

MEDINIŲ CENTRIŠKAI GNIUŽDOMŲ ELEMENTŲ ELGSENA UGNYJE

Gintas Šaučiuvėnas¹, Mečislovas Griškevičius²

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

El. paštas: ¹gintas.sauciuvenas@st.vgtu.lt, ²mgriskevicius@ldrmt.lt

Įteikta 2009 03 14; priimta 2009 04 17

Santrauka. Šis tyrimas skirtas eksperimentiškai nustatyti medinių, pušies medienos centriškai gniuždomų elementų, veikiamų atviros liepsnos iš vieno šono, kai kiti šonai nėra apsaugoti, atsparumą ugniai ir palyginti su skaičiavimo rezultatais, gautais vadovaujantis EC5-1-2:2005 nuostatomis. Eksperimentiniams tyrimams vykdyti buvo sukonstruota kaitinimo krosnis, kurioje dujiniu degikliu buvo sukeliama kaitros poveikis bandomiesiems elementams. Bandinių skerspjūvis kvadratinis (50×50 mm), o jų klumpamasis ilgis – 1,2 m. Galai įtvirtinti lankstais naudojant rutulinius lankstus. Bandymais nustatytas nedidelių skerspjūvio matmenų medinių elementų atsparumas ugniai, kai elementai apkrauti skirtingo dydžio gniuždymo apkrovomis. Pateikta gautų eksperimentinių rezultatų analizė, nustatyti veiksniai, turėję poveikį bandinių elgsenai ugnyje ir jų atsparumui ugniai, eksperimento duomenys sugretinti su skaičiuotiniais duomenimis.

Reikšminiai žodžiai: mediena, gniuždymas, kaitra, anglėjimas, kaitinimo kamera, standartinė gaisro kreivė, atsparumas ugniai, klupumas

1. Įvadas

Medinės laikančiosios konstrukcijos gaisro požįūriui paprastai vertinamos kaip daug pavojingesnės, lyginant su plieninėmis arba gelžbetoninėmis konstrukcijomis. Tačiau lyginant su minėtomis, medinės konstrukcijos dėl mažo medienos šiluminio laidumo lėčiau praranda laikomąją galią gaisro metu. Medienos elgsena ugnyje, t. y. medienos anglėjimo greitis, medienos drėgnumo įtaka anglėjimo greičiui, stiprumo savybių pokytis aukštesnėse temperatūrose yra gana nuodingai ištirti (Jong, Clancy 2004; Bednarek, Griškevičius 2008). Medienos stiprumo savybių pataisos koeficientų reikšmės pateiktos ir EC 5-1-2:2005. Paprastai gaisro sąlygomis medienos anglėjimas vyksta pastoviu greičiu, kuris priklauso nuo elemento skerspjūvio pavidalo ir matmenų. Pagal EC 5-1-2:2005 vientisosios spygliuočių medienos, kurios charakteristinis tankis yra didesnis kaip 290 kg/m³, skaičiuotinė anglėjimo sparta yra 0,8 mm/min. Kuo masyvesnis elementas, tuo santykinai mažesnis jo skerspjūvio ploto sumažėjimas ir menkesnis medienos stiprumo savybių ir tamprumo modulio mažėjimo, kylant temperatūrai,

poveikis. Medinių elementų, kaitinamų iš vienos ar kelių pusių skerspjūvių temperatūros pasiskirstymas nagrinėtas daugelio autorių (Frangi, Fontana 2003; Reszka, Torero 2006).

Darbų, skirtų neapsaugotų laikančiųjų gniuždomųjų elementų atsparumo ugniai elgsenai nagrinėti, nėra daug, ypač kai elementai yra veikiami atviros liepsnos iš vienos pusės ir nenaudojant papildomos apsaugos kitiems bandinio šonams apsaugoti. Daugiau ištirta karkasinių sienų elementų statramsčių elgsena veikiant sienos fragmentą atvira liepsna (Young, Clancy 2001; Clancy 2002; Richardson 2002). Nemažai publikacijų skirta vientisosios ir klijuotinės medienos sijų elgsenai gaisro metu arba tiesiog anglėjimo greičio tyrimams (Lipinskas, Mačiulaitis 2005).

Medinių centriškai gniuždomų elementų eksperimentinių tyrimų tikslas – nustatyti veiksnius, turinčius poveikį neapsaugotų medinių centriškai gniuždomų elementų atsparumui ugniai bei pačių elementų elgsenai gaisro metu, kai bandinio skerspjūvis anglėja nevienodai: ugnies veikiamas šonas – labiau, o kiti – mažiau.

2. Tyrimų objektas ir bandymo metodika

Medienos elgsenos ugnyje tyrimų objektu buvo pasirinkti nedidelių skerspjūvio matmenų mediniai centriškai gniuždomi elementai, veikiami natūralios ugnies. Nors paprastai konstrukcijų elgsenos ugnyje tyrimams yra taikomas kaitros poveikis, atitinkantis standartinę gaisro kreivę, nurodytą EC 1-1-2:2004; LST EN 1363-1: 2000.

Didžiausios problemos eksperimentiškai tiriant medinių konstrukcijų elgseną gaisro metu yra specialios įrangos būtinumas bei gausus dūmų išsiskyrimas tyrimų metu, todėl praktiškai neįmanoma naudoti stacionarios standartinės bandymų įrangos, esančios įprastinėse uždaroose laboratorijų patalpose, kuri skirta metalinių ar gelžbetoninių elementų, veikiamų aukštų temperatūrų, bandymams.

