



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

STATYBOS FAKULTETAS

GELŽBETONINIŲ IR MŪRINIŲ KONSTRUKCIJŲ KATEDRA

Aidas Jokūbaitis

**GELŽBETONINIŲ KOLONŲ, SUSTIPRINTU METALINIU APVALKALU,
ELGSENA VEIKIANT GAISRO TEMPERATŪROMS**

**REINFORCED CONCRETE COLUMNS, REINFORCED WITH METALLIC
SHELL, ACTION, WHEN IT IS AFFECTED BY FIRE TEMPERATURES**

Baigiamasis magistro darbas

Statinių konstrukcijų studijų programa, valstybinis kodas 621H21001

Pastatų konstrukcijų specializacija

Statybos inžinerijos studijų kryptis 02T

Vadovas doc. dr. Arnoldas Šneideris

Vilnius, 2012

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
STATYBOS FAKULTETAS
GELŽBETONINIŲ IR MŪRINIŲ KONSTRUKCIJŲ KATEDRA

TVIRTINU

Katedros vedėjas

(parašas)

Juozas Valivonis
(vardas, pavardė)

2012-_____

Aidas Jokūbaitis

**GELŽBETONINIŲ KOLONŲ, SUSTIPrintu METALINIu APVALKALu,
ELGSENA VEIKIANT GAISRO TEMPERATŪROMS**
**REINFORCED CONCRETE COLUMNS, REINFORCED WITH METALLIC
SHELL, ACTION, WHEN IT IS AFFECTED BY FIRE TEMPERATURES**

Baigiamasis magistro darbas

Studijų programa: Statinių konstrukcijos, valstybinis kodas 621H21001

Specializacija: Pastatų konstrukcijos

Studijų (mokslo) kryptis: Statybos inžinerija 02T

Vadovas doc. dr. Arnoldas Šneideris

(Moksl. laipsnis, vardas pavardė)

(Parašas)

(Data)

Konsultantas lekt. Lina Rutkienė

(Moksl. laipsnis, vardas pavardė)

(Parašas)

(Data)

Vilnius, 2012

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
STATYBOS FAKULTETAS
GELŽBETONINIŲ IR MŪRINIŲ KONSTRUKCIJŲ KATEDRA

Technologijos mokslų sritis
Statybos inžinerijos mokslo kryptis
Statybos inžinerijos studijų kryptis
Statinių konstrukcijų studijų programa, valstybinis kodas 621H21001
Pastatų konstrukcijų specializacija

TVIRTINU

Katedros vedėjas

(parašas)

Juozas Valivonis
(vardas, pavardė)

2012-_____

BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO
UŽDUOTIS

2012-.....Nr.

Vilnius

Studentui (ei).....
(vardas, pavardė)

Baigiamojo darbo tema.....

patvirtinta 2012 m. vasario 23 d. dekanų įsakymu Nr. 92ST

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas 2012 m. birželio 1 d.

BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Baigiamojo darbo rengimo konsultantai:

.....

(vardas, pavardė, mokslinis laipsnis ir vardas)

Vadovas
(parašas) (vardas, pavardė , mokslinis laipsnis ir vardas)

Užduotį gavau

.....
(parašas)

.....
(vardas, pavardė)

.....
(data)

Vilniaus Gedimino technikos universiteto egzaminų
sesijų ir baigiamųjų darbų rengimo bei gynimo
organizavimo tvarkos aprašo 2011–2012 m. m.
I priedas

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Aidas Jokūbaitis, 20065448

(Studento vardas ir pavardė, studento pažymėjimo Nr.)

Statybos fakultetas

(Fakultetas)

Statinių konstrukcijos, PKfm-10/1

(Studijų programa, akademinė grupė)

**BAIGIAMOJO DARBO (PROJEKTO)
SĄŽININGUMO DEKLARACIJA**

2012 m. gegužės 10 d.

(Data)

Patvirtinu, kad mano baigiamasis darbas (projektas) tema _____
„Gelžbetoninių kolonų, sustiprintu metaliniu apvalkalu, elgsena veikiant gaisro temperatūroms“

patvirtintas

2012 m. vasario 23 d. dekanu potvarkiu Nr. 92st, yra
savarankiškai parašytas. Šiame darbe (projekte) pateikta medžiaga nėra plagijuota. Tiesiogiai ar
netiesiogiai panaudotos kitų šaltinių citatos pažymėtos literatūros nuorodose.

Prenkant ir įvertinant medžiagą bei rengiant baigiamąjį darbą (projektą), mane konsultavo
mokslininkai ir specialistai: doc. dr. Arnoldas Šneideris, lekt. Lina Rutkienė

Mano darbo (projekto) vadovas doc. dr. Arnoldas Šneideris

Kitų asmenų indėlio į parengtą baigiamąjį darbą (projektą) nėra. Jokių įstatymų nenumatytų
piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs (-usi).

AIDAS JOKŪBAITIS

(Parašas)

(Vardas ir pavardė)

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Statybos fakultetas
Gelžbetoninių ir mūrinių konstrukcijų katedra

ISBN ISSN
Egz. sk.
Data-....-....

Antrosios pakopos studijų **Statinių konstrukcijų** programos baigiamasis magistro darbas
Pavadinimas **Gelžbetoninių kolonų, sustiprintų metaliniu apvalkalu, elgsena veikiant gaisro temperatūroms**

Autorius **Aidas Jokūbaitis**

Vadovas doc. dr. **Arnoldas Šneidas**

Kalba

☐

lietuvių

☐

užsienio

Anotacija

Baigiamajame magistro darbe nagrinėjamos gelžbetoninių kolonų, sustiprintų metaliniu apvalkalu, elgsena veikiant gaisro temperatūroms. Darbą sudaro dešimt skyrių ir priedai. Pirmame skyriuje aptariami pagrindiniai gaisro parametrai. Antrame skyriuje nagrinėjama gaisro temperatūrų įtaka gelžbetoniui ir jo komponentams (armatūrai ir betonui). Trečiajame skyriuje aptariama gelžbetoninių kolonų elgsena gaisro metu ir po jo. Ketvirtame ir penktame skyriuose aprašomas gelžbetoninių konstrukcijų atsparumo ugniai projektavimas ir skaičiavimo metodai. Šeštame skyriuje aptariami gelžbetoninių konstrukcijų stiprinimo būdai. Septintajame skyriuje skaičiuojamas aukštų temperatūrų poveikis centriškai gniuždomai kolonai, veikiant standartiniam gaisrui. Aštuntame skyriuje atliekamas temperatūrinių laukų kolonos skerspjūvyje kompiuterinis modeliavimas. Devintame skyriuje įvertinamas gaisro temperatūrų poveikis centriškai gniuždomai kolonai, sustiprintai metaliniu apvalkalu. Dešimtame skyriuje apibendrinami darbo rezultatai ir suformuluojamos išvados bei pasiūlymai.

Darbo apimtis - 105 psl. teksto be priedų, 75 iliustr., 9 lent., 24 bibliografiniai šaltiniai. Atskirai pridedami darbo priedai.

Prasminiai žodžiai: gelžbetonis, temperatūra, atsparumas ugniai, kolona, stipris.

Vilniaus Gedimino technical university
Faculty of Civil Engineering
Cathedra of Concrete and Masonry Construction

ISBN ISSN
Cop. numb.
Date-....-....

Structure Construction study programme master degree work

Title Reinforced concrete columns, reinforced with metallic shell, action, when it is affected by fire temperatures

Author **Aidas Jokūbaitis**

Moderator read. Doct. **Arnoldas Šneidas**

Language

☐

lithuanian

☒

english

Annotation

This master thesis deals with reinforced concrete columns, reinforced with metallic shell, action, when it is affected by fire temperatures. The work consists of ten chapters and appendixes. The first chapter discusses main fire parameters. The second chapter examines fire temperature on reinforced concrete and its components (reinforcement and concrete). The third chapter discusses reinforced column behaviour during and after the fire. The fourth and fifth chapter describes the fire resistance design of reinforced concrete structures and calculation methods. The sixth chapter discusses possible ways of strengthening reinforced concrete structures. In the seventh chapter effect of high temperatures on compressed reinforced column, under the influence of the standard fire, are calculated. The eighth chapter consists of computer based temperature analysis of reinforced concrete column cross-section. The ninth chapter evaluates the effects of fire temperatures for compressed reinforced concrete column, reinforced with metal casing. The tenth chapter summarizes the findings and formulates working conclusions.

Working volume - 105 pages text without appendixes, 75 pictures, 9 tables, 24 bibliographic sources. Appendixes included.

Keywords: reinforced concrete, temperature, fire resistance, column, strength.

TURINYS

IVADAS.....	14
ANALITINĖ – METODINĖ DALIS.....	15
1. PAGRINDINIAI GAISRO PARAMETRAI.....	15
1.1. Gaisro ypatybės.....	15
1.2. Natūralaus ir standartinio gaisro kreivės.....	17
2. AUKŠTOS TEMPERATŪROS ĮTAKA GELŽBETONIUI IR JO KOMPONENTAMS.....	19
2.1. Gelžbetonio savybių kitimo priežastys veikiant aukštai temperatūrai.....	19
2.1.1. Užpildai.....	19
2.1.2. Cementinis akmuo.....	19
2.1.3. Betono elgsena.....	20
2.1.4. Armatūros elgsena.....	21
2.1.5. Aukštos temperatūros įtaka betono ir armatūros bendram darbui.....	22
2.2. Betono ir armatūros stipris, deformacijos ir šiluminės savybės veikiant aukštai temperatūrai.....	24
2.2.1. Betono stiprumo ir deformacijų vertinimas.....	24
2.2.2. Betono šiluminių savybių vertinimas.....	26
2.2.3. Armatūros stiprumo ir deformatyvumo vertinimas.....	28
2.3. Išvados.....	29
3. GELŽBETONINĖS KOLONOS GAISRO METU IR PO JO.....	30
3.1. Gelžbetoninių kolonų elgsena aukštoje temperatūroje.....	30
3.2. Būdingiausi gelžbetoninių kolonų pažeidimai dėl aukštos temperatūros.....	32
4. GELŽBETONINIŲ KONSTRUKCIJŲ ATSPARUMAS UGNIAI.....	33
4.1. Atsparumo ugniai projektavimas.....	33
4.2. Skaičiavimo principai.....	33
4.3. Konstrukcijų atsparumo ugniai skaičiavimo metodai.....	35
4.3.1. Projektavimas pagal lentelių duomenis.....	35
4.3.2. Projektavimas pagal paprastesnius skaičiavimo metodus.....	36
4.3.3. 500 °C izotermės metodas.....	37
4.3.4. Zonų metodas.....	39
4.3.5. Bendrasis skaičiavimo metodas.....	42
4.4. Išvados.....	42
5. ANALITINIAI TEMPERATŪROS SKAIČIAVIMO MODELIAI.....	43
5.1. Vikstromo metodas.....	43
5.2. Herco metodas.....	43
5.3. 500 °C izotermės skaičiavimas.....	44
6. GELŽBETONINIŲ KONSTRUKCIJŲ STIPRINIMAS.....	45
6.1. Stiprinimo būdai.....	45

6.2. Kolonų stiprinimas metaliniais spyriais.....	46
TIRIAMOJI – PRAKTINĖ DALIS.....	48
7. AUKŠTŲ TEMPERATŪRŲ POVEIKIO SKAIČIAVIMAS CENTRIŠKAI GNIUŽDOMAI KOLONAI, VEIKIANT STANDARTINIAM.....	48
7.1. Kolonos atlaikomoji galia iki gaisro.....	48
7.2. Skaičiavimas pagal 500 °C izotermės metodą.....	51
7.2.1. Iš visų pusių gaisro veikiamos kolonos skaičiavimas.....	51
7.3. Skaičiavimas pagal zonų metodą.....	58
7.3.1. Iš visų pusių gaisro veikiamos kolonos skaičiavimas.....	58
7.4. Kolonos, iš visų pusių veikiamos gaisro, rezultatų palyginimas pagal 500 °C izotermės ir zonų metodus.....	65
7.5. Skaičiavimas pagal LST EN 1992-1-2.....	66
7.5.1. Iš visų pusių gaisro veikiamos kolonos skaičiavimas.....	66
7.6. Kolonos, iš visų pusių veikiamos gaisro, rezultatų palyginimas pagal zonų metodą ir LST EN 1992-1-2.....	73
7.7. Skaičiavimas zonų metodu pagal skaitiniu metodu (Cosmos/M) gautus rezultatus.....	75
7.7.1. Iš visų pusių gaisro veikiamos kolonos skaičiavimas.....	75
7.8. Kolonos, iš visų pusių veikiamos gaisro, laikomosios galios palyginimas pagal analitinį (zonų metodus) metodą ir skaitiniu metodu (Cosmos/M) gautus rezultatus.....	80
7.9. Kolonos, iš visų pusių veikiamos gaisro, rezultatų palyginimas pagal analitinį (LST EN 1992-1-2) metodą ir skaitiniu metodu (Cosmos/M) gautus rezultatus.....	81
7.10. Išvados.....	82
8. TEMPERATŪRINIŲ LAUKŲ MODELIAVIMAS.....	83
8.1. Modelio sudarymas.....	83
8.2. Temperatūrinių laukų palyginimas pagal LST EN 1992-1-2 ir Cosmos/M rezultatus.....	86
9. GAISRO TEMPERATŪRŲ POVEIKIO VERTINIMAS CENTRIŠKAI GNIUŽDOMAI KOLONAI, SUSTIPRINTAI METALINIU APVALKALU.....	87
9.1. Stiprumo skaičiavimas.....	87
9.2. Įtempių gelžbetoninėje kolonoje nustatymas pagal SolidWorks programinio paketo rezultatus.....	90
9.3. Įtempių gelžbetoninėje ir gelžbetoninėje metaliniu apvalkalu sustiprintoje kolonoje palyginimas pagal SolidWorks programinio paketo rezultatus.....	97
10. IŠVADOS IR PASIŪLYMAI.....	102
LITERATŪRA.....	104
PRIEDAI.....	106
A PRIEDAS.....	107
B PRIEDAS.....	110
C PRIEDAS.....	114

D PRIEDAS.....116

E PRIEDAS.....122

PAVEIKSLŲ IR LENTELIŲ SĄRAŠAS

1.1 pav. Natūralaus gaisro kreivė.....	18
1.2 pav. Standartinio gaisro kreivė (temperatūros priklausomybė nuo laiko).....	18
2.1 pav. Gaisro įtaka įprastai sunkiojo betono gniuždomajam (1) ir tempiamajam (2) stipriams.....	21
2.2 pav. Temperatūros poveikis armatūros ir betono sukibimui: 1 – lygi; 2 – rumbuota armatūra.....	24
2.3 pav. Gniuždomojo betono, veikiant gaisro temperatūrai, $\sigma - \varepsilon$ diagrama.....	25
2.4 pav. Betono tempiamojo stiprio sumažinimo koeficiento $k_{ck,t}(\Theta)$ priklausomybė nuo gaisro temperatūros.....	26
2.5 pav. Betono šilumos laidis: 1 – viršutinė riba; 2 – apatinė riba.....	27
2.6 pav. Plieno temperatūrinių deformacijų grafikas: 1 – armatūrinis plienas; 2 – įtemptoji armatūra.....	28
2.7 pav. Paprastosios ir įtemptosios armatūros $\sigma - \varepsilon$ diagrama veikiant gaisro temperatūrai (įtemptoji armatūra vietoje „s“ žymima „p“)......	28
4.1 pav. Koeficiento η_{fi} priklausomybė nuo apkrovų santykio $Q_{k,1} / G_k$, esant $\gamma_{GA} = 1,0$, $\gamma_G = 1,35$ ir $\gamma_Q = 1,5$	35
4.2 pav. Kolonos, kurios skerspjūvis $h \times b = 0,3 \times 0,3$ m, 500 °C izotermės.....	37
4.3 pav. 1 – temperatūros laukų plotas; 2 – visas skerspjūvio plotas.....	39
4.4 pav. Temperatūros veikiamo skerspjūvio padalinimas į zonas, naudojamas stiprumo sumažėjimui ir a_z reikšmėms skaičiuoti.....	39
4.5 pav. Gaisro veikiamų betoninių elementų stiprumo ir skerspjūvio sumažėjimas.....	40
5.1 pav. a) tikroji izotermė; b) izotermė, aproksimuota į stačiakampį.....	44
6.1 pav. Stiprinimo būdų klasifikacija.....	45
6.2 pav. Vienpusis kolonos stiprinimas metaliniais spyriais.....	47
6.3 pav. Dvipusis kolonos stiprinimas metaliniais spyriais.....	47
7.1 pav. Kolonos skerspjūvis.....	48
7.2 pav. Centriškai gniuždomos gelžbetoninės kolonos skaičiuojamoji schema.....	49
7.3 pav. Pažeistas kolonos skerspjūvis po 30 minučių.....	52
7.4 pav. Pažeistas kolonos skerspjūvis po 60 minučių.....	53
7.5 pav. Pažeistas kolonos skerspjūvis po 90 minučių.....	54
7.6 pav. Pažeistas kolonos skerspjūvis po 120 minučių.....	56
7.7 pav. Kolonos, iš visų pusių veikiamos gaisro, laikomosios galios nuo ašinės jėgos kitimas pagal 500 °C izotermę.....	56
7.8 pav. 500 °C izotermės atstumo nuo skerspjūvio paviršiaus palyginimas pagal Vikstromo metodą ir EN 1992-1-2.....	57
7.9 pav. 500 °C izotermės: a) pagal Vikstromo metodą; b) pagal EN 1992-1-2.....	57
7.10 pav. Kolonos skaičiuojamoji schema.....	58
7.11 pav. Gaisro veikiamos kolonos ekvivalentinis suskirstymas į zonas.....	59

7.12 pav. Kolonos pažeistas skerspjūvis po 30 minučių.....	60
7.13 pav. Kolonos pažeistas skerspjūvis po 60 minučių.....	62
7.14 pav. Kolonos pažeistas skerspjūvis po 90 minučių.....	63
7.15 pav. Kolonos pažeistas skerspjūvis po 120 minučių.....	64
7.16 pav. Kolonos, iš visų pusių veikiamos gaisro, laikomosios galios nuo ašinės jėgos kitimas pagal zonų metodą.....	65
7.17 pav. Kolonos, iš visų pusių veikiamos gaisro, laikomosios galios, nuo ašinės jėgos, kitimo palyginimas pagal 500 °C izotermės ir zonų metodus.....	65
7.18 pav. Kolonos, kurios skerspjūvis $h \times b = 0,3 \times 0,3$ m ir R 30, temperatūrų laukai ir charakteringi taškai.....	66
7.19 pav. Kolonos pažeistas skerspjūvis po 30 minučių.....	67
7.20 pav. Kolonos, kurios skerspjūvis $h \times b = 0,3 \times 0,3$ m ir R 60, temperatūrų laukai ir charakteringi taškai.....	68
7.21 pav. Kolonos pažeistas skerspjūvis po 60 minučių.....	69
7.22 pav. Kolonos, kurios skerspjūvis $h \times b = 0,3 \times 0,3$ m ir R 90, temperatūrų laukai ir charakteringi taškai.....	69
7.23 pav. Kolonos pažeistas skerspjūvis po 90 minučių.....	70
7.24 pav. Kolonos, kurios skerspjūvis $h \times b = 0,3 \times 0,3$ m ir R 120, temperatūrų laukai ir charakteringi taškai.....	71
7.25 pav. Kolonos pažeistas skerspjūvis po 120 minučių.....	72
7.26 pav. Kolonos, iš visų pusių veikiamos gaisro, laikomosios galios nuo ašinės jėgos kitimas pagal LST EN 1992-1-2.....	72
7.27 pav. Kolonos, iš visų pusių veikiamos gaisro, laikomosios galios kitimo palyginimas pagal zonų metodą ir LST EN 1992-1-2.....	73
7.28 pav. Armatūros skaičiuotinio stiprio mažėjimo priklausomybė nuo gaisro poveikio trukmės pagal zonų metodą ir LST EN 1992-1-2.....	74
7.29 pav. Kolonos pažeistas skerspjūvis po 30 minučių.....	76
7.30 pav. Kolonos pažeistas skerspjūvis po 60 minučių.....	77
7.31 pav. Kolonos pažeistas skerspjūvis po 90 minučių.....	78
7.32 pav. Kolonos pažeistas skerspjūvis po 120 minučių.....	79
7.33 pav. Kolonos, iš visų pusių veikiamos gaisro, laikomosios galios nuo ašinės jėgos kitimas pagal skaitiniu metodu (CosmosM) gautus rezultatus.....	80
7.34 pav. Kolonos, iš visų pusių veikiamos gaisro, laikomosios galios kitimo palyginimas pagal analitinį (zonų metodus) metodą ir skaitiniu metodu (Cosmos/M) gautus rezultatus.....	81
7.35 pav. Kolonos, iš visų pusių veikiamos gaisro, laikomosios galios kitimo palyginimas pagal analitinį metodą ir skaitiniu metodu gautus rezultatus.....	82
8.1 pav. Gelžbetoninės kolonos skerspjūvio schema.....	84
8.2 pav. Betono šilumos laidis (modeliavimui naudojama apatinė riba).....	84

8.3 pav. Betonos svitoji šiluminė talpa kaip temperatūros funkcija, kai betono drėgnis 1,5 %.....	84
8.4 pav. Standartino gaisro kreivė.....	85
8.5 pav. Temperatūros pasiskirstymas nagrinėjamame skerspjūvyje tam tikru laiko momentu.....	85
8.6 pav. Izotermių atstumai nuo kolonos skerspjūvio centro pagal LST EN 1992-1-2 ir Cosmos/M rezultatus a) esant 30 min, b) esant 60 min, c) esant 90 min, d) esant 120 min.....	86
9.1 pav. Centriškai gniuždomos gelžbetoninės kolonos, sustiprintos metaliniu apvalkalu, skaičiuojamoji schema.....	87
9.2 pav. Kolonos, sustiprintos metaliniais kampuočiais, schema.....	90
9.3 pav. Skaičiuojamosios schemos: a) gelžbetoninės kolonos; b) metaliniu apvalkalu sustiprintos gelžbetoninės kolonos: 1 – kolona; 2 – kampuočiai; 3 – plokštelė.....	90
9.4 pav. Pjūviai kolonose: a) gelžbetoninėje kolonoje; b) metaliniu apvalkalu sustiprintoje gelžbetoninėje kolonoje.....	92
9.5 pav. Įtempiai kolonoje pagal SolidWorks rezultatus pjūvyje 1-1.....	92
9.6 pav. Įtempiai kolonoje pagal SolidWorks rezultatus pjūvyje 2-2.....	93
9.7 pav. Įtempiai kolonoje pagal SolidWorks rezultatus pjūvyje 3-3.....	94
9.8 pav. Įtempiai kolonoje pagal SolidWorks rezultatus pjūvyje 4-4.....	94
9.9 pav. Įtempiai metaliniu apvalkalu sustiprintoje kolonoje pagal SolidWorks rezultatus pjūvyje 1-1.....	95
9.10 pav. Įtempiai metaliniu apvalkalu sustiprintoje kolonoje pagal SolidWorks rezultatus pjūvyje 2-2.....	95
9.11 pav. Įtempiai metaliniu apvalkalu sustiprintoje kolonoje pagal SolidWorks rezultatus pjūvyje 3-3.....	96
9.12 pav. Įtempiai metaliniu apvalkalu sustiprintoje kolonoje pagal SolidWorks rezultatus pjūvyje 4-4.....	97
9.13 pav. Gelžbetoninės ir gelžbetoninės metaliniu apvalkalu sustiprintos kolonos įtempių palyginimas (%) pagal programinio paketo SolidWorks rezultatus pjūvyje 1-1 (viršuje nesustiprintos kolonos reikšmės, apačioje sustiprintos kolonos reikšmės).....	98
9.14 pav. Gelžbetoninės ir gelžbetoninės metaliniu apvalkalu sustiprintos kolonos įtempių palyginimas (%) pagal programinio paketo SolidWorks rezultatus pjūvyje 2-2 (viršuje nesustiprintos kolonos reikšmės, apačioje sustiprintos kolonos reikšmės).....	99
9.15 pav. Gelžbetoninės ir gelžbetoninės metaliniu apvalkalu sustiprintos kolonos įtempių palyginimas (%) pagal programinio paketo SolidWorks rezultatus pjūvyje 3-3 (viršuje nesustiprintos kolonos reikšmės, apačioje sustiprintos kolonos reikšmės).....	100
9.16 pav. Gelžbetoninės ir gelžbetoninės metaliniu apvalkalu sustiprintos kolonos įtempių palyginimas (%) pagal programinio paketo SolidWorks rezultatus pjūvyje 4-4 (viršuje nesustiprintos kolonos reikšmės, apačioje sustiprintos kolonos reikšmės).....	100
A.1. pav. Temperatūros pasiskirstymas skerspjūvyje nuo vidurio link krašto (po 30 min).....	108
A.2. pav. Temperatūros pasiskirstymas skerspjūvyje nuo vidurio link krašto (po 60 min).....	108
A.3. pav. Temperatūros pasiskirstymas skerspjūvyje nuo vidurio link krašto (po 90 min).....	109
A.4. pav. Temperatūros pasiskirstymas skerspjūvyje nuo vidurio link krašto (po 120 min).....	109
D.1. pav. Įtempių pasiskirstymas programiniu paketu SolidWorks sudarytoje gelžbetoninėje kolonoje nuo įvairių apkrovimo variantų.....	118

D.2. pav. Įtempių pasiskirstymas programiniu paketu SolidWorks sudarytoje gelžbetoninėje metaliniu apvalkalu sustiprintoje kolonoje nuo įvairių apkrovimo variantų.....	121
1.1 lentelė. Ugnies poveikio galingumo klasifikacija.....	16
1.2 lentelė. Gaisro temperatūrinių režimų klasifikacija.....	16
2.1 lentelė. Įprastinio betono su kvarciniais arba silikatiniais užpildais įtempių ir santykinų deformacijų sąryšių aukštesnėje temperatūroje pagrindinių parametų reikšmės.....	25
2.2 lentelė. Plieno matematinis modelis veikiant gaisro temperatūrai (įtemptoji armatūra vietoje „s“ žymima „p“.....)	29
2.3 lentelė. Karštai valcuotos ir šaltai apdorotos armatūros įtempių ir santykinų deformacijų sąryšių aukštesnėje temperatūroje parametų N klasės reikšmės.....	29
4.1 lentelė. Stačiakampio ir apvaliojo skerspjūvio gelžbetoninių kolonų mažiausieji matmenys ir armatūros centro atstumas a	36
5.1 lentelė. Temperatūros analizės parametrai, esant standartiniam gaisrui.....	44
8.1 lentelė. Armatūros šiluminės savybės.....	85
9.1 lentelė. Kolonos, sustiprintos metaliniu apvalkalu, elementų charakteristikos.....	91
B.1. lentelė. Kolonos įtempiai skerspjūvyje (MPa), pjūvyje 1-1.....	110
B.2. lentelė. Kolonos įtempiai skerspjūvyje (MPa), pjūvyje 2-2.....	110
B.3. lentelė. Kolonos įtempiai skerspjūvyje (MPa), pjūvyje 3-3.....	111
B.4. lentelė. Kolonos įtempiai skerspjūvyje (MPa), pjūvyje 4-4.....	111
B.5. lentelė. Kolonos, sustiprintos metaliniu apvalkalu, įtempiai skerspjūvyje (MPa), pjūvyje 1-1.....	111
B.6. lentelė. Kolonos, sustiprintos metaliniu apvalkalu, įtempiai skerspjūvyje (MPa), pjūvyje 2-2.....	112
B.7. lentelė. Kolonos, sustiprintos metaliniu apvalkalu, įtempiai skerspjūvyje (MPa), pjūvyje 3-3.....	112
B.8. lentelė. Kolonos, sustiprintos metaliniu apvalkalu, įtempiai skerspjūvyje (MPa), pjūvyje 4-4.....	113
C.1. lentelė. Įtempių gelžbetoninėje ir gelžbetoninėje metaliniu apvalkalu sustiprintoje kolonoje palyginimas (%) pagal SolidWorks programinio paketo rezultatus (pjūvis 1-1).....	114
C.2. lentelė. Įtempių gelžbetoninėje ir gelžbetoninėje metaliniu apvalkalu sustiprintoje kolonoje palyginimas (%) pagal SolidWorks programinio paketo rezultatus (pjūvis 2-2).....	114
C.3. lentelė. Įtempių gelžbetoninėje ir gelžbetoninėje metaliniu apvalkalu sustiprintoje kolonoje palyginimas (%) pagal SolidWorks programinio paketo rezultatus (pjūvis 3-3).....	115
C.4. lentelė. Įtempių gelžbetoninėje ir gelžbetoninėje metaliniu apvalkalu sustiprintoje kolonoje palyginimas (%) pagal SolidWorks programinio paketo rezultatus (pjūvis 4-4).....	115

IVADAS

Pagal Priešgaisrinės apsaugos ir gelbėjimo departamento duomenis, Lietuvoje kasmet kyla apie 14000 gaisrų, iš jų apie 3700 gyvenamosios, viešbučių, pagalbinio ūkio bei gamybos ir pramonės paskirties pastatuose.

Gaisro metu patalpoje temperatūra gali pakilti iki 1000 – 1200 °C, o pramoniniuose pastatuose iki 1600 °C. Tokia aukšta temperatūra gali veikti iki 3 val. ar net ilgiau. Gaisras yra labai sudėtingas procesas ir, priklausomai nuo gaisro kilimo vietos, vyravusios temperatūros ir trukmės, pastato konstrukcijos gali būti smarkiai pažeistos, pasikeičia jų darbo sąlygos. Veikiant aukštomis temperatūroms pasikeičia konstrukcijų medžiagų savybės, o šiuos pasikeitimus prognozuoti labai sunku. Dalis pastatų, kuriuose įvyko gaisras, sugriūna, tačiau dauguma statinių ar jų konstrukcijų išlieka. Nagrinėjant aukštos temperatūros pažeistas konstrukcijas, būtina tinkamai įvertinti gaisro metu vyravusią temperatūrą, atsiradusias pažaidas ir likusią laikomąją konstrukcijos galią. Teisingai įvertinus konstrukcijų ar jų dalių defektus ir pažaidas, galima parinkti geriausius stiprinimo būdus ir schemas, ir statinys gali būti vėl eksploatuojamas.

Pagrindinis faktorius, turintis didžiausią įtaką gaisro pažeistų konstrukcijų laikomajai galiai, yra ją veikusios temperatūros dydis ir trukmė. Nuo to priklauso ir pažaidos, kurios gali būti tik išoriniai, ar vizualiai nematomi vidiniai struktūros, fizinių – mechaninių savybių pasikeitimai, kurie bet kada gali sukelti konstrukcijos griūtį. Tiriant gaisro pažeistų konstrukcijų būklę, svarbu greitai ir tiksliai įvertinti ir išsiaiškinti gaisro plėtrą ir statybinių konstrukcijų elgseną veikiant temperatūrai.

Kadangi gelžbetonis yra kompleksinė medžiaga, tai jo komponentai (betonas ir armatūra) į aukštą temperatūrą reaguoja skirtingai. Siekiant numatyti gelžbetonio elgseną gaisro metu, reikia atskirai įvertinti betono ir plieno fizinių bei mechaninių savybių kitimą aukštoje temperatūroje.

Darbo tikslas – išnagrinėti aukštų temperatūrų poveikį gelžbetoninėms kolonoms analitiniais skaičiavimo metodais ir programiniais paketais Cosmos/M bei SolidWorks. Palyginti programiniu paketu Cosmos/M nustatytų temperatūrinių laukų pasiskirstymą su LST EN 1992-1-2 pateiktomis izotermomis. Programiniu paketu SolidWorks nustatyti gelžbetoninės kolonos stiprinimo metaliniu apvalkalu įtaką įtempių pasiskirstymui.

Baigiamajame magistro darbe nagrinėjamas betono mechaninių savybių kitimas aukštoje temperatūroje. Atliekama lyginamoji elemento laikomosios galios analizė pagal teorinius skaičiavimo metodus. Sudarytas algoritmas baigtinių elementų programa Cosmos/M bet kokios geometrijos gelžbetoninio elemento temperatūriniais laukams nuo standartinio gaisro gauti. Baigtinių elementų programa SolidWorks nagrinėjama sustiprinimo metaliniu apvalkalu įtaka įtempių pasiskirstymui elemente.

ANALITINĖ – METODINĖ DALIS

1. PAGRINDINIAI GAISRO PARAMETRAI

1.1. Gaisro ypatybės

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

Pastatų apžiūra po gaisro parodo, kad gelžbetoninių konstrukcijų pažeidų lygis dėl ugnies poveikio yra skirtingas. Dėl to skiriamos sugriuvimo ir avarinės zonos bei stiprios, vidutinės ir silpnos pastato konstrukcijų pažeidos.

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 to skirtingo gelžbetoninių konstrukcijų skerspjūvio pagal tipą ir padėtį, esant tam pačiam gaisro ugnies poveikiui, skerspjūviai įkaista ir yra pažeidžiami nevienodai.

Pramonės ir sandėliavimo pastatuose gamybos metu, kur naudojamos karštos ir lengvai užsiliepsnojančios medžiagos ir produktai (skysčiai, kaikurios putos ir pan.), statybinės konstrukcijos atsiduria gaisro židinyje per 1-2 min nuo užsiliepsnojimo pradžios. Taip konstrukcijos, atsidūrusios degimo židinyje, kaitimas vyksta dėl liepsnos skleidžiamos šilumos ir didžiausia temperatūra, kurią pasiekia, yra 1000 – 1200 °C. Degant suskystintoms dujoms ir kai kurioms cheminėms medžiagoms gaisro židinyje temperatūra yra 1200 – 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 statybiniams elementams ir pastato dalims priklauso nuo gaisro vidinės aplinkos temperatūros, taip pat nuo jų išdėstymo ir atstumo nuo degimo vietos (gaisro židinio) (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 suskystintoms dujoms – 1600 °C (Милованов 1986).

Gaisras pereina tris plėtimosi stadijas (Ильин 1983):

1. Pradinė I stadija (5 – 30 min) charakterizuojama medžiagų užsidegimu, kai gaisro vidinės aplinkos temperatūra padidėja nežymiai ($t_1 = 100 - 250$ °C).
2. II stadija. Tai intensyvaus degimo stadija, kuri charakterizuojama greitu temperatūros augimu, maksimalios gaisro temperatūros stabilizacija $t_{\max}$ ir po to vykstančiu staigiu temperatūros mažėjimu iki $t_2 = 600 - 400$ °C. Šioje stadijoje gelžbetoninių elementų įkaitimas žymiai mažesnis nei elementų įkaitimas esant standartinės temperatūros režimui.
3. Užgesimo III stadija. Šioje stadijoje pasireiškia temperatūros, mažesnės už t_2 , lėtesnis mažėjimas.

Šilumos kiekis, išsiskiriantis per laiko vienetą į ploto vienetą, vadinamas šilumos srauto tankiu. Priklausomybė tarp šilumos srauto tankio ir gaisro galingumo pateikta 1.1 lentelėje.

1.1 lentelė. Ugnies poveikio galingumo klasifikacija

Ugnies poveikio galingumas	Šilumos srauto tankis ($MJ/(m^2h)$)	Maksimali gaisro temperatūra (°C)
Mažas	25 – 50	200 – 400
Ribotas	50 – 150	400 – 800
Vidutinis	150 – 500	800 – 1200
Didelis	>500	>1200

Pagal šilumos srauto temperatūros kilimo greitį išskiriami keturi temperatūros režimai:

1. lėtas temperatūros padidėjimas: $\Delta v_t \leq 10$ °C/min;
2. ribotas temperatūros padidėjimas: $10 < \Delta v_t \leq 20$ °C/min;
3. greitas temperatūros padidėjimas: $20 < \Delta v_t \leq 30$ °C/min;
4. labai greitas temperatūros padidėjimas: $\Delta v_t > 30$ °C/min.

