

GAISRO TEMPERATŪROS VEIKIAMŲ GNIUŽDOMŲJŲ GELŽBETONINIŲ KOLONŲ
ĮTEMPIŲ SKERSPJŪVYJE PASISKIRSTYMO ANALIZĖAidas Jokūbaitis¹, Arnoldas Šneideris²

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

El. paštai: ¹aidas.jokubaitis@vgtu.lt; ²arnoldas.sneideris@vgtu.lt

Santrauka. Analizuojami gelžbetoninės kolonos atsparumo ugniai skaičiavimo principai. Pateikiami baigtinių elementų programa *SolidWorks* sudaryti kolonų skaičiuojamieji modeliai, pagrindinės medžiagų charakteristikos ir būdingi įtempių nustatymo taškai. Atliekama gelžbetoninės ir sustiprintos metaliniu apvalkalu gelžbetoninės kolonos įtempių skerspjūvyje lyginamoji analizė.

Reikšminiai žodžiai: gelžbetoninė kolona, metalinis apvalkalas, temperatūra, gaisro temperatūra, įtempiai.

Įvadas

Pastatų statybos ir naudojimo metu dėl skirtingų priežasčių gali kilti gaisrai arba įvykti avarijos, lydimi nekontroliuojamo degimo. Gaisrui būdingas trumpalaikis (1–6 val.) ugnies poveikis statybinėms konstrukcijoms. Ugnies poveikio galima konstrukcijoms apibūdinama gaisro veikimo laiku ir jo vidinės aplinkos temperatūros dydžiu.

Kiekvieną pastato konstrukcijos pažeidimo zoną atitinka tam tikra gaisro poveikio galia ir temperatūrinis režimas. Vertikalios gelžbetoninės konstrukcijos (kolonos, sienos ir pan.), esančios už degimo židinio ribų, yra veikiamos nevienodo ugnies intensyvumo elemento aukštyje. Gaisro metu didžiausia temperatūra būna vertikalaus elemento viršuje, mažiausia – apačioje. Dėl skirtingo gelžbetoninių konstrukcijų skerspjūvio pagal tipą ir padėtį, esant tam pačiam gaisro ugnies poveikiui, skerspjūviai skirtingai įkaista ir yra nevienodai pažeidžiami.

Pramonės ir sandėliavimo pastatuose gamybos metu, naudojant karštas ir lengvai užsiliepsnojančias medžiagas ir produktus (skysčius, kaikurių rūšių putas ir pan.), statybinės konstrukcijos atsiduria gaisro židinyje per 1–2 min nuo užsiliepsnojimo pradžios. Taip konstrukcijos, atsidūrusios degimo židinyje, kaista dėl liepsnos skleidžiamos šilumos, o didžiausia temperatūra, kurią pasiekia, yra 1000–1200 °C. Degant suskystintosioms dujoms ir kai kurioms cheminėms medžiagoms gaisro židinyje temperatūra yra 1000–1600 °C. Taigi, gelžbetoninių konstrukcijų, esančių virš ugnies židinio, paviršiuje temperatūra priklauso nuo degios medžiagos liepsnos temperatūros (1000–1600 °C). Konstrukcijos, esančios šalia degimo židinio, paviršiuje temperatūra nukrenta iki 800–1000 °C, patraukus nuo degimo židinio – iki 500 °C ir mažesnės.

Temperatūros poveikis statybiniam elementams ir pastato dalims priklauso nuo gaisro vidinės aplinkos temperatūros, taip pat nuo jų išdėstymo ir atstumo nuo degimo vietos (gaisro židinio) (*fib Bulletin No. 38; fib Bulletin No. 46; Ильин 1979*).

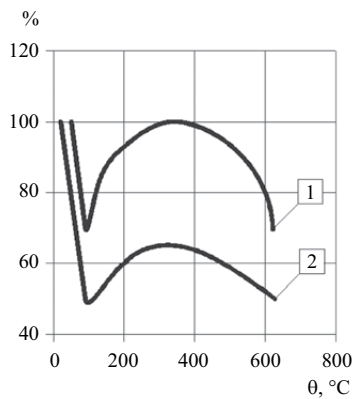
Gaisro metu gyvenamųjų ir administracinių pastatų patalpose temperatūra pakyla iki 1000–1100 °C, kai gaisras trunka 1–2 h. Visuomeninės paskirties pastatuose gaisras trunka 2–3 h ir temperatūra patalpose pakyla iki 1100–1200 °C. Labai galingi gaisrai įvyksta pramoniniuose pastatuose. Tokiuose pastatuose degant skysčiams ir putoms temperatūra pakyla iki 1200 °C, o degant suskystintosioms dujoms – 1600 °C (*fib Bulletin No. 38; fib Bulletin No. 46; Милованов 1986*).