Medinių gniuždomųjų elementų elgsenai ugnyje tirti buvo specialiai sukonstruota kaitinimo kamera, kurioje kaitros poveikis bandomajam elementui suteikiamas naudojant dujinį degiklį. Kaitinimo kameros konstrukcija buvo numatyta tokia, kad medinį bandomąjį elementą būtų galima apkrauti atitinkamo dydžio apkrova ir prireikus palaikyti pridėtos apkrovos dydį.

Bandiniai – vienodo ilgio (1,2 m) ir vienodų skerspjūvio matmenų (50×50 mm) mediniai (pušies) elementai. Gniuždomojo elemento galų įtvirtinimas visomis kryptimis lankstinis – atrėmimas per rutulinius lankstus.

Prieš pradedant gaisrinius tyrimus buvo sudaryta bandymų programa, apimanti medienos stiprumo savybių, drėgnio ir tankio nustatymą remiantis standartizuotomis bandymo metodikomis bei elgsenos ugnyje tyrimu.

Parengta atsparumo ugniai tyrimo metodika buvo paremta bendrosiomis konstrukcijų elgsenos gaisro metu nuostatomis išdėstytais EC 1-1-2:2004, EC 5-1-2:2005 ir LST EN 1365-4:2000.

Metodikoje numatytas poslinkio ir temperatūros matavimo priemonių išdėstymas, pradinės apkrovos dydis ir bandymo pabaigos kriterijai. Pagrindiniai iš jų – laikomosios galios netekimas dėl elemento irties arba elemento pastovumo netekties.

Temperatūros matavimo jutikliai (taškinės termoporos) išdėstyti taip, kad galima būtų stebėti temperatūros pasiskirstymą įvairiose kaitinimo kameros vietose ties bandinio apatiniu ir viršutiniu paviršiais. Eksperimento atlikimo patogumui ir tolygesniam kaitros pasiskirstymui kaitinimo kamera numatyta gulsčia, tarus, kad lenkiamieji bandinio momentai dėl sa-

vojo svorio bus visiškai nereikšmingi atsižvelgiant į gana didelį bandinių standumą.

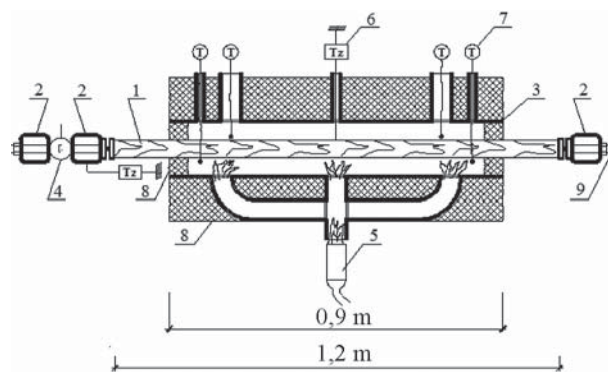
Kameros ertmę kaitinti buvo numatyta iš vienos pusės, nes ir kilus gaisrui paprastai toks poveikis pasitaiko dažnai. Bandinys kameroje buvo orientuotas taip, kad ugnis veiktų tiesiai vieną iš plokštumų.

Pagal medinių centriškai gniuždomų elementų laikomąsias galias natūraliomis sąlygomis, apskaičiuotas pagal STR 2.05.07:2005 ir EC 5-1-1:2005, buvo numatytos bandymo apkrovos veikiant kaitrai.

3. Elgsenos ugnyje tyrimo įranga

Elgsenos ugnyje tyrimo įrangos schema parodyta 1 pav. Ją sudaro kaitinimo kamera, sukonstruota iš 159 mm išorės skersmens ir 0,9 m ilgio plieninio vamzdžio (sielės storis 5 mm) su trimis angomis apatinėje dalyje, kad vieno dujinio degiklio (poz. 5) liepsna ir kaitra paskirstytų tolygiau kameroje. Išilgai kameros ašies pritvirtintas jėgos rėmas (poz. 2), kuriuo suteikiama apkrova bandiniui (poz. 1). Viršutinėje ir apatinėje kameros dalyse numatytos nedidelės angos matavimo prietaisams bei didesnės oro cirkuliacijai, nes, kaip parodė bandomieji kaitinimai, nepakankamas deguonies patekimas į kamerą labai pristabdo ne tik medienos, bet ir paties dujinio degiklio tiekiamų dujų (propano ir butano) degimą.

Bandinio ilgiui mažėti apkrovos palaikymo metu ir bandinio išlinkiui matuoti prie jėgos rėmo pritvirtinti poslinkių jutikliai. Apkrovos bandiniui suteikimo ir deformacijų matavimo įranga nuo kaitinimo kameros buvo atskirta šilumą izoliuojančiu sluoksniu. Siekiant išvengti kaitros poveikio bandymo įrangai bandymų metu buvo kaitinamas ne viso ilgio elementas, o tik vidurinė 0,8 m ilgio jo dalis.