Priklausomai nuo gaisre veikiančios maksimalios temperatūros trukmės, išskiriami šie temperatūros režimai:

1.2 lentelė. Gaisro temperatūros režimų klasifikacija

Klasė ir pavadinimas	Temperatūra (°C)	Trukmė (h)
1. Štorminis	>1200	>6
2. Kietas	800 – 1200	2 – 6
3. Ribotas	400 – 800	0,5 – 2
4. Minkštas	200 – 400	<0,5

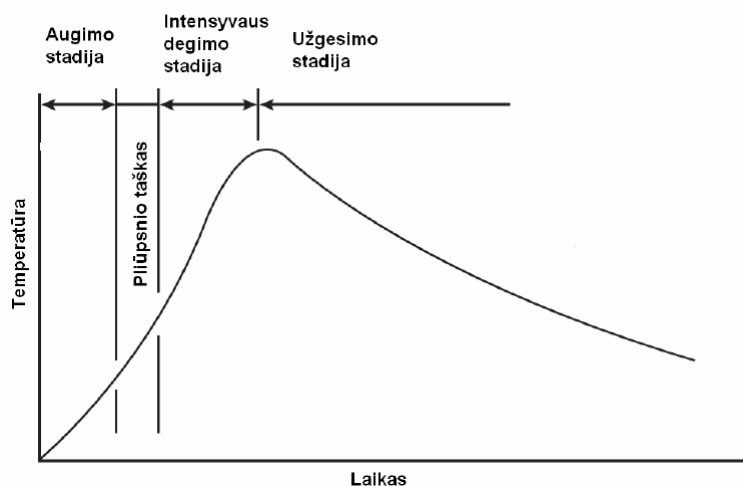
Kiečiausias temperatūros režimas yra gaisro židinyje. Ugnies štormo zonoje temperatūra pakyla iki 1200 – 1600 °C, kartais iki 1800 – 2000 °C. Konstrukcijos, esančios šalia gaisro židinio, paviršiuje temperatūra sumažėja iki 1000 – 800 °C, o esančios toliau nuo intensyvaus degimo zonos – iki 700 – 500 °C.

1.2. Natūralaus ir standartinio gaisro kreivės

Gaisrui paprastai būdingos trys plėtros stadijos (Purkis 2007):

1. Užsidegimo stadija yra periodas iki pliūpsnio taško. Šioje stadijoje temperatūra kyla labai lėtai, vyksta degių medžiagų rusenimas, šioje stadijoje gaisras yra lengvai kontroliuojamas. Gaisras nekyla (nepasiekiamas pliūpsnio taškas), jei šioje stadijoje yra nepakankamas ugnies poveikio galingumas arba nepakankamas deguonies kiekis patalpoje. Todėl yra pavojus, kad gaisras gali būti sukeltas tiesiog atidarius duris ar langą ir įleidus šviežio oro į patalpą.
2. Intensyvaus degimo stadija yra staigus temperatūros kilimas iki aukščiausio taško. Ši stadija trunka, kol ugnies intensyvumo užtenka palaikyti degimui, gaisravietėje yra pakankamai degių medžiagų ir užtektinas deguonies srautas. Šioje stadijoje yra padaroma didžiausia žala statybinėms konstrukcijoms. Pasiekus aukščiausią tašką gaisras pereina į užgesimo stadiją.
3. Užgesimo stadijoje, nebelikus degių medžiagų, temperatūra pradeda mažėti. Pažymėtina, kad ji nekrenta staigiai dėl nesuirusių įkaitusių elementų šiluminio spinduliavimo.

Natūralaus gaisro kreivės (žr. 1.1 pav.) pradžia – degios medžiagos (sukėlusios gaisrą) rusenimas, šilumos spinduliavimas iki pliūpsnio taško. Pliūpsnio taškas – tai stadija, kai dar neužsidegusios medžiagos, įkaitintos liepsnos spinduliavimo ar dūmų, staigiai, vienu metu užsidega, visą degimo zoną užlieja karštis ir dūmai. Po užsiliepsnojimo ugnis pasiekia aukščiausią degimo ir šilumos perdavimo tašką, ji praktiškai nekontroliuojama. Ugnies lygį kontroliuoja tiksliai toje zonoje esančios degios medžiagos bei į ją patenkantis oro srautas. Po ilgo nenutrūkstamo degimo ugnies lygis pradeda mažėti, mažėjant degių medžiagų kiekiui, degimas slopsta. Ugnis užgesa sunykus degioms medžiagoms, šilumos energija nebeperduodama.

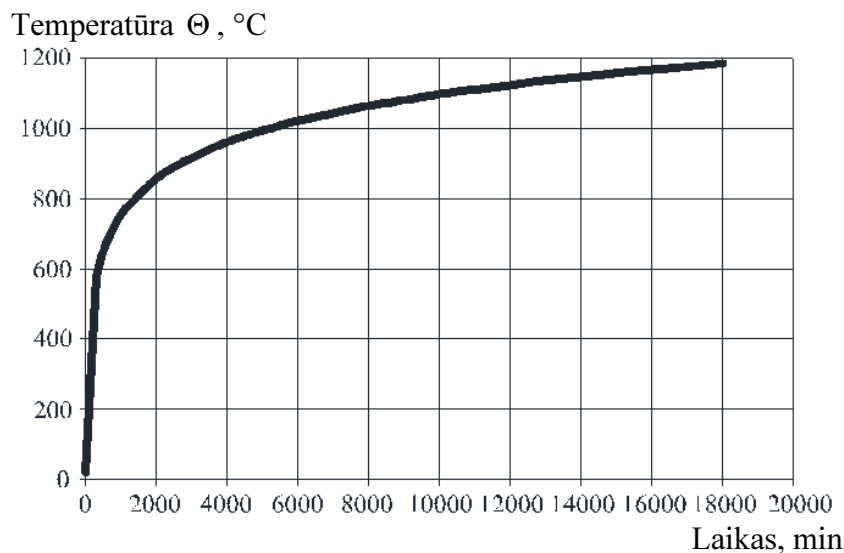


1.1 pav. Natūralaus gaisro kreivė

Priešgaisrinio projektavimo skaičiavimuose naudojama standartinio gaisro kreivė. Jos pradžia yra gaisro pliūpsnio taškas, o pabaiga – intensyvaus degimo aukščiausias taškas. Visi natūralūs gaisrai turi skirtingus parametrus, todėl ši kreivė yra standartizuota, supaprastinta ir yra išreiškiamą logaritmine funkcija (STR 2.05.11:2005):

$$\Theta_g = 20 + 345 \log(8t + 1). \quad (1.1)$$

Pagal šią funkciją temperatūros priklausomybė nuo laiko pateikta 1.2 pav.



1.2 pav. Standartinio gaisro kreivė (temperatūros priklausomybė nuo laiko)

Standartinio gaisro kreivė yra plačiausiai naudojama sutartinė temperatūros ir laiko priklausomybė. Ji tiksliai neapibūdina temperatūros kitimo gaisro metu, nes kiekvieno gaisro intensyvumas, trukmė, apkrova yra skirtingi. Pavyzdžiui, trumpo didelio galingumo gaisro metu atpleišęs, susproginęs apsauginis betono sluoksnis atidengia armatūrą, o riboto galingumo gaisrui trunkant ilgai labiausiai paveikiamas gniuždomasis betono stipris. Nepaisant trūkumų

daugiausiai tyrimų, bandymų ir stebėjimų medžiagų ir konstrukcijų atsparumui ugniai tirti yra atliekama pagal standartinio gaisro testus. Standartinio gaisro sąlygos atitinka temperatūrų intervalą nuo 20 °C iki 1200 °C. Medžiagų savybių kitimas taip pat aprašomas temperatūrų intervale nuo 20 °C iki 1200 °C.

2. AUKŠTOS TEMPERATŪROS ĮTAKA GELŽBETONIUI IR JO KOMPONENTAMS

2.1. Gelžbetonio savybių kitimo priežastys veikiant aukštai temperatūrai

Betono ir gelžbetonio savybės veikiant aukštomis temperatūroms nustatomos iš jų sudėties: užpildų, cementinio akmens ir plieninės armatūros.

2.1.1. Užpildai

Užpildai iš kalnų vulkaninės kilmės uolienų (granito, sienito, diorito, gabro, diabazo, bazalto ir pan.) kaitinant iki aukštų temperatūrų sumažina pradinius vidinius įtempimus ir padidėja užpildų gniuždomasis stipris. Aukštoje temperatūroje (daugiau kaip 200 °C) vyksta kaikurių mineralų struktūriniai pokyčiai. Didžiausi struktūriniai pokyčiai vyksta tuose mineraluose, kuriuose yra kvarco. 573 °C temperatūroje, pereinant iš vienos modifikacijos į kitą, kvarco apimtis staigiai šuoliškai padidėja 2,4 %. 800 °C ir didesnėje temperatūroje dėl mineralų skirtingų temperatūrinių deformacijų medžiagoje atsiranda plyšiai ir sumažėja užpildų stiprumas.

Skirtingų užpildų, įkaitintų iki 1000 °C temperatūros, temperatūrinės deformacijos smarkiai skiriasi nuo cementinio akmens deformacijų. Linijinių deformacijų suvienodinimas parodo, kad esant 900 °C temperatūrai didžiausios temperatūrinės deformacijos pasireiškia skaldoje, granite ir kvarcite, o mažiausios – skaldoje iš klinčių ir bazalto. Didesnėje nei 900 °C temperatūroje klintys stiprumą mažina mažiau nei uolienos iš serpentino ir kvarcito. Kaitinimui atsparesni dirbtiniai užpildai: aukštakrosnių šlakas, keramzitas, šamotas, šlako pemza, perlitas (Ильин 1979).

2.1.2. Cementinis akmuo

Cementinio akmens, įkaitinto iki 150 °C, savaiminio užsiliepsnojimo rezultatas yra stiprumo padidėjimas. Tokiu būdu vandens garai prisideda prie papildomos cemento mineralų hidratacijos. 200 – 300 °C temperatūroje gniuždomasis stipris didėja dėl cementinio akmens

struktūros sutankėjimo. Struktūros tankėjimas vyksta dėl vandens pašalinimo iš kalcio silikato gelio ir sustiprintos kristalizacijos kalcio hidroksido.

Didesnėje nei 300 °C temperatūroje vyksta susitraukimas ir cementinio akmens struktūros suardymas. Dėl to ima mažėti cementinio akmens stipris. Cementinio akmens susitraukimas iššaukia vidinius įtempius ir plyšių atsiradimą. 575 °C temperatūroje vyksta kalcio hidroksido dehidratacija. Hidratų skilimas ir cementinio akmens dalių skirtingų ženklų deformacijos suardo jo struktūrą. Žymūs struktūros pažeidimai ir akmens stiprumo sumažėjimas vyksta esant 900 °C temperatūrai dėl kalcio anglies rūgšties disociacijos ir mineralo apimties padidėjimo.

Taigi, didinant temperatūrą cementinis akmuo netenka visų tipų vandens, kuris buvo jame. Tai sukelia struktūros suardymą ir cementinio akmens stiprumo sumažėjimą (Ильин 1979).

2.1.3. *Betono elgsena*

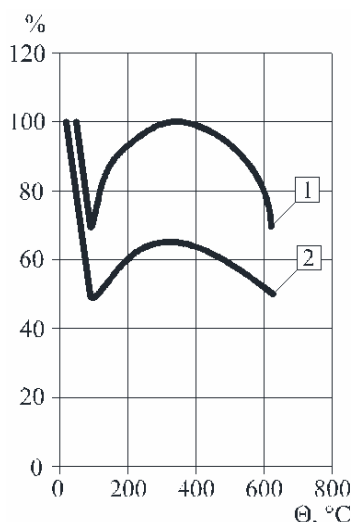
Betone kaitinimo metu pasikeičia užpildų ir cementinio akmens savybės, atsiranda skirtingos temperatūrinės deformacijos, keičiasi betono įtempių būvis ir kiti faktoriai. 100 – 150 °C temperatūroje betono stipris stabilizuojasi ir šiek tiek padidėja. Įkaitintas iki 100 °C temperatūros netenka porose esančio laisvojo vandens. 200 °C temperatūroje betonas netenka chemiškai ir fiziškai sujungto vandens. Prie aukštesnės nei 350 °C temperatūros betonas netenka didžiosios dalies surišto (sujungto) vandens. Betono dehidratacija susijusi su jo susitraukimu, temperatūrinių įtempimų atsiradimu ir plyšiais, kurie atsiranda ten kur susijungia cementinis akmuo ir užpildas. Dėl to betonas didina plėtimosi deformacijas ir mažina stiprumą ir tamprumo modulį.

520 – 580 °C temperatūroje (kai vyksta intensyvi cementinio akmens mineralų dehidratacija ir struktūros suardymas dėl antrinio kalcio oksido gesinimo) betono stipris mažėja. 600 – 650 °C temperatūrų intervale vyksta žymus stiprumo ir betono deformacinių savybių sumažėjimas, kuris aiškinamas cementinio akmens kalcio hidroksido suirimu.

Po betono atvėsimo, kuris buvo įkaitintas iki aukštesnės nei 500 °C temperatūros, struktūra suardoma dėl laisvojo kalcio oksido rišimosi su oro drėgme su ryškiu apimties padidėjimu. Betono stiprumo pokytis po atvėsimo priklauso nuo jo įkaitinimo lygio ir saugojimo laiko natūraliomis sąlygomis. 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 (Ильин 1979).

Gaisro metu apkarutos gelžbetoninės konstrukcijos veikiamos greitos trumpalaikės kaitros, kuri pakeičia betono, turinčio natūralios drėgmės, stiprumines savybes.

Natūralios drėgmės sunkiojo betono 60 ir 90 °C temperatūroje prizminis stiprumas mažėja atitinkamai 35 ir 21 % (žr. 2.1 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.



2.1 pav. Gaisro įtaka įprastai sunkiojo betono gniuždomajam (1) ir tempiamajam (2) stipriams (Marčiukaitis *et al.* 2007 ir Милованов 1986)

60 ir 90 °C temperatūroje sunkiojo betono tempiamasis stipris sumažėja 54 ir 52 %. Toliau seka stiprumo padidėjimas, tačiau stiprumas nepasiekia pradinio dydžio esant normaliai temperatūrai. Kaitinant bandinius iki didesnės nei 400 °C temperatūros betono tempiamasis stipris toliau mažėja (Милованов 1998).

2.1.4. Armatūros elgsena

Įkaitinus armatūrinį plieną iki aukštų temperatūrų keičiasi mechaninės savybės. Tai susiję su tuo, kad padidinus plieno temperatūrą vyksta sudėtingi fiziniai-cheminiai procesai. Kylant kaitinimo temperatūrai armatūriniame pliene keičiasi jo stipruminės savybės, mažėja tamprumo modulis, didėja temperatūrinės deformacijos ir įtempimų relaksacija.

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

Padidinus karštai valcuoto plieno temperatūrą iki 300 °C trumpalaikis atsparumas padidėja, o sąlyginė takumo ir plastiškumo riba mažėja. 200 – 350 °C temperatūroje S240 ir S300 klasės anglinis plienas praranda takumo aikštelę, padidėja laikinasis atsparumas. Plastinės savybės,

charakterizuojamos santykinu liekamuoju pailgėjimu atliekant plieno nutraukimo bandymą apkraunant trumpalaikę apkrovą ir esant temperatūrų intervalui 300 – 500 °C, didėja. 500 °C temperatūroje laikinasis atsparumas ir plieno takumo riba žymiai sumažėja (20 – 40 %).

S400 ir S500 klasės mažai legiruotas kaitinamas plienas keičia mechanines savybes taip pat kaip ir anglinis plienas. Kitavertus, šie plienai maksimalias laikinojo atsparumo reikšmes ir minimalius pailgėjimus įgauna esant žymiai didesnėms temperatūroms.

Karštai valcuoto plieno, įkaitinto iki 500 °C temperatūros ir po to atvėsinto, mechaninės savybės nesikeičia. Po įkaitinimo iki 600 °C temperatūros 25T2C klasės plieno stiprumas nemažėja, bet temperatūrų intervale 200 – 500 °C po atvėsimo stiprumas padidėja 20 – 30 %.

Armatūrinis plienas charakterizuojamas kritine temperatūra, kurią viršijus, veikiant išorinei apkrovai, vyksta nenutrūkstamas deformacijų prieaugis. Tuomet plienas lėtai teka esant žymiai mažesniems nei takumo riba įtempimams. Taip didelio stiprio plienas, kurio stiprumas 15000 kg/cm^2 , išanksto apkrautas iki 6500 kg/cm^2 , 300 °C temperatūroje įgauna tokį valkšnumo deformacijų padidėjimą, kuriam esant išankstiniai įtempimai visiškai išnyksta.

Didėjant kaitinimo temperatūrai mažėja armatūrinio plieno tamprumo modulis. Pieno deformacijos, sukeltos tamprumo modulio mažėjimo ir temperatūrinio valkšnumo, negrįžtamos.

2.1.5. Aukštos temperatūros įtaka betono ir armatūros bendram darbui

Veikiant ugniai ir po ugnies poveikio žymiai keičiasi svarbiausios gelžbetonio savybės. Veikiant aukštomis kaitinimo temperatūroms armatūros ir betono sukibimo stiprumas mažėja. Dėl temperatūrinio valkšnumo ir plieno bei betono relaksacijos keičiasi betono išankstinio apspaudimo (apgniuždymo) dydis išanksto įtemptuose elementuose, padidėja armatūros išankstinio įtempimo nuostoliai. Dėl netolygaus skerspjūvio įkaitimo gelžbetoniniuose elementuose keičiasi įtempių ir deformacijų būklė.

Lygios armatūros ir betono, kai įkaitinama iki 200 – 400 °C temperatūros ir po to atvėsinama, sukibimas mažėja atitinkamai 40 – 80 % lyginant su kontroliniais neįkaitusiais bandiniais.

Kylant kaitinimo temperatūrai ribinis įtempimas mažėja intensyviau (ypač 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 įkaitintam būvyje.

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

Rumbuotos armatūros sukibimo su betonu stiprumas po įkaitinimo iki 110 °C padidėja 20 %. Temperatūrų intervale 110 – 600 °C sukibimo stiprumas palaipsniui mažėja iki pradinių reikšmių. Po įkaitinimo iki 700 °C sukibimo stiprumas 40 % mažesnis už pradinę reikšmę.

Rumbuotos armatūros sukibimo efektyvumas, lyginant su lygia armatūra, padidėja padidinus kaitinimo temperatūrą. Rumbuotos armatūros sukibimo stiprumas po įkaitinimo iki 110, 200 ir 400 °C atitinkamai 2; 2,5 ir 8 kartus didesnis nei lygios armatūros (Ильин 1979).

Vertinant išanksto įtemptų gelžbetoninių konstrukcijų ugniaatsparumą be išankstinių įtempimų netekimo, kurie atsiranda normalioje temperatūroje, įvertinamas betono temperatūrinio susitraukimo netekimas, armatūros valkšnumas ir relaksacija, plieno tamprumo modulio sumažėjimas kaitinant, taip pat skirtingas betono ir armatūros temperatūrinis plėtimasis.

Betono temperatūrinis susitraukimas ε_{st} gali būti didesnis ir yra negrįžtama deformacija. Armatūros išankstinio įtempimo netekimas priklauso nuo betono temperatūrinio susitraukimo tam tikroje temperatūroje.

Bandymų duomenų apie temperatūrinio susitraukimo deformacijas priklausomai nuo kaitinimo temperatūros, drėgmės ir betono amžiaus, taip pat skerspjūvio dydžio ir kitų faktorių kol kas nepakanka. Todėl armatūros išankstinio įtempimo netekimą dėl temperatūrinio susitraukimo apytiksliai priima lygų 50 % nuo betono susitraukimo netekimo normaliomis sąlygomis.

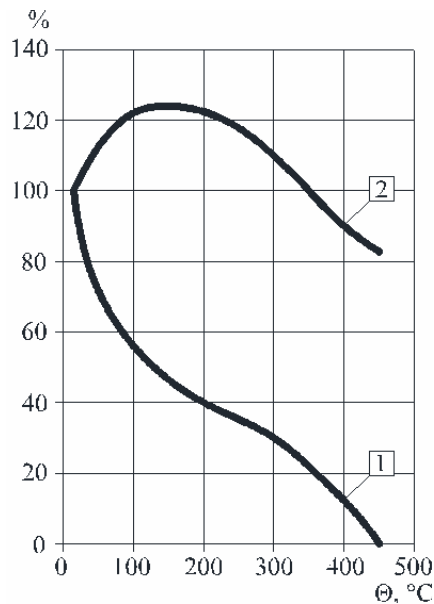
Maksimalios temperatūrinio susitraukimo deformacijos vystosi temperatūrų intervale 60 – 120 °C. Temperatūrinio susitraukimo dydį, kaitinant iki 200 °C temperatūros, priima lygų $0,28 \cdot 10^{-3}$.

Betono valšnumo deformacijos išanksto įtemptuose elementuose yra 40 % mažesnės nei pastovia apkrova apkratuose prizmių bandiniuose. Taip yra dėl betono apgniuždymo įtemptąja armatūra sumažėjimo. Betono temperatūrinio valkšnumo nuostoliai nustatomi įvertinant įtempimus betone ir betono valkšnumo deformacijų vystymąsi esant pasirinktoms temperatūroms.

Armatūros deformacijos dėl plieno tamprumo modulio sumažėjimo kaitinant kaip ir deformacijos dėl relaksacijos yra negrįžtamos.

Iš anksto įtemptuose elementuose temperatūrinio plėtimosi skirtumas tarp plieno ir betono esant aukštesnei nei 100 °C temperatūrai didina armatūros išankstinių įtempimų nuostolius.

Bendri armatūros išankstinių įtempimų nuostoliai, kai temperatūra yra padidinama iki 200 °C, padidėja 1,5 – 2 kartus. Taip pat nuostoliai dėl armatūros relaksacijos apytiksliai sudaro 40 %, dėl betono susitraukimo 20 – 30 %, dėl plieno tamprumo modulio sumažėjimo 5 – 10 %. Dideli nuostoliai pasireiškia dėl skirtingo betono ir armatūros temperatūrinio plėtimosi didesnėje nei 200 °C temperatūroje. Nuostoliai dėl betono temperatūrinio valkšnumo nežymus (Ильин 1979).



2.2 pav. Temperatūros poveikis armatūros ir betono sukibimui: 1 – lygi; 2 – rumbuota armatūra (Милованов 1975)

2.2. Betono ir armatūros stipris, deformacijos ir šiluminės savybės veikiant aukštai temperatūrai

2.2.1. Betono stiprumo ir deformacijų vertinimas

Paprastojo betono deformacijos, veikiant gaisro temperatūrai (Jonaitis ir Papinigis 2006):

$$\text{kai } 20^{\circ}\text{C} \leq \Theta \leq 700^{\circ}\text{C}, \quad \text{tai } \varepsilon_{c,(\Theta)} = -1,8 \cdot 10^{-4} + 9 \cdot 10^{-6} \Theta + 2,3 \cdot 10^{-11} \Theta^3, \quad (2.1)$$

$$\text{kai } 700^{\circ}\text{C} \leq \Theta \leq 1200^{\circ}\text{C}, \quad \text{tai } \varepsilon_{c,(\Theta)} = 14 \cdot 10^{-3}. \quad (2.2)$$

Lengvojo betono deformacijos, veikiant gaisro temperatūrai:

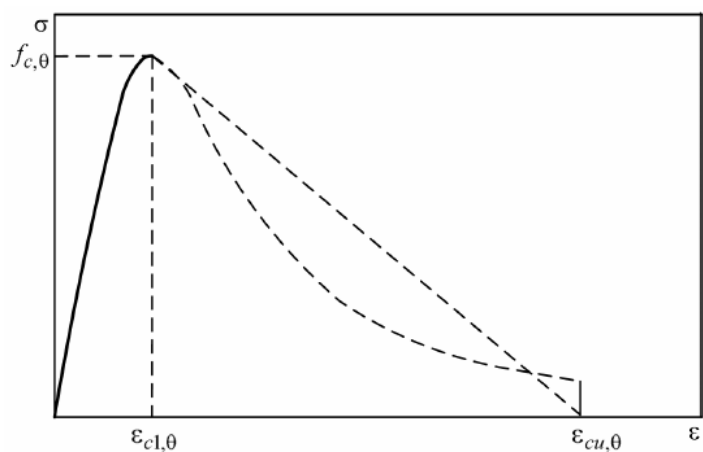
$$\text{kai } 20^{\circ}\text{C} \leq \Theta \leq 1200^{\circ}\text{C}, \quad \text{tai } \varepsilon_{c,(\Theta)} = 8 \cdot 10^{-6} (\Theta - 20), \quad (2.3)$$

čia Θ yra betono temperatūra ($^{\circ}\text{C}$). Maksimali standartinio gaisro temperatūra ant elemento paviršiaus 1250°C .

Gniuždomo betono $\sigma - \varepsilon$ priklausomybė, pateikta 2.3 paveiksle, apibūdinama dviem parametrais: gniuždomuoju stipriu $f_{ck}(\Theta)$ ir jį atitinkančia deformacija $\varepsilon_{cl(\Theta)}$.

Kiekvieno šių parametų vertės, kaip betono temperatūrų funkcija, pateikiamos rekomendacijose (LST EN 1992-1-2). Norint nustatyti tarpines temperatūrų vertes taikomas tiesinės interpoliacijos metodas. Parametrai gali būti taikomi paprastam betonui arba lengvesniems betonams, kurių tankis svyruoja nuo 1600 iki 2000 kg/m^3 .

Veikiant natūraliam gaisrui, atsižvelgiant į žemyn krintančią kreivės dalį, turi būti modifikuojamas betono įtempių ir deformacijų tarpusavio priklausomybės modelis, pateiktas 2.3 paveiksle (žr. 2.1 lent.).



Lygis	Įtempiai $\sigma(\theta)$
$\varepsilon \leq \varepsilon_{c1,\theta}$	$\frac{3\varepsilon f_{c,\theta}}{\varepsilon_{c1,\theta} \left(2 + \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_{c1,\theta}} \right)^3 \right)}$
$\varepsilon_{c1,\theta} < \varepsilon \leq \varepsilon_{cu,\theta}$	Įvertinama žemyn krintanti kreivės dalis. Galimi tiek tiesiniai, tiek netiesiniai modeliai.

2.3 pav. Gniuždomojo betono, veikiant gaisro temperatūrai, $\sigma - \varepsilon$ diagrama (Jonaitis ir Papinigis 2006)

2.1 lentelė. Įprastinio betono su kvarciniais arba silikatiniais užpildais įtempių ir santykinų deformacijų sąryšių aukštesnėje temperatūroje pagrindinių parametų reikšmės (LST EN 1992-1-2)

Betono temp. θ	Kvarciniai užpildai			Silikatiniai užpildai		
	$f_{c,\theta}/f_{ck}$	$\varepsilon_{c1,\theta}$	$\varepsilon_{cu1,\theta}$	$f_{c,\theta}/f_{ck}$	$\varepsilon_{c1,\theta}$	$\varepsilon_{cu1,\theta}$
[°C]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
1	2	3	4	5	6	7
20	1,00	0,0025	0,0200	1,00	0,0025	0,0200
100	1,00	0,0040	0,0225	1,00	0,0040	0,0225
200	0,95	0,0055	0,0250	0,97	0,0055	0,0250
300	0,85	0,0070	0,0275	0,91	0,0070	0,0275
400	0,75	0,0100	0,0300	0,85	0,0100	0,0300
500	0,60	0,0150	0,0325	0,74	0,0150	0,0325
600	0,45	0,0250	0,0350	0,60	0,0250	0,0350
700	0,30	0,0250	0,0375	0,43	0,0250	0,0375
800	0,15	0,0250	0,0400	0,27	0,0250	0,0400
900	0,08	0,0250	0,0425	0,15	0,0250	0,0425
1000	0,04	0,0250	0,0450	0,06	0,0250	0,0450
1100	0,01	0,0250	0,0475	0,02	0,0250	0,0475
1200	0,00	—	—	0,00	—	—

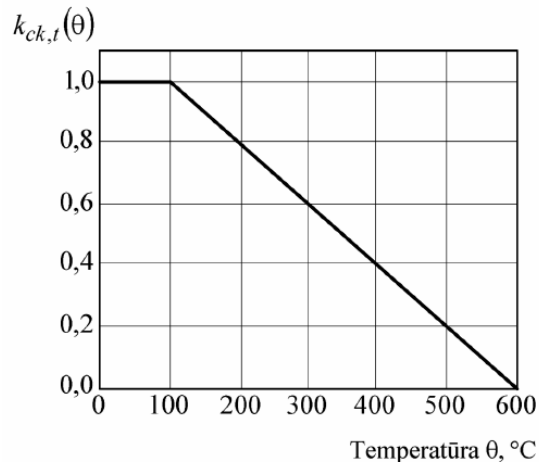
Betono tempiamo stiprio charakteristinė reikšmė nustatoma pagal tokią išraišką:

$$f_{ck,t}(\Theta) = k_{ck,t}(\Theta) f_{ck,t} \quad (2.4)$$

Kai nėra tikslesnių duomenų, turėtų būti imamos tokios $k_{ck,t(\theta)}$ reikšmės (žr. 2.4 pav.) (Jonaitis ir Papinigis 2006):

$$\text{kai } 20^{\circ}\text{C} \leq \Theta \leq 100^{\circ}\text{C}, \quad \text{tai } k_{ck,t}(\Theta) = 1,0. \quad (2.5)$$

$$\text{kai } 100^{\circ}\text{C} \leq \Theta \leq 600^{\circ}\text{C}, \quad \text{tai } k_{ck,t}(\Theta) = 1,0 - 1,0 \cdot (\Theta - 100) / 500. \quad (2.6)$$



2.4 pav. Betono tempiamojo stiprio sumažinimo koeficiento $k_{ck,t}(\Theta)$ priklausomybė nuo gaisro temperatūros (Jonaitis ir Papinigis 2006)

2.2.2. Betono šiluminių savybių vertinimas

Kaistant betonui laisvasis ir chemiškai surištas vanduo išgaruoja, betono masė sumažėja, tačiau šis faktorius nėra pakankamai reikšmingas, kad sukeltų esminius betono tūrinio svorio pokyčius, todėl jis gali būti pakankamai tiksliai nustatytas perskaičiuojant normines reikšmes (Purkis 2007). Pagal Jonaitį ir Papinigį (2006) bei LST EN 1992-1-2 rekomenduojama kintant temperatūrai betono tankį perskaičiuoti pagal tokias priklausomybes:

$$\text{kai } 20^{\circ}\text{C} \leq \Theta \leq 115^{\circ}\text{C}, \quad \text{tai } \rho(\Theta) = \rho(20^{\circ}), \quad (2.7)$$

$$\text{kai } 115^{\circ}\text{C} \leq \Theta \leq 200^{\circ}\text{C}, \quad \text{tai } \rho(\Theta) = \rho(20^{\circ}) \left(1 - 0,02 \left(\frac{\Theta - 115}{85} \right) \right), \quad (2.8)$$

$$\text{kai } 200^{\circ}\text{C} \leq \Theta \leq 400^{\circ}\text{C}, \quad \text{tai } \rho(\Theta) = \rho(20^{\circ}) \left(0,98 - 0,03 \left(\frac{\Theta - 200}{200} \right) \right), \quad (2.9)$$

$$\text{kai } 400^{\circ}\text{C} \leq \Theta \leq 1200^{\circ}\text{C}, \quad \text{tai } \rho(\Theta) = \rho(20^{\circ}) \left(0,95 - 0,07 \left(\frac{\Theta - 400}{800} \right) \right), \quad (2.10)$$

čia $\rho(20^{\circ})$ - betono tankio norminė reikšmė.

Statybiniuose skaičiavimuose betono tankio norminė reikšmė turi būti paimta visame temperatūrų intervale.

Betono specifinė šiluma kinta didėjant temperatūrai ir priklauso nuo betono užpildų rūšies. Specifinė šiluma – tai energijos kiekis, reikalingas medžiagos 1kg temperatūrą pakelti 1 $^{\circ}\text{C}$ (1K).

Sauso normalaus svorio betono specifinė šiluma (silicio ar kalcio užpildai) (J/kgK) pagal Dhir *et al.* (2008) ir LST EN 1992-1-2 apskaičiuojama pagal šias išraiškas:

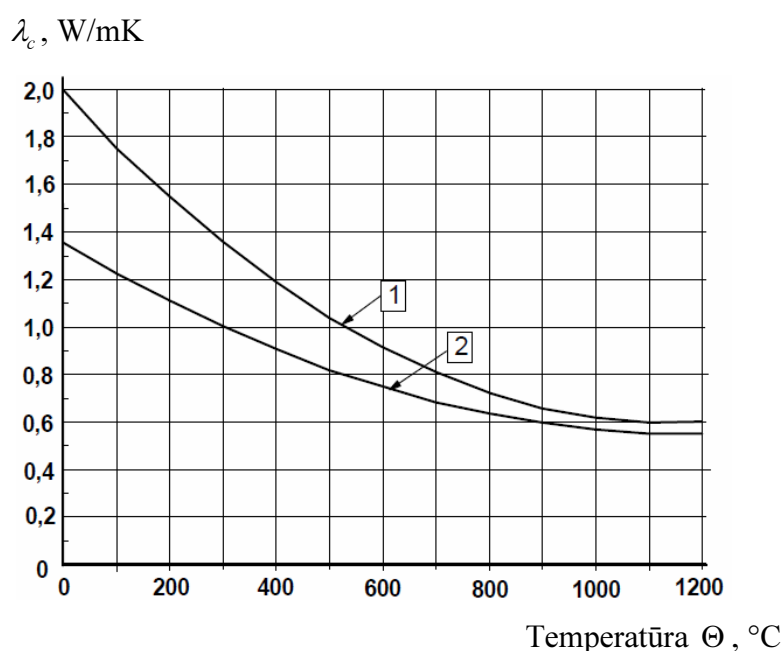
$$\text{kai } 20^{\circ}\text{C} \leq \Theta \leq 100^{\circ}\text{C}, \quad \text{tai } c_p(\Theta) = 900, \quad (2.11)$$

$$\text{kai } 100^{\circ}\text{C} \leq \Theta \leq 200^{\circ}\text{C}, \quad \text{tai } c_p(\Theta) = 900 + (\Theta - 100), \quad (2.12)$$

$$\text{kai } 200^{\circ}\text{C} \leq \Theta \leq 400^{\circ}\text{C}, \quad \text{tai } c_p(\Theta) = 1000 + \frac{\Theta - 200}{2}, \quad (2.13)$$

$$\text{kai } 400^{\circ}\text{C} \leq \Theta \leq 1200^{\circ}\text{C}, \quad \text{tai } c_p(\Theta) = 1100. \quad (2.14)$$

Betono šilumos laidis λ_c gali būti nustatomas tarp apatinės ir viršutinės ribinių reikšmių (žr. 2.5 pav.).



2.5 pav. Betono šilumos laidis: 1 – viršutinė riba; 2 – apatinė riba (LST EN 1992-1-2)

Viršutinė įprastinio betono šilumos laidžio λ_c (W/mK), atsižvelgiant į gaisro temperatūrą, riba gali būti nustatoma taip:

$$\text{kai } 20^{\circ}\text{C} \leq \Theta \leq 1200^{\circ}\text{C}, \quad \text{tai } \lambda_c = 2 - 0,2451(\Theta - 100) + 0,0107(\Theta/100)^2, \quad (2.15)$$

čia Θ - betono temperatūra (°C).

Apatinė įprastinio betono šilumos laidžio λ_c (W/mK), atsižvelgiant į gaisro temperatūrą, riba gali būti nustatoma taip:

$$\text{kai } 20^{\circ}\text{C} \leq \Theta \leq 1200^{\circ}\text{C}, \quad \text{tai } \lambda_c = 1,36 - 0,136(\Theta/100) + 0,0057(\Theta/100)^2, \quad (2.16)$$

čia Θ - betono temperatūra (°C).