Betonas

Betone kaitinimo metu pasikeičia užpildų ir cementinio akmens savybės, atsiranda skirtingos temperatūrinės deformacijos, keičiasi betono įtempių būvis ir kiti veiksniai. 100–150 °C temperatūroje betono stipris stabilizuojasi ir šiek tiek didėja. 520–580 °C temperatūroje betono stipris mažėja. 600–650 °C temperatūrų intervale labai sumažėja stiprumo ir betono deformacinės savybės, tai aiškina cementinio akmens kalcio hidroksido suirimu.

Atvėsusio betono stiprumas po 30 parų papildomai sumažėja iki 10 %. Jei betonas nebuvo įkaitęs iki aukštesnės nei 500 °C temperatūros, tai per metus jo stiprumas atsistato iki 90 % jo pradinio stiprio. Tamprumo modulis sudaro atitinkamai 45, 60 ir 75 % jo pradinių reikšmių po betono įkaitimo iki 500, 400 ir 300 °C temperatūros (*fib Bulletin No. 38; fib Bulletin No. 46; Ильин 1979*).

Natūralios drėgmės sunkiojo betono, esant 60 ir 90 °C temperatūrai, prizminis stiprumas mažėja atitinkamai 35 ir 21 % (žr. 1 pav.). 200–400 °C temperatūroje prizminis stiprumas padidėja 5–10 %. Kaitinant sunkųjį betoną iki aukštesnės nei 400 °C temperatūros prizminis betono stiprumas mažėja. 600 °C temperatūroje prizminis betono stiprumas sudaro 65 %, o 700 °C – 48 % neįkaitusių bandinių stiprio.



1 pav. Gaisro įtaka įprastai sunkiojo betono gniuždomam (1) ir tempiamam (2) stipriams

Fig. 1. The impact of fire on compressive (1) and tensile (2) strength of heavy concrete

60 ir 90 °C temperatūroje sunkiojo betono tempiamasis stipris sumažėja 54 ir 52 %, toliau stiprumas didėja, tačiau jis nepasiekia pradinio dydžio esant normaliai temperatūrai. Kaitinant bandinius iki didesnės nei 400 °C temperatūros betono tempiamasis stipris toliau mažėja (*fib Bulletin No. 38 2007; fib Bulletin No. 46 2008; Милованов 1998*).

Armatūra

Kylant kaitinimo temperatūrai keičiasi armatūrinio plieno stipruminės savybės, mažėja tamprumo modulis, didėja temperatūrinės deformacijos ir įtempimų relaksacija.

Temperatūrų didėjimas lemia minkšto plieno takumo aikštelės mažėjimą, kuri esant didesnei nei 300 °C temperatūrai visai išnyksta.

Padidinus karštai valcuoto plieno temperatūrą iki 300 °C trumpalaikis atsparumas didėja, o sąlyginė takumo ir plastiškumo riba mažėja. 200–350 °C temperatūroje S240 ir S300 klasės anglinis plienas praranda takumo aikštelę, padidėja laikinasis atsparumas. 500 °C temperatūroje laikinasis atsparumas ir plieno takumo riba gerokai sumažėja (20–40 %).

S400 ir S600 klasės mažai legiruotas plienas kaitinamas keičia mechanines savybes taip pat kaip ir anglinis plienas. Kita vertus, šių rūšių plienas maksimalias laikinojo atsparumo reikšmes ir minimalių pailgėjimą įgauna esant daug didesnėms temperatūroms.

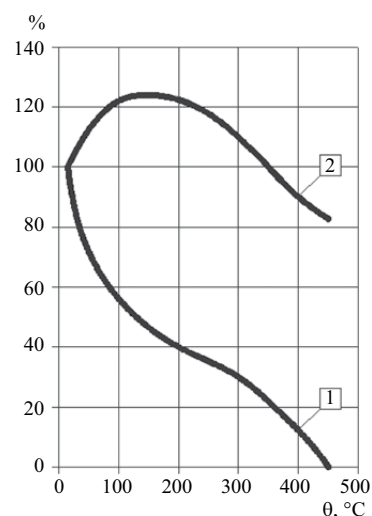
Karštai valcuoto plieno, įkaitinto iki 500 °C temperatūros ir po to atvėsinto, mechaninės savybės nesikeičia. Įkaitinto iki 600 °C temperatūros plieno stiprumas nemažėja, bet atvėsinto plieno esant temperatūrų intervalui 200–500 °C stiprumas padidėja 20–30 %. Armatūrinis plienas nusakomas kritine temperatūra, kurią viršijus veikiant išorinei apkrovai vyksta nenutrūkstamas deformacijų prieaugis. Tuomet plienas lėtai teka esant daug mažesniems nei takumo riba įtempimams. Didėjant kaitinimo temperatūrai mažėja armatūrinio plieno tamprumo modulis. Plieno deformacijos, sukeltos tamprumo modulio mažėjimo ir temperatūrinio valkšnumo, yra negrįžtamos (*fib Bulletin No. 38 2007; fib Bulletin No. 46 2008; Ильин 1979*).