1 pav. Medinių centriškai gniuždomų elementų elgsenos ugnyje tyrimo krosnies schema

Fig. 1. Scheme of fire test furnace for axially loaded timber members

Trys temperatūros matavimo jutikliai (poz. 7) buvo sumontuoti ties apatine bandinio plokštuma greita liepsnos poveikio vietų ir dvi termoporos – ties viršutine bandinio plokštuma virš kraštinių ugnies poveikio vietų. Išilginių deformacijų jutikliai įrengti abiejose bandinio pusėse išilgai jo ašies. Bandinių išlinkis kaitros poveikio metu matuojamas deformacijų jutikliu (poz. 6). Apkrovos dydis buvo fiksuojamas indukcinio dinamometru (poz. 4). Kaitinimo kameros galai siekiant išvengti bandinio suvaržymo ir sandarumui užtikrinti buvo užtaisyti minkštos akmens vatos kamščiais (poz. 3).

4. Skaičiuotinė bandomųjų pavyzdžių laikomoji galia natūraliomis sąlygomis

Prieš pradėdant gaisrinius tyrimus taikant medinių konstrukcijų skaičiavimo pagal STR 2.05.07:2005 ir EC 5-1-1:2005 dalies metodus buvo apskaičiuotos skaičiuotinės medinių centriškai gniuždomų elementų apkrovos, atitinkančios stiprumo ir pastovumo kriterijus natūraliomis sąlygomis. Gauta mažiausioji reikšmė buvo imama kaip atskaitinė bandymo apkrovai nustatyti. Skaičiavimo rezultatai pateikti 1 lentelėje. Skaičiuojant laikomąsias galias buvo tarta, kad mediena yra C22 klasės.

1 lentelė. Skaičiuotinės centriškai gniuždomų elementų laikomosios galios

Table 1 Design values of resistance of axially compression members

Ašinė jėga N_p , kN		Ašinė jėga N_s , kN	
Pagal pastovumo kriterijų		Pagal stiprumo kriterijų	
STR 2.05.07	LST EN 1995-1-1	STR 2.05.07	LST EN 1995-1-1
15,02	18,79	34,62	34,62

Kaip matyti iš 1 lentelėje pateiktų reikšmių centriškai gniuždomų elementų klumpamoji galia apskaičiuota taikant EC 5-1-2:2005 metodika yra didesnė nei pagal STR 2.05.07:2005, laikomosios galios pagal stiprumo kriterijų yra vienodos, nes stiprumo skaičiavimo metodikos ir charakteristinės medienos stiprių reikšmės yra tokios pat.

5. Bandymo eiga ir matavimai

Bandinys, sumontuotas jėgos rėme, buvo apkraunamas numatyta ašine apkrova ($0,4 N_{ps}$ ir $0,4 N_{pe}$), čia N_{ps} – apkrova, atitinkanti centriškai gniuždomo medinio elemento pastovumo kriterijų natūraliomis sąlygomis

pagal STR 2.05.07:2005, o N_{pe} – centriškai gniuždomo medinio elemento pastovumo kriterijų natūraliomis sąlygomis pagal EC 5-1-1:2005. Nurodytas mažinantis apkrovos gaisro sąlygomis koeficientas 0,4 imtas neatsitiktinai, o remiantis atliktais η_{fi} – skaičiuotinės apkrovos gaisro sąlygomis pataisos koeficiento skaičiavimais, kaip nurodyta EC 5-1-2:2005. Atlikus keletą skaičiavimų nustatyta, kad pataisos koeficiento reikšmė svyruoja apie 0,4–0,6.

Bandymas buvo pradėdamas uždegus dujinį degiklį ir įjungus jį didžiausiu pajėgumu. Bandymo kameros temperatūra liepsnos pusėje (apatinė bandinio plokštuma) ir virš bandinio (viršutinė bandinio plokštuma) matuojama termoporomis, prijungtomis prie ALMEMO prietaiso, kas 10 sekundžių, o apkrovos dydis stebimas nuolat ir pririnkus palaikomas reikiamo lygio. Kaip ir temperatūra, poslinkio jutiklį, rodančių bandomojo elemento deformacijas, rodmenys buvo fiksuojami tuo pačiu dažnumu.

Visi bandiniai buvo bandomi iki suirimo – pastovumo netekties arba kol pasiekiamas vienas iš bandymo programoje numatytų bandymo pabaigos kriterijų.

6. Elgsenos ugnyje bandymo rezultatai

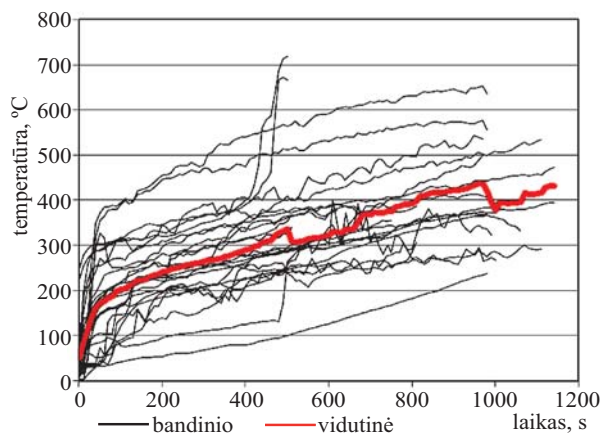
Apdorojus bandymo rezultatus buvo nustatyti laiko ir temperatūros sąryšiai. Didžiausia vidutinė temperatūra bandymo metu kaitinimo kameroje – 620 °C – buvo pasiekta ties apatine bandinio plokštuma. Viršutinės bandinio plokštumos lygyje didžiausia temperatūra vidutiniškai (bandymo pabaigoje) siekė apie 420 °C.