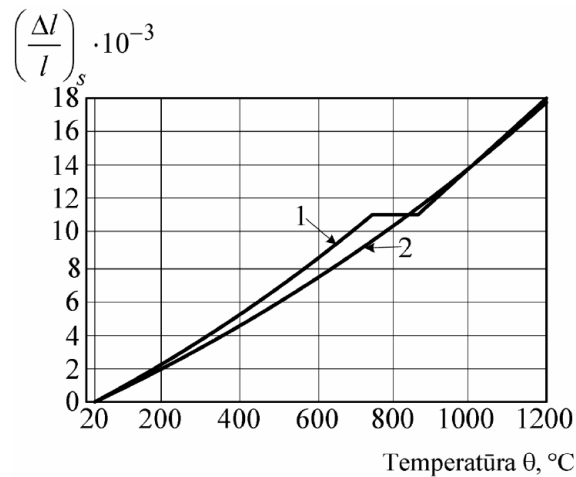
2.2.3. Armatūros stiprumo ir deformatyvumo vertinimas

Armatūrinio plieno stiprio ir deformacijų savybės, veikiant gaisro temperatūrai, pavaizduotos 2.7 paveiksle (žr. 2.2, 2.3 lent.).

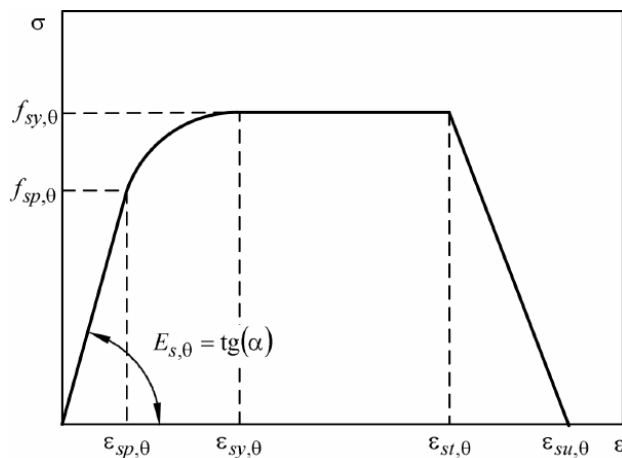
Armatūrinio plieno priklausomybė $\sigma - \varepsilon$ charakterizuojama trimis parametrais: tamprumo moduliu $E_{s,\theta}$, proporcingumo riba $f_{sp,\theta}$, ribiniais įtempiais $f_{yp,\theta}$.

Įtemptosios armatūros stiprio ir deformacijų savybės, veikiant gaisro temperatūrai, apskaičiuojamos taikant tą patį matematinį modelį kaip armatūriniam plienui.

Plieno deformacijos dėl temperatūros poveikio $\varepsilon_{s,\theta}$, kai standartinė aplinkos temperatūra yra 20 °C, gali būti nustatytos taikant 2.6 paveiksle pateiktus plieno deformacijų priklausomybės nuo gaisro temperatūros grafikus.



2.6 pav. Plieno temperatūrinių deformacijų grafikas: 1 – armatūrinis plienas; 2 – įtemptoji armatūra (Jonaitis ir Papinigis 2006)



2.7 pav. Paprastosios ir įtemptosios armatūros $\sigma - \varepsilon$ diagrama veikiant gaisro temperatūrai (įtemptoji armatūra vietoje „s“ žymima „p“) (Jonaitis ir Papinigis 2006)

2.2 lentelė. Plieno matematinis modelis veikiant gaisro temperatūrai (įtemptoji armatūra vietoje „s“ žymima „p“) (Jonaitis ir Papinigis 2006)

Lygis	Įtempiai	Tamprumo modulis
$\varepsilon < \varepsilon_{sp,\theta}$	$\varepsilon E_{s,\theta}$	$E_{s,\theta}$
$\varepsilon_{sp,\theta} \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{sy,\theta}$	$f_{sp,\theta} - c + (b/a)[a^2 - (\varepsilon_{sy,\theta} - \varepsilon)^2]^{0,5}$	$\frac{b(\varepsilon_{sy,\theta} - \varepsilon)}{a[a^2 - (\varepsilon - \varepsilon_{sp,\theta})^2]^{0,5}}$
$\varepsilon_{sy,\theta} < \varepsilon < \varepsilon_{st,\theta}$	$f_{sy,\theta}$	0
$\varepsilon_{st,\theta} \leq \varepsilon < \varepsilon_{su,\theta}$	$f_{sy,\theta} [1 - (\varepsilon - \varepsilon_{t,\theta}) / (\varepsilon_{u,\theta} - \varepsilon_{t,\theta})]$	–
$\varepsilon = \varepsilon_{su,\theta}$	0,00	–
Parametrai	$\varepsilon_{sp,f} = f_{sp,\theta} / E_{s,\theta}$, $\varepsilon_{sy,\theta} = 0,02$, $\varepsilon_{st,\theta} = 0,15$, $\varepsilon_{su,\theta} = 0,20$	
Lygtis	$a^2 = (\varepsilon_{sy,\theta} - \varepsilon_{sp,\theta})(\varepsilon_{sy,\theta} - \varepsilon_{sp,\theta} + c/E_{s,\theta}); \quad b^2 = c(\varepsilon_{sy,\theta} - \varepsilon_{sp,\theta})E_{s,\theta} + c^2$ $c = \frac{(f_{sy,\theta} - f_{sp,\theta})^2}{(\varepsilon_{sy,\theta} - \varepsilon_{sp,\theta})E_{s,\theta} - 2(f_{sy,\theta} - f_{sp,\theta})}$	

2.3 lentelė. Karštai valcuotos ir šaltai apdorotos armatūros įtempių ir santykinų deformacijų sąryšių aukštesnėje temperatūroje parametų N klasės reikšmės (LST EN 1992-1-2)

Plieno temperatūra θ [°C]	$f_{sy,\theta}/f_{yk}$		$f_{sp,\theta}/f_{yk}$		$E_{s,\theta}/E_s$	
	karštai valcuota	šaltai apdorota	karštai valcuota	šaltai apdorota	karštai valcuota	šaltai apdorota
1	2	3	4	5	6	7
20	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
100	1,00	1,00	1,00	0,96	1,00	1,00
200	1,00	1,00	0,81	0,92	0,90	0,87
300	1,00	1,00	0,61	0,81	0,80	0,72
400	1,00	0,94	0,42	0,63	0,70	0,56
500	0,78	0,67	0,36	0,44	0,60	0,40
600	0,47	0,40	0,18	0,26	0,31	0,24
700	0,23	0,12	0,07	0,08	0,13	0,08
800	0,11	0,11	0,05	0,06	0,09	0,06
900	0,06	0,08	0,04	0,05	0,07	0,05
1 000	0,04	0,05	0,02	0,03	0,04	0,03
1 100	0,02	0,03	0,01	0,02	0,02	0,02
1 200	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

2.3. Išvados

Kylant kaitinimo temperatūrai armatūriniame pliene keičiasi jo stiprumo savybės, mažėja tamprumo modulis, didėja temperatūrinės deformacijos ir įtempių relaksacija. Didėjant kaitinimo temperatūrai mažėja armatūrinio plieno tamprumo modulis. Plieno deformacijos, sukeltos tamprumo modulio mažėjimo ir temperatūrinio valkšnumo, negrįžtamos.

Betone kaitinimo metu pasikeičia užpildų ir cementinio akmens savybės, atsiranda skirtingos temperatūrinės deformacijos, keičiasi betono įtempių būvis ir kiti faktoriai.

Didžiausią įtaką konstrukcijų atsparumui ugniai turi bendras gelžbetonio komponentų (betono ir armatūros) darbas. Norint šį darbą išlaikyti kuo ilgesniam laikui, būtina užtikrinti pakankamą apsauginio betono sluoksnio storį. Aukštos temperatūros įtaka atskirų gelžbetoninės konstrukcijos komponentų (betonui ir armatūrai) stipriui ir deformatyvumui nevienoda.

3. GELŽBETONINĖS KOLONOS GAISRO METU IR PO JO

3.1. Gelžbetoninių kolonų elgsena aukštoje temperatūroje

Gniuždomų gelžbetoninių kolonų elgsena gaisro atveju, veikiant trumpiems aukštos temperatūros poveikiams, priklauso nuo karščio (apdegimo) schemos ir kolonos skerspjūvio dydžio, užpildo rūšies ir betono stiprumo, išorinės apkrovos dydžio ir jos pridėjimo ekscentriciteto, armavimo koeficiento ir efektyvaus apsauginio betono sluoksnio darbo.

Kaitinimo metu kolonos skerspjūvyje matomas temperatūros šuolis 800 – 1000 °C. Bendras betono stiprumas kolonos skerspjūvyje keičiasi dėl pradinio neįkaitusio betono kiekio temperatūrai svyruojant nuo 20 °C iki 0 °C ir nuo 700 °C ir didesnės. Dėl nevienodai pasiskirstančio karščio kolonos skerspjūvyje vyksta įtempimų persiskirstymas.

Temperatūriniai įtempiai didėja didėjant temperatūros šuoliui tarp vidurinės kolonos skerspjūvio dalies ir karščio veikiamo paviršiaus. Tai vyksta pradinėje gaisro stadijoje (nuo užsidegimo momento praėjus 20-30 min). Pradiniu bandymu ugnimi stebimas kolonos pailgėjimas. Po pradinio karščio poveikio, t.y. po 5 – 10 min, kolonos galuose atsiranda plyšiai. Po 15 – 20 min atšoka nedideli apsauginio betono sluoksnio gabaliukai ir toliau kolonos paviršiuje didėja plyšiai. Pradinėje gaisro stadijoje kolonos pastovumas nemažėja, todėl, kad kolonos skerspjūvis lieka nepaveiktas gaisro ir vidurinėje dalyje kolona šiek tiek nukraunama.

Toliau plintant gaisrui apsauginis betono sluoksnis įkaista iki 600 – 800 °C. Esant tokiai temperatūrai mažėja betono ir armatūros stipruminės ir deformacinės savybės. Kolonos skerspjūvyje mažėja temperatūriniai įtempiai. Labiausiai įkaitusios betono sritys ir darbo armatūra kolonos paviršiuje nusikrauna dėl temperatūrinio plitimo, nuosėdžio, stiprumo sumažėjimo ir deformatyvumo. Tai sukelia įtempimų padidėjimą kolonos skerspjūvio centre, todėl, kad silpnai įkaitęs betono sluoksnis išsaugo stiprumą ir tamprumą.

Po 1 - 1,5 val gaisro poveikio kolonos pradeda trumpėti. Po 2 – 3 val gaisro paveiktų kolonų aukštis apytiksliai tampa lygus apkrautų stovų, iki karščio poveikio, aukščiui. Išsiplėtusio gaisro stadijoje išorinis betono sluoksnis ir darbo armatūra įkaista iki didesnės nei 600 °C temperatūros, praranda stiprumą ir praktiškai elementas nebedalyvauja tolimesniame darbe. Gelžbetoninės ir betoninės kolonos elgsena yra vienoda. Toliau vyksta dar intensyvesnis pleišėjimas

ir apsauginio betono sluoksnio atšokimas. Kolonose su lanksčia armatūra ir spaustuvais šis procesas pasireiškia kampuose, mažiau jis išplinta viduriniuose armatūros strypuose. Kolonose su šalutine armatūra iš spiralių ir žiedų apsauginis sluoksnis atšoka visu storiu per visą elemento perimetrą. Vietomis didinamas darbo armatūros ir spaustuvų kiekis. Apnuoginti strypai įkaista iki raudonumo ir išlinksta į išorę. Armatūrai praradus 90 – 95 % stiprumo ir dėl didelio atraminio skerspjuvio sumažėjimo, veikiant išorinei apkrovai, įtempiai kolonos branduolyje padidėja. Kolonos trumpėja vis greičiau iki tol kol suyra.

Apsauginio betono sluoksnio storio padidinimas nuo 0 iki 3,3 cm nedaro įtakos kolonos atsparumui ugniai. Apsauginio betono sluoksnio storio padidinimas iki 5 cm padidina atsparumą ugniai tik iki 4 %. Laikoma, kad kolonos atsparumo ugniai laikas nepriklauso nuo apsauginio betono sluoksnio storio iki darbo armatūros.

Praktikoje didelį poveikį gelžbetoninėms kolonoms daro apsauginio betono sluoksnio patikimumas gaisro atveju.

Pavojus, kad atšoks apsauginis betono sluoksnis atsiranda pradinio gaisro periodu, kai skerspjuvio paviršiuje atsiranda dideli gniuždymo įtempiai. Jei šiuo periodu atšoka apsauginis betono sluoksnis, vadinasi, netgi masyvių kolonų faktinis (bendras) ugniaatsparumas daug mažesnis už projektinį. Kad būtų užtikrintas reikiamas atsparumas ugniai reikia pasiekti, kad veikiant karščiui kartu dirbtų kolonos skerspjuvio branduolys ir apsauginis betono sluoksnis. Patikimiausias būdas sudaryti tokias sąlygas – įdėti sietelį iš vielos tarp darbo armatūros ir kolonos paviršiaus (apsauginiam betono sluoksnyje). Panašus efektas pasiekiamas visu kolonos skerspjuviu įdedant šalutinę sietelio pavidalo armatūrą.

Tiriant gelžbetonines konstrukcijas paveiktas natūralaus gaisro nustatyta, kad apsauginis betono sluoksnis ne visada atšoka. Dažniausiai šis reiškinys pastebimas gniuždomuose elementuose, pagamintuose iš sunkiojo betono su granito ir kvarcito užpildais. Tikimybė, kad atšoks apsauginis betono sluoksnis sumažinama naudojant klintis, keramzitą kaip užpildą.

Duomenų apie daromą poveikį kolonos atsparumui ugniai, jos galų įtvirtinimui ir lankstumui nėra. Žinoma, kad šie parametrai veikia gaisro metu gniuždomus stovus. Standžiai įtvirtintoje kolonoje, dėl to, kad suvaržytas judėjimas, atsiranda papildomi temperatūriniai įtempiai.

Gniuždomų gelžbetoninių elementų atsparumas ugniai žymiai padidėja, kai padidinamas atraminis skerspjuvis ir jo apdegimo modulis. Tai paaiškinama kritinės betono temperatūros padidėjimu.

Kolonų suirimas apibūdinamas apsauginio betono sluoksnio atšokimu, lenkiamąja darbo armatūra ir betono susiskaidymu skerspjuvio branduolyje. Centriškai apkrauti pastovaus skerspjuvio elementai, veikiami ugnies, suyra viršutiniam kolonos ketvirtadalyje. Veikiamų gaisro nepastovaus skerspjuvio kolonų labiau pažeidžiamos virš krano esančios dalys. Pastato kraštinės

eilės stovams kolonų irimas vyksta pokraninės ir virš krano esančios kolonos dalies sujungimo lygyje. Virš krano esančios kolonos dalys nukrypsta nuo vertikalės iki 10 cm ir daugiau, tai yra ant jų besiremiančių kitų konstrukcijų žymių temperatūrinių pokyčių rezultatas.

Dviejų aukštų kolonos pasiekia tam tikrą vienos šakos suirimo stadiją. Dviejų skerspjūvių kolona netenka laikomosios galios, dėl pastovumo netekimo į mažesnio skerspjūvio inercijos momento pusę.

Gelžbetoninių kolonų su išilgine lanksčia ir šalutine armatūra irimas šiek tiek skiriasi nuo elementų, armuotų tik išilgine armatūra, irimo pobūdžio. Kolonų su šalutine armatūra ribinio būvio atsiradimas charakterizuojamas ne išilginės darbo armatūros lenkimu, bet plastiniu bandinių tekėjimu. Kolonos skerspjūvio 30 x 30 cm su šalutiniu armavimu betono įkaitimo greitis per 2,5 val toks pat kaip ir elementuose su lanksčia armatūra. Vis tik vėliau jis išauga ir kolonos su šalutiniu armavimu suirimo metu skerspjūvio branduolys įkaista iki 450 – 550 °C (elementai su lanksčia armatūra įkaista iki 150 °C). Esant 350 cm ilgiui kolonos su netiesioginiu armavimu išilginės deformacijos sutrumpėjimas sudaro 3 – 4 cm, kolonos su išilgine armatūra ir griebtuvais – 0,6 cm. Armatūrinių sietelių buvimas (skylės dydis 70 x 70 mm, $d_0=6$ mm, žingsnis 80 mm, $\mu_k = 1,21$ %) didina betono atsparumą gniuždymui. Kritinė betono temperatūra branduolio skerspjūvio krašte išauga 1,25 - 1,3 karto. Esant tokiam atsparumo ugniai veikimo pobūdžiui netiesioginio armavimo elementams temperatūra išauga 1,5 – 2 kartus didesnė nei kolonose su lanksčia armatūra. Lanksčiose (lenkiamose) kolonose ($\lambda_n > 12$) ir didelių ekscentricitetų (pirmas gniuždymo atvejis) atveju netiesioginis armavimas praranda efektyvumą.

Centriškai apkrautos kolonos, kurios yra kaitinamos iš dviejų ar trijų pusių, dirba kaip necentriškai gniuždomos su ekscentricitetu didesniu nei atsitiktinis ekscentricitetas. Necentriškai gniuždomų kolonų elgsena priklauso nuo gniuždymo atvejo ir kaitinamo skerspjūvio schemas. Kolonų, dirbančių pagal pirmą gniuždymo atvejį, elgsena panaši į lenkiamų elementų elgseną. Tokių kolonų atsparumo ugniai riba charakterizuojama ištemptos armatūros įkaitimo laiku iki kritinės temperatūros. Įkaitimo laikas nustatomas pagal apsauginio betono sluoksnio storį ir jo šilumos technines savybes.

Kolonų dirbančių pagal antrą gniuždymo atvejį elgsena analogiška centriškai apkrauto elemento elgsenai. Kolonos skerspjūvio branduolys, įkaitęs iki kritinės temperatūros, nuolat mažėja. Pasiekus kritinį skerspjūvio plotą įvyksta trapus kolonos suirimas (Ильин 1979).

3.2. Būdingiausi gelžbetoninių kolonų pažeidimai dėl aukštos temperatūros

Tipiniai gelžbetoninių kolonų pažeidimai dėl aukštos temperatūros (Ильин 1983):

1. chaotiškas temperatūrinių – sėdimo plyšių išsidėstymas, pleišėjimas;

2. temperatūriniai plyšiai išilgai armatūros (nekiaurai);
3. elemento skerspjūvio dalies suardymas įkaitinus jį iki aukštesnės temperatūros nei betono kritinė temperatūra;
4. apsauginio betono sluoksnio atsisluoksniavimas;
5. elementų paviršių betono sprogstamasis suirimas;
6. plyšiai kertantys visą elementą, betono atšokimas;
7. perkaitusio betono stipruminių ir deformacinių charakteristikų kitimas;
8. armatūrinio plieno, įkaitinto iki aukštos temperatūros, mechaninių savybių pakitimas;
9. betono ir armatūros ugnies erozijos pėdsakai.

4. GELŽBETONINIŲ KONSTRUKCIJŲ ATSPARUMAS UGNIAI

4.1. Atsparumo ugniai projektavimas

Konstrukcijų atsparumas ugniai yra nustatomas norminiais dokumentais, standartais, direktyvomis. Yra keturi pagrindiniai reikalavimai, kurie turi būti įvykdyti, kad pastatas būtų saugus (Dhir *et al.* 2008):

1. konstrukcija turi neprarasti laikančiosios galios;
2. apsaugoti žmones nuo kenksmingų dūmų ir dujų;
3. apsaugoti žmones nuo karščio;
4. netrukdyti ugniagesių darbui.

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

4.2. Skaičiavimo principai

Nagrinėjamos konstrukcinės sistemos modelis turi perteikti tą konstrukcijos būseną, kuri prognozuojama gaisro metu. Gelžbetoninių konstrukcijų atsparumas ugniai nustatomas taikant vieną iš alternatyvų: elemento skaičiavimo, konstrukcijos dalies skaičiavimo, visos konstrukcijos

skaičiavimo (Dhir *et al.* 2008 ir LST EN 1992-1-2). Atitinkamai gaisro poveikio trukmei skaičiavimais turi būti patvirtinta, kad

$$E_{d,fi} \leq R_{d,t,fi}, \quad (4.1)$$

čia $E_{d,fi}$ - skaičiuotinis poveikio efektas, įvertinant plėtimosi dėl šilumos ir deformacijų poveikius;

$R_{d,t,fi}$ - skaičiuotinė atlaikymo funkcija, veikiant gaisrui pasirinktu laiko momentu t .

Elemento skaičiavimas. Kaip alternatyva konstrukcijos daliai skaičiuoti kilus gaisrui, kai laikas $t=0$, skaičiuojamas elementas. Skaičiuotinis poveikio efektas veikiant gaisro temperatūrai:

$$E_{d,fi} = \eta_{fi} \cdot E_d, \quad (4.2)$$

čia E_d - skaičiuotinis poveikio efektas, veikiant normaliai temperatūrai;

η_{fi} - koeficientas, kuriuo sumažinamos apkrovos kilus gaisrui (žr. 4.1 pav.). Pagal (STR 2.05.11:2005) šis koeficientas skaičiuojamas taip:

$$\eta_{fi} = \frac{1,0 + \psi_{1,i}\xi}{\gamma_G + \gamma_Q\xi}, \quad (4.3)$$

čia $\xi = Q_{K,i} / G_k$ - kintamųjų ir nuolatinių poveikių santykis;

$\psi_{1,i}$ - dažnų arba tariamai nuolatinių poveikių verčių derinio koeficientas;

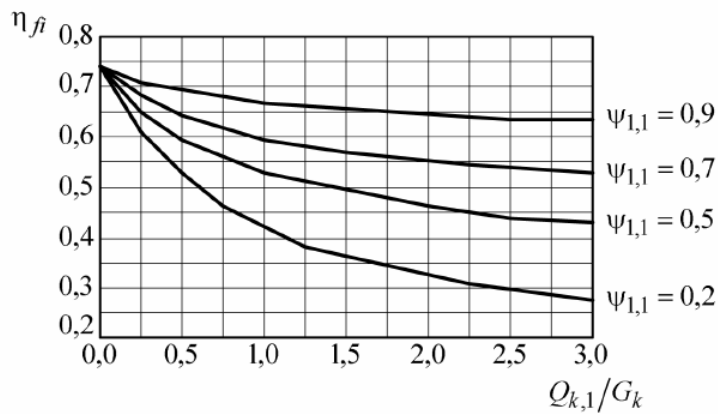
γ_G - nuolatinio poveikio dalinis koeficientas;

γ_Q - kintamo poveikio dalinis koeficientas (STR 2.01.04:2004).

Skaičiuojant galima imti $\eta_{fi} = 0,7$ su prielaida, kad visą gaisro temperatūros poveikio laiką įtvirtinimo sąlygos atramose ir konstrukcijų galuose išlieka nepakitusios.

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

Konstrukcijų dalies skaičiavimas. Kaip alternatyva visos konstrukcijos analizei, kilus gaisrui, kai laikas $t=0$, konstrukcijos poveikių efektai gali būti apskaičiuojami taikant konstrukcijos dalies analizės metodą, veikiant įprastai temperatūrai. Ta konstrukcijos dalis, kurios analizė bus atliekama, turi būti modeliuojama remiantis galimu jos šiluminiu plėtimusi ir deformacijomis. Analizuojant tam tikrą konstrukcijos dalį, kaip ir skaičiuojant visą konstrukciją, būtina atsižvelgti į jos irties pobūdį dėl gaisro poveikio, nuo temperatūros priklausančias medžiagos savybes, konstrukcijos dalies standumą, šiluminio plėtimosi ir deformacijų poveikius (netiesioginius gaisro poveikius). Laikoma, kad įtvirtinimo sąlygos atramose ir konstrukcijos poveikių efektai, kai laikas $t=0$, išlieka nepakitę per visą ugnies poveikio laiką.



4.1 pav. Koefficiento η_{fi} priklausomybė nuo apkrovų santykio $Q_{k,1} / G_k$, esant $\gamma_{GA} = 1,0$, $\gamma_G = 1,35$ ir $\gamma_Q = 1,5$ (Jonaitis ir Papinigis 2006)

Visos konstrukcijos skaičiavimas. Skaičiuojant visą konstrukciją, kilus gaisrui, būtina atsižvelgti į atitinkamą konstrukcijos irties dėl gaisro veikimo pobūdį, nuo temperatūros priklausančias medžiagų savybes, konstrukcijos elementų standumą, taip pat šiluminio plėtimosi ir deformacijų poveikį (netiesioginį gaisro poveikį).

4.3. Konstrukcijų atsparumo ugniai skaičiavimo metodai

4.3.1. Projektavimas pagal lentelių duomenis

Elementams skaičiuoti, veikiant gaisro temperatūroms, taikomi alternatyvūs konstrukcijų skaičiavimo metodai: taikant lentelių duomenis – tai detalizavimas pagal pripažintus skaičiavimo metodus, kai duomenys pateikiami lentelėse; paprastieji skaičiavimo metodai taikomi tik tam tikriems konstrukciniams elementams, veikiant tik lenkimo momentams ir ašinėms jėgoms (dėl sukimo ir šlyties vis dar vyksta diskusijos); bendrieji skaičiavimo metodai modeliuoja elementų, konstrukcijos dalių ar visos konstrukcijos elgseną, veikiant gaisro temperatūroms (STR 2.05.11:2005 ir LST EN 1992-1-1).

Reikia imtis priemonių, kad būtų išvengta betono atskilimo ir atsižvelgti į betono atskilimo poveikį naudojimo reikalavimams R ir (arba) EI. Būtina įvertinti elementų, armuotų įtemptąja armatūra, iš lynų tolydžios irties riziką, galinčią kilti dėl per didelio plieno plėtimosi, veikiant temperatūrai, taip pat privalu imtis ypatingų priemonių standaus įtvirtinimo vietoms apsaugoti nuo temperatūros poveikio.

Lentelių duomenys. Lentelės sudarytos empirikai, patvirtintos patirtimi ir teoriniais atliktų bandymų vertinimais. Skaičiavimai taikomi standartiniam gaisrui iki 240 minučių. Lentelėse pateikti duomenys taikomi paprastam betonui (nuo 2000 iki 2600 kg/m^3), pagamintam su

normaliais užpildais. Kai sijose ir plokštėse naudojamas betonas su kalkakmenio užpildais, minimalūs jo skerspjūvio matmenys arba armatūros centro atstumas iki skerspjūvio krašto a turėtų būti mažinami 10 %. Šutinto betono su lengvaisiais užpildais, kurio tankis iki 1200 kg/m^3 ir 2000 kg/m^3 , galima taikyti tiesinės interpoliacijos metodą.

Kai naudojamos lentelių duomenimis, nereikalaujama atlikti jokių tolesnių šlyties ir sukimosi gebos, taip pat inkarinio įtvirtinimo elementų skaičiavimų, taip pat nereikalaujama atlikti jokių tolesnių atskilimo tyrimų, išskyrus paviršiaus armatūros. Sandarumo E ir izoliavimo I savybės yra tinkamos, kai sienų storis yra ne mažesnis už pateiktą lentelėse (Jonaitis ir Papinigis 2006).

Įvykdžius mažiausiųjų skerspjūvio matmenų ir armatūros centro atstumo iki skerspjūvio krašto reikalavimus, nustatytus lentelėse, atlaikymo funkcija R bus pakankama ir galios sąlyga (4.1).

Lentelių duomenys pagrįsti skaičiuojamosios apkrovos lygio sumažėjimo veiksnium, kilus gaisrui, $\eta_{fi} = 0,7$, nebent atitinkamuose punktuose būtų numatyta kitaip.

4.1 lentelė. Stačiakampio ir apvaliojo skerspjūvio gelžbetoninių kolonų mažiausieji matmenys ir armatūros centro atstumas a (STR 2.05.11:2005)

Standartinis atsparumas ugniai	Mažiausieji matmenys (mm) Kolonos plotis b_{min} /atstumas a			
	Kolonos, kurių daugiau kaip vienas šonas gali būti veikiamas gaisro			Gaisro veikiamas vienas šonas
	$\mu_n = 0,2$	$\mu_n = 0,5$	$\mu_n = 0,7$	$\mu_n = 0,7$
1	2	3	4	5
R 30	150/10*	150/10*	150/10*	100/10*
R 60	150/10*	180/10*	200/10*	120/10*
R 90	180/10*	210/10*	240/35	140/10*
R 120	200/40	250/40	280/40	160/45
R 180	240/50	320/50	360/50	200/60
R 240	300/50	400/50	450/50	300/60

*Apsauginio betono sluoksnio storis parenkamas pagal STR 2.05.05:2005.

4.1 lentelės 5 skiltyje pateikto matmens b_{min} reikšmės tinka kolonom, kurių gaisro veikiamas paviršius yra to paties atsparumo ugniai sienos plokštumoje. Šis matmuo taip pat taikomas iš dalies išsikišusioms iš sienos kolonom, jeigu jų skerspjūvio dalis, esanti sienoje, gali laikyti visą apkrovą (LST EN 1992-1-2).

4.3.2. Projektavimas pagal paprastuosius skaičiavimo metodus

Paprastuoju skaičiavimo modeliu nustatoma kaitinamojo skerspjūvio laikomoji geba. Šis metodas tinka konstrukcijoms, paveiktoms standartinio gaisro iki didžiausiosios gaisro temperatūros. Metodas taip pat tinka skaičiuoti laikomajai gebai pasirinktuoju laiko momentu bet

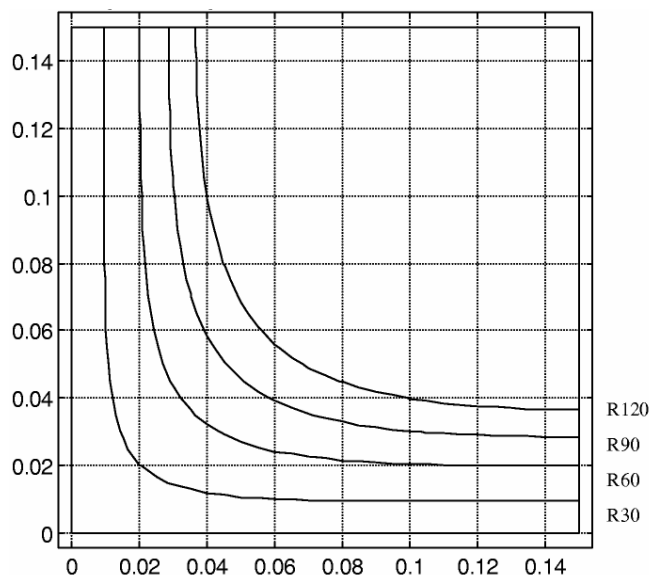
kokio kito gaisro atveju, jeigu temperatūrų laukai, atitinkantys tą laiko momentą, yra žinomi arba apskaičiuoti, o medžiagų savybės yra žinomos (STR 2.05.11:2005 ir LST EN 1992-1-2).

Iš pradžių nustatomi temperatūrų laukai skerspjūviuose, tada sumažinamas skerspjūvis, betono ir armatūros stipris, tamprumo modulis ir galiausiai apskaičiuojama laikomoji geba, įvertinant sumažintą skerspjūvį, vadovaujantis LST EN 1992-1-1 reikalavimais. Elementai turi būti sukonstruoti taip, kad neatplyštų apsauginis betono sluoksnis, elemento suirimo dėl betono sprogo, armatūros inkaravimo pažeidimo arba nepakankamos gebos sukimo momentui atlaikyti tikimybė būtų mažesnė, negu suirimo dėl lenkimo momento, skersinės arba išilginės jėgos veikimo.

Gaisro veikiamose gelžbetoninėse konstrukcijose temperatūrų pasiskirstymas gali būti nustatomas bandymais arba skaičiavimais.

4.3.3. 500 °C izotermės metodas

500 °C izotermės metodas. Ši izotermė yra kreivė, parodanti nuo kurios vietos elemento skerspjūvis bus įkaitęs iki 500 °C (žr. 4.2 pav.). Taikant šį metodą daromos tokios prielaidos: elemento skerspjūvio dalis nuo 500 °C izotermės link krašto nevertinama, t.y. laikoma, kad betonas praradęs visą stiprį; vidinis betono skerspjūvis, ribojamas izotermės, yra išlaikęs visą savo stiprį. Kitaip sakant, pažeistas betonas laikomas nebedidinančiu elemento laikomosios galios, o likęs skerspjūvis išlaiko pirmines savo stiprumo ir standumo savybes (LST EN 1992-1-2).



4.2 pav. Kolonos, kurios skerspjūvis $hxb = 0,3 \times 0,3$ m, 500 °C izotermės (STR 2.05.11:2005)

Daroma prielaida, kad pažeistas betono storis prilyginamas 500 °C izotermės gyliui. Apvalūs izotermės kampai gali būti nevertinami, aproksimuojant tikrąją izotermės formą į stačiakampį. Skaičiavimo šiuo metodu eiga yra tokia:

1. skaičiuojama ugnies poveikio – standartinio arba parametrinio gaisro 500 °C izotermė;
 2. nustatomas naujas skerspjūvio plotas, atmetant pažeistas zonas;
 3. nustatoma gniuždomos ir tempiamos zonos armatūros strypų temperatūra;
 4. suskaičiuojamas dėl temperatūros poveikio sumažėjęs armatūros stipris, pagal (4.4) – (4.14) išraiškose pateiktas priklausomybės;
 5. pagal LST EN 1992-1-1 reikalavimus skaičiuojama skerspjūvio likutinė laikomoji galia
- Skaičiavimai atliekami tariant, kad (STR 2.05.11:2005, LST EN 1992-1-2 ir Purkis 2007):

1. Betonas 500 °C izotermėje lieka nepaveiktas karščio.
2. Stiprio redukavimo koeficientai (priimant N klasę) yra:
 - Gniuždomos armatūros stiprio redukavimo koeficientas $k_s(\Theta)$ skaičiuojamas pagal priklausomybes (Purkis 2007, LST EN 1992-1-2):

$$\text{kai } 20^{\circ}\text{C} \leq \Theta \leq 100^{\circ}\text{C}, \quad \text{tai } k_s(\Theta) = 1,0, \quad (4.4)$$

$$\text{kai } 100^{\circ}\text{C} \leq \Theta \leq 400^{\circ}\text{C}, \quad \text{tai } k_s(\Theta) = 0,7 - 0,3 \left(\frac{\Theta - 400}{300} \right), \quad (4.5)$$

$$\text{kai } 400^{\circ}\text{C} \leq \Theta \leq 500^{\circ}\text{C}, \quad \text{tai } k_s(\Theta) = 0,57 - 0,13 \left(\frac{\Theta - 500}{100} \right), \quad (4.6)$$

$$\text{kai } 500^{\circ}\text{C} \leq \Theta \leq 700^{\circ}\text{C}, \quad \text{tai } k_s(\Theta) = 0,1 - 0,47 \left(\frac{\Theta - 700}{200} \right), \quad (4.7)$$

$$\text{kai } 700^{\circ}\text{C} \leq \Theta \leq 1200^{\circ}\text{C}, \quad \text{tai } k_s(\Theta) = 0,1 \left(\frac{1200 - \Theta}{500} \right). \quad (4.8)$$

- Tempiamos armatūros redukavimo koeficientas $k_s(\Theta)$ skaičiuojamas pagal priklausomybes (Purkis 2007):

$$\text{kai } 20^{\circ}\text{C} \leq \Theta \leq 400^{\circ}\text{C}, \quad \text{tai } k_s(\Theta) = 1,0, \quad (4.9)$$

$$\text{kai } 400^{\circ}\text{C} \leq \Theta \leq 500^{\circ}\text{C}, \quad \text{tai } k_s(\Theta) = 0,78 - 0,22 \left(\frac{\Theta - 500}{200} \right), \quad (4.10)$$

$$\text{kai } 500^{\circ}\text{C} \leq \Theta \leq 600^{\circ}\text{C}, \quad \text{tai } k_s(\Theta) = 0,47 - 0,31 \left(\frac{\Theta - 600}{100} \right), \quad (4.11)$$

$$\text{kai } 600^{\circ}\text{C} \leq \Theta \leq 700^{\circ}\text{C}, \quad \text{tai } k_s(\Theta) = 0,23 - 0,24 \left(\frac{\Theta - 700}{100} \right), \quad (4.12)$$

$$\text{kai } 700^{\circ}\text{C} \leq \Theta \leq 800^{\circ}\text{C}, \quad \text{tai } k_s(\Theta) = 0,11 - 0,12 \left(\frac{\Theta - 800}{100} \right), \quad (4.13)$$

$$\text{kai } 800^{\circ}\text{C} \leq \Theta \leq 1200^{\circ}\text{C}, \quad \text{tai } k_s(\Theta) = 0,11 \left(\frac{1200 - \Theta}{400} \right), \quad (4.14)$$

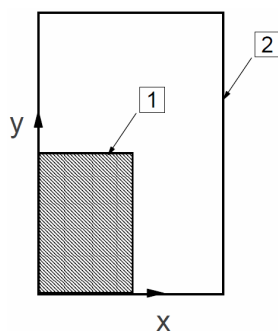
Pažymėtina tai, kad armatūros strypai gali nepatekti į sumažintą betoninį skerspjūvį. Nepaisant to, jie gali būti įtraukiami į ugnies veikiamo skerspjūvio ribinės laikomosios galios skaičiavimą.