Aukštos temperatūros įtaka betono ir armatūros procesams

Veikiant aukštomis kaitinimo temperatūroms armatūros ir betono sukibimo stiprumas mažėja (žr. 2 pav.). Dėl netolygaus skerspjūvio įkaitimo gelžbetoniniuose elementuose keičiasi įtempimų ir deformacijų būvis.

Kylant kaitinimo temperatūrai ribinis įtempimas mažėja intensyviau (ypač esant lygiai armatūrai) nei betono kontaktinio sluoksnio atsparumas. 100 °C temperatūroje sukibimas sumažėja 25 %, o 450 °C temperatūroje – iki nulio. Lygios armatūros sukibimas su betonu įkaitinus ir po to atvėsinus yra mažesnis nei esant įkaitintam būviui.

Karštai valcuotos rumbuoto profilio armatūros sukibimas su sunkiuoju betonu iki 300 °C temperatūros yra didesnis nei pradinė reikšmė. 350 °C temperatūroje sukibimas pradeda mažėti ir 450 °C temperatūroje sudaro apie 75 % pradinės reikšmės.



2 pav. Temperatūros poveikis armatūros ir betono sukibimui: 1 – lygi; 2 – rumbuota armatūra

Fig. 2. Effect of temperature on reinforcement – concrete bonding: 1 – plain; 2 – threaded reinforcement bars

Rumbuoto profilio armatūrą įkaitinus iki 110 °C sukibimo su betonu stiprumas padidėja 20 %. Temperatūrų intervale 110–600 °C sukibimo stiprumas laipsniškai mažėja iki pradinių reikšmių. Armatūrą įkaitinus iki 700 °C, sukibimo stiprumas tampa mažesnis už pradinę 40 % reikšmę.

Rumbuoto profilio armatūros sukibimo efektyvumas, lyginant su lygia armatūra, didėja didinant kaitinimo temperatūrą. Rumbuoto profilio armatūros sukibimo stiprumas įkaitinus iki 110, 200 ir 400 °C atitinkamai 2; 2,5 ir 8 kartus yra didesnis nei lygios armatūros (*fib* Bulletin No. 38; *fib* Bulletin No. 46; Ильин 1979).

Atsparumo ugniai skaičiavimo principai

Konstrukcijų atsparumas ugniai nustatomas pagal norminius dokumentus, standartus, direktyvas.

Pastato saugumui keliami keturi pagrindiniai reikalavimai (Dhir *et al.* 2008):

- konstrukcija turi neprarasti laikančiosios galios;
- apsaugoti žmones nuo kenksmingų dūmų ir dujų;
- apsaugoti žmones nuo karščio;
- netrukdyti ugniagesių darbui.

Laikančiosios konstrukcijos nesant gaisro atskyrimo funkcijų turi būti projektuojamos ir konstruojamos taip, kad jų atlaikymo funkcija *R* (angl. *Resistance*) būtų pakankama. Gaisro veikiamos konstrukcijos ir elementai esant ugnies atskyrimo funkcijoms turi būti projektuojamos taip, kad būtų pakankamas jų sandarumas *E* (angl. *Separation*). Neturi atsiverti didelių plyšių, susidaryti skylių ir kitokių ermių, kurios leistų gaisrui plisti į kitas patalpas. Izoliavimas (angl. *Isolation*) – šilumos izoliuojamosios savybės turi būti tokios, kad gaisro sąlygomis neužsidegtų tiesiogiai gaisro neveikiami konstrukcijų paviršiai (Dhir *et al.* 2008; Papinigis *et al.* 1999).

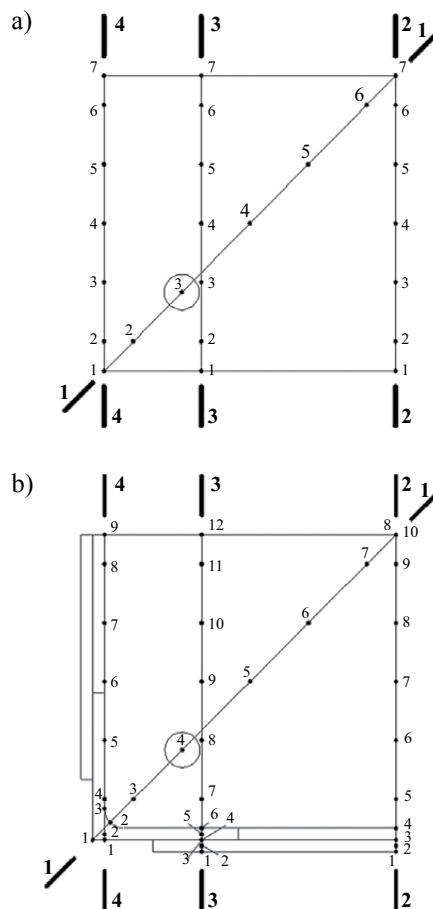
Gelžbetoninių konstrukcijų atsparumas ugniai nustatomas taikant vieną iš alternatyvų: elemento skaičiavimo, konstrukcijos dalies skaičiavimo, visos konstrukcijos skaičiavimo (STR 2.05.11:2005; LST EN 1992-1-2).