Laiko ir temperatūros bandinio viršuje sąryšių kreivės parodytos 2 pav., o laiko ir temperatūros bandinio apačioje sąryšių kreivės pagal trijų termoporų (dviejų kraštinių ir vidurinės) rodmenis – 3 pav.

Gautas vidutinės laiko ir temperatūros sąryšių kreivės, palyginus su standartinė temperatūros kreive, matyti (4 pav.), kad vidutinės bandymo temperatūros kreivės 100–200 °C žemiau standartinės. Kai kurių bandymų metu ties elemento vidurinio pjūvio apatiniu paviršiumi pasiekta temperatūra praktiškai atitinka standartinę kreivę (3 pav.).

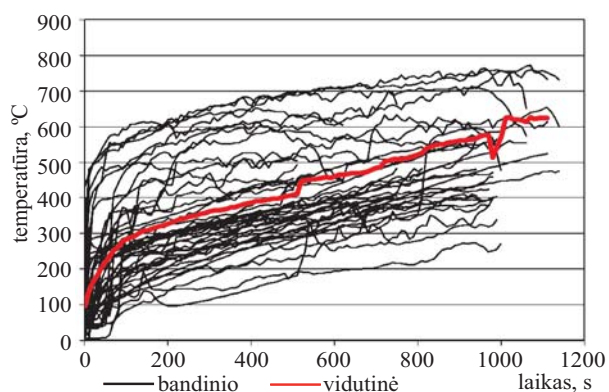
Atlikus eksperimentinius medinių centriškai gniuždomų elementų tyrimus nustatyta, kad elementų suirimo gaisro sąlygomis pobūdis – pastovumo netektis (kluptis). Bendras bandinių vaizdas po bandymo parodytas 5 pav.

Didesnė dalis visų elementų išklupo liepsnos poveikio linkme, t. y. į viršų ir tik nedidelė dalis elementų išklupo ir persimetė, tačiau nebuvo nė vieno elemento, kuris būtų išklupęs žemyn – liepsnos link. Klupimą



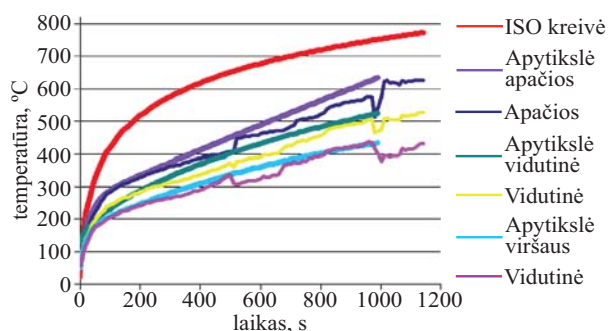
2 pav. Bandymo laiko ir temperatūros bandinio viršuje sąryšių kreivės

Fig. 2. Relationships between the temperature in upper side of specimens and time during the tests



3 pav. Bandymo laiko ir temperatūros bandinio apačioje sąryšių kreivės

Fig. 3. Relationships between the temperature in underneath of specimens and time during the tests



4 pav. Laiko ir temperatūros sąryšių kreivių palyginimas

Fig. 4. Comparison of relationships between temperature and time



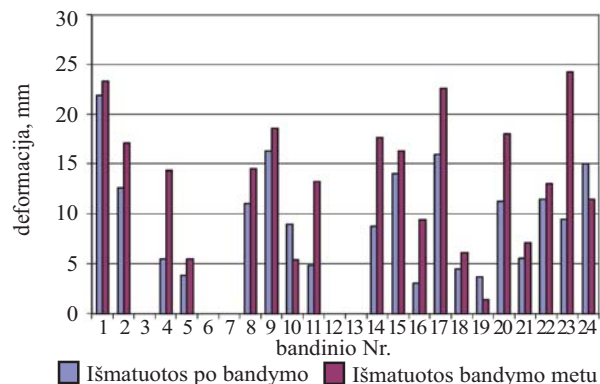
5 pav. Bandinių po bandymo vaizdas

Fig. 5. View on the specimens after the tests

liepsnos link gali lemti tik atitinkamas šakų išsidėstymas, nes dėl jų kai kurie elementai ne tik klupto, bet ir persimetė. Toks pat medinių elementų klupties pobūdis kaitros poveikio kryptimi nurodytas moksliniuose darbuose (Young, Clancy, 2001; Clancy, 2002; Richardson 2002). Šių autorių rezultatai gauti tiriant medinių karkasinių namų sienų statramsčių, apsaugotų gipskartonio sluoksniu, elgseną kaitinant iš apsaugotosios pusės.

Toks reiškinys, kai mediniai gniuždomieji elementai išklumpa kaitros veikimo kryptimi, gali būti paaiškinamas netolygiu medienos susitraukimu (nuodžiūviu), skerspjūvio bei medienos stiprumo savybių sumažėjimu labiau kaitinamoje pusėje. Dėl šių priežasčių elementas tam tikru tarpsniu dėl skerspjūvio ašių pasislinkimo tampa ekscentriškai gniuždomas.

Ašinė jėga apkrautų elementų gaisro sąlygomis išlinkis, išmatuotas bandymo metu, praktiškai visais atvejais gautas didesnis už išmatuotą po bandymo. Išimtis buvo tik tie bandiniai, kurie ne tik klupto vienoje plokštumoje bet ir persimetė dėl šakų arba metinių rėvių įvijumo. Išlinkių palyginimo rezultatai parodyti 6 pav.