4.3.4. Zonų metodas

Skaiciuojant zonų metodu temperatūros veikiamas skerspjūvis dalinamas į keletą zonų. Šis metodas sudėtingesnis ir tikslesnis, ypač taikant kolonomis, tačiau gali būti taikomas tik esant standartiniam gaisrui (LST EN 1992-1-2 ir STR 2.05.11:2005).

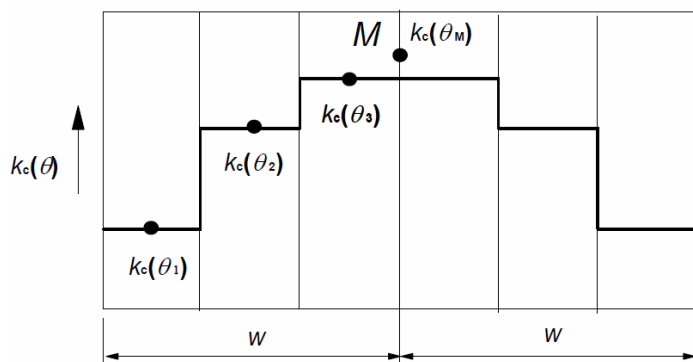
Skaiciavimo šiuo metodu eiga:

1. Skerspjūvis dalinamas į keletą ($n \geq 3$) lygių dalių, skaičiuojama skerspjūvio dalis, parodyta 4.3 paveiksle.



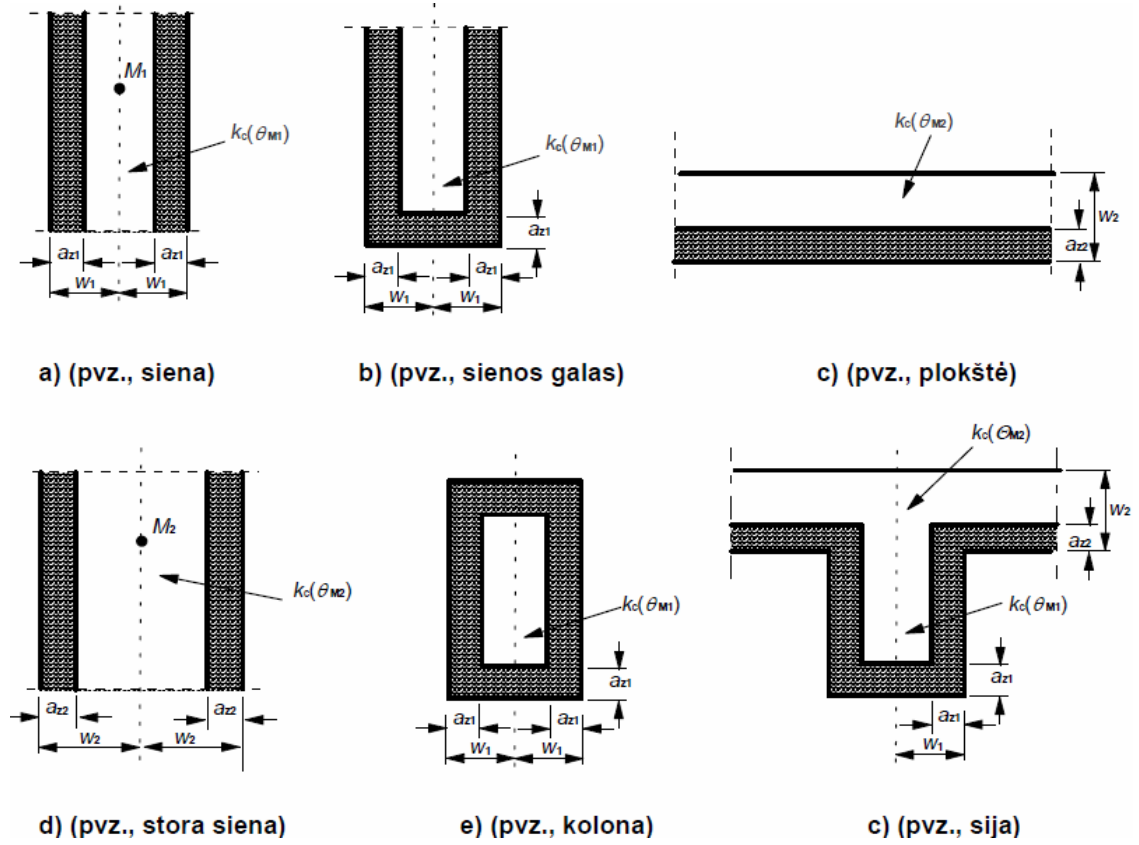
4.3 pav. 1 – temperatūros laukų plotas; 2 – visas skerspjūvio plotas (LST EN 1992-1-2)

2. Įvertinama kiekvienos zonos vidurio temperatūra (Θ_i) bei skerspjūvio vidurio temperatūra $k_c(\Theta_M)$ pagal temperatūrinius laukus (žr. 4.4 pav.). Čia $2w = b$ - elemento plotis.



4.4 pav. Temperatūros veikiamo skerspjūvio padalinimas į zonas, naudojamas stiprumo sumažėjimui ir α_z reikšmėms skaičiuoti (LST EN 1992-1-2)

3. Ugnies paveiktas skerspjūvis įvertinamas atmetant a_z storio pažeistą zoną temperatūros veikiamuose šonuose. Laikoma, kad temperatūriniai laukai pasiskirsto lygiagrečiai skerspjūvio kraštams. Tipiškos betoninio skerspjūvio sumažinimo schemos pateiktos 4.5 paveiksle.



4.5 pav. Gaisro veikiamų betoninių elementų stiprumo ir skerspjūvio sumažėjimas (LST EN 1992-1-2)

4. Charakteringuose skerspjūvio taškuose stiprio redukavimo koeficientas $k_c(\theta)$ apskaičiuojamas pagal priklausomybes (Purkis 2007):

$$\text{kai } 20^\circ\text{C} \leq \Theta \leq 100^\circ\text{C}, \quad \text{tai } k_c(\Theta) = 1,0, \quad (4.15)$$

$$\text{kai } 100^\circ\text{C} \leq \Theta \leq 200^\circ\text{C}, \quad \text{tai } k_c(\Theta) = 0,95 - 0,05 \left(\frac{\Theta - 200}{200} \right), \quad (4.16)$$

$$\text{kai } 200^\circ\text{C} \leq \Theta \leq 400^\circ\text{C}, \quad \text{tai } k_c(\Theta) = 0,75 - 0,2 \left(\frac{\Theta - 400}{200} \right), \quad (4.17)$$

$$\text{kai } 400^\circ\text{C} \leq \Theta \leq 800^\circ\text{C}, \quad \text{tai } k_c(\Theta) = 0,15 - 0,6 \left(\frac{\Theta - 800}{400} \right), \quad (4.18)$$

$$\text{kai } 800^\circ\text{C} \leq \Theta \leq 900^\circ\text{C}, \quad \text{tai } k_c(\Theta) = 0,08 - 0,07 \left(\frac{\Theta - 900}{100} \right), \quad (4.19)$$

$$\text{kai } 900^\circ\text{C} \leq \Theta \leq 1000^\circ\text{C}, \quad \text{tai } k_c(\Theta) = 0,04 - 0,04 \left(\frac{\Theta - 1000}{100} \right), \quad (4.20)$$

$$\text{kai } 1000^{\circ}\text{C} \leq \Theta \leq 1100^{\circ}\text{C}, \quad \text{tai } k_c(\Theta) = 0,01 - 0,03 \left(\frac{\Theta - 1100}{100} \right), \quad (4.21)$$

$$\text{kai } 1100^{\circ}\text{C} \leq \Theta \leq 1200^{\circ}\text{C}, \quad \text{tai } k_c(\Theta) = 0,01 \left(\frac{1200 - \Theta}{100} \right). \quad (4.22)$$

5. Pagal (4.23) formulę apskaičiuojamas redukuotas betono gniuždomasis stipris:

$$f_{cd}(\Theta_M) = k_c(\Theta_M) f_{cd}(20^{\circ}\text{C}), \quad (4.23)$$

čia $f_{cd}(20^{\circ}\text{C})$ - skaičiuotinis gniuždomasis betono stipris, esant normaliai temperatūrai.

6. Konkretaus skerspjūvio vidutinis betono stiprio redukavimo koeficientas:

$$k_{c,m} = \frac{1 - \frac{0,2}{n}}{n} \sum_{i=1}^n k_c(\Theta_i), \quad (4.24)$$

7. Pažeistos zonos plotis a_z (gelžbetoninėms kolonoms ir sienoms) apskaičiuojamas pagal išraišką:

$$a_z = w \left[1 - \left(\frac{k_{c,m}}{k_c(\Theta_M)} \right)^{1,3} \right]. \quad (4.25)$$

8. Naudojantis temperatūriniais laukais surandama armatūros strypų temperatūra ir pagal (4.4) – (4.8) lygtis apskaičiuojamas redukcijos koeficientas $k_s(\Theta)$. Pagal (4.26) priklausomybę surandamas redukuotas armatūros stipris:

$$f_{yd}(\Theta) = k_s(\Theta) f_{yd}(20^{\circ}\text{C}). \quad (4.26)$$

9. Remiantis LST EN 1992-1-1 reikalavimais skaičiuojama redukuoto skerspjūvio laikomoji galia.

Taikant šį metodą daroma tokia pati prielaida, kaip ir skaičiuojant 500°C izotermės metodu: už sumažinto skerspjūvio „ribos“ likę armatūros strypai įvertinami, skaičiuojant elemento ribinę laikomąją galią. Be to abiem šiems metodams galioja taisyklė, kad į betono tempiamąjį stiprį neatsižvelgiama (LST EN 1992-1-2).

Paprastuoju skaičiavimo modeliu galima įvertinti konstrukcijos elemento atlaikymo funkciją, veikiant aukštai temperatūrai. Šis skaičiavimo modelis gali būti sėkmingai taikomas projektuojant statinius, kuriems netaikomi ypatingo atsparumo gaisrui reikalavimai. Norint tiksliau įvertinti konstrukcijos ar jos dalies elgseną veikiant gaisro temperatūroms, turi būti taikomi bendrieji skaičiavimo metodai.

4.3.5. Bendrasis skaičiavimo metodas

Bendrasis skaičiavimo modelis taikomas atliekant bet kokios formos skerspjuvio elementų, konstrukcijų dalių arba visos konstrukcijos atsparumo ugniai skaičiavimus. Šis modelis leidžia atlikti gaisro veikiamų konstrukcijų realią analizę. Taikant šį modelį gaunami patikimi rezultatai, atspindintys faktišką konstrukcijos elgseną gaisro sąlygomis.

Bendrasis skaičiavimo modelis turi atskirus modelius, kurie skirti:

1. temperatūros plėtojimuisi ir pasiskirstymui konstrukcijos elementuose nustatyti;
2. konstrukcijos ar bet kurios jos dalies mechaninei elgsenai nustatyti.

Temperatūrų pasiskirstymo konstrukcijose skaičiavimai grindžiami pripažintais šilumos perdavimo teorijos principais ir prielaidomis. Skaičiuojant temperatūrų laukus atsižvelgiama į:

1. temperatūrinius poveikius pagal LST EN 1992-1-2;
2. medžiagų savybių priklausomybę nuo temperatūros;
3. papildomų apsauginių priemonių sluoksnių, jeigu tokie yra, įtaką.

Bendrasis skaičiavimo modelis mechaninei elgsenai skaičiuoti grindžiamas pripažintais statybinės mechanikos teorijos principais ir prielaidomis atsižvelgiant į medžiagų mechaninių savybių priklausomybę nuo temperatūros. Skaičiuojant įvertinamas konstrukcijos geometrinis ir fizinis netiesiškumai.

4.4. Išvados

Elementams skaičiuoti, veikiant gaisro temperatūroms, taikomi alternatyvūs konstrukcijų skaičiavimo metodai: taikant lentelių duomenis – tai detalizavimas pagal pripažintus skaičiavimo metodus, kai duomenys pateikiami lentelėse; paprastieji skaičiavimo metodai taikomi tik tam tikriems konstrukciniams elementams, veikiant tik lenkimo momentams ir ašinėms jėgoms; bendrieji skaičiavimo metodai modeliuoja elementų, konstrukcijos dalių ar visos konstrukcijos elgseną, veikiant gaisro temperatūroms (STR 2.05.11:2005 ir LST EN 1992-1-1).

Paprastuoju skaičiavimo modeliu galima įvertinti konstrukcijos elemento atlaikymo funkciją, veikiant aukštai temperatūrai. Šis skaičiavimo modelis gali būti sėkmingai taikomas projektuojant statinius, kuriems netaikomi ypatingo atsparumo gaisrui reikalavimai. Norint tiksliau įvertinti konstrukcijos ar jos dalies elgseną veikiant gaisro temperatūroms, turi būti taikomi bendrieji skaičiavimo metodai.

LST EN 1992-1-2 ir STR 2.05.11:2005 teigiama, kad 500 °C izotermės metodas labiau tinkamas sienų (didelio paviršiaus ploto elementų skaičiavimui), o zonų metodu tiksliau įvertinamas

temperatūros poveikis kolonomis ir sijoms (esant mažesnių matmenų skerspjūviams), kita vertus, zonų metodas gali būti taikomas tik esant standartinio gaisro sąlygoms.

5. ANALITINIAI TEMPERATŪROS SKAIČIAVIMO MODELIAI

5.1. Vikstromo metodas

Pagal Vikstromo temperatūrų pasiskirstymo metodą (Purkis 2007) (angl. *Wickström's method*) temperatūra betoniniame elemente esant vienašiam šilumos srautui apskaičiuojama taip:

$$\Delta\Theta = n_x \cdot n_w \cdot \Delta\Theta_g, \quad (5.1)$$

čia $n_w = 1 - 0,0616t^{-0,88}, \quad (5.2)$

$$n_x = 0,18 \ln\left(\frac{t}{x^2}\right) - 0,81, \quad (5.3)$$

čia t - gaisro poveikio laikas (valandomis),

x - atstumas nuo skerspjūvio paviršiaus iki skaičiuojamojo taško (m),

$\Delta\Theta_g$ - parametras, aprašantis kaitimo spartą, todėl esant standartiniam gaisrui jis

apskaičiuojamas taip:

$$\Delta\Theta_g = 345 \cdot \log(480t + 1), \quad (5.4)$$

čia t - gaisro poveikio laikas (valandomis).

Esant dviašiam šilumos sklaidimo srautui (5.1) išraiška perrašoma taip:

$$\Delta\Theta_{xy} = (n_w(n_x + n_y - 2n_x n_y) + n_x n_y) \Delta\Theta_g. \quad (5.5)$$

5.2. Herco metodas

Pagal šį metodą temperatūros betoniniame elemente priklausomybė nuo laiko išreiškiama tokia funkcija (Purkis 2007):

$$\Delta\Theta(x, t) = f_1(x, t) + f_2(x, t) + f_3(x, t), \quad (5.6)$$

čia $f_1(x, t) = E \left(1 - \frac{x}{3,363\sqrt{at}} \right)^2, \quad (5.7)$

$$f_2(x, t) = De^{-x\sqrt{\frac{\pi}{2Ca}}} \sin\left(\frac{\pi t}{C} - x\sqrt{\frac{\pi}{2Ca}}\right), \quad (5.8)$$

$f_3(x, t) = 0$, esant standartinio gaisro poveikiui.

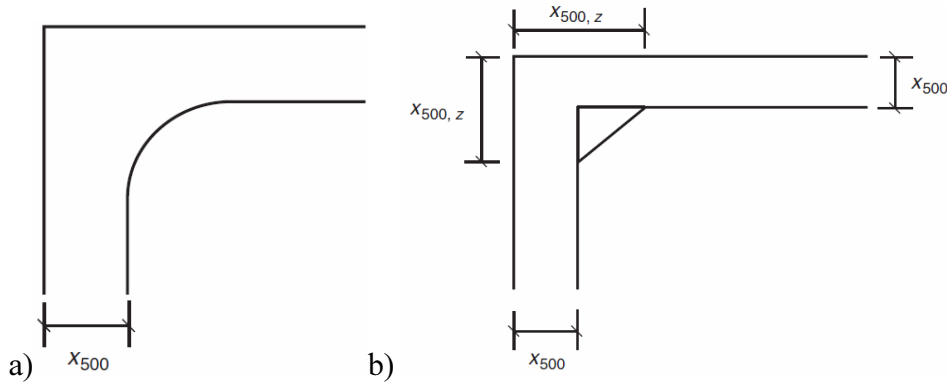
Parametrų C, D, E reikšmės pateiktos 5.1 lentelėje

5.1 lentelė. Temperatūros analizės parametrai, esant standartiniam gaisrui (Purkis 2007)

Laikas (h)	C (h)	D (°C)	E (°C)
0,5	1,0	150	600
1,0	2,0	220	600
1,5	3,0	310	600
2,0	4,0	360	600
3,0	6,0	410	600
4,0	8,0	460	600

5.3. 500 °C izotermės skaičiavimas

500 °C izotermę supaprastinus galima aprašyti dviem dydžiais (žr. 5.1 pav.).



5.1 pav. a) tikroji izotermė; b) izotermė, aproksimuota į stačiakampį (Purkis 2007)

x_{500} ir $x_{500,z}$ aprašomi (5.1) – (5.4) formulėse esančiais dydžiais ir nustatomi pagal tokias išraiškas (Purkis 2007):

$$x_{500} = \sqrt{\frac{t}{\exp\left(4,5 + \frac{\Delta\Theta}{0,18n_w\Delta\Theta_g}\right)}}, \quad (5.9)$$

$$x_{500,z} = \sqrt{\frac{t}{\exp\left[\frac{n_w - \sqrt{n_w^2 - (2n_w - 1)\frac{\Delta\Theta}{\Delta\Theta_g}}}{0,18(2n_w - 1)} + 4,5\right]}}. \quad (5.10)$$

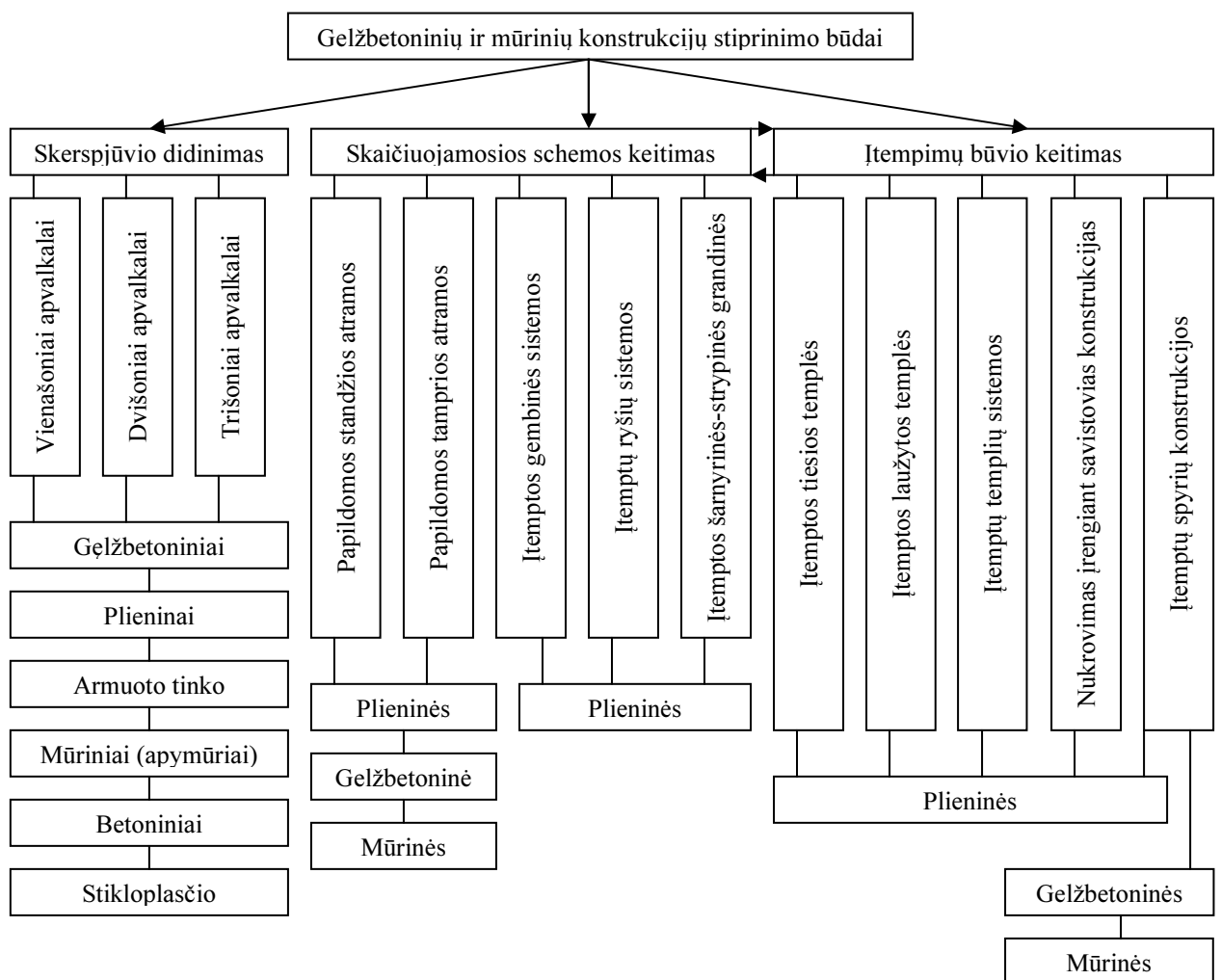
6. GELŽBETONINIŲ KONSTRUKCIJŲ STIPRINIMAS

6.1. Stiprinimo būdai

Laikančiosios konstrukcijos turi būti stiprinamos pagal šiuos reikalavimus (Kamaitis ir Jokūbaitis 1985):

1. stiprinimo elementai turi patikimai įsitraukti į bendrą darbą;
2. sustiprintos konstrukcijos neturi trukdyti technologiniam procesui;
3. stiprinimo darbai turi būti nesudėtingi, atliekami per trumpiausią laiką;
4. medžiagų ir darbo sąnaudos turi būti mažiausios.

Gelžbetoninių ir mūrinių konstrukcijų stiprinimo būdų įvairovė padeda kiekvienu konkrečiu atveju, atsižvelgus į eksploatuojamų konstrukcijų būklę, pasirinkti patikimą variantą. Visus stiprinimo būdus galima suklasifikuoti į tris grupes (žr. 6.1 pav.).



6.1 pav. Stiprinimo būdų klasifikacija

6.2. Kolonų stiprinimas metaliniais spyriais

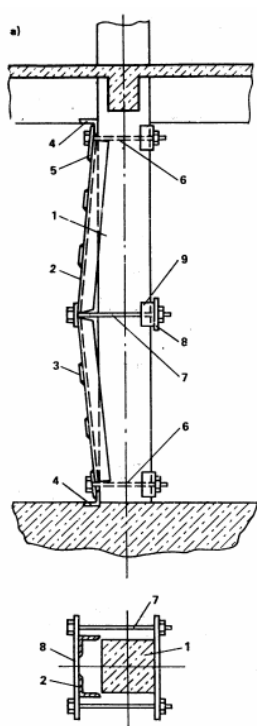
Kolonas gali būti stiprinamos įtemptaisiais spyriais. Šie spyriai statomi iš vienos pusės (žr. 6.2 pav.) arba iš dviejų priešingų kolonos pusių (žr. 6.3 pav.). Vienpusiai spyriai statomi, kai stiprinama necentriškai apkrauta kolona, dvipusiai – kai stiprinama centriškai apkrauta kolona. Spyriais kolonų laikomąją galią galima padidinti iki 150 t ir daugiau.

Spyriai daromi iš kampučių arba lovio. Lovys atstoja du kampuočius ir jo aukštis paprastai būna didesnis už kolonos, t.y. lovyi turi apgaubti iš vieno krašto koloną. Kiekvieno spyrio viršuje ir apačioje pritvirtinami plieniniai lakštai, kurie remiasi į atraminius kampuočius, pritvirtintus prie perdangos sijos ir pamato arba apatinės perdangos konstrukcijos. Spyriai statomi taip, kad išsilenktų. Tuo tikslu ties jų viduriu vienoje kampuočio sienelėje padaroma išpjova. Neįtempti spyriai (kampuočiai arba loviai) yra palinkę į abiejų galų puses. Tarp jų kraštų ir kolonos pasilieka tarpas. Varžtais spyriai įtempiami, ištiesinami ir pritraukiami prie kolonos tam, kad patikimai dirbtų su kolona. Spyrių išankstinis įtempimas būna apie 70 MPa (Marčiukaitis 1985, *Рекомендации* ... 1992).

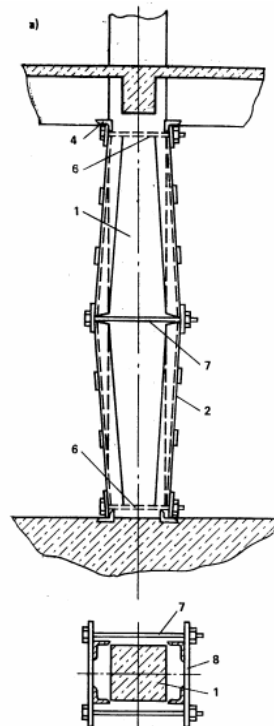
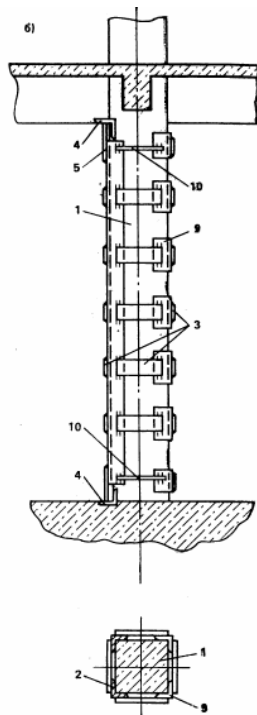
Ištiesinti ir įtempti spyriai sujungiami privirinamomis plieninėmis juostomis arba strypais (žr. 6.2 pav., 6.3 pav.). Vienpusiai spyriai plieninėmis juostomis tvirtinami prie priešingoje kolonos pusėje tvirtinamų trumpų kampuočių. Taip sujungus kampuočius gaunamos uždaros apkabos, kurios papildomai padidina kolonos stiprumą.

Skaiciuojant kolonas, sustiprintas spyriais, reikia patikrinti įtemptų spyrių pastovumą, apskaičiuoti gelžbetoninių konstrukcijų glemžimo stiprumą tų vietų, į kurias remsis spyriai. Taip pat reikia patikrinti rėmsių ar kitų konstrukcijų, per kurias perduodamos įrašos į spyrius, kirpimo stiprumą.

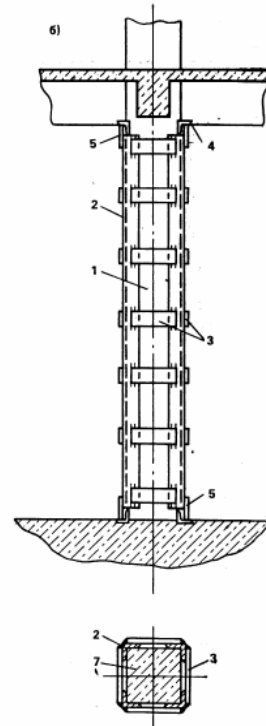
Nuo korozijos spyriai apsaugomi dažais arba stiprinamoji kolona kartu su spyriais tinkuojama skiediniu. Cemento tinko sluoksnio storis parenkamas pagal aplinkos agresyvumą, bet turi būti ne mažesnis kaip 25 mm.



6.2 pav. Vienpusis kolonos stiprinimas metaliniais spyriais (*Рекомендации ... 1992*)



6.3 pav. Dvipusis kolonos stiprinimas metaliniais spyriais (*Рекомендации ... 1992*)



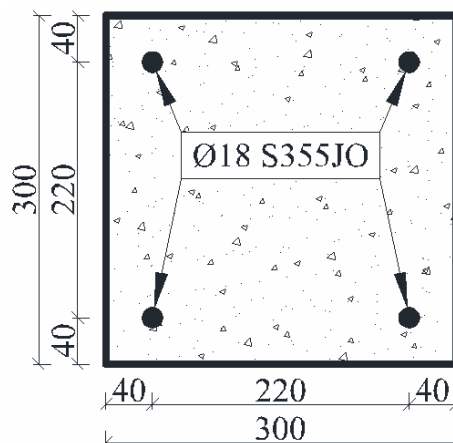
TIRIAMOJI – PRAKTINĖ DALIS

7. AUKŠTŲ TEMPERATŪRŲ POVEIKIO SKAIČIAVIMAS CENTRIŠKAI GNIUŽDOMAI KOLONAI, VEIKIANT STANDARTINIAM GAISRUI

Skaičiavimuose bus nagrinėjama kvadratinio skerspjūvio gelžbetoninė kolona iš visų pusių veikiama standartinio gaisro temperatūrų poveikio. Priimama, kad kolona yra centriškai gniuždoma ir veikiama ašinės jėgos $N_{Ed} = 1500 \text{ kN}$. Pagal zonų metodą, LST EN 1992-1-2 normas ir Vikstromo metodą nustatoma kolonos laikomoji galia po tam tikros trukmės gaisro poveikio. Atliekama gautų rezultatų lyginamoji analizė.

7.1. Kolonos atlaikomoji galia iki gaisro

Kolonos skerspjūvio matmenys $300 \times 300 \text{ mm}$, betono klasė C 30/37. Kolona yra simetriškai armuota $4\varnothing 18$, S355JO klasės armatūros strypais, kurių plotas $A_{s1} = A_{s2} = 5,09 \text{ cm}^2$. Kolonos aukštis 1,5 m. 7.1 paveiksle pateiktas kolonos skerspjūvis. Kolonos laikomoji galia apskaičiuojama pagal LST EN 1992-1-1 reikalavimus.



7.1 pav. Kolonos skerspjūvis

Ribinis liaunis apskaičiuojamas pagal tokią lygtį:

$$\lambda_{lim} = \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C}{\sqrt{n}} = \frac{20 \cdot 0,7 \cdot 1,1 \cdot 0,7}{\sqrt{0,833}} = 11,8, \quad (7.1)$$

čia n – santykinė ašinė jėga:

$$n = \frac{N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{1500}{0,3 \cdot 0,3 \cdot 20 \cdot 10^3} = 0,833, \quad (7.2)$$

$$A = 0,7,$$

$$B = 1,1,$$

$$C = 0,7.$$

Kolonos liaunis apskaičiuojamas pagal tokią lygtį:

$$\lambda = \frac{l_0}{i} = \frac{0,75}{0,0866} = 8,7, \quad (7.3)$$

čia l_0 - efektyvusis kolonos ilgis:

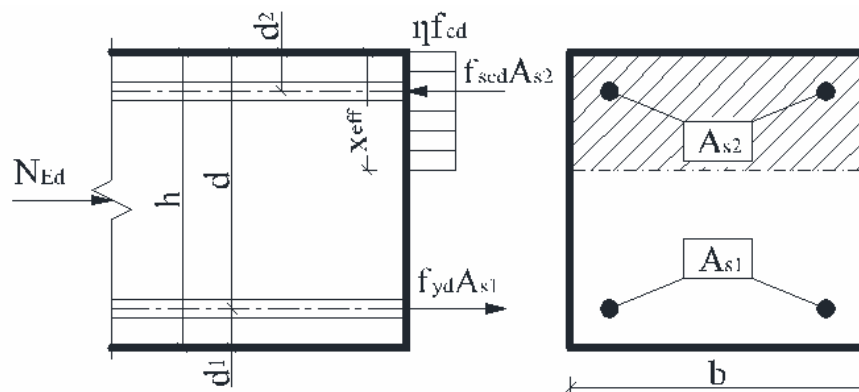
$$l_0 = 0,5 \cdot l = 0,5 \cdot 1,5 = 0,75 \text{ m},$$

i – nesupleišėjusio betono skerspjūvio ploto inercijos momento spindulys:

$$i = \sqrt{\frac{I_c}{A_c}} = \sqrt{\frac{bh^3/12}{bh}} = \frac{h}{\sqrt{12}} = \frac{0,3}{\sqrt{12}} = 0,0866 \text{ m}. \quad (7.4)$$

Kadangi $\lambda = 8,7 < \lambda_{lim} = 11,8$, todėl skaičiavimuose antros eilės ekscentriciteto įvertinti nereikia.

7.2 paveiksle pateikta centriškai gniuždomos gelžbetoninės kolonos schema, pagal kurią skaičiuojama kolonos laikomoji galia.