Elementui skaičiuoti, kilus gaisrui, gali būti taikomi lentelių duomenys, paprastieji ir bendrieji skaičiavimo metodai.

Paprastuoju skaičiavimo modeliu nustatoma kaitinamojo skerspjuvio laikomoji galia. Šis metodas tinka konstrukcijoms, paveiktoms standartinio gaisro iki didžiausiosios gaisro temperatūros. Metodas taip pat tinka laikomajai galiai pasirinktuju laiko momentu skaičiuoti bet kokio kito gaisro atveju, jeigu temperatūrų laukai, atitinkantys tą laiko momentą, yra žinomi arba apskaičiuoti ir medžiagų savybės taip pat žinomos (STR 2.05.11:2005; LST EN 1992-1-2; LST EN 1992-1-1).

Įtempių nustatymas gelžbetoninėje kolonoje pagal *SolidWorks* programinio paketo rezultatus

Baigtinių elementų programa *SolidWorks* modeliujama gelžbetoninė kolona ir metaliniu apvalkalu sustiprinta gelžbetoninė kolona (žr. 4 pav.). Kolonų charakteristikos ir geometrija pateikta 1 lentelėje. Modeliuojant gelžbetoninę koloną naudojamos šiluminio laidumo ir specifinės šilumos kreivės pateiktos 5 ir 6 paveiksluose.

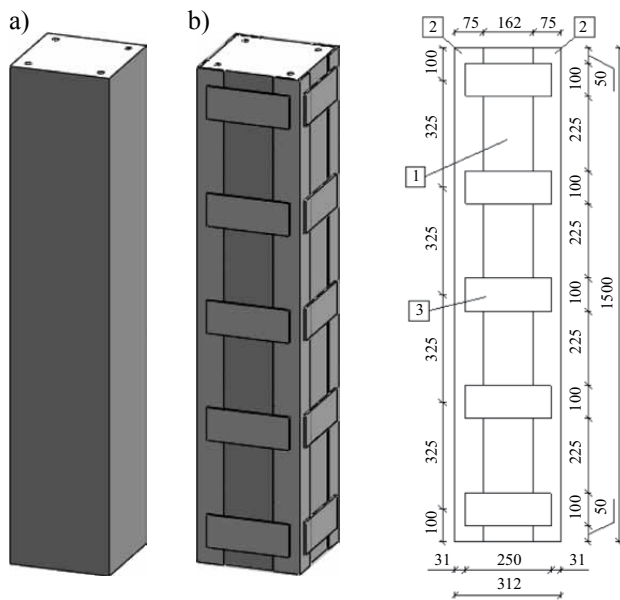


3 pav. Pjūviai kolonose: a) gelžbetoninėje kolonoje; b) metaliniu apvalkalu sustiprintoje gelžbetoninėje kolonoje

Fig. 3. Sections in columns: a) reinforced concrete column; b) reinforced concrete column strengthened with a metallic shell

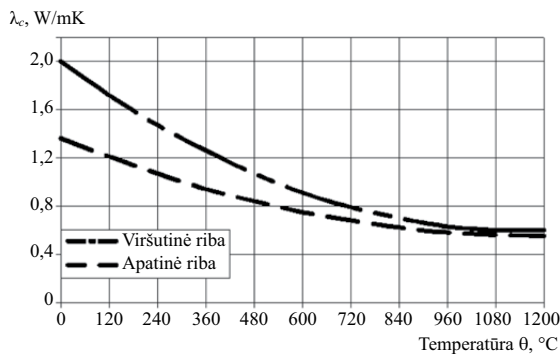
Kolona apkraunama 1500 kN apkrova ir iš keturių pusių veikiama 50–500 °C temperatūrine apkrova. Temperatūra keliama kas 50 °C. Kolonos apačia įtvirtinama standžiai.

Kadangi kolona yra simetriška, todėl nagrinėjami sustiprintos metaliniu apvalkalu ir nesustiprintos gelžbetoninės kolonos ketvirtadaliai (žr. 3 pav.). Įtempiai kolonose nustatomi keturiuose būdinguose pjūviuose, kurie pateikti 3 paveiksle. Pjūviai yra sudalinti į penkias zonas ir jų viduryje nustatomi įtempiai. Taip pat įtempiai skaičiuoti armatūroje, kolonos kraštuose ir kampuose, plieninių kampuočių ir plokštelių kraštuose bei viduryje.