6 pav. Išlinkių palyginimas

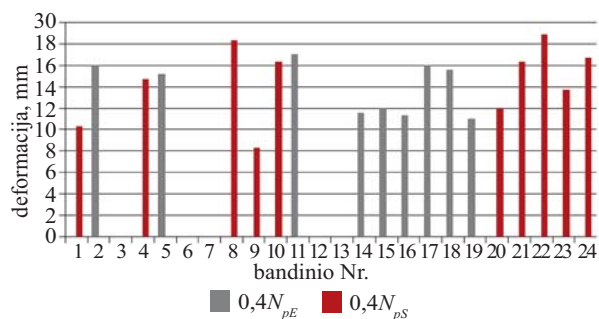
Fig. 6. Comparison of deflections

Vidutinis ašine $0,4 N_{ps}$ gniuždomąją jėga apkrautų bandinių eksperimentinis atsparis ugniai – 14,6 min, t. y. po tiek laiko nuo bandymo pradžios būdavo pasiektas bandymo pabaigos kriterijus, o $0,4 N_{ps}$ gniuždomąją jėga apkrautų – 13,9 min. Vidutinė visų bandinių atsparumo ugniai trukmė – 14,3 min. Išbandytų medinių elementų atsparumo ugniai trukmės parodytos 7 pav.

Apanglėjusio sluoksnio storiai buvo matuojami trijose būdingiausiose elementų vietose, labiausiai veiktose kaitros – kraštuose ir per vidurį.

Apmatavus išbandytų elementų skerspjūvius, nustatyta, kad tiesioginio liepsnos veikimo vietose (virš liepsnos angų) medinio elemento skerspjūvis yra labiau apanglėjęs nei gretimose ruožuose (8 pav.).

Elementų labiausiai apanglėjusių skerspjūvių anglėjimo sluoksnio storių matavimai parodė, kad daugiausia apanglėjęs yra apatinis elemento paviršius, kurį tiesiogiai veikė ugnis. Būdingas bandinių apanglėjimas parodytas 9 pav.



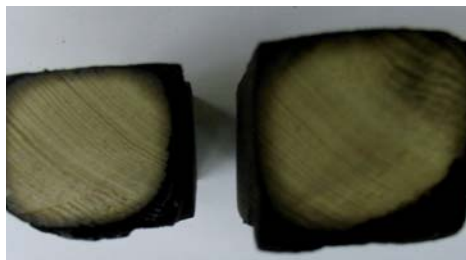
7 pav. Bandinių atsparumo ugniai trukmė

Fig. 7. Duration of fire resistance of specimens



8 pav. Būdingas bandinių skerspjūvio sumažėjimas ugnies poveikio vietose

Fig. 8. Typical reduction of cross section of specimens at fire effected zone



9 pav. Būdingas bandinių apanglėjimas

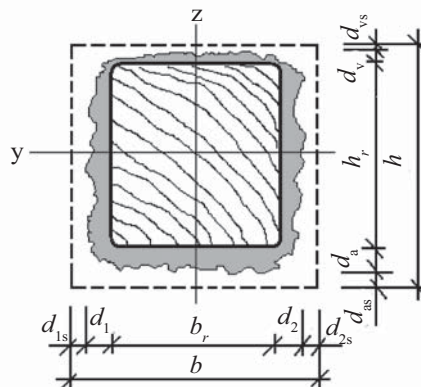
Fig. 9. Typical charring of the specimens

Vidurinio labiausiai apanglėjusio apatinio paviršiaus anglies sluoksnio vidutinis storis viduriniame pjūvyje didžiausias ir siekė 7,5 mm. Vidutinis kraštinių pjūvių apatinio paviršiaus apanglėjusio sluoksnio storis kiek mažesnis – 5,2 mm. Viršutiniai paviršiai apanglėję mažiau nei apatiniai ir visuose pjūviuose vidutinės reikšmės praktiškai nesiskiria 0,6–0,75 mm. Vidurinio pjūvio šoniniai (statieji) bandytų elementų paviršiai vidutiniškai apanglėję 2,5 mm, o kraštinių pjūvių – 1,6 mm. Apanglėjimo matavimo rezultatai pateikti 2 lentelėje, o skerspjūvio matmenų simboliai parodyti 10 pav.

2 lentelė. Skerspjūvių apanglėjusio sluoksnio storiai

Table 2. The thickness ranges of cross section charring layers

Pjūvis	Bandinio paviršių apanglėjusio sluoksnio storio ribos, mm			
	Statieji paviršiai		Gulstieji paviršiai	
	d_1	d_2	d_a	d_v
Kraštinis	0–6,2	0–3,5	2,5–10,5	0–3,2
Vidurinis	0–4,4	0–4,5	9,5–13,2	0–1,9
Kraštinis	0–3,4	0–3,0	0,1–10,4	0–2,3



10 pav. Skerspjūvio matmenų simboliai

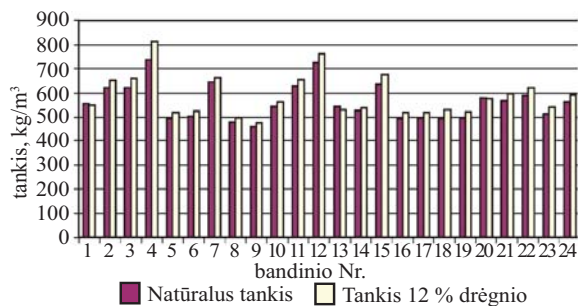
Fig. 10. Symbols of cross sectional dimensions

7. Faktinės medienos savybės

Siekiant tinkamai palyginti eksperimentinius ir skaičiuotinius rezultatus, taikant standartines metodikas buvo nustatyti ir faktiniai bandinių medienos rodikliai – tankis, drėgnis, gniuždomasis stipris.