7.2 pav. Centriškai gniuždomos gelžbetoninės kolonos skaičiuojamoji schema

Ekvivalentinis gniuždomosios zonos aukštis x_{eff} :

$$x_{eff} = \frac{N_{Ed} + f_{yd} \cdot A_{s1} - f_{scd} \cdot A_{s2}}{\eta \cdot f_{cd} \cdot b} = \frac{1500 + 435 \cdot 10^3 \cdot 5,09 \cdot 10^{-4} - 435 \cdot 10^3 \cdot 5,09 \cdot 10^{-4}}{1,0 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 0,3} = 0,25 \text{ m}, \quad (7.5)$$

čia N_{Ed} - koloną veikianti ašinė jėga, $N_{Ed} = 1500 \text{ kN}$,

f_{yd} ir f_{scd} - atitinkamai skaičiuotinis tempiamosios ir gniuždomosios armatūros stipris:

$$f_{yd} = f_{scd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 435 \text{ MPa}, \quad (7.6)$$

f_{cd} - skaičiuotinis betono gniuždomasis stipris:

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 1,0 \cdot \frac{30}{1,5} = 20 \text{ MPa}. \quad (7.7)$$

Betono gniuždomosios zonos santykinis aukštis:

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{0,313}{0,26} = 1,2 > \xi_{\lim} = 0,628, \quad (7.8)$$

čia x - gniuždomosios zonos aukštis:

$$x = \frac{x_{eff}}{\lambda} = \frac{0,25}{0,8} = 0,313 \text{ m}, \quad (7.9)$$

$\xi_{\lim}$ - betono ribinis gniuždomosios zonos santykinis aukštis:

$$\xi_{\lim} = \frac{0,0035}{0,0035 + \frac{f_{yd}}{E_s}} = \frac{0,0035}{0,0035 + \frac{435}{210000}} = 0,628. \quad (7.10)$$

Kadangi $x = 0,313 \text{ m} > h = 0,3 \text{ m}$, tai visas skerspjūvis yra gniuždomas. Šiuo atveju įtempiai armatūroje skaičiuojami taip:

$$\sigma_s = 0,002 \frac{7(x-d)}{(7x-3h)} \cdot E_s < f_{yd}, \quad (7.11)$$

$$\sigma_s = 0,002 \cdot \frac{7 \cdot (0,313 - 0,26)}{(7 \cdot 0,313 - 3 \cdot 0,3)} \cdot 210 \cdot 10^3 = 120,7 \text{ MPa} < f_{yd} = 435 \text{ MPa}.$$

$$\sigma_{sc} = 0,002 \frac{7(x-d_2)}{(7x-3h)} \cdot E_s < f_{yd}, \quad (7.12)$$

$$\sigma_{sc} = 0,002 \cdot \frac{7 \cdot (0,313 - 0,04)}{(7 \cdot 0,313 - 3 \cdot 0,3)} \cdot 210 \cdot 10^3 = 621,7 \text{ MPa} > f_{yd} = 435 \text{ MPa}.$$

Gniuždomos kolonos laikomoji galia:

$$N_{Rd} = \eta \cdot f_{cd} \cdot b \cdot h + \sigma_{sc} \cdot A_{s2} + \sigma_s \cdot A_{s1}, \quad (7.13)$$

$$N_{Rd} = 1,0 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 0,3 \cdot 0,3 + 435 \cdot 10^3 \cdot 5,09 \cdot 10^{-4} + 120,7 \cdot 10^3 \cdot 5,09 \cdot 10^{-4} = 2082,9 \text{ kN} > N_{Ed} = 1500 \text{ kN}.$$

Išvada: sąlyga tenkinama, todėl kolonos stiprumas yra pakankamas.

7.2. Skaičiavimas pagal 500 °C izotermės metodą

7.2.1. Iš visų pusių gaisro veikiamos kolonos skaičiavimas

Pagal (5.1) – (5.4) formules apskaičiuojama temperatūra armatūroje po 30 minučių (R30). Kadangi temperatūra skerspjūvį veikia simetriškai, galima taikyti vienąsį temperatūros srauto skaičiavimą:

$$\Theta_s = 20 + \Delta\Theta = 20 + 163 = 183 \text{ } ^\circ\text{C} ,$$

čia $\Delta\Theta = n_x \cdot n_w \cdot \Delta\Theta_g = 0,224 \cdot 0,887 \cdot 822 = 163 \text{ } ^\circ\text{C} ,$

$$n_w = 1 - 0,0616 \cdot t^{-0,88} = 1 - 0,0616 \cdot 0,5^{-0,88} = 0,887 ,$$

$$n_x = 0,18 \cdot \ln \frac{t}{x^2} - 0,81 = 0,18 \cdot \ln \frac{0,5}{0,04^2} - 0,81 = 0,224 ,$$

$$\Delta\Theta_g = 345 \cdot \log(480 \cdot t + 1) = 345 \cdot \log(480 \cdot 0,5 + 1) = 822 \text{ } ^\circ\text{C} .$$

Po 30 minučių skaičiuojamoji standartinio gaisro temperatūra armatūroje – 183 °C. Pagal (4.5) formulę:

$$k_s(\Theta) = 0,7 - 0,3 \cdot \left(\frac{\Theta - 400}{300} \right) = 0,7 - 0,3 \cdot \left(\frac{183 - 400}{300} \right) = 0,917 .$$

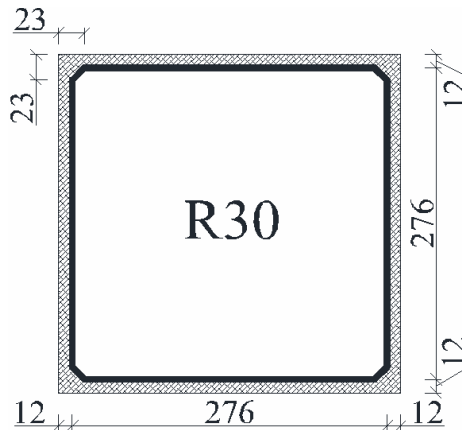
Taigi, armatūros skaičiuojamasis stipris apskaičiuojamas taip:

$$f_{yd}(\Theta) = k_s(\Theta) \cdot f_{yd}(20^\circ\text{C}) = 0,917 \cdot 435 = 399 \text{ MPa} .$$

Pagal (5.9) – (5.10) formules apskaičiuojamas izotermės linijos gylis nuo skerspjūvio krašto (žr. 7.3 pav.). Kadangi skaičiuojama 500 °C temperatūros padėtis, tai $\Delta\Theta = 500 \text{ } ^\circ\text{C}$.

$$x_{500} = \sqrt{\frac{t}{\exp\left(4,5 + \frac{\Theta_s}{0,18 \cdot n_w \cdot \Delta\Theta_g}\right)}} = \sqrt{\frac{0,5}{\exp\left(4,5 + \frac{480}{0,18 \cdot 0,887 \cdot 822}\right)}} = 12 \text{ mm} ,$$

$$x_{500,z} = \sqrt{\frac{t}{\exp\left[\frac{n_w - \sqrt{n_w^2 - (2 \cdot n_w - 1) \cdot \frac{\Delta\Theta}{\Delta\Theta_g}}}{0,18 \cdot (2 \cdot n_w - 1)} + 4,5\right]}} = \sqrt{\frac{0,5}{\exp\left[\frac{0,887 - \sqrt{0,887^2 - (2 \cdot 0,887 - 1) \cdot \frac{500}{822}}}{0,18 \cdot (2 \cdot 0,887 - 1)} + 4,5\right]}} = 23 \text{ mm} .$$



7.3 pav. Pažeistas kolonos skerspjūvis po 30 minučių

Kolonos laikomosios galios skaičiavimas po 30 minučių gaisro poveikio. Laikomoji galia skaičiuojama atsižvelgiant į redukuotą skerspjūvį, izotermės kampų apvalumai nevertinami, aproksimuojant ją į stačiakampį.

Pagal (7.5) – (7.13) formules nustatius atitinkamus dydžius apskaičiuojama gniuždomos kolonos laikomoji galia:

$$N_{Rd} = \eta \cdot f_{cd} \cdot b \cdot h + \sigma_{sc} \cdot A_{s2} + \sigma_s \cdot A_{s1},$$

$$N_{Rd} = 1,0 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 0,276 \cdot 0,276 + 399 \cdot 10^3 \cdot 5,09 \cdot 10^{-4} + 174 \cdot 10^3 \cdot 5,09 \cdot 10^{-4} = 1815 \text{ kN} > N_{Ed} = 1500 \text{ kN}.$$

Išvada: sąlyga tenkinama, todėl kolona atlaiko 30 minučių gaisro apkrovą.

Pagal (5.1) – (5.4) formules apskaičiuojama temperatūra armatūroje po 60 minučių (R60).

$$\Theta_s = 20 + \Delta\Theta = 20 + 303 = 323 \text{ } ^\circ\text{C},$$

čia $\Delta\Theta = n_x \cdot n_w \cdot \Delta\Theta_g = 0,349 \cdot 0,938 \cdot 925 = 303 \text{ } ^\circ\text{C},$

$$n_w = 1 - 0,0616 \cdot t^{-0,88} = 1 - 0,0616 \cdot 1^{-0,88} = 0,938,$$

$$n_x = 0,18 \cdot \ln \frac{t}{x^2} - 0,81 = 0,18 \cdot \ln \frac{1}{0,04^2} - 0,81 = 0,349,$$

$$\Delta\Theta_g = 345 \cdot \log(480 \cdot t + 1) = 345 \cdot \log(480 \cdot 1 + 1) = 925 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Po 60 minučių skaičiuojamoji standartinio gaisro temperatūra armatūroje – 323 °C. Pagal (4.5) formulę:

$$k_s(\Theta) = 0,7 - 0,3 \cdot \left(\frac{\Theta - 400}{300} \right) = 0,7 - 0,3 \cdot \left(\frac{323 - 400}{300} \right) = 0,777.$$

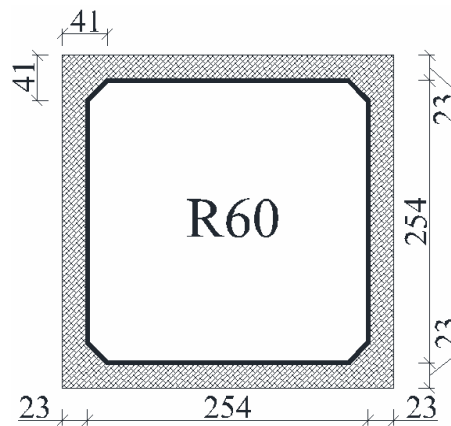
Taigi, armatūros skaičiuojamasis stipris apskaičiuojamas taip:

$$f_{yd}(\Theta) = k_s(\Theta) \cdot f_{yd}(20^\circ\text{C}) = 0,777 \cdot 435 = 338 \text{ MPa}.$$

Pagal (5.9) – (5.10) formules apskaičiuojamas izotermės linijos gylis nuo skerspjūvio krašto (žr. 7.4 pav.):

$$x_{500} = \sqrt{\frac{t}{\exp\left(4,5 + \frac{\Theta_s}{0,18 \cdot n_w \cdot \Delta\Theta_g}\right)}} = \sqrt{\frac{1}{\exp\left(4,5 + \frac{480}{0,18 \cdot 0,938 \cdot 925}\right)}} = 23 \text{ mm},$$

$$x_{500,z} = \sqrt{\frac{t}{\exp\left[\frac{n_w - \sqrt{n_w^2 - (2 \cdot n_w - 1) \cdot \frac{\Delta\Theta}{\Delta\Theta_g}}}{0,18 \cdot (2 \cdot n_w - 1)} + 4,5\right]}} = \sqrt{\frac{1}{\exp\left[\frac{0,938 - \sqrt{0,938^2 - (2 \cdot 0,938 - 1) \cdot \frac{500}{925}}}{0,18 \cdot (2 \cdot 0,938 - 1)} + 4,5\right]}} = 41 \text{ mm}.$$



7.4 pav. Pažeistas kolonos skerspjūvis po 60 minučių

Pagal (7.5) – (7.13) formules nustatčius atitinkamus dydžius apskaičiuojama gniuždomos kolonos laikomoji galia:

$$N_{Rd} = \eta \cdot f_{cd} \cdot b \cdot h + \sigma_{sc} \cdot A_{s2} + \sigma_s \cdot A_{s1},$$

$$N_{Rd} = 1,0 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 0,254 \cdot 0,254 + 338 \cdot 10^3 \cdot 5,09 \cdot 10^{-4} + 213 \cdot 10^3 \cdot 5,09 \cdot 10^{-4} = 1571 \text{ kN} > N_{Ed} = 1500 \text{ kN}.$$

Išvada: sąlyga tenkinama, todėl kolona atlaiko 60 minučių gaisro apkrovą.

Pagal (5.1) – (5.4) formules apskaičiuojama temperatūra armatūroje po 90 minučių (R90).

$$\Theta_s = 20 + \Delta\Theta = 20 + 398 = 418 \text{ } ^\circ\text{C},$$

čia $\Delta\Theta = n_x \cdot n_w \cdot \Delta\Theta_g = 0,422 \cdot 0,957 \cdot 986 = 398 \text{ } ^\circ\text{C},$

$$n_w = 1 - 0,0616 \cdot t^{-0,88} = 1 - 0,0616 \cdot 1,5^{-0,88} = 0,957,$$

$$n_x = 0,18 \cdot \ln \frac{t}{x^2} - 0,81 = 0,18 \cdot \ln \frac{1,5}{0,04^2} - 0,81 = 0,422,$$

$$\Delta\Theta_g = 345 \cdot \log(480 \cdot t + 1) = 345 \cdot \log(480 \cdot 1,5 + 1) = 986^\circ\text{C}.$$

Po 90 minučių skaičiuojamoji standartinio gaisro temperatūra armatūroje – 418 °C. Pagal (4.6) formulę:

$$k_s(\Theta) = 0,57 - 0,13 \cdot \left(\frac{\Theta - 500}{100} \right) = 0,57 - 0,13 \cdot \left(\frac{418 - 500}{100} \right) = 0,677.$$

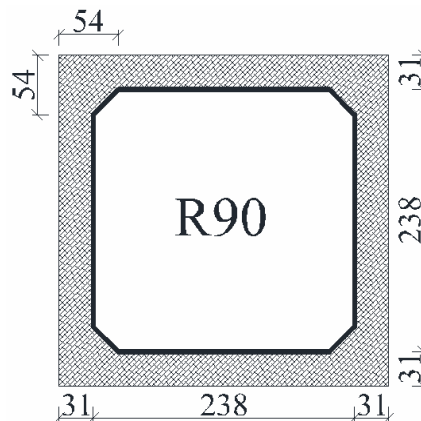
Taigi, armatūros skaičiuojamasis stipris apskaičiuojamas taip:

$$f_{yd}(\Theta) = k_s(\Theta) \cdot f_{yd}(20^\circ\text{C}) = 0,677 \cdot 435 = 294 \text{ MPa}.$$

Pagal (5.9) – (5.10) formules apskaičiuojamas izotermės linijos gylis nuo skerspjūvio krašto (žr. 7.5 pav.):

$$x_{500} = \sqrt{\frac{t}{\exp\left(4,5 + \frac{\Theta_s}{0,18 \cdot n_w \cdot \Delta\Theta_g}\right)}} = \sqrt{\frac{1,5}{\exp\left(4,5 + \frac{480}{0,18 \cdot 0,957 \cdot 986}\right)}} = 31 \text{ mm},$$

$$x_{500,z} = \sqrt{\frac{t}{\exp\left[\frac{n_w - \sqrt{n_w^2 - (2 \cdot n_w - 1) \cdot \frac{\Delta\Theta}{\Delta\Theta_g}}}{0,18 \cdot (2 \cdot n_w - 1)} + 4,5\right]}} = \sqrt{\frac{1,5}{\exp\left[\frac{0,957 - \sqrt{0,957^2 - (2 \cdot 0,957 - 1) \cdot \frac{500}{986}}}{0,18 \cdot (2 \cdot 0,957 - 1)} + 4,5\right]}} = 54 \text{ mm}.$$



7.5 pav. Pažeistas kolonos skerspjūvis po 90 minučių

Pagal (7.5) – (7.13) formules nustatčius atitinkamus dydžius apskaičiuojama gniuždomos kolonos laikomoji galia:

$$N_{Rd} = \eta \cdot f_{cd} \cdot b \cdot h + \sigma_{sc} \cdot A_{s2} + \sigma_s \cdot A_{s1},$$

$$N_{Rd} = 1,0 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 0,238 \cdot 0,238 + 294 \cdot 10^3 \cdot 5,09 \cdot 10^{-4} + 237 \cdot 10^3 \cdot 5,09 \cdot 10^{-4} = 1403 \text{ kN} < N_{Ed} = 1500 \text{ kN} .$$

Išvada: sąlyga netenkinama, todėl pagal priimtą skaičiuojamąją schemą kolona neatlaiko 90 minučių gaisro apkrovos.

Pagal (5.1) – (5.4) formules apskaičiuojama temperatūra armatūroje po 120 minučių (R120).

$$\Theta_s = 20 + \Delta\Theta = 20 + 471 = 491 \text{ } ^\circ\text{C} ,$$

čia $\Delta\Theta = n_x \cdot n_w \cdot \Delta\Theta_g = 0,474 \cdot 0,967 \cdot 1029 = 471 \text{ } ^\circ\text{C} ,$

$$n_w = 1 - 0,0616 \cdot t^{-0,88} = 1 - 0,0616 \cdot 2^{-0,88} = 0,967 ,$$

$$n_x = 0,18 \cdot \ln \frac{t}{x^2} - 0,81 = 0,18 \cdot \ln \frac{2}{0,04^2} - 0,81 = 0,474 ,$$

$$\Delta\Theta_g = 345 \cdot \log(480 \cdot t + 1) = 345 \cdot \log(480 \cdot 2 + 1) = 1029 \text{ } ^\circ\text{C} .$$

Po 120 minučių skaičiuojamoji standartinio gaisro temperatūra armatūroje – 491 °C. Pagal (4.6) formulę:

$$k_s(\Theta) = 0,57 - 0,13 \cdot \left(\frac{\Theta - 500}{100} \right) = 0,57 - 0,13 \cdot \left(\frac{491 - 500}{100} \right) = 0,582 .$$

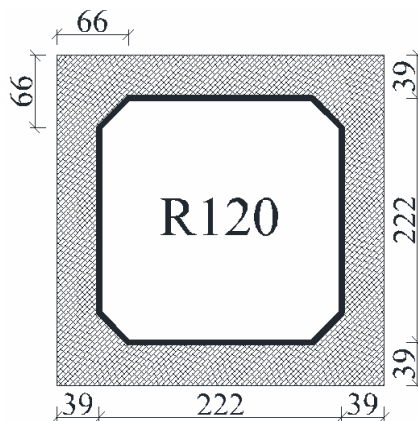
Taigi, armatūros skaičiuojamasis stipris apskaičiuojamas taip:

$$f_{yd}(\Theta) = k_s(\Theta) \cdot f_{yd}(20^\circ\text{C}) = 0,582 \cdot 435 = 253 \text{ MPa} .$$

Pagal (5.9) – (5.10) formules apskaičiuojamas izotermės linijos gylis nuo skerspjūvio krašto (žr. 7.6 pav.):

$$x_{500} = \sqrt{\frac{t}{\exp\left(4,5 + \frac{\Theta_s}{0,18 \cdot n_w \cdot \Delta\Theta_g}\right)}} = \sqrt{\frac{2}{\exp\left(4,5 + \frac{480}{0,18 \cdot 0,967 \cdot 1029}\right)}} = 39 \text{ mm} ,$$

$$x_{500,z} = \sqrt{\frac{t}{\exp\left[\frac{n_w - \sqrt{n_w^2 - (2 \cdot n_w - 1) \cdot \frac{\Delta\Theta}{\Delta\Theta_g}}}{0,18 \cdot (2 \cdot n_w - 1)} + 4,5\right]}} = \sqrt{\frac{2}{\exp\left[\frac{0,967 - \sqrt{0,967^2 - (2 \cdot 0,967 - 1) \cdot \frac{500}{1029}}}{0,18 \cdot (2 \cdot 0,967 - 1)} + 4,5\right]}} = 66 \text{ mm} .$$



7.6 pav. Pažeistas kolonos skerspjūvis po 120 minučių

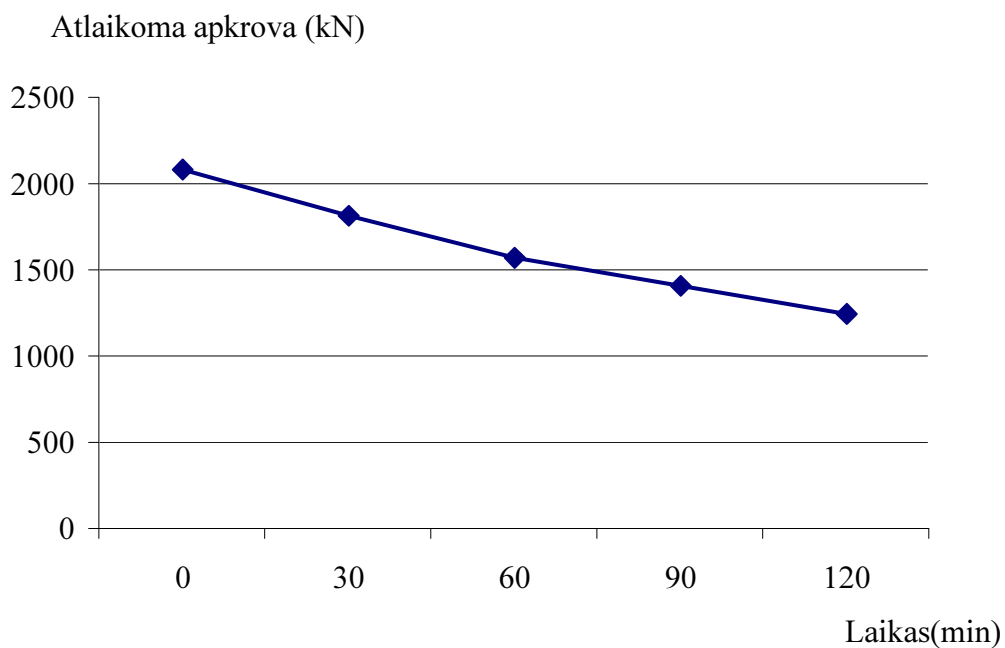
Pagal (7.5) – (7.13) formules nustačius atitinkamus dydžius apskaičiuojama gniuždomos kolonos laikomoji galia:

$$N_{Rd} = \eta \cdot f_{cd} \cdot b \cdot h + \sigma_{sc} \cdot A_{s2} + \sigma_s \cdot A_{s1},$$

$$N_{Rd} = 1,0 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 0,222 \cdot 0,222 + 253 \cdot 10^3 \cdot 5,09 \cdot 10^{-4} + 253 \cdot 10^3 \cdot 5,09 \cdot 10^{-4} = 1243 \text{ kN} < N_{Ed} = 1500 \text{ kN}.$$

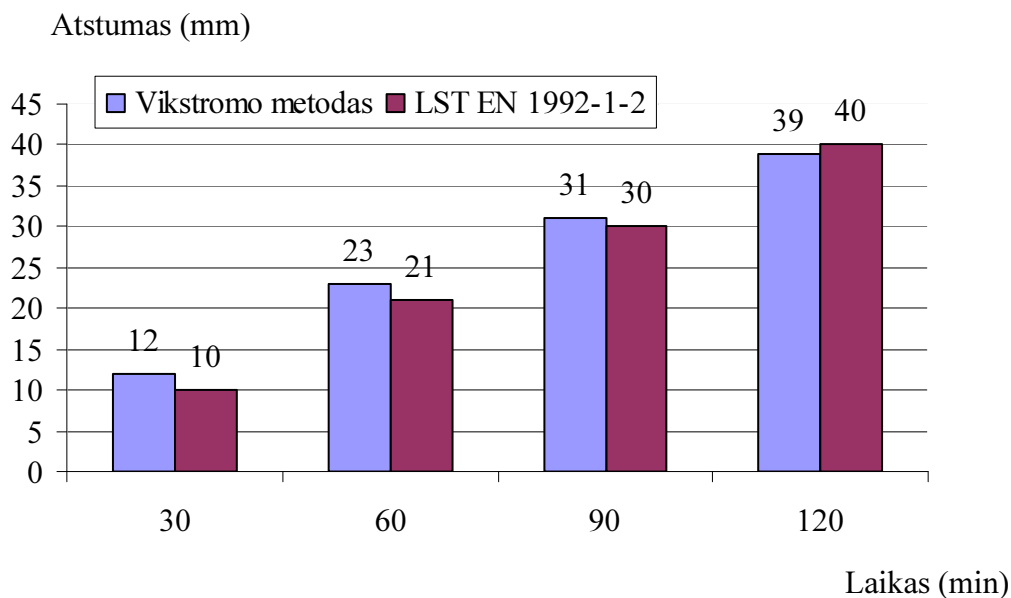
Išvada: sąlyga netenkinama, todėl pagal priimtą skaičiuojamąją schemą kolona neatlaiko 120 minučių gaisro apkrovos.

Pagal skaičiavimus kolona, veikiamą gaisro iš visų pusių, gali atlaikyti gaisro apkrovą maždaug 60 minučių.

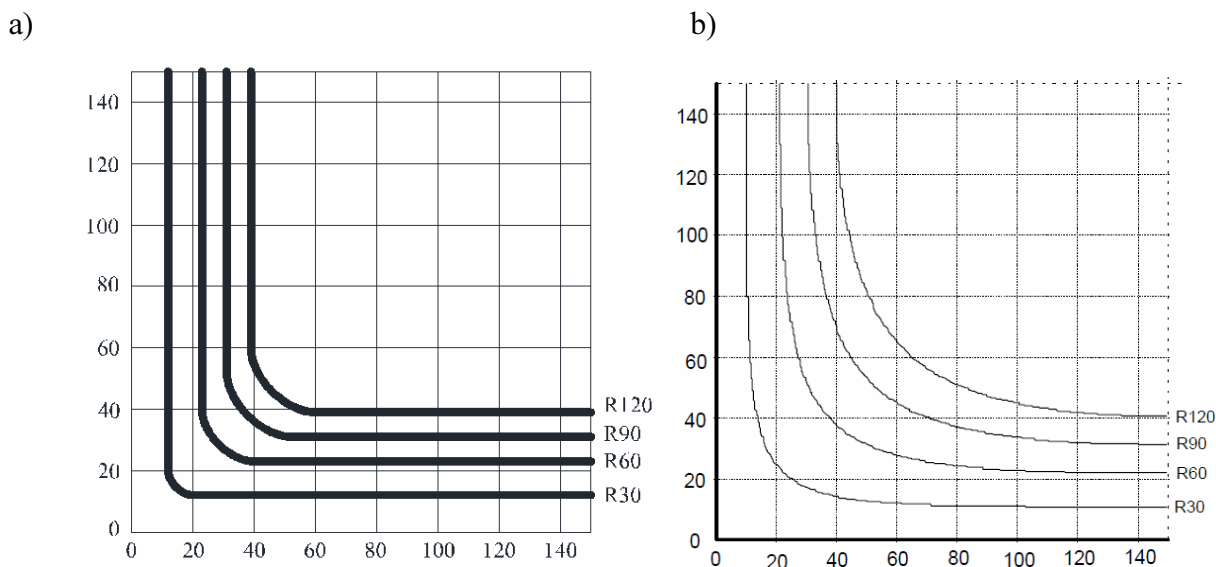


7.7 pav. Kolonos, iš visų pusių veikiamos gaisro, laikomosios galios nuo ašinės jėgos kitimas pagal 500 °C izotermeį

Pagal 500 °C izotermių skaičiavimą nustatyti temperatūriniai laukai pagal Vikstromo metodą. Izotermių pozicijų skerspjūvyje palyginimas pagal Vikstromo metodą ir LST EN 1992-1-2 normas pateiktas 7.8 paveiksle.



7.8 pav. 500 °C izotermės atstumo nuo skerspjūvio paviršiaus palyginimas pagal Vikstromo metodą ir LST EN 1992-1-2



7.9 pav. 500 °C izotermės: a) pagal Vikstromo metodą; b) pagal LST EN 1992-1-2

Iš 7.8 ir 7.9 paveikslų matyti, kad skirtumas tarp 500 °C izotermių gautų pagal Vikstromo metodą ir LST EN 1992-1-2 normas yra nedidelis. Didesnis skirtumas matomas tik dėl izotermių

kampų suapvalinimo, tačiau skaičiuojant izotermės aproksimuojamos į stačiakampį, todėl rezultatui tai didelės įtakos neturi.

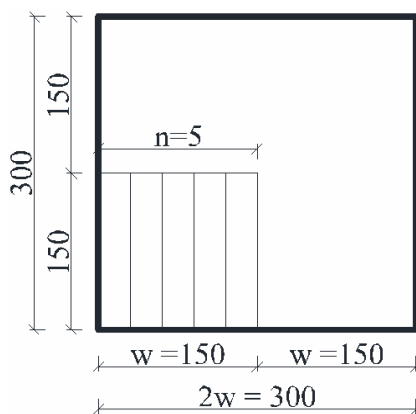
7.3. Skaičiavimas pagal zonų metodą

Aukštos temperatūros poveikiui gelžbetoniniam elementui skaičiuoti naudojant zonų metodą, laikomoji galia yra perskaičiuojama atsižvelgiant į šiuos faktorius:

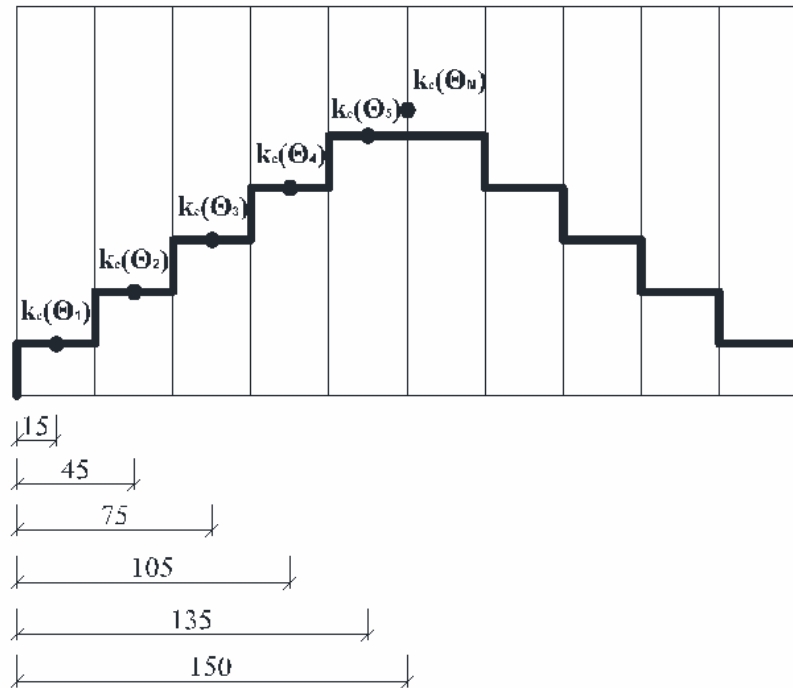
1. betono skerspjūvio sumažėjimas;
2. betono stiprumo gniuždant sumažėjimas;
3. armatūros stiprio sumažėjimas.

7.3.1. Iš visų pusių gaisro veikiamos kolonos skaičiavimas

Skaičiuojamoji skerspjūvio dalis padalinama į 5 zonas (žr. 7.10 pav.). Kiekvienos zonos viduryje bus ieškoma temperatūros reikšmė (žr. 7.11 pav.). Temperatūra bus skaičiuojama pagal Vikstromo metodą (5.1 – 5.4 formules). Kadangi skerspjūvį temperatūra veikia simetriškai, skaičiavimuose bus naudojamas vienašio šilumos srauto poveikio efektas.



7.10 pav. Kolonos skaičiuojamoji schema



7.11 pav. Gaisro veikiamos kolonos ekvivalentinis suskirstymas į zonas

Po 30 minučių.

$$\Theta_1 = 20 + \Delta\Theta = 20 + 421 = 441 \text{ } ^\circ\text{C},$$

čia $\Delta\Theta = n_x \cdot n_w \cdot \Delta\Theta_g = 0,577 \cdot 0,887 \cdot 822 = 421 \text{ } ^\circ\text{C},$

$$n_w = 1 - 0,0616 \cdot t^{-0,88} = 1 - 0,0616 \cdot 0,5^{-0,88} = 0,887,$$

$$n_x = 0,18 \cdot \ln \frac{t}{x^2} - 0,81 = 0,18 \cdot \ln \frac{0,5}{0,015^2} - 0,81 = 0,577,$$

$$\Delta\Theta_g = 345 \cdot \log(480 \cdot t + 1) = 345 \cdot \log(480 \cdot 0,5 + 1) = 822 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Pagal šias formules apskaičiuojamos temperatūros reikšmės kituose charakteringuose taškuose: $\Theta_2 = 152 \text{ } ^\circ\text{C}$, $\Theta_3 = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$, $\Theta_4 = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$, $\Theta_5 = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$, $\Theta_M = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Pagal (4.16) ir (4.18) formules apskaičiuojami betono gniuždomojo stiprio mažinimo koeficientai $k_c(\Theta_i)$:

$$k_c(\Theta_1) = 0,15 - 0,6 \cdot \left(\frac{\Theta - 800}{400} \right) = 0,15 - 0,6 \cdot \left(\frac{441 - 800}{400} \right) = 0,689,$$

$$k_c(\Theta_2) = 0,95 - 0,05 \cdot \left(\frac{\Theta - 200}{100} \right) = 0,95 - 0,05 \cdot \left(\frac{152 - 200}{100} \right) = 0,974,$$

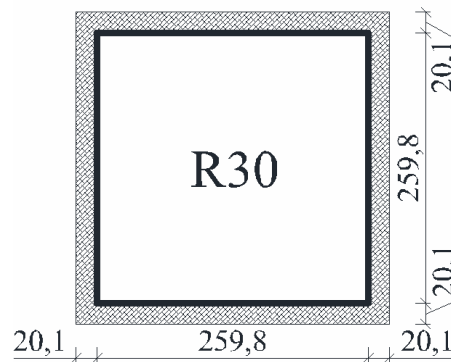
$$k_c(\Theta_3) = 1,0, \quad k_c(\Theta_4) = 1,0, \quad k_c(\Theta_5) = 1,0, \quad k_c(\Theta_M) = 1,0.$$

Apskaičiuojamas vidutinis betono gniuždomojo stiprio mažinimo koeficientas:

$$k_{c,m} = \frac{1 - \frac{0,2}{n}}{n} \cdot \sum_{i=1}^n k_c(\Theta_i) = \frac{1 - \frac{0,2}{5}}{5} \cdot (0,689 + 0,974 + 1,0 + 1,0 + 1,0) = 0,895.$$

Surandamas pažeistos zonos storis (žr. 7.12 pav.):

$$a_z = w \cdot \left[1 - \left(\frac{k_{c,m}}{k_c(\Theta_M)} \right)^{1,3} \right] = 150 \cdot \left[1 - \left(\frac{0,895}{1,0} \right)^{1,3} \right] = 20,1 \text{ mm}.$$



7.12 pav. Kolonos pažeistas skerspjūvis po 30 minučių

Kadangi $k_c(\Theta_M) = 1,0$, tai betono skaičiuojamasis stipris nemažinamas.

Surandama temperatūra armatūroje:

$$\Theta_s = 20 + \Delta\Theta = 20 + 163 = 183 \text{ } ^\circ\text{C},$$

čia $\Delta\Theta = n_x \cdot n_w \cdot \Delta\Theta_g = 0,224 \cdot 0,887 \cdot 822 = 163 \text{ } ^\circ\text{C},$

$$n_w = 1 - 0,0616 \cdot t^{-0,88} = 1 - 0,0616 \cdot 0,5^{-0,88} = 0,887,$$

$$n_x = 0,18 \cdot \ln \frac{t}{x^2} - 0,81 = 0,18 \cdot \ln \frac{0,5}{0,04^2} - 0,81 = 0,224,$$

$$\Delta\Theta_g = 345 \cdot \log(480 \cdot t + 1) = 345 \cdot \log(480 \cdot 0,5 + 1) = 822 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Pagal (4.26) formulę apskaičiuojamas armatūros stipris:

$$f_{yd}(\Theta) = k_s(\Theta) \cdot f_{yd}(20^\circ\text{C}) = 0,917 \cdot 435 = 399 \text{ MPa},$$

čia $k_s(\Theta)$ - armatūros stiprio mažinimo koeficientas, kuris apskaičiuojamas pagal (4.5) formulę:

$$k_s(\Theta) = 0,7 - 0,3 \cdot \left(\frac{\Theta - 400}{300} \right) = 0,7 - 0,3 \cdot \left(\frac{183 - 400}{300} \right) = 0,917.$$

Pagal (7.5) – (7.13) formules apskaičiuojam redukuoto skerspjūvio laikomoji galia:

$$N_{Rd} = \eta \cdot f_{cd} \cdot b \cdot h + \sigma_{sc} \cdot A_{s2} + \sigma_s \cdot A_{s1},$$

$$N_{Rd} = 1,0 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 0,2598 \cdot 0,2598 + 399 \cdot 10^3 \cdot 5,09 \cdot 10^{-4} + 204 \cdot 10^3 \cdot 5,09 \cdot 10^{-4} = 1657 \text{ kN} > N_{Ed} = 1500 \text{ kN}$$

Išvada: sąlyga tenkinama, todėl kolona atlaiko 30 minučių gaisro apkrovą.

