D_R$ su pirmuoju įklijavimo metodu jungčių elgsena nebuvo įvertinta, nes visi tirti bandiniai suiro nutrūkus plieniniam strypui. Turi būti atlikti papildomi bandymai su aukštesnės stiprumo klasės plieniniais strypais.
4. Vienas iš įklijavimo metodo efektyvumą nusakančių parametų yra bandinių laikomosios galios rezultatų sklaida. Kuo mažesnė rezultatų sklaida, tuo patikimesnis įklijavimo metodas. Didėjant strypo skersmeniui D_R ir įklijuojamos dalies liauniui L_A/D_R , didėja rezultatų sklaida. Pirmojo įklijavimo metodo didžiausioji laikomosios galios rezultatų sklaida yra 10 %, antrojo įklijavimo metodo – 50 %.
5. Lyginant pirmojo įklijavimo metodo eksperimentinius rezultatus su teorinėmis projektavimo normose EC 5 ir STR pateikiamomis išraiškomis, galima teigti, kad pateiktos teorinės skaičiavimo metodikos turi pakankamą atsargą, t. y. daugiau nei du kartus. Palyginus antrojo įklijavimo metodo eksperimentinius rezultatus su teorinėmis išraiškomis, akivaizdu, kad eksperimentinių bandymų rezultatai turi per mažą atsargos koeficientą, kai kuriais atvejais mažesnę nei 1,0. Antruoju atveju taip yra, nes šios įklijavimo technologijos skaičiavimas atskirais atvejais turi būti grindžiamas vietiniu glemžiamuoju medienos stipriu.
6. Atlikus tyrimą remiantis dviem skirtingais plieninių strypų įklijavimo metodais galima teigti, kad pirmasis metodas praktiškai taikyti yra tinkamesnis ir jungtys gali būti projektuojamos tiek pagal STR, tiek pagal EC 5 pateikiamas metodikas. Antrasis įklijavimo metodas turi būti tobulinamas, užtikrinant tolygų strypo paviršiaus užtepimą kljais. Antrajam įklijavimo metodui taip pat reikia pritaikyti tikslią suirimo formą atitinkantį skaičiavimo modelį.

Literatūra

- Bengtsson, C.; Kemmsies, M.; Johansson, C. J. 2000. Production control methods for glued-in rods for timber structures, in *Proceedings (published on a CD) of World Conference on Timber Engineering*, Whistler, Canada: 31/7–3/8.
- Blass, H. J.; Laskewitz, B. 2001. Load-carrying capacity of axially loaded rods glued-in perpendicular to the grain, in *Proceedings of the RILEM Symposium on Joints in Timber*, Stuttgart, September 12–14: 363–372.
- Chans, D. O.; Cimadevila, J. E.; Gutierrez, E. M. 2010. Model for predicting the axial strength of joints made with glued-in rods in sawn timber, *Construction and Building Materials* 24: 1773–1778. doi:10.1016/j.conbuildmat.2010.02.010
- Gečys, T. 2010. *Plieninių strypų, įklijuotų medienoje, tyrimas ir analizė*: baigiamasis magistro darbas. VGTU. Vilnius.
- Gudelis, A. 2009. *Klijuotųjų medinių sijų jungties su įklijuotais plieniniais strypais tyrimas*: baigiamasis magistro darbas. VGTU. Vilnius.
- Johansson, C. J. 1995. Glued in Bolts, in *Step Lecture C14, Timber Engineering STEP 1, STEP EUROFORTECH*. Centrum Hout, Almere: C14/1–C14/7.
- 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.
- Lavisci, P.; Pizzo, B. 2003. Structural adhesives for the restoration and assembling of timber structures, in *21st International Symposium on Bonding Technology*, January 13–14, Munich.
- LST EN 1995-1-1. *Medinių konstrukcijų projektavimas. 1-1 dalis. Bendrosios nuostatos. Bendrosios ir pastatų taisyklės*. Vilnius: LSD, 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: LSD, 2000. 6 p.
- Madhoushi, M.; Ansel, M. P. 2004. Experimental study of static and fatigue strengths of pultruded GFRP rods bonded into LVL and glulam, *International Journal of Adhesion & Adhesives* (24): 319–325. doi:10.1016/j.ijadhadh.2003.07.004
- Madhoushi, M.; Ansel, M. P. 2008a. Behaviour of timber connections using glued-in GFRP rods under fatigue loading. Part I: In-line beam to beam connections, *Composites Part B* 39: 243–248. doi:10.1016/j.compositesb.2007.07.001
- Madhoushi, M.; Ansel, M. P. 2008b. Behaviour of timber connections using glued-in GFRP rods under fatigue loading. Part II: Moment – resisting connections, *Composites Part B* 39: 249–257. doi:10.1016/j.compositesb.2006.11.002
- Rossignon, 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. doi:10.1007/s00107-008-0263-3
- Serrano, E. 2001. Glued-in rods for timber structures – a 3D model and finite element parameter studies, *International Journal of Adhesion & Adhesives* (21): 115–127. doi:10.1016/S0143-7496(00)00043-9
- Steiger, R.; Gehri, E.; Widmann, R. 2007. Pull-out strength of axially loaded steel rods bonded in glulam parallel to the grain, *Materials and Structures* 40(1): 69–78. doi:10.1617/s11527-006-9111-2
- STR 2.05.07:2005. *Medinių konstrukcijų projektavimas*. Vilnius, 2005.