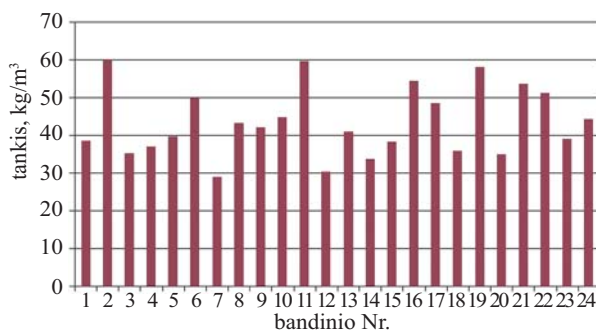
Bandinių medienos tankio duomenys pateikti 11 pav.

Medienos gniuždomojo stiprio natūraliomis sąlygomis duomenys išbandžius kiekvieno iš elementų bandomuosius pavyzdžius pateikti 12 pav.



11 pav. Bandinių medienos tankis

Fig. 11. Density of test specimen wood



12 pav. Bandinių medienos faktinis gniuždomasis stipris

Fig. 12. Actual compression strength of the test specimens

8. Eksperimentinių ir skaičiuotinių rezultatų palyginimas

8.1. Apanglėjusio sluoksnio storiai

Skaiciuotinis efektyvusis apanglėjimo gylis apskaičiuotas pagal EC 5-1-2:2005 4.2.2 skirsnio nuorodas taikant išraišką (1):

$$d_{ef} = d_{char,n} + k_0 d_0, \quad (1)$$

čia: $d_{char,n} = \beta_n t$ sąlyginis apanglėjimo gylis; d_0 – sluoksnio, kurio stipris ir standis laikomi lygūs nuliui, aukštis; k_0 – koeficientas, priklausantis nuo ugnies poveikio trukmės.

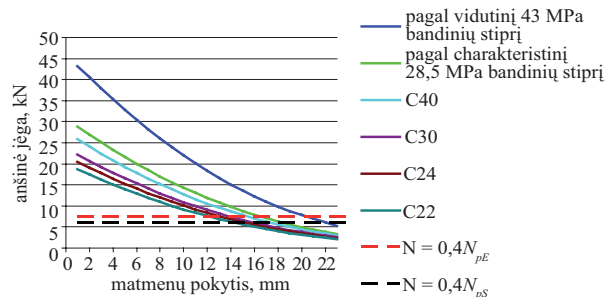
Atsižvelgiant į vidutinę eksperimentinę atsparumo ugniai trukmę, lygią 14 min. (kai apkrova lygi $0,4 N_{pE}$), skaičiuotinis efektyvusis apanglėjimo gylis turėtų siekti 16,1 mm. Kai apkrovos dydis $0,4 N_{pS}$, o vidutinė eksperimentinė atsparumo ugniai trukmė lygi 15 min., tuomet skaičiuotinis apanglėjimo gylis yra iki 1,5 karto mažesnis už skaičiuotinį. O didžiausia išmatuoto apanglėjusio sluoksnio storio reikšmė (2 lentelė) iki 1,3 karto mažesnė.

8.2. Skaičiuotinė laikomoji galia

Skaiciuotinė medinių elementų laikomoji galia nustatyta taikant EC 5-1-2:2005 4.2.2 skirsnyje nurodytą sumažintojo skerspjūvio metodą. Laikomosios galios kaip centriškai gniuždomų elementų skaičiavimai buvo atlikti tiek priėmus faktines medienos stiprumo savybes ir faktinius bandinio medienos stiprius bei atsižvelgus į faktinį skerspjūvio sumažėjimą, išmatuotą po bandymo, tiek atsižvelgus į išnagrinėto medinio elemento skerspjūvio matmenų mažėjimo ir medienos stiprumo savybių poveikį laikomajai galiai (klupumui). Klumpamosios galios ir medienos stiprio bei skerspjūvio matmenų pokyčių sąryšių kreivės parodytos 13 pav.

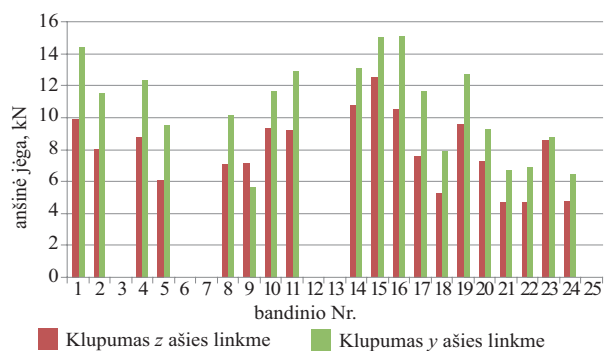
Skaiciuojant bandytų elementų laikomąją galią dėl nevienodo skerspjūvio apanglėjimo buvo tikrintas elementų klumpumas abiejų ašių atžvilgiu (10 pav.) naudojant faktinius medienos stiprius. Skaiciuojant buvo naudojami likutinio skerspjūvio matmenys, išmatuoti po bandymo. Bandinių klumpamoji galios pateiktos 14 pav.