Pagal tokį skaičiavimo algoritmą apskaičiuojama kolonos laikomoji galia toliau veikiant gaisro temperatūroms.

Po 60 minučių.

Pagal (5.1) – (5.4) formules apskaičiuojamos temperatūros reikšmės charakteringuose taškuose: $\Theta_1 = 629^\circ \text{C}$, $\Theta_2 = 286^\circ \text{C}$, $\Theta_3 = 126^\circ \text{C}$, $\Theta_4 = 21^\circ \text{C}$, $\Theta_5 = 20^\circ \text{C}$, $\Theta_M = 20^\circ \text{C}$, $\Theta_s = 323^\circ \text{C}$.

$$k_c(\Theta_1) = 0,15 - 0,6 \cdot \left(\frac{\Theta - 800}{400} \right) = 0,15 - 0,6 \cdot \left(\frac{629 - 800}{400} \right) = 0,406,$$

$$k_c(\Theta_2) = 0,75 - 0,2 \cdot \left(\frac{\Theta - 400}{200} \right) = 0,75 - 0,2 \cdot \left(\frac{286 - 400}{200} \right) = 0,864,$$

$$k_c(\Theta_3) = 0,95 - 0,05 \cdot \left(\frac{\Theta - 200}{100} \right) = 0,95 - 0,05 \cdot \left(\frac{126 - 200}{100} \right) = 0,987,$$

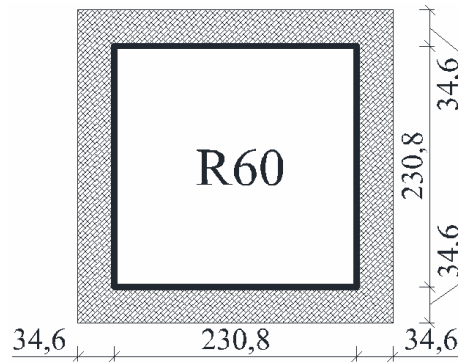
$$k_c(\Theta_4) = 1,0; k_c(\Theta_5) = 1,0; k_c(\Theta_M) = 1,0.$$

$$k_s(\Theta) = 0,7 - 0,3 \cdot \left(\frac{\Theta - 400}{300} \right) = 0,7 - 0,3 \cdot \left(\frac{323 - 400}{300} \right) = 0,777.$$

$$k_{c,m} = \frac{1 - \frac{0,2}{n}}{n} \cdot \sum_{i=1}^n k_c(\Theta_i) = \frac{1 - \frac{0,2}{5}}{5} \cdot (0,406 + 0,864 + 0,987 + 1,0 + 1,0) = 0,817.$$

$$a_z = w \cdot \left[1 - \left(\frac{k_{c,m}}{k_c(\Theta_M)} \right)^{1,3} \right] = 150 \cdot \left[1 - \left(\frac{0,817}{1,0} \right)^{1,3} \right] = 34,6 \text{ mm}.$$

$$f_{yd}(\Theta) = k_s(\Theta) \cdot f_{yd}(20^\circ \text{C}) = 0,777 \cdot 435 = 338 \text{ MPa}.$$



7.13 pav. Kolonos pažeistas skerspjūvis po 60 minučių

Apskaičiuojam redukuoto skerspjūvio (žr. 7.13 pav.) laikomoji galia:

$$N_{Rd} = \eta \cdot f_{cd} \cdot b \cdot h + \sigma_{sc} \cdot A_{s2} + \sigma_s \cdot A_{s1},$$

$$N_{Rd} = 1,0 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 0,2308 \cdot 0,2308 + 338 \cdot 10^3 \cdot 5,09 \cdot 10^{-4} + 247 \cdot 10^3 \cdot 5,09 \cdot 10^{-4} = 1363 \text{ kN} < N_{Ed} = 1500 \text{ kN}$$

Išvada: sąlyga netenkinama, todėl pagal priimtą skaičiuojamąją schemą kolona neatlaiko 60 minučių gaisro apkrovos.

Po 90 minučių.

Pagal (5.1) – (5.4) formules apskaičiuojamos temperatūros reikšmės charakteringuose taškuose: $\Theta_1 = 751 \text{ } ^\circ\text{C}$, $\Theta_2 = 378 \text{ } ^\circ\text{C}$, $\Theta_3 = 204 \text{ } ^\circ\text{C}$, $\Theta_4 = 90 \text{ } ^\circ\text{C}$, $\Theta_5 = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$, $\Theta_M = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$, $\Theta_s = 418 \text{ } ^\circ\text{C}$.

$$k_c(\Theta_1) = 0,15 - 0,6 \cdot \left(\frac{\Theta - 800}{400} \right) = 0,15 - 0,6 \cdot \left(\frac{751 - 800}{400} \right) = 0,223,$$

$$k_c(\Theta_2) = 0,75 - 0,2 \cdot \left(\frac{\Theta - 400}{200} \right) = 0,75 - 0,2 \cdot \left(\frac{378 - 400}{200} \right) = 0,772,$$

$$k_c(\Theta_3) = 0,75 - 0,2 \cdot \left(\frac{\Theta - 400}{200} \right) = 0,95 - 0,05 \cdot \left(\frac{204 - 400}{200} \right) = 0,946,$$

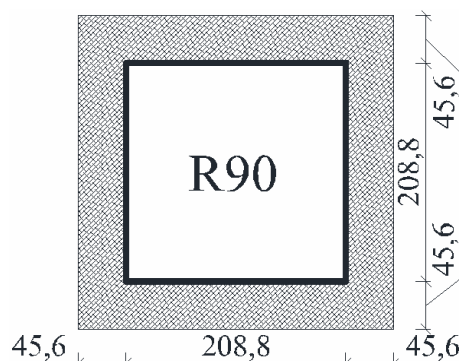
$$k_c(\Theta_4) = 1,0; \quad k_c(\Theta_5) = 1,0; \quad k_c(\Theta_M) = 1,0.$$

$$k_s(\Theta) = 0,57 - 0,13 \cdot \left(\frac{\Theta - 500}{100} \right) = 0,7 - 0,3 \cdot \left(\frac{418 - 500}{100} \right) = 0,677.$$

$$k_{c,m} = \frac{1 - \frac{0,2}{n}}{n} \cdot \sum_{i=1}^n k_c(\Theta_i) = \frac{1 - \frac{0,2}{5}}{5} \cdot (0,223 + 0,772 + 0,946 + 1,0 + 1,0) = 0,757.$$

$$a_z = w \cdot \left[1 - \left(\frac{k_{c,m}}{k_c(\Theta_M)} \right)^{1,3} \right] = 150 \cdot \left[1 - \left(\frac{0,757}{1,0} \right)^{1,3} \right] = 45,6 \text{ mm}.$$

$$f_{yd}(\Theta) = k_s(\Theta) \cdot f_{yd}(20^\circ C) = 0,677 \cdot 435 = 294 \text{ MPa}.$$



7.14 pav. Kolonos pažeistas skerspjūvis po 90 minučių

Apskaičiuojam redukuoto skerspjūvio (žr. 7.14 pav.) laikomoji galia:

$$N_{Rd} = \eta \cdot f_{cd} \cdot b \cdot h + \sigma_s \cdot A_{s1},$$

$$N_{Rd} = 1,0 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 0,2088 \cdot 0,2088 + 274 \cdot 10^3 \cdot 5,09 \cdot 10^{-4} = 1011 \text{ kN} < N_{Ed} = 1500 \text{ kN}.$$

Išvada: sąlyga netenkinama, todėl pagal priimtą skaičiuojamąją schemą kolona neatlaiko 90 minučių gaisro apkrovos.

Po 120 minučių.

Pagal (5.1) – (5.4) formules apskaičiuojamos temperatūros reikšmės charakteringuose taškuose: $\Theta_1 = 842^\circ C$, $\Theta_2 = 449^\circ C$, $\Theta_3 = 266^\circ C$, $\Theta_4 = 145^\circ C$, $\Theta_5 = 55^\circ C$, $\Theta_M = 20^\circ C$, $\Theta_s = 323^\circ C$.

$$k_c(\Theta_1) = 0,08 - 0,07 \cdot \left(\frac{\Theta - 900}{100} \right) = 0,08 - 0,07 \cdot \left(\frac{842 - 900}{100} \right) = 0,12,$$

$$k_c(\Theta_2) = 0,15 - 0,6 \cdot \left(\frac{\Theta - 800}{400} \right) = 0,15 - 0,6 \cdot \left(\frac{449 - 800}{400} \right) = 0,677,$$

$$k_c(\Theta_3) = 0,75 - 0,2 \cdot \left(\frac{\Theta - 400}{200} \right) = 0,95 - 0,05 \cdot \left(\frac{266 - 400}{200} \right) = 0,884,$$

$$k_c(\Theta_4) = 0,95 - 0,05 \cdot \left(\frac{\Theta - 200}{100} \right) = 0,95 - 0,05 \cdot \left(\frac{145 - 200}{100} \right) = 0,977,$$

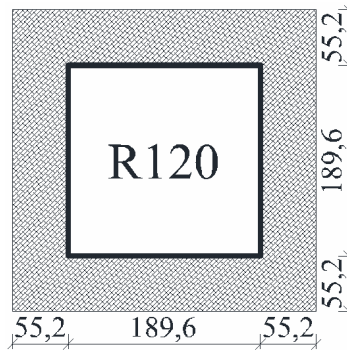
$$k_c(\Theta_5) = 1,0; k_c(\Theta_M) = 1,0.$$

$$k_s(\Theta) = 0,57 - 0,13 \cdot \left(\frac{\Theta - 500}{100} \right) = 0,7 - 0,3 \cdot \left(\frac{491 - 500}{100} \right) = 0,582.$$

$$k_{c,m} = \frac{1 - \frac{0,2}{n}}{n} \cdot \sum_{i=1}^n k_c(\Theta_i) = \frac{1 - \frac{0,2}{5}}{5} \cdot (0,12 + 0,677 + 0,884 + 0,977 + 1,0) = 0,702.$$

$$a_z = w \cdot \left[1 - \left(\frac{k_{c,m}}{k_c(\Theta_M)} \right)^{1,3} \right] = 150 \cdot \left[1 - \left(\frac{0,702}{1,0} \right)^{1,3} \right] = 55,2 \text{ mm}.$$

$$f_{yd}(\Theta) = k_s(\Theta) \cdot f_{yd}(20^\circ \text{C}) = 0,582 \cdot 435 = 253 \text{ MPa}.$$



7.15 pav. Kolonos pažeistas skerspjūvis po 120 minučių

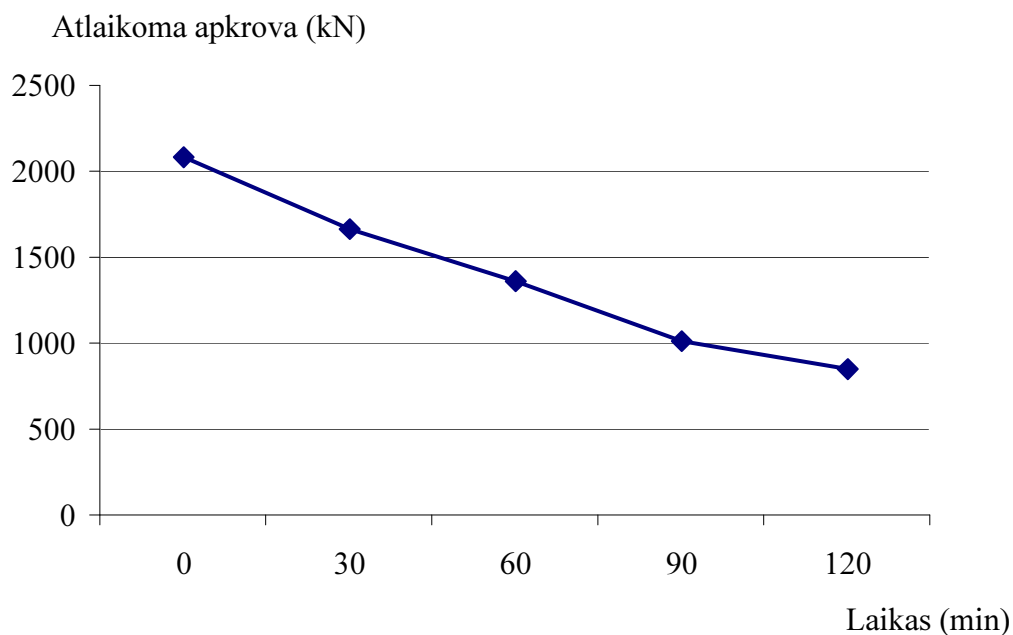
Apskaičiuojam redukuoto skerspjūvio (žr. 7.15 pav.) laikomoji galia:

$$N_{Rd} = \eta \cdot f_{cd} \cdot b \cdot h + \sigma_s \cdot A_{s1},$$

$$N_{Rd} = 1,0 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 0,1896 \cdot 0,1896 + 253 \cdot 10^3 \cdot 5,09 \cdot 10^{-4} = 848 \text{ kN} < N_{Ed} = 1500 \text{ kN}.$$

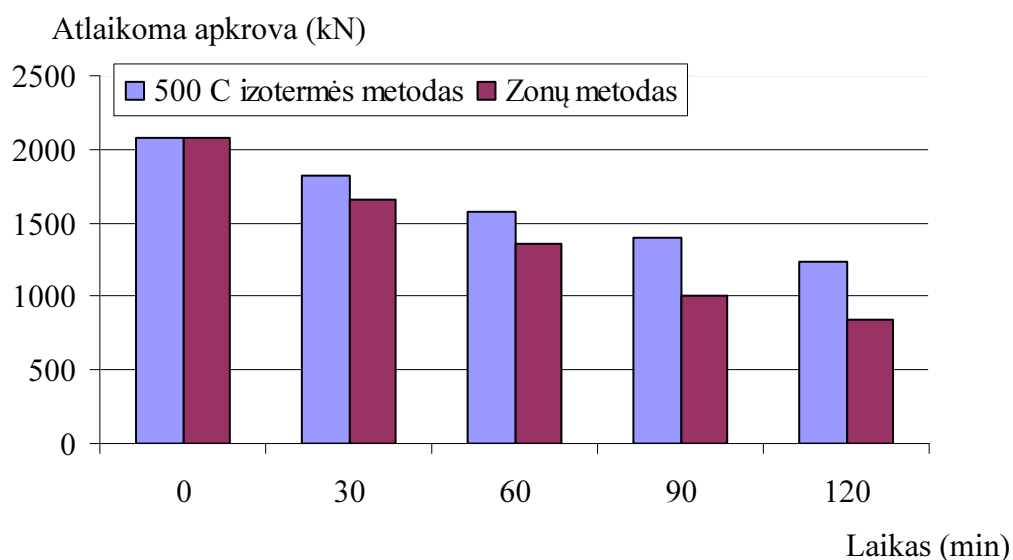
Išvada: sąlyga netenkinama, todėl pagal priimtą skaičiuojamąją schemą kolona neatlaiko 120 minučių gaisro apkrovos.

Pagal skaičiavimus kolona, veikiamą gaisro iš visų pusių, gali atlaikyti gaisro apkrovą maždaug 45 minutes (žr. 7.16 pav.).



7.16 pav. Kolonos, iš visų pusių veikiamos gaisro, laikomosios galios nuo ašinės jėgos kitimas pagal zonų metodą

7.4. Kolonos, iš visų pusių veikiamos gaisro, rezultatų palyginimas pagal 500 °C izotermės ir zonų metodus



7.17 pav. Kolonos, iš visų pusių veikiamos gaisro, laikomosios galios, nuo ašinės jėgos, kitimo palyginimas pagal 500 °C izotermės ir zonų metodus

Iš 7.17 paveikslo matyti, kad vertinant gaisro temperatūrų įtaką centriškai gniuždomai gelžbetoninei kolonai pagal 500 °C izotermės ir zonų metodus didėjant temperatūrinio poveikio laikui mažėja kolonos laikomoji galia. Skaičiuojant pagal zonų metodą kolonos laikomoji galia mažėja intensyviau nei 500 °C izotermės atveju. Kolonos laikomoji galia pagal zonų metodą po 30,

60, 90 ir 120 minučių temperatūros poveikio yra atitinkamai 10, 15, 39 ir 47 % mažesnė nei pagal 500 °C izotermės skaičiavimo metodą. Tai rodo, kad rezultatai pagal 500 °C izotermės metodą gaunami su didesne atsarga nei pagal zonų metodą ir galima teigti, kad zonų metodas yra tikslesnis (LST EN 1992-1-2).

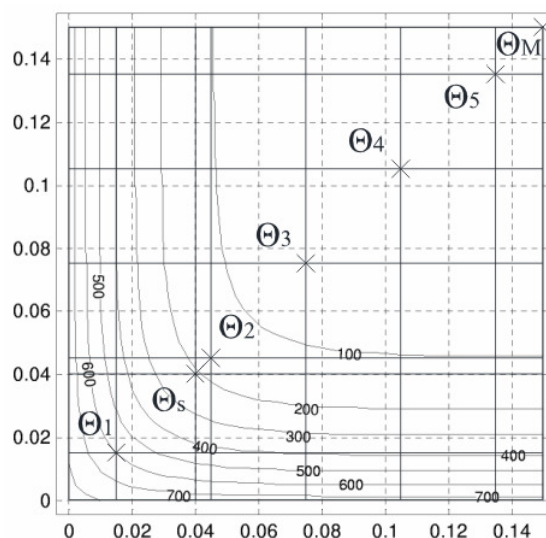
7.5. Skaičiavimas pagal LST EN 1992-1-2

LST EN 1992-1-2 A priede grafiniu pavidalu pateikti dažniausiai pasitaikančių kolonų skerspjūvių temperatūriniai laukai. Pagal šiuos temperatūrinius laukus galima įvertinti temperatūros pasiskirstymą kolonos skerspjūvyje. Skaičiavimas analogiškas 4.3.4 punkte aprašytam algoritmui, skiriasi tik temperatūros vertinimo principas. Iš pateiktų grafikų vizualiai yra nustatomos temperatūrų vertės charakteringuose kolonos skerspjūvio taškuose bei armatūroje, po to zonų metodu įvertinami redukuotas skerspjūvis, betono ir armatūros stipriai ir skaičiuojama elemento laikomoji galia esant tam tikram gaisro poveikio laikui.

7.5.1. Iš visų pusių gaisro veikiamos kolonos skaičiavimas

Visos apkrovos ir prielaidos imamos tokios pačios kaip skaičiavimuose 7.3.1 punkte. Kadangi skaičiuojama pagal zonų metodą, skaičiuojamoji skerspjūvio dalis dalinama į 5 dalis. Skerspjūvis ir charakteringi taškai analogiški esantiems 7.10 ir 7.11 paveiksluose.

Po 30 minučių.



7.18 pav. Kolonos, kurios skerspjūvis $h \times b = 0,3 \times 0,3$ m ir R 30, temperatūrų laukai ir charakteringi taškai

Iš 7.18 paveikslo nustatomos temperatūros charakteringuose taškuose: $\Theta_1 = 600\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\Theta_2 = 175\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\Theta_3 = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\Theta_4 = 45\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\Theta_5 = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\Theta_M = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\Theta_s = 210\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Pagal (4.5), (4.16) ir (4.18) formules apskaičiuojami betono ir armatūros stiprio mažinimo koeficientai:

$$k_c(\Theta_1) = 0,15 - 0,6 \cdot \left(\frac{\Theta - 800}{400} \right) = 0,15 - 0,6 \cdot \left(\frac{600 - 800}{400} \right) = 0,45,$$

$$k_c(\Theta_2) = 0,95 - 0,05 \cdot \left(\frac{\Theta - 200}{100} \right) = 0,95 - 0,05 \cdot \left(\frac{175 - 200}{100} \right) = 0,963,$$

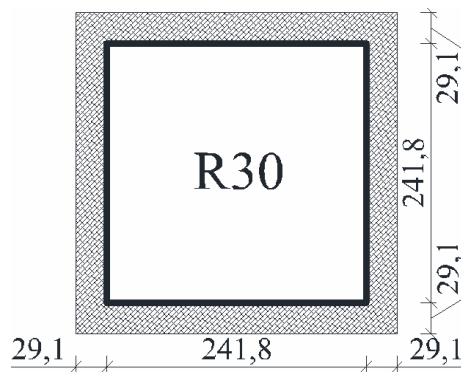
$$k_c(\Theta_3) = 1,0, \quad k_c(\Theta_4) = 1,0, \quad k_c(\Theta_5) = 1,0, \quad k_c(\Theta_M) = 1,0.$$

$$k_s(\Theta) = 0,7 - 0,3 \cdot \left(\frac{\Theta - 400}{300} \right) = 0,7 - 0,3 \cdot \left(\frac{210 - 400}{300} \right) = 0,89.$$

$$k_{c,m} = \frac{1 - \frac{0,2}{n}}{n} \cdot \sum_{i=1}^n k_c(\Theta_i) = \frac{1 - \frac{0,2}{5}}{5} \cdot (0,45 + 0,963 + 1,0 + 1,0 + 1,0) = 0,847.$$

$$a_z = w \cdot \left[1 - \left(\frac{k_{c,m}}{k_c(\Theta_M)} \right)^{1,3} \right] = 150 \cdot \left[1 - \left(\frac{0,847}{1,0} \right)^{1,3} \right] = 29,1 \text{ mm}.$$

$$f_{yd} = k_s(\Theta) \cdot f_{yd}(20^{\circ}\text{C}) = 0,89 \cdot 435 = 387 \text{ MPa}.$$



7.19 pav. Kolonos pažeistas skerspjūvis po 30 minučių

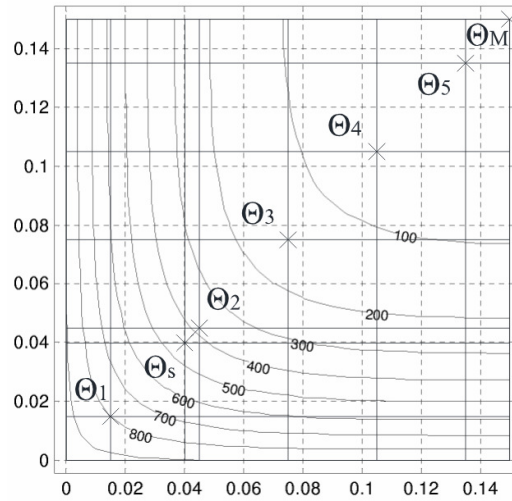
Apskaičiuojama redukuoto skerspjūvio (žr. 7.19 pav.) laikomoji galia:

$$N_{Rd} = \eta \cdot f_{cd} \cdot b \cdot h + \sigma_{sc} \cdot A_{s2} + \sigma_s \cdot A_{s1},$$

$$N_{Rd} = 1,0 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 0,2418 \cdot 0,2418 + 387 \cdot 10^3 \cdot 5,09 \cdot 10^{-4} + 232 \cdot 10^3 \cdot 5,09 \cdot 10^{-4} = 1484 \text{ kN} \approx N_{Ed} = 1500 \text{ kN}$$

Išvada: sąlyga tenkinama, todėl kolona atlaiko 30 minučių gaisro apkrovą.

Po 60 minučių.



7.20 pav. Kolonos, kurios skerspjūvis $h \times b = 0,3 \times 0,3$ m ir R 60, temperatūrų laukai ir charakteringi taškai

Iš 7.20 paveikslo nustatomos temperatūros charakteringuose taškuose: $\Theta_1 = 800$ °C ,
 $\Theta_2 = 385$ °C , $\Theta_3 = 155$ °C , $\Theta_4 = 70$ °C , $\Theta_5 = 25$ °C , $\Theta_M = 20$ °C , $\Theta_s = 445$ °C .

Pagal (4.6), (4.16) – (4.18) formules apskaičiuojami betono ir armatūros stiprio mažinimo koeficientai:

$$k_c(\Theta_1) = 0,15 - 0,6 \cdot \left(\frac{\Theta - 800}{400} \right) = 0,15 - 0,6 \cdot \left(\frac{800 - 800}{400} \right) = 0,15 ,$$

$$k_c(\Theta_2) = 0,75 - 0,2 \cdot \left(\frac{\Theta - 400}{200} \right) = 0,75 - 0,2 \cdot \left(\frac{385 - 400}{200} \right) = 0,765 ,$$

$$k_c(\Theta_3) = 0,95 - 0,05 \cdot \left(\frac{\Theta - 200}{100} \right) = 0,95 - 0,05 \cdot \left(\frac{155 - 200}{100} \right) = 0,973 ,$$

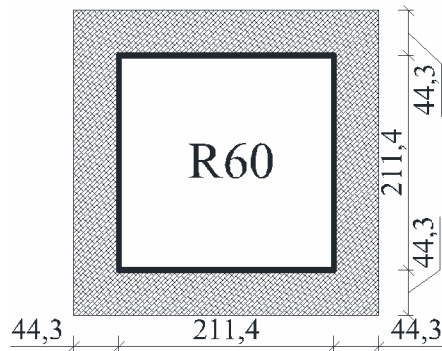
$$k_c(\Theta_4) = 1,0 , \quad k_c(\Theta_5) = 1,0 , \quad k_c(\Theta_M) = 1,0 .$$

$$k_s(\Theta) = 0,57 - 0,13 \cdot \left(\frac{\Theta - 500}{100} \right) = 0,57 - 0,13 \cdot \left(\frac{445 - 500}{100} \right) = 0,642 .$$

$$k_{c,m} = \frac{1 - \frac{0,2}{n}}{n} \cdot \sum_{i=1}^n k_c(\Theta_i) = \frac{1 - \frac{0,2}{5}}{5} \cdot (0,15 + 0,765 + 0,973 + 1,0 + 1,0) = 0,746 .$$

$$a_z = w \cdot \left[1 - \left(\frac{k_{c,m}}{k_c(\Theta_M)} \right)^{1,3} \right] = 150 \cdot \left[1 - \left(\frac{0,746}{1,0} \right)^{1,3} \right] = 44,3 \text{ mm} .$$

$$f_{yd} = k_s(\Theta) \cdot f_{yd}(20^\circ \text{C}) = 0,642 \cdot 435 = 279 \text{ MPa} .$$



7.21 pav. Kolonos pažeistas skerspjūvis po 60 minučių

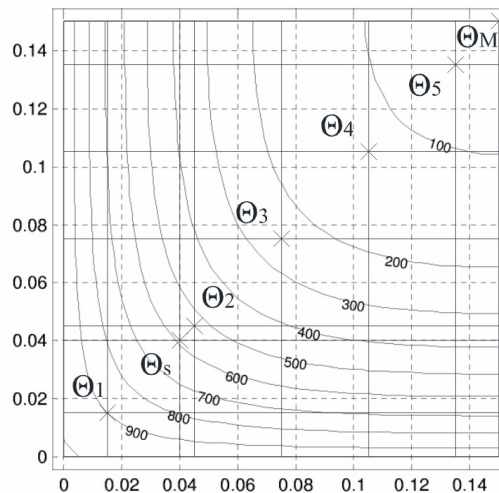
Apskaičiuojama redukuoto (žr. 7.21 pav.) skerspjūvio laikomoji galia:

$$N_{Rd} = \eta \cdot f_{cd} \cdot b \cdot h + \sigma_{sc} \cdot A_{s2} + \sigma_s \cdot A_{s1},$$

$$N_{Rd} = 1,0 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 0,2114 \cdot 0,2114 + 271 \cdot 10^3 \cdot 5,09 \cdot 10^{-4} = 1032 \text{ kN} < N_{Ed} = 1500 \text{ kN}.$$

Išvada: sąlyga netenkinama, todėl pagal priimtą skaičiuojamąją schemą kolona neatlaiko 60 minučių gaisro apkrovos.

Po 90 minučių.



7.22 pav. Kolonos, kurios skerspjūvis $h \times b = 0,3 \times 0,3 \text{ m}$ ir R 90, temperatūrų laukai ir charakteringi taškai

Iš 7.22 paveikslo nustatomos temperatūros charakteringuose taškuose: $\Theta_1 = 900^\circ\text{C}$, $\Theta_2 = 530^\circ\text{C}$, $\Theta_3 = 255^\circ\text{C}$, $\Theta_4 = 130^\circ\text{C}$, $\Theta_5 = 40^\circ\text{C}$, $\Theta_M = 20^\circ\text{C}$, $\Theta_s = 590^\circ\text{C}$.

Pagal (4.7), (4.16) – (4.19) formules apskaičiuojami betono ir armatūros stiprio mažinimo koeficientai:

$$k_c(\Theta_1) = 0,08 - 0,07 \cdot \left(\frac{\Theta - 900}{100} \right) = 0,08 - 0,07 \cdot \left(\frac{900 - 900}{100} \right) = 0,08,$$

$$k_c(\Theta_2) = 0,15 - 0,6 \cdot \left(\frac{\Theta - 800}{400} \right) = 0,15 - 0,6 \cdot \left(\frac{530 - 800}{400} \right) = 0,555,$$

$$k_c(\Theta_3) = 0,75 - 0,2 \cdot \left(\frac{\Theta - 400}{200} \right) = 0,75 - 0,2 \cdot \left(\frac{255 - 400}{200} \right) = 0,895,$$

$$k_c(\Theta_4) = 0,95 - 0,05 \cdot \left(\frac{\Theta - 200}{100} \right) = 0,95 - 0,05 \cdot \left(\frac{130 - 200}{100} \right) = 0,985,$$

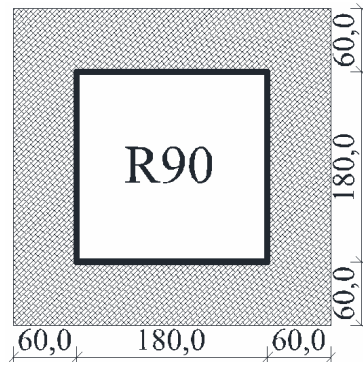
$$k_c(\Theta_5) = 1,0, \quad k_c(\Theta_M) = 1,0.$$

$$k_s(\Theta) = 0,1 - 0,47 \cdot \left(\frac{\Theta - 700}{200} \right) = 0,1 - 0,47 \cdot \left(\frac{590 - 700}{200} \right) = 0,359.$$

$$k_{c,m} = \frac{1 - \frac{0,2}{n}}{n} \cdot \sum_{i=1}^n k_c(\Theta_i) = \frac{1 - \frac{0,2}{5}}{5} \cdot (0,08 + 0,555 + 0,895 + 0,985 + 1,0) = 0,675.$$

$$a_z = w \cdot \left[1 - \left(\frac{k_{c,m}}{k_c(\Theta_M)} \right)^{1,3} \right] = 150 \cdot \left[1 - \left(\frac{0,675}{1,0} \right)^{1,3} \right] = 60,0 \text{ mm}.$$

$$f_{yd} = k_s(\Theta) \cdot f_{yd}(20^\circ \text{C}) = 0,359 \cdot 435 = 156 \text{ MPa}.$$



7.23 pav. Kolonos pažeistas skerspjūvis po 90 minučių

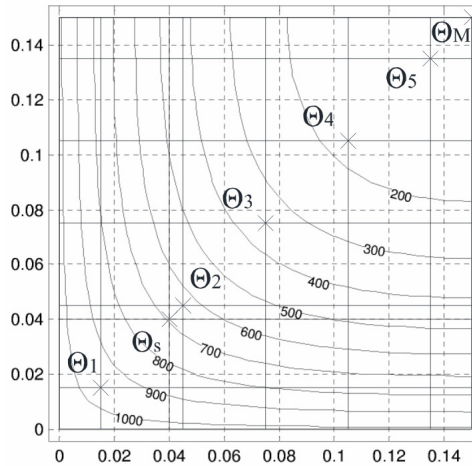
Apskaičiuojama redukuoto skerspjūvio (žr. 7.23 pav.) laikomoji galia:

$$N_{Rd} = \eta \cdot f_{cd} \cdot b \cdot h + \sigma_{sc} \cdot A_{s2} + \sigma_s \cdot A_{s1},$$

$$N_{Rd} = 1,0 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 0,18 \cdot 0,18 + 156 \cdot 10^3 \cdot 5,09 \cdot 10^{-4} = 727 \text{ kN} < N_{Ed} = 1500 \text{ kN}.$$

Išvada: sąlyga netenkinama, todėl pagal priimtą skaičiuojamąją schemą kolona neatlaiko 90 minučių gaisro apkrovos.

Po 120 minučių.



7.24 pav. Kolonos, kurios skerspjūvis $h \times b = 0,3 \times 0,3$ m ir R 120, temperatūrų laukai ir charakteringi taškai

Iš 7.24 paveikslo nustatomos temperatūros charakteringuose taškuose: $\Theta_1 = 960 \text{ } ^\circ\text{C}$, $\Theta_2 = 640 \text{ } ^\circ\text{C}$, $\Theta_3 = 355 \text{ } ^\circ\text{C}$, $\Theta_4 = 180 \text{ } ^\circ\text{C}$, $\Theta_5 = 60 \text{ } ^\circ\text{C}$, $\Theta_M = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$, $\Theta_s = 690 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Pagal (4.7), (4.16) – (4.18), (4.20) formules apskaičiuojami betono ir armatūros stiprio mažinimo koeficientai:

$$k_c(\Theta_1) = 0,04 - 0,04 \cdot \left(\frac{\Theta - 1000}{100} \right) = 0,04 - 0,04 \cdot \left(\frac{960 - 1000}{100} \right) = 0,056,$$

$$k_c(\Theta_2) = 0,15 - 0,6 \cdot \left(\frac{\Theta - 800}{400} \right) = 0,15 - 0,6 \cdot \left(\frac{640 - 800}{400} \right) = 0,39,$$

$$k_c(\Theta_3) = 0,75 - 0,2 \cdot \left(\frac{\Theta - 400}{200} \right) = 0,75 - 0,2 \cdot \left(\frac{355 - 400}{200} \right) = 0,795,$$

$$k_c(\Theta_4) = 0,95 - 0,05 \cdot \left(\frac{\Theta - 200}{100} \right) = 0,95 - 0,05 \cdot \left(\frac{180 - 200}{100} \right) = 0,96,$$

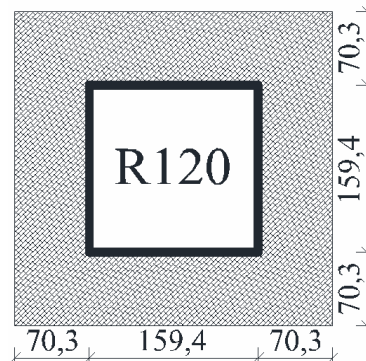
$$k_c(\Theta_5) = 1,0, \quad k_c(\Theta_M) = 1,0.$$

$$k_s(\Theta) = 0,1 - 0,47 \cdot \left(\frac{\Theta - 700}{200} \right) = 0,1 - 0,47 \cdot \left(\frac{690 - 700}{200} \right) = 0,124.$$

$$k_{c,m} = \frac{1 - \frac{0,2}{n}}{n} \cdot \sum_{i=1}^n k_c(\Theta_i) = \frac{1 - \frac{0,2}{5}}{5} \cdot (0,056 + 0,39 + 0,795 + 0,96 + 1,0) = 0,615.$$

$$a_z = w \cdot \left[1 - \left(\frac{k_{c,m}}{k_c(\Theta_M)} \right)^{1,3} \right] = 150 \cdot \left[1 - \left(\frac{0,615}{1,0} \right)^{1,3} \right] = 70,3 \text{ mm}.$$

$$f_{yd} = k_s(\Theta) \cdot f_{yd}(20^\circ C) = 0,124 \cdot 435 = 54 \text{ MPa}.$$



7.25 pav. Kolonos pažeistas skerspjūvis po 120 minučių

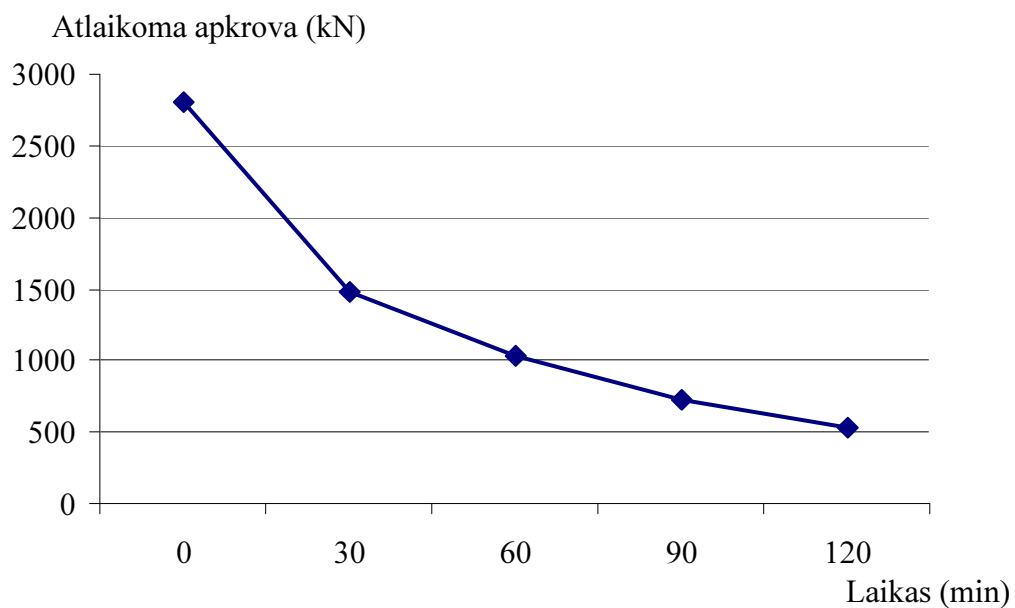
Apskaičiuojama redukuoto skerspjūvio (žr. 7.25 pav.) laikomoji galia:

$$N_{Rd} = \eta \cdot f_{cd} \cdot b \cdot h + \sigma_{sc} \cdot A_{s2} + \sigma_s \cdot A_{s1},$$

$$N_{Rd} = 1,0 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 0,1594 \cdot 0,1594 + 54 \cdot 10^3 \cdot 5,09 \cdot 10^{-4} = 536 \text{ kN} < N_{Ed} = 1500 \text{ kN}.$$

Išvada: sąlyga netenkinama, todėl pagal priimtą skaičiuojamąją schemą kolona neatlaiko 120 minučių gaisro apkrovos.