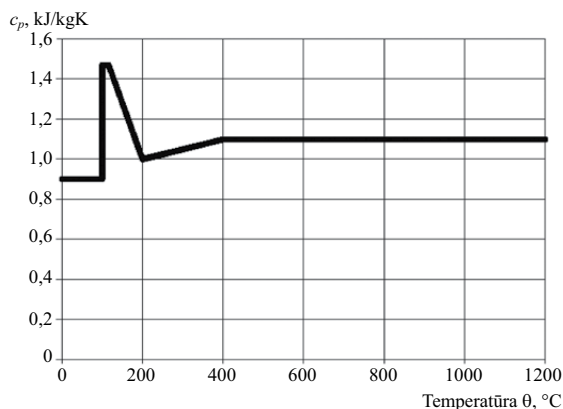
4 pav. Skaičiuojamosios schemas: a) gelžbetoninės kolonos; b) metaliniu apvaskalu sustiprintos gelžbetoninės kolonos: 1 – kolona; 2 – kampuočiai; 3 – plokštelė

Fig. 4. Structural schemes: a) reinforced concrete column; b) reinforced concrete column strengthened with a metallic shell: 1 – column; 2 – angle; 3 – plate



5 pav. Betono šilumos laidis

Fig. 5. Concrete heat conduction



6 pav. Betono savitoji šiluminė talpa kaip temperatūros funkcija, kai betono drėgnis 1,5 %

Fig. 6. Specific heat capacity of concrete as a function of temperature at 1,5 % moisture rate of concrete

1 lentelė. Kolonos, sustiprintos metaliniu apvaskalu, elementų charakteristikos

Table 1. Characteristics of the elements of a reinforced concrete column strengthened with a metallic shell

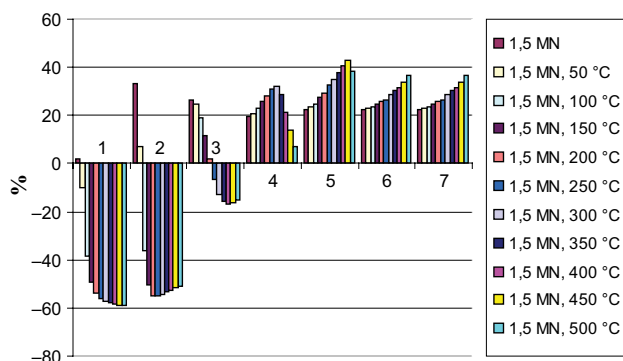
Elementai	Kolona	Amatūra	Kampuočiai	Plokštelės
Matmenys (mm)	300×300	Ø18	75×75×6	250×100×6
Stiprumo klasė	C30/37	S355JO	S355JO	S355JO
E (GPa)	33	210	210	210
ρ (kg/m ³)	2400	7800	7800	7800
ν	0,2	0,3	0,3	0,3
f_{ck} (MPa)	30	-	-	-
f_{yk} (MPa)	-	500	500	500
Šiluminio plėtimosi koef. (/K)	$1 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$
λ_c (W/(m·K))	-	14	14	14
c_p (J/(kg·K))	-	440	440	440

E – tamprumo modulis (GPa), ρ – tankis (kg/m³), ν – Puasono koeficientas, f_{ck} – charakteristinis gniuždomasis stipris (MPa), f_{yk} – charakteristinis tempiamasis stipris (MPa), λ_c – šiluminis laidumas (W/m·K), c_p – specifinė šiluma (J/(kg·K)).

Įtempių gelžbetoninėje ir gelžbetoninėje metaliniu apvaskalu sustiprintoje kolonoje palyginimas pagal SolidWorks programinio paketo rezultatus

Įtempių gelžbetoninėje ir gelžbetoninėje metaliniu apvaskalu sustiprintoje kolonoje grafinis palyginimas pagal SolidWorks programinio paketo rezultatus pateiktas 7–10 paveiksluose atitinkamai 1–1; 2–2; 3–3 ir 4–4 pjūviuose. Palyginta atmetus kolonos plieninį apvaskalą, t. y. lyginant gelžbetoninės dalies įtempius.