Pagal EC 5-1-2 skaičiuotinis centriškai gniuždomo elemento, kurio pradinio skerspjūvio matmenys



13 pav. Klumpamosios galios ir medienos stiprio bei skerspjūvio matmenų pokyčių sąryšių kreivės

Fig. 13. Buckling resistance relationship between the strength of elements and cross-section reduction

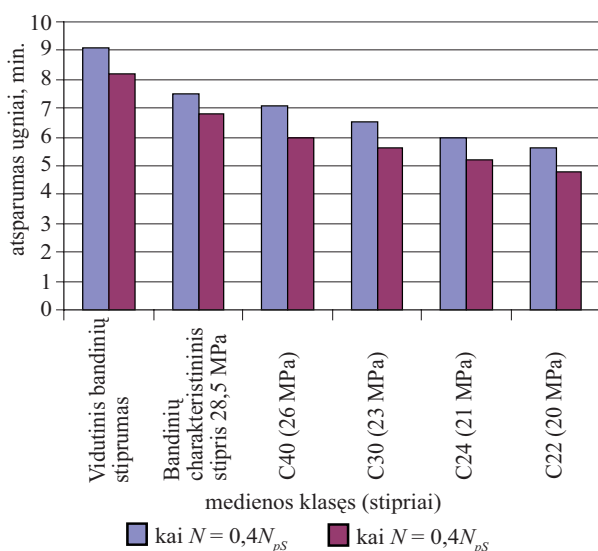


14 pav. Bandinių klumpamoji galia

Fig. 14. Buckling resistance of the specimens

50×50 mm, atsparumas ugniai, tarus, kad medienos klasė C40, yra 7,4 min, jei elemento apkrova gaisro metu $0,4 N_{pS}$, arba 6 min, kai apkrova $0,4 N_{pE}$. Skaičiuotinė bandytų elementų atsparumo ugniai trukmė skaičiuojant sumažintojo skerspjūvio metodu ir atsižvelgus į vidutinį bandinių medienos stiprį 9,1 min., kai gniuždomoji ašinė jėga lygi $0,4 N_{pS}$, ir 8,2 min., kai jėga lygi $0,4 N_{pE}$.

Skirtingų medienos klasių elementų, kurių pradinio skerspjūvio matmenys yra 50×50 mm, skaičiuotinės atsparumo ugniai trukmės pateiktos 15 pav. Atsparumo ugniai trukmė, esant tokiam pat apkrovos lygiui, nedaug (tik apie 30 %) skiriasi C40 ir C22 klasių medienos elementams. Skirtumas tarp skaičiuotinės, apskaičiuotos pagal EC 5-1-2:2005 ir eksperimentinės atsparumo ugniai trukmės yra gan didelis. Bandymo metu nustatyti elementų skerspjūvio matmenų pokyčiai (sumažėjimas) yra daugiau kaip 1,3 karto mažesni už skaičiuotinius, todėl ir eksperimentinės atsparumo ugniai trukmės yra didesnės už apskaičiuotąsias. Tačiau kyla klausimas – ar skerspjūvio asimetrinio anglijimo atveju nereiktų nagrinėti kaip ekscentriškai gniuždomo elemento, nes baigiamuoju bandymo etapu elementas ne tik gniuždomas, bet ir lenkiamas labiau apanglėjus vienam iš jo šonų.



15 pav. Atsparumo ugniai palyginimas

Fig. 15. Comparison of fire resistance

Išnagrinėjus gautus eksperimentinių tyrimų rezultatus ir juos palyginus su centriškai gniuždomų strypų skaičiavimo rezultatais, buvo nustatyti tokie veiksniai, galėję turėti poveikį bandymo rezultatams. Jų poveikį reikia nagrinėti nuodugniau:

1. Netolygus temperatūros pasiskirstymas kaitinimo kameroje.
2. Lokalus liepsnos poveikis.
3. Dėl nudegusios apatinės elemento zonos ir labiau kaitinamos medienos stiprumo sumažėjimo susidaręs ašinės jėgos ekscentricitetas.

9. Išvados

1. Bandymais nustatyti veiksniai, turintys poveikį neapsaugotų medinių centriškai gniuždomų elementų atsparumui ugniai, ir jų elgsena gaisro metu, kai bandinio skerspjūvis anglėja nevienodai: ugnies veikiamas šonas – labiau, o kiti – mažiau.
2. Vidutinis medinių kvadratinio 50×50 mm skerspjūvio elementų eksperimentinis atsparis ugniai yra 15 min., kai gniuždomoji ašinė jėga lygi $0,4 N_{pS}$, ir 14 min., kai apkrova lygi $0,4 N_{pE}$.
3. Skaičiuotinio kvadratinio 50×50 mm skerspjūvio elementų atsparumas ugniai, skaičiuojant sumažintojo skerspjūvio metodu ir atsižvelgus į vidutinį bandinių medienos stiprį, yra 9,1 min., kai gniuždomoji ašinė jėga lygi $0,4 N_{pS}$, ir 8,2 min., kai apkrova lygi $0,4 N_{pE}$.
4. Gulsčioji medinio elemento padėtis, t. y. elemento savojo svorio veiksnys, elgsenos ugnyje tyrimo metu apčiuopiamo poveikio rezultatams neturėjo.
5. Nustatyta būdinga centriškai gniuždomų elementų, veikiamų vienpusio kaitinimo, iirtis – jų kluptis išlinkstant kaitros poveikio kryptimi.
6. Nustatyta, kad kaitros veikiamų medinių elementų skerspjūviai mažėja ne tik dėl anglėjimo, bet ir dėl pasireiškiančio ir medienos nuodžiūvio.
7. Išmatuoti apanglėjusio sluoksnio storiai yra daugiau kaip 1,3 karto mažesni už skaičiuotinius, todėl eksperimentinis atsparumas ugniai yra atitinkamai didesnis už skaičiuotines. To priežastis galėjo būti ir žemesnė už standartinę gaisro temperatūrą bandymo temperatūra.
8. Tikslinga nagrinėti asimetriškai apanglėjusius elementus kaip ekscentriškai gniuždomus elementus.