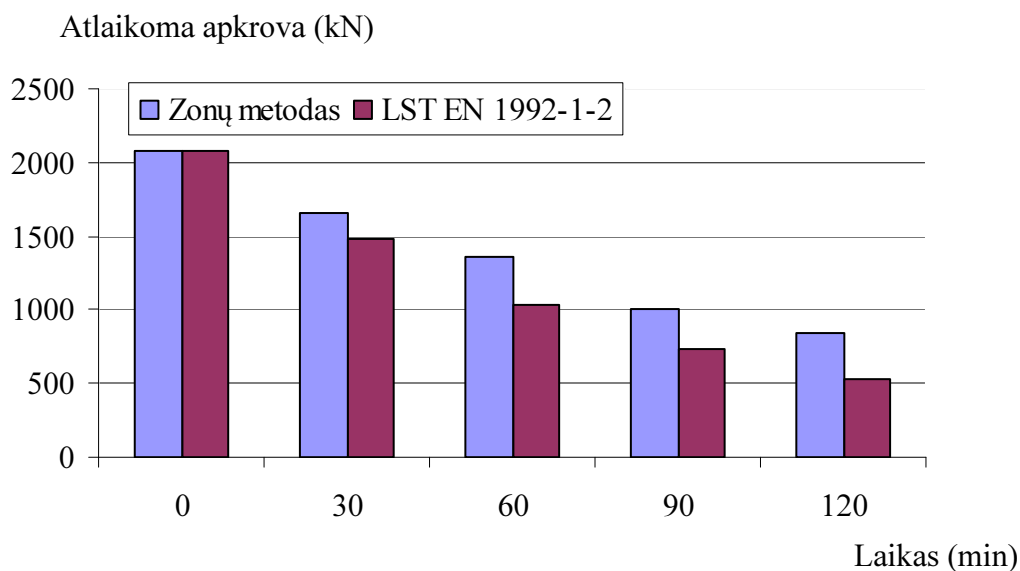
Pagal skaičiavimus kolona, veikiamą gaisro iš visų pusių, gali atlaikyti gaisro apkrovą maždaug 30 minučių (žr. 7.26 pav.).



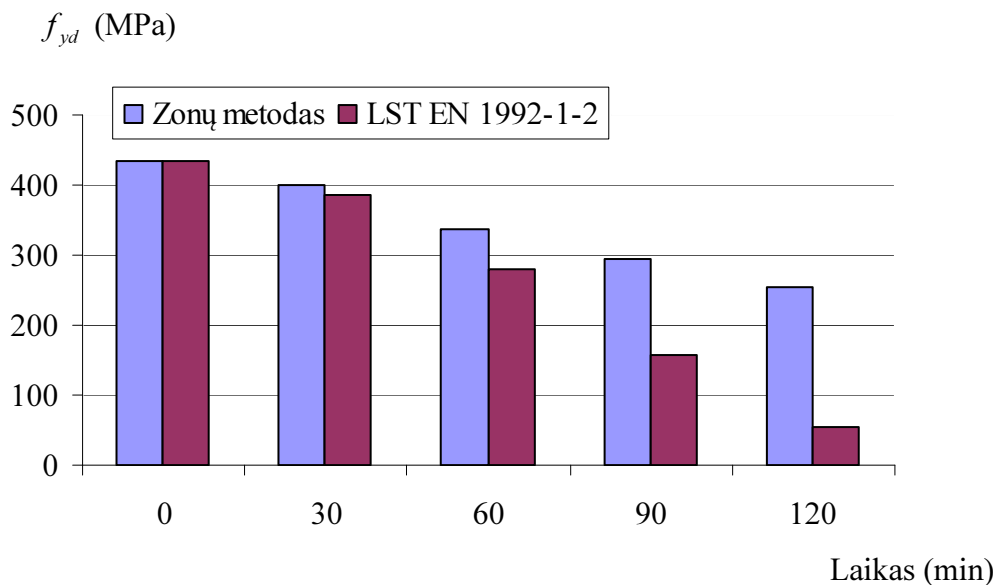
7.26 pav. Kolonos, iš visų pusių veikiamos gaisro, laikomosios galios nuo ašinės jėgos kitimas pagal LST EN 1992-1-2

7.6. Kolonos, iš visų pusių veikiamos gaisro, rezultatų palyginimas pagal zonų metodą ir LST EN 1992-1-2

Iš 7.27 paveikslo matyti, kad pagal Euronormas kolonos laikomoji galia veikiant gaisro temperatūrai mažėja intensyviau nei pagal zonų metodą. Pagrindinė priežastis kodėl atsiranda toks laikomosios galios skirtumas yra tas, kad labai didelę įtaką laikomosios galios mažėjimui daro didesnis armatūros stiprio mažinimas skaičiavimus atliekant pagal Euronormas. Armatūros stiprio mažėjimo palyginimas pateiktas 7.28 paveiksle. Kolonos laikomoji galia skaičiuojant pagal zonų metodą po 30, 60, 90 ir 120 minučių yra atitinkamai 12, 32, 39 ir 58 % didesnė nei pagal Euronormas.



7.27 pav. Kolonos, iš visų pusių veikiamos gaisro, laikomosios galios kitimo palyginimas pagal zonų metodą ir LST EN 1992-1-2



7.28 pav. Armatūros skaičiuotinio stiprio mažėjimo priklausomybė nuo gaisro poveikio trukmės pagal zonų metodą ir LST EN 1992-1-2

Skirtumas tarp armatūros stiprių atsiranda dėl to, kad pagal LST EN 1992-1-2 normas gerokai didesnės temperatūros atsiranda paviršiniuose skerspjūvio sluoksniuose, o artėjant link skerspjūvio vidurio skirtumas tarp temperatūrų, gautų skaičiuojant pagal Euronormas ir zonų metodą, mažėja. Netikslumų atsiranda dėl to, kad zonų metodu apskaičiuotos temperatūros reikšmės yra gautos nevertinant to, kad kaistant betonui kinta jo savybės: specifinė šiluma, tūrinis tankis, šiluminis laidumas (LST EN 1992-1-2). Nuo šių faktorių priklauso ir šiluminio svarbumo koeficientas a_c , kuris nebuvo įvertintas skaičiavimuose. Pagal Vikstromo metodą paprastumo dėlei nevertinamas santykis a/a_c , tuomet formulė (5.3):

$$n_x = 0,18 \cdot \ln \left(\frac{a}{a_c} \cdot \frac{t}{x^2} \right),$$

čia $a_c = 0,417 \cdot 10^{-6}$,

$a = \frac{\lambda_c}{\rho_c \cdot c_c}$, o koeficientai λ_c , ρ_c , c_c perskaičiuojami pagal (2.7) – (2.16) formules.

Neįvertinus šių faktorių atsirado skirtumas tarp temperatūrų reikšmių charakteringuose skerspjūvio taškuose.

7.7. Skaičiavimas zonų metodu pagal skaitiniu metodu (Cosmos/M) gautus rezultatus

7.7.1. Iš visų pusių gaisro veikiamos kolonos skaičiavimas

Visos apkrovos ir prielaidos imamos tokios pačios kaip skaičiavimuose 7.3.1 punkte. Kadangi skaičiuojama pagal zonų metodą, skaičiuojamoji skerspjūvio dalis dalinama į 5 dalis. Skerspjūvis ir charakteringi taškai analogiški esantiems 7.10 ir 7.11 paveiksluose.

Po 30 minučių.

Baigtinių elementų programa Cosmos/M nustatomos temperatūros charakteringuose taškuose: $\Theta_1 = 650\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\Theta_2 = 306\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\Theta_3 = 105\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\Theta_4 = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\Theta_5 = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\Theta_M = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\Theta_s = 316\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Pagal (4.5), (4.16) – (4.18) formules apskaičiuojami betono ir armatūros stiprio mažinimo koeficientai:

$$k_c(\Theta_1) = 0,15 - 0,6 \cdot \left(\frac{\Theta - 800}{400} \right) = 0,15 - 0,6 \cdot \left(\frac{650 - 800}{400} \right) = 0,375,$$

$$k_c(\Theta_2) = 0,75 - 0,2 \cdot \left(\frac{\Theta - 400}{200} \right) = 0,75 - 0,2 \cdot \left(\frac{306 - 400}{200} \right) = 0,844,$$

$$k_c(\Theta_3) = 0,95 - 0,05 \cdot \left(\frac{\Theta - 200}{100} \right) = 0,95 - 0,05 \cdot \left(\frac{105 - 200}{100} \right) = 0,998,$$

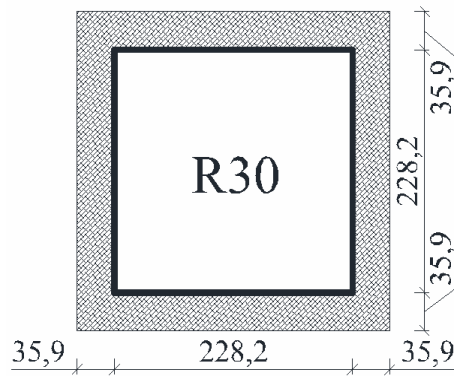
$$k_c(\Theta_4) = 1,0, \quad k_c(\Theta_5) = 1,0, \quad k_c(\Theta_M) = 1,0.$$

$$k_s(\Theta) = 0,7 - 0,3 \cdot \left(\frac{\Theta - 400}{300} \right) = 0,7 - 0,3 \cdot \left(\frac{316 - 400}{300} \right) = 0,784.$$

$$k_{c,m} = \frac{1 - \frac{0,2}{n}}{n} \cdot \sum_{i=1}^n k_c(\Theta_i) = \frac{1 - \frac{0,2}{5}}{5} \cdot (0,375 + 0,844 + 0,998 + 1,0 + 1,0) = 0,81.$$

$$a_z = w \cdot \left[1 - \left(\frac{k_{c,m}}{k_c(\Theta_M)} \right)^{1,3} \right] = 150 \cdot \left[1 - \left(\frac{0,81}{1,0} \right)^{1,3} \right] = 35,9 \text{ mm}.$$

$$f_{yd} = k_s(\Theta) \cdot f_{yd}(20^{\circ}\text{C}) = 0,784 \cdot 435 = 341 \text{ MPa}.$$



7.29 pav. Kolonos pažeistas skerspjūvis po 30 minučių

Apskaičiuojama redukuoto skerspjūvio (žr. 7.29 pav.) laikomoji galia:

$$N_{Rd} = \eta \cdot f_{cd} \cdot b \cdot h + \sigma_{sc} \cdot A_{s2} + \sigma_s \cdot A_{s1},$$

$$N_{Rd} = 1,0 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 0,2282 \cdot 0,2282 + 341 \cdot 10^3 \cdot 5,09 \cdot 10^{-4} + 251 \cdot 10^3 \cdot 5,09 \cdot 10^{-4} = 1343 \text{ kN} < N_{Ed} = 1500 \text{ kN}$$

Išvada: sąlyga netenkinama, todėl pagal priimtą skaičiuojamąją schemą kolona neatlaiko 30 minučių gaisro apkrovos.

Po 60 min.

Baigtinių elementų programa Cosmos/M nustatomos temperatūros charakteringuose taškuose: $\Theta_1 = 815 \text{ } ^\circ\text{C}$, $\Theta_2 = 506 \text{ } ^\circ\text{C}$, $\Theta_3 = 208 \text{ } ^\circ\text{C}$, $\Theta_4 = 106 \text{ } ^\circ\text{C}$, $\Theta_5 = 48 \text{ } ^\circ\text{C}$, $\Theta_M = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$, $\Theta_s = 514 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Pagal (4.7), (4.16) – (4.19) formules apskaičiuojami betono ir armatūros stiprio mažinimo koeficientai:

$$k_c(\Theta_1) = 0,08 - 0,07 \cdot \left(\frac{\Theta - 900}{100} \right) = 0,08 - 0,07 \cdot \left(\frac{815 - 900}{100} \right) = 0,14,$$

$$k_c(\Theta_2) = 0,15 - 0,6 \cdot \left(\frac{\Theta - 800}{400} \right) = 0,15 - 0,6 \cdot \left(\frac{506 - 800}{400} \right) = 0,591,$$

$$k_c(\Theta_3) = 0,75 - 0,2 \cdot \left(\frac{\Theta - 400}{200} \right) = 0,75 - 0,2 \cdot \left(\frac{208 - 400}{200} \right) = 0,942,$$

$$k_c(\Theta_4) = 0,95 - 0,05 \cdot \left(\frac{\Theta - 200}{100} \right) = 0,95 - 0,05 \cdot \left(\frac{106 - 200}{100} \right) = 0,997,$$

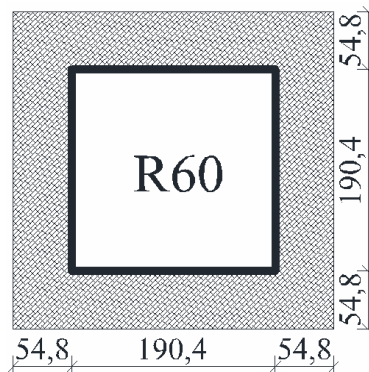
$$k_c(\Theta_5) = 1,0, \quad k_c(\Theta_M) = 1,0.$$

$$k_s(\Theta) = 0,1 - 0,47 \cdot \left(\frac{\Theta - 700}{200} \right) = 0,1 - 0,47 \cdot \left(\frac{514 - 700}{200} \right) = 0,537.$$

$$k_{c,m} = \frac{1 - \frac{0,2}{n}}{n} \cdot \sum_{i=1}^n k_c(\Theta_i) = \frac{1 - \frac{0,2}{5}}{5} \cdot (0,14 + 0,591 + 0,942 + 0,997 + 1,0) = 0,705.$$

$$a_z = w \cdot \left[1 - \left(\frac{k_{c,m}}{k_c(\Theta_M)} \right)^{1,3} \right] = 150 \cdot \left[1 - \left(\frac{0,705}{1,0} \right)^{1,3} \right] = 54,8 \text{ mm}.$$

$$f_{yd} = k_s(\Theta) \cdot f_{yd}(20^\circ \text{C}) = 0,537 \cdot 435 = 234 \text{ MPa}.$$



7.30 pav. Kolonos pažeistas skerspjūvis po 60 minučių

Apskaičiuojama redukuoto skerspjūvio (žr. 7.30 pav.) laikomoji galia:

$$N_{Rd} = \eta \cdot f_{cd} \cdot b \cdot h + \sigma_{sc} \cdot A_{s2} + \sigma_s \cdot A_{s1},$$

$$N_{Rd} = 1,0 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 0,1904 \cdot 0,1904 + 234 \cdot 10^3 \cdot 5,09 \cdot 10^{-4} = 844 \text{ kN} < N_{Ed} = 1500 \text{ kN}.$$

Išvada: sąlyga netenkinama, todėl pagal priimtą skaičiuojamąją schemą kolona neatlaiko 60 minučių gaisro apkrovos.

Po 90 minučių.

Baigtinių elementų programa Cosmos/M nustatomos temperatūros charakteringuose taškuose: $\Theta_1 = 913^\circ \text{C}$, $\Theta_2 = 613^\circ \text{C}$, $\Theta_3 = 309^\circ \text{C}$, $\Theta_4 = 150^\circ \text{C}$, $\Theta_5 = 54^\circ \text{C}$, $\Theta_M = 20^\circ \text{C}$, $\Theta_s = 642^\circ \text{C}$.

Pagal (4.7), (4.16) – (4.18), (4.20) formules apskaičiuojami betono ir armatūros stiprio mažinimo koeficientai:

$$k_c(\Theta_1) = 0,04 - 0,04 \cdot \left(\frac{\Theta - 1000}{100} \right) = 0,04 - 0,04 \cdot \left(\frac{913 - 1000}{100} \right) = 0,075,$$

$$k_c(\Theta_2) = 0,15 - 0,6 \cdot \left(\frac{\Theta - 800}{400} \right) = 0,15 - 0,6 \cdot \left(\frac{613 - 800}{400} \right) = 0,431,$$

$$k_c(\Theta_3) = 0,75 - 0,2 \cdot \left(\frac{\Theta - 400}{200} \right) = 0,75 - 0,2 \cdot \left(\frac{309 - 400}{200} \right) = 0,841,$$

$$k_c(\Theta_4) = 0,95 - 0,05 \cdot \left(\frac{\Theta - 200}{100} \right) = 0,95 - 0,05 \cdot \left(\frac{150 - 200}{100} \right) = 0,975,$$

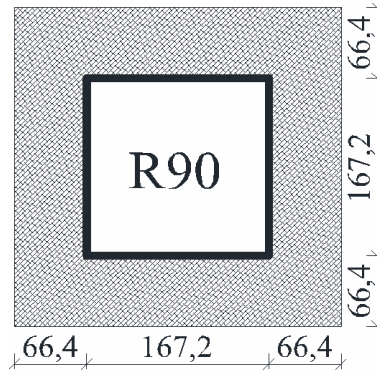
$$k_c(\Theta_5) = 1,0, \quad k_c(\Theta_M) = 1,0.$$

$$k_s(\Theta) = 0,1 - 0,47 \cdot \left(\frac{\Theta - 700}{200} \right) = 0,1 - 0,47 \cdot \left(\frac{642 - 700}{200} \right) = 0,236.$$

$$k_{c,m} = \frac{1 - \frac{0,2}{n}}{n} \cdot \sum_{i=1}^n k_c(\Theta_i) = \frac{1 - \frac{0,2}{5}}{5} \cdot (0,075 + 0,431 + 0,841 + 0,975 + 1,0) = 0,638.$$

$$a_z = w \cdot \left[1 - \left(\frac{k_{c,m}}{k_c(\Theta_M)} \right)^{1,3} \right] = 150 \cdot \left[1 - \left(\frac{0,638}{1,0} \right)^{1,3} \right] = 66,4 \text{ mm}.$$

$$f_{yd} = k_s(\Theta) \cdot f_{yd}(20^\circ \text{C}) = 0,236 \cdot 435 = 103 \text{ MPa}.$$



7.31 pav. Kolonos pažeistas skerspjūvis po 90 minučių

Apskaičiuojama redukuoto skerspjūvio (žr. 7.31 pav.) laikomoji galia:

$$N_{Rd} = \eta \cdot f_{cd} \cdot b \cdot h + \sigma_{sc} \cdot A_{s2} + \sigma_s \cdot A_{s1},$$

$$N_{Rd} = 1,0 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 0,1672 \cdot 0,1672 + 103 \cdot 10^3 \cdot 5,09 \cdot 10^{-4} = 612 \text{ kN} < N_{Ed} = 1500 \text{ kN}.$$

Išvada: sąlyga netenkinama, todėl pagal priimtą skaičiuojamąją schemą kolona neatlaiko 90 minučių gaisro apkrovos.

Po 120 minučių.

Baigtinių elementų programa Cosmos/M nustatomos temperatūros charakteringuose taškuose: $\Theta_1 = 967\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\Theta_2 = 712\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\Theta_3 = 408\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\Theta_4 = 245\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\Theta_5 = 97\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\Theta_M = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\Theta_s = 734\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Pagal (4.8), (4.17) – (4.18), (4.20) formules apskaičiuojami betono ir armatūros stiprio mažinimo koeficientai:

$$k_c(\Theta_1) = 0,04 - 0,04 \cdot \left(\frac{\Theta - 1000}{100} \right) = 0,04 - 0,04 \cdot \left(\frac{967 - 1000}{100} \right) = 0,053,$$

$$k_c(\Theta_2) = 0,15 - 0,6 \cdot \left(\frac{\Theta - 800}{400} \right) = 0,15 - 0,6 \cdot \left(\frac{712 - 800}{400} \right) = 0,282,$$

$$k_c(\Theta_3) = 0,15 - 0,6 \cdot \left(\frac{\Theta - 800}{400} \right) = 0,15 - 0,6 \cdot \left(\frac{408 - 800}{400} \right) = 0,738,$$

$$k_c(\Theta_4) = 0,75 - 0,2 \cdot \left(\frac{\Theta - 400}{200} \right) = 0,75 - 0,2 \cdot \left(\frac{245 - 400}{200} \right) = 0,905,$$

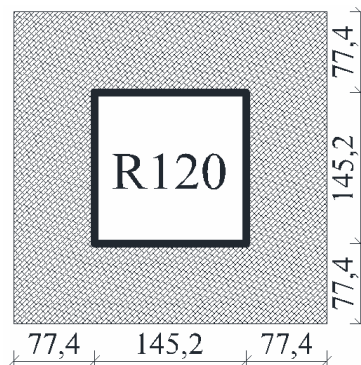
$$k_c(\Theta_5) = 1,0, \quad k_c(\Theta_M) = 1,0.$$

$$k_s(\Theta) = 0,1 \cdot \left(\frac{1200 - \Theta}{500} \right) = 0,1 \cdot \left(\frac{1200 - 734}{500} \right) = 0,093.$$

$$k_{c,m} = \frac{1 - \frac{0,2}{n}}{n} \cdot \sum_{i=1}^n k_c(\Theta_i) = \frac{1 - \frac{0,2}{5}}{5} \cdot (0,053 + 0,282 + 0,738 + 0,905 + 1,0) = 0,572.$$

$$a_z = w \cdot \left[1 - \left(\frac{k_{c,m}}{k_c(\Theta_M)} \right)^{1,3} \right] = 150 \cdot \left[1 - \left(\frac{0,572}{1,0} \right)^{1,3} \right] = 77,4 \text{ mm}.$$

$$f_{yd} = k_s(\Theta) \cdot f_{yd}(20^{\circ}\text{C}) = 0,093 \cdot 435 = 40 \text{ MPa}.$$



7.32 pav. Kolonos pažeistas skerspjūvis po 120 minučių

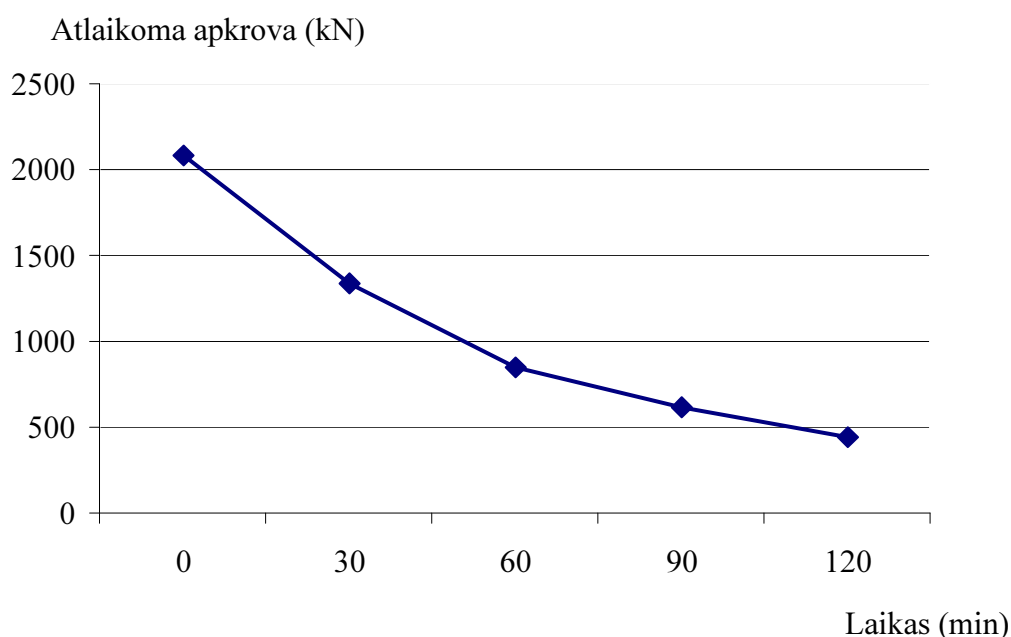
Apskaičiuojama redukuoto skerspjūvio (žr. 7.32 pav.) laikomoji galia:

$$N_{Rd} = \eta \cdot f_{cd} \cdot b \cdot h + \sigma_{sc} \cdot A_{s2} + \sigma_s \cdot A_{s1},$$

$$N_{Rd} = 1,0 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 0,1452 \cdot 0,1452 + 40 \cdot 10^3 \cdot 5,09 \cdot 10^{-4} = 442 \text{ kN} < N_{Ed} = 1500 \text{ kN}.$$

Išvada: sąlyga netenkinama, todėl pagal priimtą skaičiuojamąją schemą kolona neatlaiko 120 minučių gaisro apkrovos.

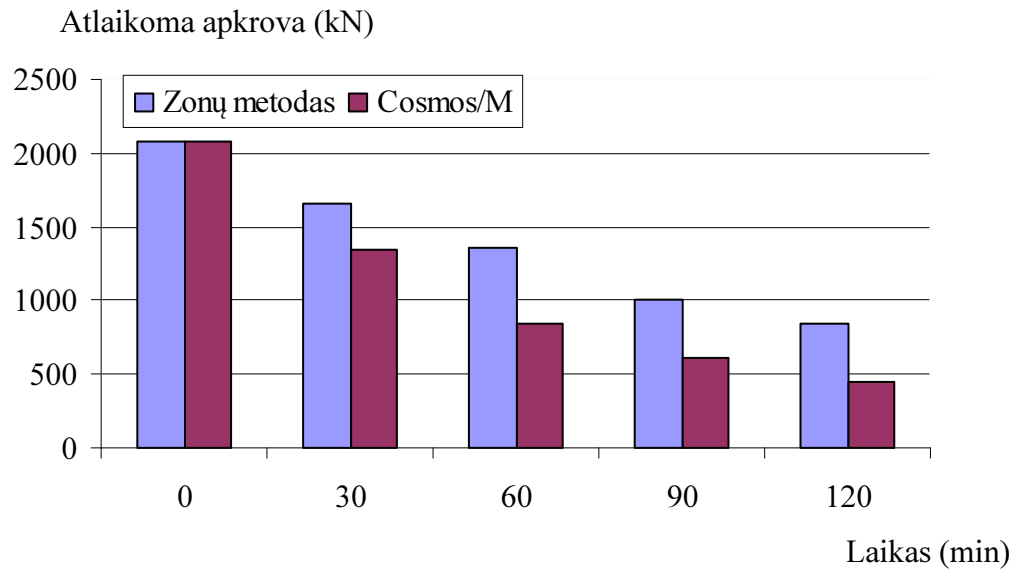
Pagal skaičiavimus kolona, iš visų pusių veikiamą gaisro, gali atlaikyti gaisro apkrovą maždaug 30 minučių (žr. 7.33 pav.).



7.33 pav. Kolonos, iš visų pusių veikiamos gaisro, laikomosios galios nuo ašinės jėgos kitimas pagal skaitiniu metodu (Cosmos/M) gautus rezultatus

7.8. Kolonos, iš visų pusių veikiamos gaisro, laikomosios galios palyginimas pagal analitinį (zonų metodas) metodą ir skaitiniu metodu (Cosmos/M) gautus rezultatus

Skaitiniu, taikant baigtinių elementų programą Cosmos/M, ir analitiniu (Vikstromo) metodais apskaičiuojama kolonos laikomoji galia. Laikomoji galia nustatyta laiko intervale 0 – 2 h, kas 30 minučių. Laikomoji galia gauta pagal skaitiniu metodu (Cosmos/M) gautus rezultatus lyginama su laikomąja galia, gauta skaičiuojant analitiniu metodu (7.34 pav.).

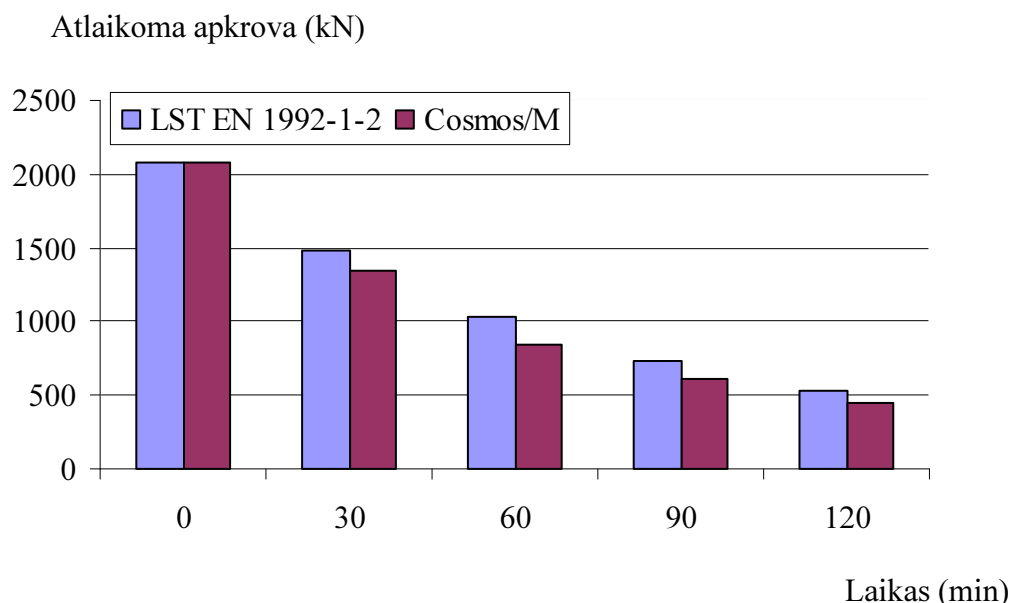


7.34 pav. Kolonos, iš visų pusių veikiamos gaisro, laikomosios galios kitimo palyginimas pagal analitinį (zonų metodas) metodą ir skaitiniu metodu (Cosmos/M) gautus rezultatus

Iš 7.34 paveikslo matyti, kad didėjant temperatūros poveikio laikui mažėja kolonos laikomoji galia. Intensyvesnis laikomosios galios mažėjimas pasireiškia skaičiavimuose pagal skaitiniu metodu gautus rezultatus. Kolonos laikomoji galia po 30, 60, 90 ir 120 minučių pagal analitinį metodą, taikant Vikstromo metodą temperatūroms nustatyti, atitinkamai 23, 61, 65 ir 92 % didesnė nei skaitiniu metodu gautus rezultatus.

7.9. Kolonos, iš visų pusių veikiamos gaisro, rezultatų palyginimas pagal analitinį (LST EN 1992-1-2) metodą ir skaitiniu metodu (Cosmos/M) gautus rezultatus

Kaip ir 7.8 poskyryje yra lyginama kolonos laikomoji galia apskaičiuota pagal LST EN 1992-1-2 normas ir pagal skaitiniu metodu gautus rezultatus (7.35 pav.).



7.35 pav. Kolonos, iš visų pusių veikiamos gaisro, laikomosios galios kitimo palyginimas pagal analitinį metodą ir skaitiniu metodu gautus rezultatus

Pastebimas laikomosios galios mažėjimas didėjant temperatūros poveikio laikui (7.35 pav.). Intensyvesnis laikomosios galios mažėjimas pasireiškia skaičiavimuose pagal skaitiniu metodu gautus rezultatus. Kolonos laikomoji galia po 30, 60, 90 ir 120 minučių pagal LST EN 1992-1-2 normas atitinkamai 10, 22, 19 ir 21 % didesnė nei pagal skaitiniu metodu gautus rezultatus.

Kolonos laikomosios galios skaičiavimo rezultatai pagal Euronormas (LST EN 1992-1-2) yra artimesni skaitiniu metodu gautiems rezultatams nei apskaičiuotiems pagal analitinį (Vikstromo) metodą. Taip yra, todėl, kad skaičiuojant pagal Euronormas ir skaitinio metodo rezultatus yra įvertinami betono šilumos laidis ir savitoji šiluminė talpa, o skaičiuojant pagal analitinį (Vikstromo) metodą neįvertinami.

7.10. Išvados

Skaiciuojant pagal zonų metodą kolonos laikomoji galia mažėja intensyviau nei 500 °C izotermės atveju. Tai rodo, kad rezultatai pagal 500 °C izotermės metodą gaunami su didesne atsarga nei pagal zonų metodą ir galima teigti, kad zonų metodas yra tikslesnis (LST EN 1992-1-2).

Pagal Euronormas kolonos laikomoji galia veikiant gaisro temperatūrai mažėja intensyviau nei pagal zonų metodą. Pagrindinė priežastis kodėl atsiranda toks laikomosios galios skirtumas yra tas, kad labai didelę įtaką laikomosios galios mažėjimui daro didesnis armatūros stiprio mažinimas skaičiavimus atliekant pagal Euronormas. Skirtumas tarp armatūros stiprių atsiranda dėl to, kad

pagal LST EN 1992-1-2 normas gerokai didesnės temperatūros atsiranda paviršiniuose skerspjūvio sluoksniuose, o artėjant link skerspjūvio vidurio skirtumas tarp temperatūrų, gautų skaičiuojant pagal Euronormas ir zonų metodą, mažėja. Netikslumai atsiranda dėl to, kad zonų metodu apskaičiuotos temperatūros reikšmės yra gautos nevertinant to, kad kaistant betonui kinta jo savybės: specifinė šiluma, tūrinis tankis, šiluminis laidumas (LST EN 1992-1-2).

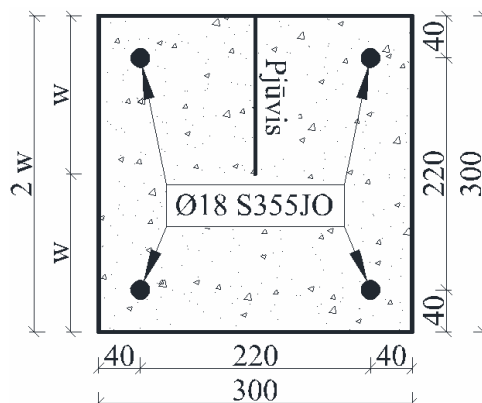
Kolonos laikomosios galios skaičiavimo rezultatai pagal Euronormas yra artimesni skaitiniu metodu gautiems rezultatams, nei apskaičiuotiems pagal analitinį (Vikstromo) metodą. Taip yra, todėl, kad skaičiuojant pagal Euronormas ir skaitinio metodo rezultatus yra įvertinami betono šilumos laidis ir savitoji šiluminė talpa, o skaičiuojant pagal analitinį (Vikstromo) metodą neįvertinami.