INTERACTION RESEARCH INTO CONNECTION BETWEEN THREADED STEEL ROD AND GLULAM

T. Gečys, K. Gurkšnys, K. Rasiulis

Abstract. The article discusses the main methods for steel threaded rods pasted into timber. Single – threaded steel rod carrying capacity glued onto glulam (timber cross section – 100 x 100 mm, threaded rod – M12 and M16) has been experimentally determined. Behaviour based on the experimental results of two different methods for pasting rods into timber has been summarized: the first threaded steel rod was glued into 4 mm bigger diameter hole while the second – rod chased into 2 mm smaller diameter hole. The conducted experiment used 800 mm length glulam beams; threaded steel rods were glued to both ends of specimens (equal theoretical carrying capacity). The experiment in the tension of both ends was carried out. The obtained results were compared with theoretical expressions submitted in EC 5 – 1 – 1:2005 and STR 2.05.07:2005. The main dependences of geometrical parameters and carrying capacity have been provided. The main collapse forms of specimens and manufacturing defects having influence on the final carrying capacity and behaviour of the joint have been observed. Using the first method, a failure in the pasted rod occurs suddenly when timber splits along the fibre; in the second case, a failure is plastic when timber is compressed under thread. Additional experiments must be carried out using the first technology increasing the class of the strength of the pasted rod as under the maximum length of paste, in all cases, failure in the pasted rod occurred when a steel bar cracked. Along with an increase in the diameter of the rod, the dispersion of the results of the affixed slender part is increasing. Maximum variation in the results of applying the first method is 10%, whereas the second method of attaching makes 50%. Compared to the first method of attaching, the results of theoretical bearing capacity indicate that tests have an adequate margin which is equal to or is more than 2,0. A comparison of the second method of attaching results to theoretical bearing capacity makes clear that the experimental results of the tests have too low safety fac-

tor and in some cases are less than 1.0. This is due to the fact that the counting of attaching technology in some cases must be based on local compressed timber strength. The experimental study of two different methods for attaching steel bars reveals that the first method can be used in design practice considering both documents STR 2.05.07:2005 and EC 5-1-1:2005. The second method of attaching must be developed to ensure smooth rod surface coating adhesive. Attaching the second method should also be created in the exact form corresponding to the disintegration of the calculation model.

Keywords: glued-in rod, wood, timber joint, test method.

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

Kęstutis GURKŠNYS. Dr, Assoc. Prof. at the Department of Steel and Timber Structures, Vilnius Gediminas Technical University. Field of research: timber and timber-concrete composite structures.

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