Istrižajame pjūvyje 1–1 gelžbetoninės kolonos skerspjūvyje įtempiai iki temperatūros poveikio yra didesni nei metaliniu apvaskalu sustiprintoje kolonoje (skirtumas 2–33 %). Pridėjus temperatūrinę apkrovą (50–500 °C) 1-ajame ir 2-ajame taškuose metaliniu apvaskalu sustiprintoje kolonoje įtempiai yra didesni nei nesustiprintoje kolonoje (atitinkamai 10–59 % ir 0–55 %). Šiuose taškuose iki 200 °C temperatūros skirtumas tarp įtempių kolonų skerspjūvyje didėja (atitinkamai 10–54 % ir 0–55 %), o toliau kylant temperatūrinei apkrovai iki 500 °C – suvienodėja (atitinkamai apie 58 % ir apie 53 %). Armatūroje (3-ajame taške) iki 200 °C temperatūrinės apkrovos įtempiai gelžbetoninėje kolonoje yra didesni nei metaliniu apvaskalu sustiprintoje kolonoje (skirtumas 2–27 %), o nuo 250 °C temperatūrinės apkrovos didesni įtempiai pasireiškia metaliniu apvaskalu sustiprintoje kolonoje (skirtumas 7–17 %). Tolstant nuo kolonų kraštų (4–7 taškuose) įtempiai gelžbetoninėje kolonoje didesni nei metaliniai



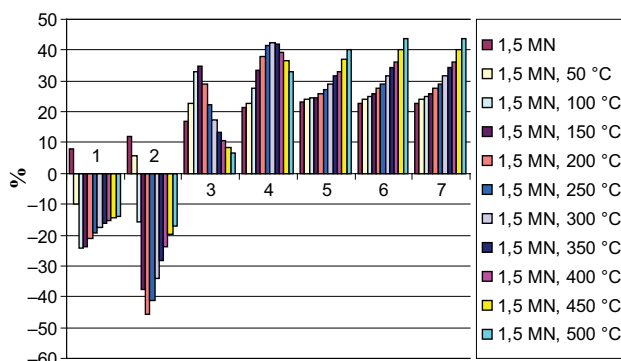
7 pav. Gelžbetoninės ir gelžbetoninės metaliniu apvaskalu sustiprintos kolonos įtempių palyginimas (%) pagal programinio paketo *SolidWorks* rezultatus pjūvyje 1–1 (viršuje pateiktos nesustiprintos kolonos reikšmės, apačioje – sustiprintos kolonos reikšmės)

Fig. 7. A comparison of the stress of a reinforced concrete column and a reinforced concrete column strengthened with a metallic shell (%) according to the results of applied software *SolidWorks* in section 1–1 (the top of the diagram indicates the values of the reinforced concrete column, the bottom – the reinforced concrete column strengthened with a metallic shell)

spyriais sustiprintoje kolonoje. 4-ajame taške iki 300 °C temperatūros įtempiai intensyviau didėja nesustiprintoje kolonoje (skirtumas 21–32 %), o nuo 350 °C – sustiprintoje (skirtumas 29–7 %). 5–7 taškuose skirtumas tarp įtempių yra nedidelis (23–38 %).

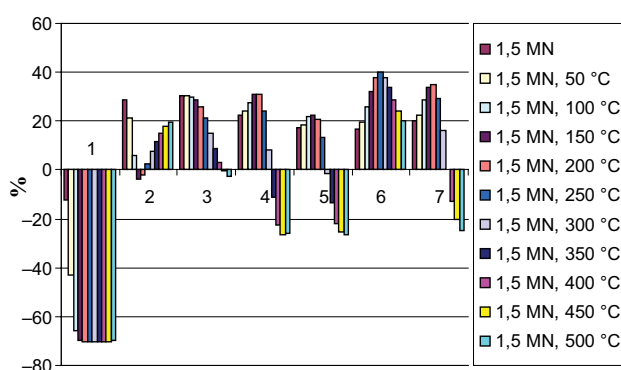
Viduriniame pjūvyje 2–2 gelžbetoninės kolonos skerspjūvyje įtempiai iki temperatūros poveikio yra didesni nei metaliniu apvaskalu sustiprintoje kolonoje (skirtumas 8–23 %). Pridėjus temperatūrinę apkrovą (50–500 °C) 1-ajame ir 2-ajame taškuose metaliniu apvaskalu sustiprintoje kolonoje įtempiai yra didesni nei nesustiprintoje kolonoje (atitinkamai 10–24 % ir 0–46 %). Šiuose taškuose skirtumas tarp sustiprintos ir nesustiprintos kolonos įtempių iki 200 °C temperatūros didėja (atitinkamai 10–24 % ir 0–41 %), o nuo 250 °C – pradeda mažėti (atitinkamai 19–14 % ir 38–17 %). Tolstant nuo kolonų kraštų (3–7 taškuose) įtempiai gelžbetoninėje kolonoje yra didesni nei metaliniais spyriais sustiprintoje kolonoje. 3 ir 4 taškuose atitinkamai iki 150 °C ir 300 °C temperatūros įtempiai intensyviau didėja nesustiprintoje kolonoje (skirtumas atitinkamai yra 23–35 % ir 23–43 %), o nuo 200 °C ir 350 °C – sustiprintoje (skirtumas atitinkamai yra 29–7 % ir 42–33 %). 5–7 taškuose įtempių skirtumas yra 23–44 %.