Literatūra

- Bednarek, Z.; Griškevičius, M. 2008. Influence of strength reduction of timber in fire on structural resistance, *The Main School of Fire Service Journal* 5–26.
- Clancy, P. 2002. A Parametric Study on the Time-to-Failure of Wood Framed Walls in Fire, *Journal of Fire Technology* 38(3): 243–269.
- EC 1-1-2:2004. LST EN 1991-1-2:2004. Poveikiai konstrukcijoms. 1-2 dalis. Bendrieji poveikiai. Gaisro poveikiai konstrukcijoms [Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-2: General actions - Actions on structures exposed to fire] LSD. Vilnius.

- EC 5-1-1:2005. LST EN 1995-1-1:2005 (LST EN 1995-1-1:2005+AC:2006) *Medinių konstrukcijų projektavimas. 1-1 dalis. Bendrosios nuostatos. Bendrosios ir pastatų taisyklės* [Eurocode 5: Design of timber structures - Part 1-1: General - Common rules and rules for buildings] LSD. Vilnius.
- EC 5-1-2:2005. LST EN 1995-1-2:2005 (LST EN 1995-1-2:2005+AC:2006) *Medinių konstrukcijų projektavimas. 1-2 dalis. Bendrosios nuostatos. Konstrukcijų elgsenos ugnyje skaičiavimas* [Eurocode 5: Design of timber structures - Part 1-2: General - Structural fire design] LSD. Vilnius.
- Frangi, A.; Fontana, M. 2003. Charring rates and temperature profiles of wood sections, *Journal of Fire and Materials* 27(2): 91–102.
- Jong, F.; Clancy, P. 2004. Compression properties of wood as functions of moisture, stress and temperature, *Journal of Fire and Materials* 28(2–4): 209–225.
- Lipinskas, D.; Mačiulaitis, R. 2005 Gaisro kilimo vietos prognozei taikomo metodo tobulinimo galimybės, *Journal of Civil Engineering and Management* 11(4): 299–307.
- LST EN 1363-1:2000. *Atsparumo ugniai bandymai. 1 dalis. Bendrieji reikalavimai* [Fire resistance tests - Part 1: General requirements] LSD. Vilnius.
- LST EN 1365-4:2000. *Laikančiųjų elementų atsparumo ugniai bandymai. 4 dalis. Kolonos* [Fire resistance tests for load bearing elements - Part 4: Columns].
- Richardson, L. R. 2002, Thoughts and observations on fire-endurance tests of wood-frame assemblies protected by gypsum board, *Journal of Fire and Materials* 25(6): 223–239.
- Reszka, P.; Torero, J. L. 2006. In-Depth Temperature Measurements of Timber in Fires, in *Proceedings of the 4th International Workshop Structures in Fire, Aveiro, Portugal, May 2006*, 921–930.
- STR 2.05.07:2005 *Medinių konstrukcijų projektavimas* [Design of timber structures]. 2005. Vilnius. 42 p.
- Young, S. A., Clancy, P. 2001. Structural modelling of light-timber framed walls in fire, *Fire Safety Journal* 36(3): 241–268.

THE BEHAVIOUR OF AXIAL COMPRESSION TIMBER ELEMENTS AT FIRE

G. Šaučiuvėnas, M. Griškevičius

Abstract. This investigation is intended for an experimental assessment of the fire resistance of the axially loaded timber members affected by open flames and for comparing those with design results obtained in accordance with EC5-1-2:2005 provisions. Differently from metal or reinforced concrete structures, the longitudinal strains of timber at elevated temperature are negligible. A decrease in the bearing resistance of the timber member is associated with diminishing the cross-section at the later stages of heat exposure. The process of diminishing the cross-section leads to buckling an element or the other mode of fracture. The necessity of special equipment and a great quantity of smoke during an experiment are big problems for researching timber members under fire conditions. Therefore, practically it is impossible to use standard test equipment applied for testing steel or reinforced concrete members at elevated temperature. When researching the behaviour of axially loaded timber members under fire conditions, the furnace was specially designed to use a gas burner to provide the heating of specimen. The furnace was constructed from a special devise for loading the specimen and keeping it at required load level during the test. All timber specimens were of the same cross-section (50mm × 50mm) and length (1.2m). The compression specimens were pin-ended using spherical hinges. Fire resistance and the mode of failure were estimated during the test. The failure of axial compression specimens exposed to fire from one side is based upon diminishing the cross-section, a decrease in compression strength and the modulus of elasticity. In this case, the deflection of specimens follows flame direction.

Design value fire resistance for timber elements was calculated using (EC 5-1-2:2005) provisions for the reduced cross-section. The calculation of load-bearing capacity was performed for axially loaded timber elements. The data required for design such as cross-sectional reduction due to charring and timber shrinkage was measured after testing fire.

Keywords: timber, compression, heat, charring, furnace, standard fire curve, fire resistance, buckling