Tarpiniame pjūvyje 3–3 gelžbetoninės kolonos skerspjūvyje įtempiai iki temperatūros poveikio yra didesni nei metaliniu apvaskalu sustiprintoje kolonoje (skirtumas 17–29 %), išskyrus 1-ąjį tašką, kuriame įtempiai yra didesni sustiprintoje kolonoje (skirtumas 12 %). Pridėjus temperatūrinę apkrovą (50–500 °C) 1-ajame taške įtempiai di-



8 pav. Gelžbetoninės ir gelžbetoninės metaliniu apvaskalu sustiprintos kolonos įtempių palyginimas (%) pagal programinio paketo *SolidWorks* rezultatus pjūvyje 2–2 (viršuje pateiktos nesustiprintos kolonos reikšmės, apačioje – sustiprintos kolonos reikšmės)

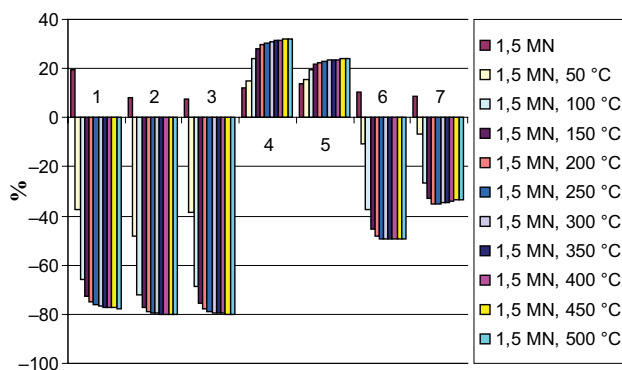
Fig. 8. A comparison of the stress of a reinforced concrete column and a reinforced concrete column strengthened with a metallic shell (%) according to the results of applied software *SolidWorks* in section 2–2 (the top of the diagram indicates the values of the reinforced concrete column, the bottom – the reinforced concrete column strengthened with a metallic shell)



9 pav. Gelžbetoninės ir gelžbetoninės metaliniu apvaskalu sustiprintos kolonos įtempių palyginimas (%) pagal programinio paketo *SolidWorks* rezultatus pjūvyje 3–3 (viršuje nesustiprintos kolonos reikšmės, apačioje sustiprintos kolonos reikšmės)

Fig. 9. A comparison of the stress of a reinforced concrete column and a reinforced concrete column strengthened with a metallic shell (%) according to the results of applied software *SolidWorks* in section 3–3 (the top of the diagram indicates the values of the reinforced concrete column, the bottom – the reinforced concrete column strengthened with a metallic shell)

desni metaliniais spyriais sustiprintoje kolonoje (skirtumas 12–70 %). Skirtumas tarp įtempių didėja iki 150 °C temperatūrinės apkrovos (12–70 %), o nuo 150 °C yra tolygus (70 %). 2-ajame taške įtempiai iki 400 °C temperatūros yra apylygiai (skirtumas 0–4 MPa), o 450–500 °C temperatūrų įtempiai yra didesni nesustiprintoje kolonoje. 3–7 taškuose įtempiai yra pakankamai nedideli. Skirtumas tarp įtempių svyruoja 0–4 MPa, todėl galima teigti, kad šiuose taškuose įtempiai yra panašūs.



10 pav. Gelžbetoninės ir gelžbetoninės metaliniu apvaskalu sustiprintos kolonos įtempių palyginimas (%) pagal programinio paketo *SolidWorks* rezultatus pjūvyje 4–4 (viršuje pateiktos nesustiprintos kolonos reikšmės, apačioje – sustiprintos kolonos reikšmės)

Fig. 10. A comparison of the stress of a reinforced concrete column and a reinforced concrete column strengthened with a metallic shell (%) according to the results of applied software *SolidWorks* in section 4–4 (the top of the diagram indicates the values of the reinforced concrete column, the bottom – the reinforced concrete column strengthened with a metallic shell)

Kraštiniame pjūvyje 4–4 gelžbetoninės kolonos skerspjūvyje įtempiai iki temperatūros poveikio yra didesni nei metaliniu apvaskalu sustiprintoje kolonoje (skirtumas 8–20 %). Pridėjus temperatūrinę apkrovą (50–500 °C) 1–3 taškuose metaliniu apvaskalu sustiprintoje kolonoje įtempiai yra didesni nei nesustiprintoje kolonoje (atitinkamai skirtumai 37–78 %; 48–80 %; 38–80 %).

Šiuose taškuose iki 150–200 °C temperatūros įtempiai sparčiau didėja sustiprintoje kolonoje (skirtumai atitinkamai yra 37–75 %; 48–79 %; 38–78 %), o 200–500 °C temperatūroje skirtumas tarp įtempių yra vienodas (apie 80 %). 4–5 taškuose įtempiai didesni nesustiprintoje kolonoje (skirtumai atitinkamai yra 12–32 % ir 14–24 %). Šiuose taškuose skirtumas tarp įtempių didėja iki 200 °C temperatūros (atitinkamai 12–30 % ir 14–23 %), o nuo 200 °C yra panašus (atitinkamai 31 % ir 24 %). 6–7 taškuose įtempiai didesni sustiprintoje kolonoje (skirtumas atitinkamai yra 11–49 % ir 6–35 %), o įtempių skirtumas didėja iki 200 °C temperatūros (atitinkamai 11–48 % ir 6–35 %), o nuo 200 °C yra panašus (atitinkamai 49 % ir 35 %).

Išvados

1. Aukšta temperatūra turi didelį poveikį gelžbetonio ir jo komponentų mechaninėms ir fizinėms savybėms.
2. Gelžbetoninėje kolonoje ir gelžbetoninės metaliniu apvaskalu sustiprintos kolonos gelžbetoninėje dalyje 100–200 °C temperatūroje pastebimas nedidelis įtempių sumažėjimas, o nuo 200–250 °C temperatūros įtempiai vėl padidėja. Tai galima paaiškinti tuo, kad 100 °C temperatūroje betonas netenka porose esančio laisvojo

vandens, o 200 °C temperatūroje – chemiškai ir fiziškai sujungto vandens. 200–250 °C temperatūroje išgaravus vandeniui betonas sutankėja, todėl padidėja įtempiai.

3. Gelžbetoninės kolonos plieninio apvaskalo spyrių ir juostų kraštuose (per storį) įtempiai yra didžiausi, o viduryje mažiausi.
4. Lyginant gelžbetoninės kolonos ir gelžbetoninės metaliniu apvaskalu sustiprintos kolonos įtempių pasiskirstymą pastebima, kad metaliniu apvaskalu sustiprintos kolonos kraštuose įtempiai yra didesni nei nesustiprintos kolonos.
5. Metaliniu apvaskalu sustiprintoje kolonoje, tolstant nuo kolonos krašto centro link, įtempiai mažėja greičiau nei nesustiprintoje kolonoje.

Literatūra

- Dhir, R. K.; Chana, P.; Caliskan, S.; Lavingia, R. 2008. *Concrete for Fire Engineering*. University of Dundie, Scotland, UK: Bre press. 332 p.
- fib Bulletin No. 38. *Fire design of concrete structures – materials, structures and modeling*. 2007. 106 p.
- fib Bulletin No. 46. *Fire design of concrete structures – structural behaviour and assessment*. 2008. 214 p.
- LST EN 1992-1-1 Eurokodas 2. Gelžbetoninių konstrukcijų projektavimas. 1–1 dalis. Bendrosios ir pastatų taisyklės. Vilnius, 2005. 232 p.
- LST EN 1992-1-2 Eurokodas 2. Gelžbetoninių konstrukcijų projektavimas. 1–2 dalis. Bendrosios taisyklės. Konstrukcijų elgsenos ugnyje skaičiavimas. Vilnius, 2007. 100 p.
- Papinigis, V.; Popovas, V.; Rimkevičius, A.; Podagėlis, R. 1999. *Gaisro temperatūros veikiamos gelžbetoninės konstrukcijos: laboratoriniai darbai*. Vilnius: Technika. 78 p.
- STR 2.05.11:2005 Gaisro temperatūrų veikiamų gelžbetoninių konstrukcijų projektavimas. Vilnius, 2005. 26 p.
- Ильин, Н. А. 1979. *Последствия огневого воздействия на железобетонные конструкции*. Москва: Стройиздат. 127 p.
- Милованов, А. Ф. 1998. *Стойкость железобетонных конструкций при пожаре*. Москва: Стройиздат. 295 p.
- Милованов, А. Ф. 1986. *Огнестойкость железобетонных конструкций*. Москва: Стройиздат. 222 p.

ANALYSIS OF THE STRENGTH OF A REINFORCED CONCRETE COMPRESSIVE COLUMN UNDER THE TEMPERATURE OF FIRE

A. Jokūbaitis, A. Šneideris

Abstract

The article discusses principles calculating resistance of a reinforced concrete column to fire. The paper provides column calculation models, the main characteristics of materials and characteristic stress set points applying finite element program *SolidWorks*. A comparative analysis of stresses in the cross-section of the reinforced concrete column and the reinforced concrete column strengthened with a metallic shell is made.

Keywords: reinforced concrete column, metallic shell, temperature, fire temperature, stresses.