8. TEMPERATŪRINIŲ LAUKŲ MODELIAVIMAS

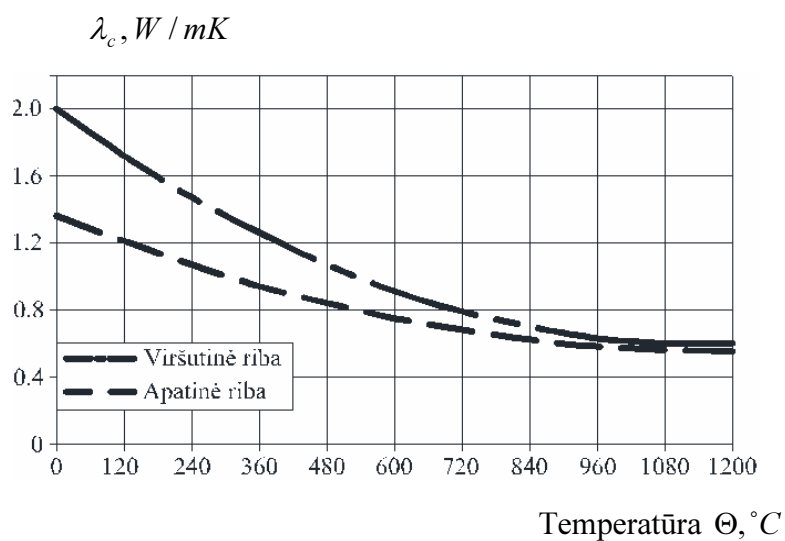
8.1. Modelio sudarymas

Modeliuojama kvadratinio skerspjūvio gelžbetoninė kolona 300 x 300 mm. Kolonos skerspjūvis modeliuojamas taikant baigtinių elementų analizės programą Cosmos/M. Kolonos skerspjūvio schema ir nagrinėjamas pjūvis pavaizduoti 8.1 paveiksle. Tokia kolona pasirinkta tam, kad būtų galima palyginti gautus rezultatus su literatūroje (LST EN 1992-1-2, STR 2.05.11:2005) pateiktais temperatūriniais laukais. Pagrindinis modelio sudarymo tikslas yra sudaryti tokį algoritmą baigtinių elementų programa CosmosM, kad būtų galima sumodeliuoti temperatūrinius laukus, bet kokios geometrijos gelžbetoniniam elementui.

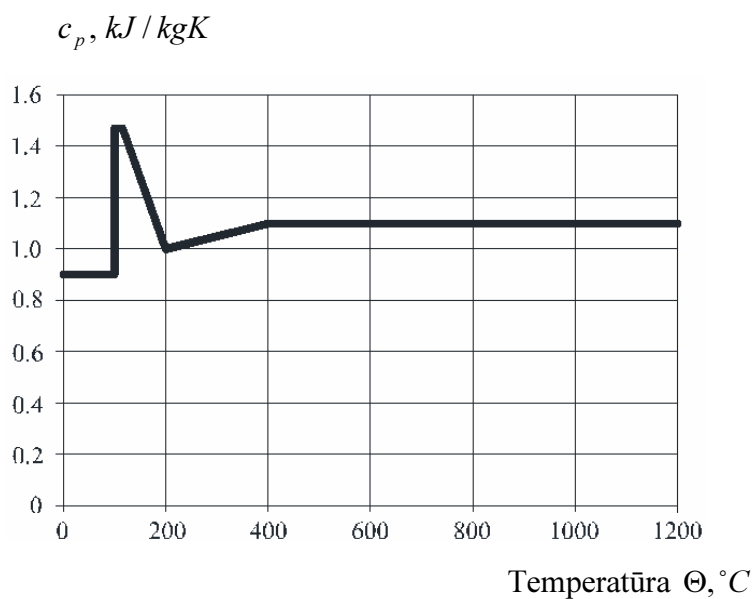
Modeliuojant kolonos skerspjūvį įvedami mechaniniai ir šiluminiai medžiagų parametrai: betono šilumos laidis (8.2 pav.), betono savitoji šiluminė talpa, kai betono drėgnis 1,5 % (8.3 pav.). Kolona veikiama temperatūros iš visų keturių pusių pagal standartinio gaisro kreivę (8.4 pav.). Armatūros šiluminių savybių koeficientų reikšmės pateiktos 8.1 lentelėje.



8.1 pav. Gelžbetoninēs kolonas skerspjūvio schema

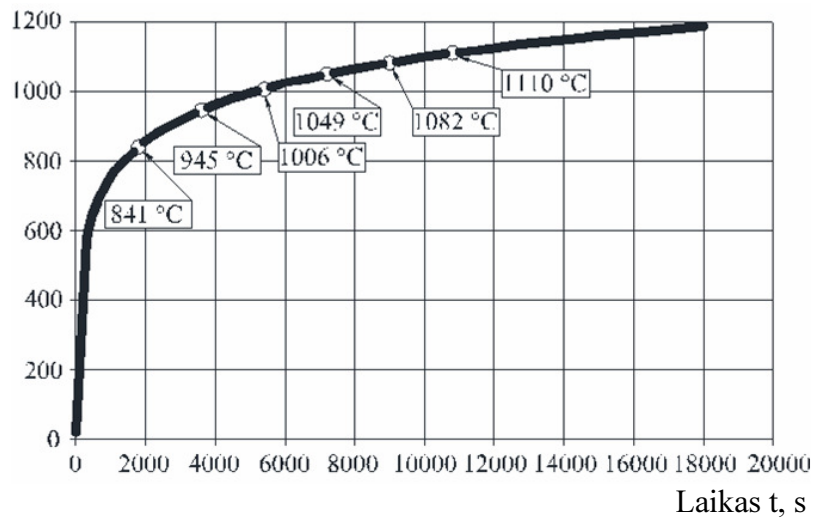


8.2 pav. Betono šilumos laidis (modeliavimui naudojama apatinē rība)



8.3 pav. Betono savitoji šiluminē talpa, kaip temperatūros funkcija, kai betono drēgnis 1,5 %

Temperatūra $\Theta, ^\circ\text{C}$



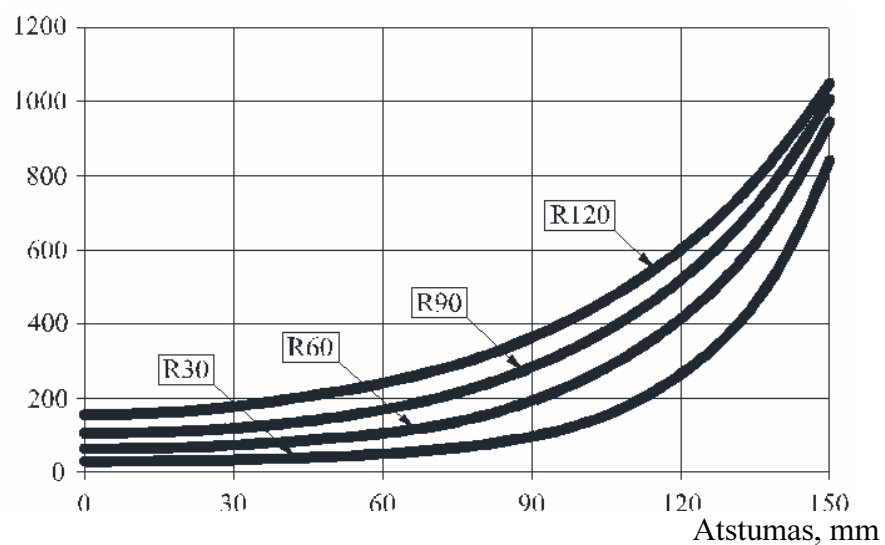
8.4 pav. Standartino gaisro kreivė

8.1 lentelė. Armatūros šiluminės savybės

Savybė	Reikšmė
Specifinis šilumos laidis λ_s	$14 \frac{W}{(mK)}$
Specifinė šiluma c_s	$440 \frac{J}{kgK}$

Gauti rezultatai išvedami grafike (8.5 pav.) per pjūvį, kaip parodyta 8.1 paveiksle. Rezultatai išvedami keturiems standartinio gaisro etapams, nuo 0,5 h iki 2 h, kas 30 min.

Temperatūra $\Theta, ^\circ\text{C}$

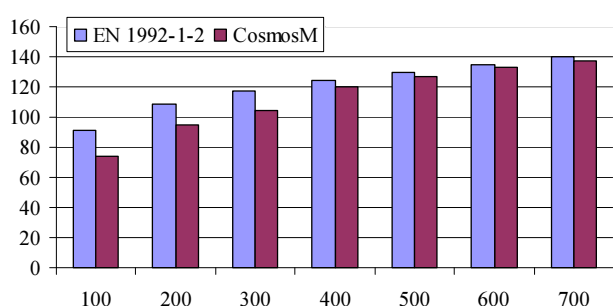


8.5 pav. Temperatūros pasiskirstymas nagrinėjamame skerspjūvyje tam tikru laiko momentu

8.2. Temperatūrinių laukų palyginimas pagal LST EN 1992-1-2 ir Cosmos/M rezultatus

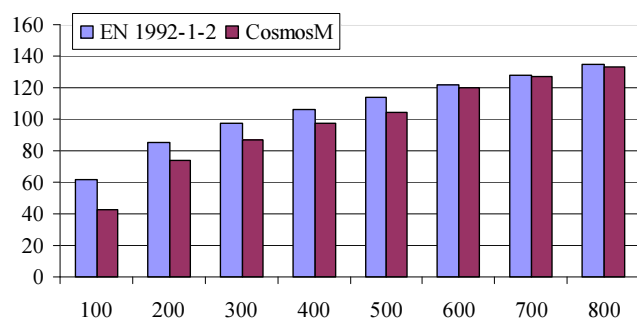
Sumodeliavus gelžbetoninės kolonos skerspjūvį, atliekamas temperatūrinių laukų palyginimas pagal LST EN 1992-1-2 normas ir programinio paketo Cosmos/M rezultatus. Palyginimas atliekamas laiko intervale 0,5 – 2 h, kas 0,5 h. Lyginama, koku atstumu nuo skerspjūvio centro link krašto pasiekama tam tikra temperatūra (100 – 1000 °C). Temperatūrinių laukų pasiskirstymo palyginimas grafiškai pavaizduotas 8.6 paveiksle.

a) Atstumas nuo skerspjūvio centro (mm)



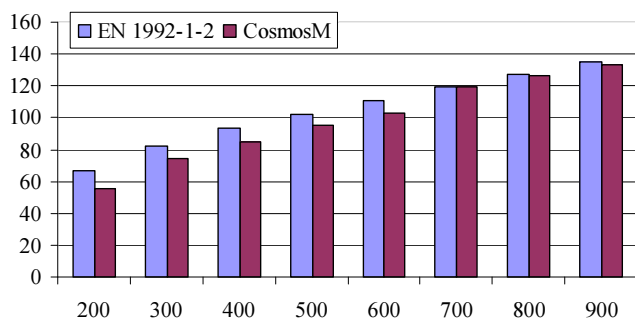
Temperatūra (Θ), °C

b) Atstumas nuo skerspjūvio centro (mm)



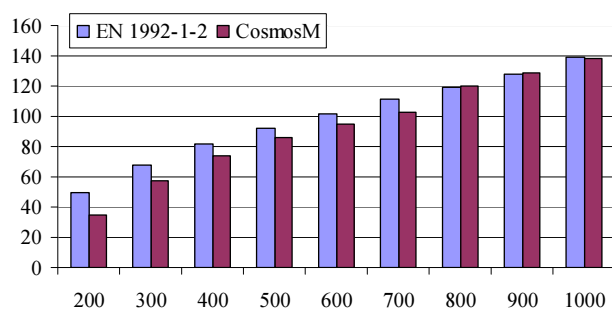
Temperatūra (Θ), °C

c) Atstumas nuo skerspjūvio centro (mm)



Temperatūra (Θ), °C

d) Atstumas nuo skerspjūvio centro (mm)



Temperatūra (Θ), °C

8.6 pav. Izotermių atstumai nuo kolonos skerspjūvio centro pagal LST EN 1992-1-2 ir Cosmos/M rezultatus

a) esant 30 min, b) esant 60 min, c) esant 90 min, d) esant 120 min

Iš 8.6 paveikslo matyti, kad Cosmos/M programiniu paketu sumodeliuotas temperatūrų pasiskirstymas skiriasi nuo teorinių LST EN 1992-1-2 normose pateiktų izotermių. Skirtumas tarp literatūroje pateikiamų ir gautų rezultatų: po 0,5 h 100-300 °C temperatūroje 22-13 %, aukštesnėje - 2-3 %; po 1 h 100 °C – 44 %, 200-500 °C – 15-9 %, aukštesnėje – apie 1 %; po 1,5 h 200-600 °C –

22-7 %, aukštesnėje – apie 1 %; po 2 h 200 °C – 43 %, 300-700 °C – 19-7 %, aukštesnėje – apie 1 %. Kadangi skirtumai nėra labai žymūs, galima teigti, kad temperatūrinių laukų modeliavimo algoritmas gelžbetoninio skerspjūvio elementams yra gana tikslus.

9. GAISRO TEMPERATŪRŲ POVEIKIO VERTINIMAS CENTRIŠKAI GNIUŽDOMAI KOLONAI, SUSTIPRINTAI METALINIU APVALKALU

9.1. Stiprumo skaičiavimas

Gelžbetoninės kolonos skaičiuojamoji schema, apkrovos, prielaidos yra tokios pačios kaip ir 7 skyriuje. Kolonos stiprinimas aprašytas 6 skyriuje. Kolonos, sustiprintos metaliniu apvalkalu, stiprumo skaičiavimas atliekamas pasinaudojant Kamaičio ir Jokūbaičio (1985) bei Venckevičiaus ir Žilinsko (2000) literatūros šaltiniais. Centriškai gniuždomos gelžbetoninės kolonos, sustiprintos metaliniu apvalkalu, skaičiuojamoji schema pateikta 9.1 paveiksle.

Centriškai gniuždomos kolonos, sustiprintos metaliniais spyriais, normalinio pjūvio stiprumo sąlyga yra tokia (žr. 9.1, 9.2 pav.):

$$N_{Ed} \cdot e \leq f_{cd} \cdot b \cdot x \cdot (d - 0,5 \cdot x) + f_{yd} \cdot A_{s2} \cdot (d - d_2), \quad (9.1)$$

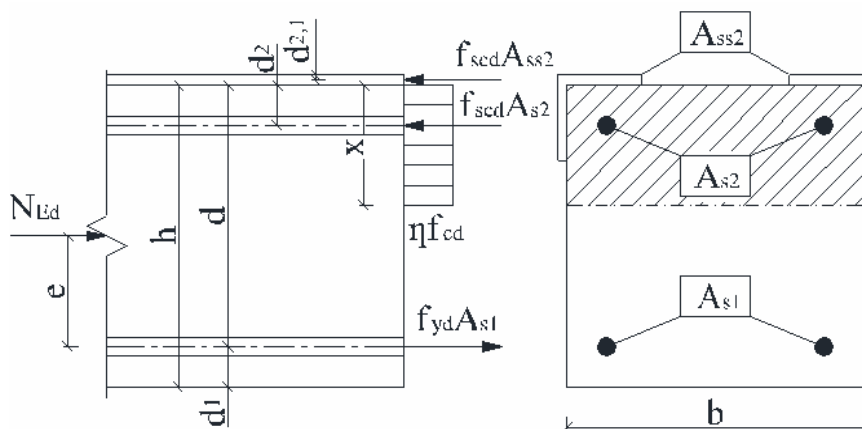
$$20 \cdot 10^3 \cdot 0,3 \cdot 0,3 \cdot (0,26 - 0,5 \cdot 0,3) + 435 \cdot 10^3 \cdot 10,18 \cdot 10^{-4} \cdot (0,26 - 0,04) = 295 \text{ kNm},$$

$$M_{Rd} = 295 \text{ kNm} > N_{Ed} \cdot e = 1500 \cdot 0,11 = 165 \text{ kNm}.$$

čia N_{Ed} - maksimali ašinė jėga ($N_{Ed} = 1500 \text{ kN}$),

γ_c - spyrių darbo sąlygų koeficientas ($\gamma_c = 1,0$),

A_{ss2} - gniuždomo spyrio šakų skerspjūvio plotas ($A_{ss2} = 17,46 \text{ cm}^2$).



9.1 pav. Centriškai gniuždomos gelžbetoninės kolonos, sustiprintos metaliniu apvalkalu, skaičiuojamoji schema

Gniuždomos zonos aukštis x nustatomas iš sąlygos:

$$f_{cd} \cdot b \cdot x \cdot (0,5 \cdot x + d_{2,1}) - N_{Ed} \cdot (0,5 \cdot h + d_{2,1}) + A_{s2} \cdot f_{yd} \cdot (d_2 + d_{2,1}) - A_{s1} \cdot f_{yd} \cdot (d + d_{2,1}) = 0, \quad (9.2)$$

čia $d_{2,1}$ - atstumas lygus pusei kampo storio ($d_{2,1} = 3 \text{ mm}$).

Pagal pateiktą sąlygą kolonos gniuždomos zonos aukštis: $x = 0,302 \text{ m}$.

Betono gniuždomosios zonos santykinis aukštis:

$$\xi = \frac{x}{\lambda \cdot d} = \frac{0,302}{0,8 \cdot 0,26} = 1,45 > \xi_{\lim} = 0,628,$$

čia d - naudingasis skerspjūvio aukštis:

$$d = h - d_1 = 0,3 - 0,04 = 0,26 \text{ m},$$

$\xi_{\lim}$ - betono ribinis gniuždomosios zonos santykinis aukštis:

$$\xi_{\lim} = \frac{0,0035}{0,0035 + \frac{f_{yd}}{E_s}} = \frac{0,0035}{0,0035 + \frac{435}{210000}} = 0,628.$$

Kadangi $\xi = 1,45 > \xi_{\lim} = 0,628$, tai nagrinėjamas mažų ekscentricitetų atvejis ir spyrio skerspjūvio plotas randamas iš $\sum M = 0$:

$$A_{ss2} = \frac{(N_{Ed} \cdot e - 0,4 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot d^2 - f_{yd} \cdot A_{s2} \cdot (d - d_2))}{\gamma_c \cdot f_{yds} \cdot (d - d')}, \quad (9.3)$$

$$A_{ss2} = \frac{(1500 \cdot 0,11 - 0,4 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 0,3 \cdot 0,26^2 - 435 \cdot 10^3 \cdot 10,18 \cdot 10^{-4} \cdot (0,26 - 0,04))}{1,0 \cdot 435 \cdot 10^3 \cdot (0,26 - 0,0144)} = -0,00089 \text{ m}^2,$$

čia d' - spyrio skerspjūvio centro atstumas iki labiausiai gniuždomo kolonos skerspjūvio krašto:

$$d' = 20,4 - 6 = 14,4 \text{ mm} = 0,0144 \text{ m}.$$

Parenkami 2 L75x75x6 spyriai, kurių skerspjūvio plotas $A_{ss2} = 2 \cdot 8,73 = 17,46 \text{ cm}^2$.

Antdėklą veikiantis lenkimo momentas:

$$M_{Ed,1} = V_{fic} \cdot \frac{l_1}{4} = 10,03 \cdot \frac{0,318}{4} = 0,8 \text{ kNm}, \quad (9.4)$$

čia V_{fic} - sąlyginė skersinė jėga:

$$V_{fic} = 7,15 \cdot 10^{-6} \cdot A_{ss2} \cdot E_{ss2} \cdot \beta \cdot \left(\frac{2330 \cdot f_{yd}}{E_{ss2}} - 1 \right),$$

$$7,15 \cdot 10^{-6} \cdot 17,46 \cdot 10^{-4} \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 1,0 \cdot \left(\frac{2330 \cdot 435 \cdot 10^3}{210 \cdot 10^6} - 1 \right) = 10,03 \text{ kN},$$

l_1 - atstumas tarp antdėklų centrų ($l_1 \leq 40 \cdot i_y$):

$$l_1 = 0,318 \text{ m} < 40 \cdot i_y = 40 \cdot 0,0228 = 0,912 \text{ m}.$$

Antdėklą veikianti kirpimo jėga:

$$F = 0,5 \cdot V_{fic} \cdot \frac{l_1}{l_s} = 0,5 \cdot 10,03 \cdot \frac{0,318}{0,2712} = 5,88 \text{ kN}, \quad (9.5)$$

čia l_s - atstumas tarp spyrio šakų svorio centrų:

$$l_s = 0,3 - 2 \cdot (0,0204 - 0,006) = 0,2712 \text{ m}.$$

Turint lenkimo momentą, randamas reikalingas antdėklo skerspjūvio atsparumo momentas:

$$W = \frac{M_{Ed,1}}{f_{yd}} = \frac{0,8}{435 \cdot 10^3} = 1,84 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3. \quad (9.6)$$

Antdėklo skerspjūvio matmenys imami 100 x 6 mm. Faktinis atsparumo momentas:

$$W_{act} = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{0,006 \cdot 0,1^2}{6} = 10 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3, \quad (9.7)$$

$W_{act} = 10 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 > W = 1,84 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$, todėl parinkti tinkami antdėklo skerspjūvio matmenys.

Antdėklo privirinimo kertinių siūlių įtempiai (pasirinktas siūlės statinis – 6 mm, siūlės ilgis – 100 mm):

- įtempiai siūlėje veikiant kirpimo jėgai:

$$\sigma_{w,f} = \frac{F}{0,7 \cdot k_f \cdot l_w} = \frac{5,88 \cdot 10^{-3}}{0,7 \cdot 0,006 \cdot 0,1} = 14 \text{ MPa}. \quad (9.8)$$

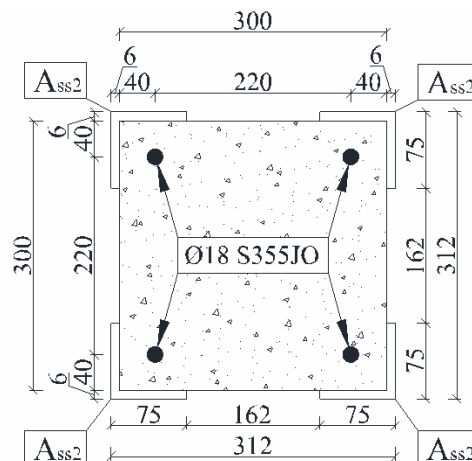
- Įtempiai siūlėje veikiant lenkimo momentui:

$$\sigma_{w,f} = \frac{6 \cdot M_{Ed,1}}{0,7 \cdot k_f \cdot l_w^2} = \frac{6 \cdot 0,8 \cdot 10^{-3}}{0,7 \cdot 0,006 \cdot 0,1^2} = 114,3 \text{ MPa} < f_{vw,f,d} = 220 \text{ MPa}. \quad (9.9)$$

Siūlės įtempimai veikiant lenkimo momentui ir kirpimo jėgai:

$$\sigma_{w,f} = \sqrt{14^2 + 114,3^2} = 115,2 \text{ MPa} < f_{vw,f,d} = 220 \text{ MPa}. \quad (9.10)$$

Suvirinimo siūlių stiprumas yra pakankamas.

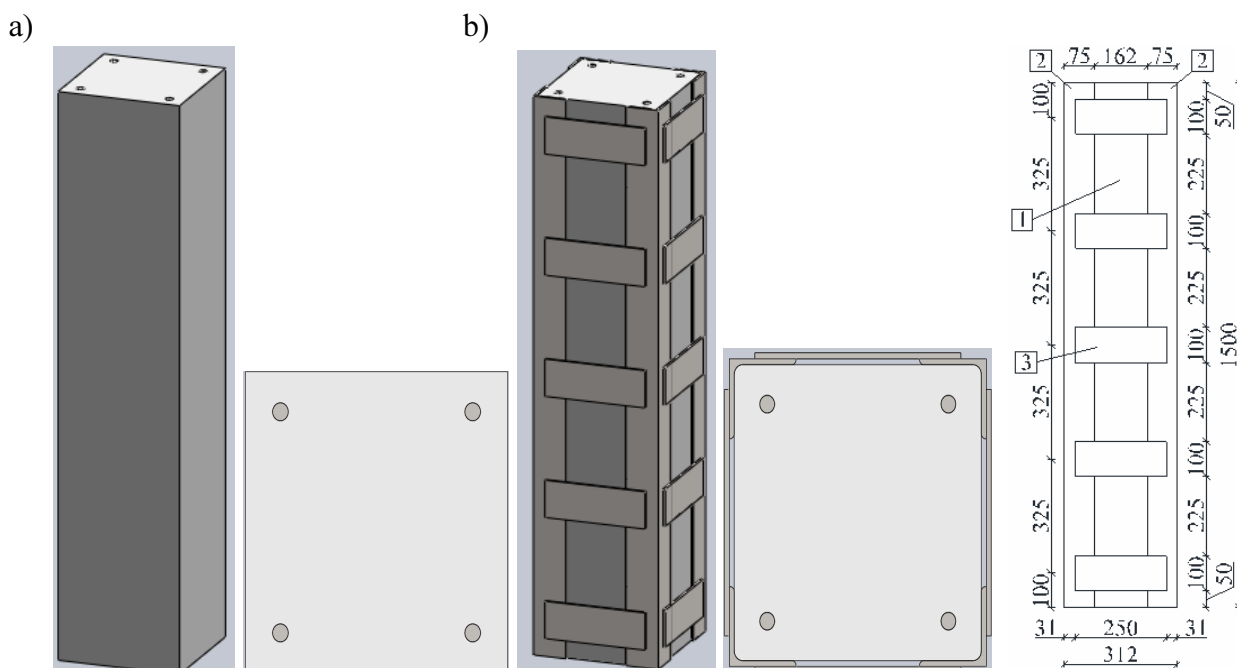


9.2 pav. Kolonos, sustiprintos metaliniais kampuočiais, schema

Išvada: metaliniu apvalkalu sustiprintos kolonos stiprumas yra pakankamas.

9.2. Įtempių gelžbetoninėje kolonoje nustatymas pagal SolidWorks programinio paketo rezultatus

Baigtinių elementų programa SolidWorks sumodeliuojama gelžbetoninė kolona ir metaliniu apvalkalu sustiprinta gelžbetoninė kolona (žr. 9.3 pav.). Kolonų charakteristikos ir geometrija pateikta 9.1 lentelėje. Gelžbetoninės kolonos šiluminio laidumo ir specifinės šilumos kreivės įvedamos tokios, kokios pateiktos 8 skyriuje, 8.2 ir 8.3 paveiksluose.



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

9.1 lentelė. Kolonos, sustiprintos metaliniu apvalkalu, elementų charakteristikos

Elementai	Matmenys (mm)	Stiprumo klasė	E (GPa)	$\rho (kg/m^3)$	Puasono koeficientas ν
Kolona	1500x300x300	C30/37	33	2400	0,2
Armatūros strypai	1500xØ18	S355JO	210	7800	0,3
Plieniniai kampuočiai	1500x75x75x6	S355JO	210	7800	0,3
Plieninės plokštelės	250x100x6	S355JO	210	7800	0,3

9.1 lentelės tęsinys

Elementai	$f_{ck} (MPa)$	$f_{yk} (MPa)$	Šiluminio plėtimosi koeficientas (/K)	$\lambda_c (W/(m \cdot K))$	$c_p (J/(kg \cdot K))$
Kolona	30	-	$1 \cdot 10^{-5}$	-	-
Armatūros strypai	-	500	$1,1 \cdot 10^{-5}$	14	440
Plieniniai kampuočiai	-	500	$1,1 \cdot 10^{-5}$	14	440
Plieninės plokštelės	-	500	$1,1 \cdot 10^{-5}$	14	440

E - tamprumo modulis (GPa),

ρ - tankis (kg/m^3),

f_{ck} - charakteristinis gniuždomasis stipris (MPa),

f_{yk} - charakteristinis tempiamasis stipris (MPa),

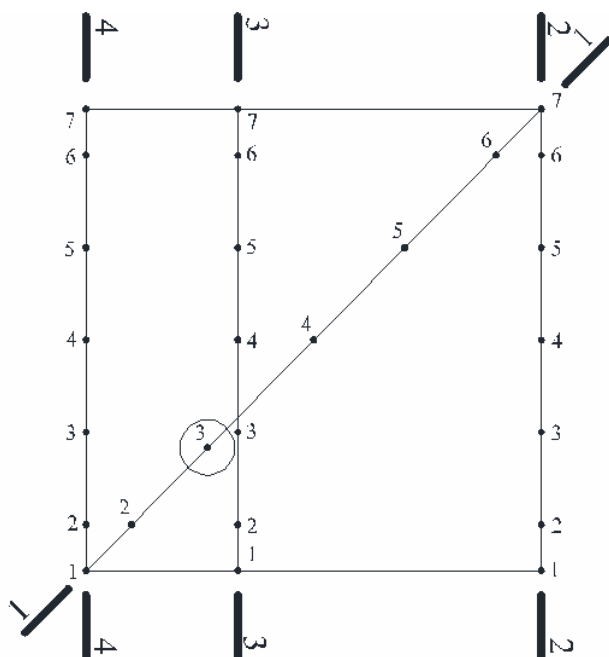
λ_c - šiluminis laidumas ($W/(m \cdot K)$),

c_p - specifinė šiluma ($J/(kg \cdot K)$).

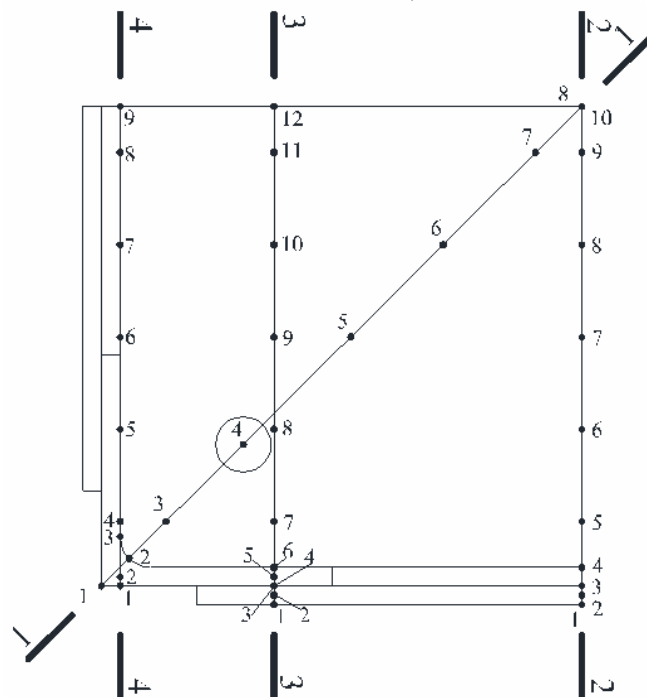
Kolona apkraunama 1500 kN apkrova bei iš keturių pusių veikiama nuo 50 iki 500 °C temperatūrinės apkrovos. Temperatūra keliama kas 50 °C. Kolonos apačia įtvirtinama standžiai.

Kadangi kolona yra simetriška, todėl nagrinėjami sustiprintos metaliniu apvalkalu ir nesustiprintos gelžbetoninės kolonos ketvirtadaliai (žr. 9.4 pav.). Įtempiai kolonose nustatomi keturiuose charakteringuose pjūviuose, kurie pateikti 9.4 paveiksle. Pjūviai yra sudalinti į penkias zonas, kurių viduryje nustatomi įtempiai. Taip pat rezultatai gaunami armatūroje, kolonos kraštuose bei kampuose, plieninių kampuočių ir plokštelių kraštuose bei viduryje.

a)

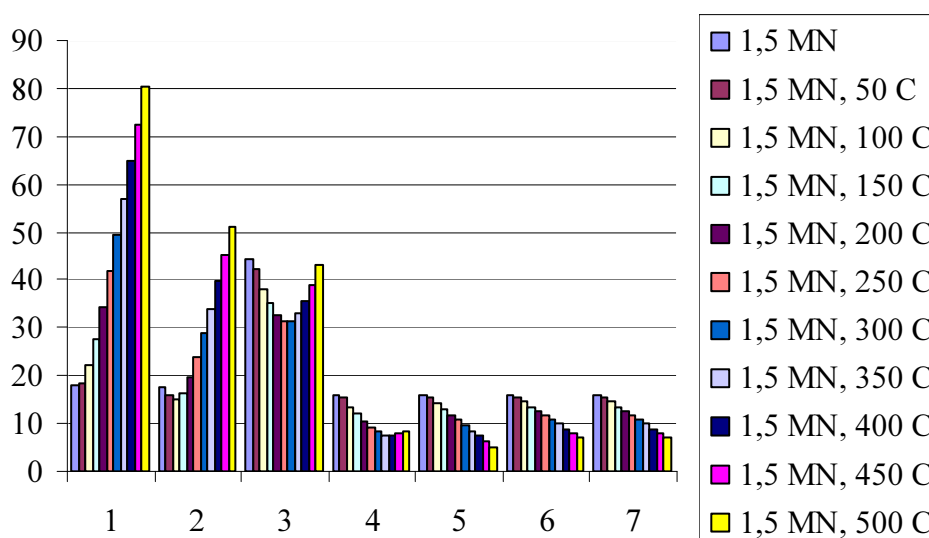


b)



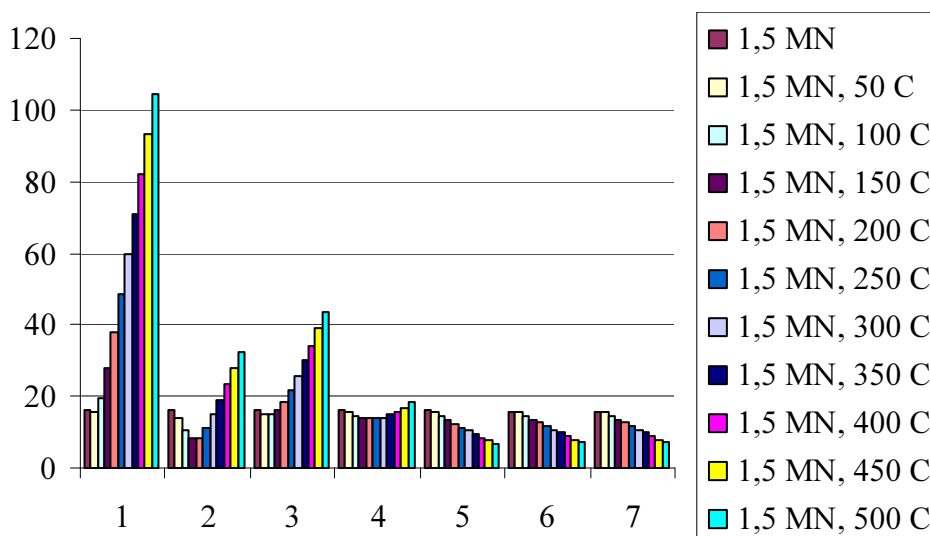
9.4 pav. Pjūviai kolonose: a) gelžbetoninėje kolonoje; b) metaliniu apvalkalu sustiprintoje gelžbetoninėje kolonoje

Įtempiai kolonose gauti baiginių elementų programa SoliWorks pateikti B priede. Rezultatų grafinis apipavidalinimas pateiktas: 9.5 – 9.8 paveiksluose įtempiai gelžbetoninėje kolonoje pjūviuose 1-1 – 4-4; 9.9 – 9.12 paveiksluose įtempiai metaliniu apvalkalu sustiprintoje gelžbetoninėje kolonoje pjūviuose 1-1 – 4-4.



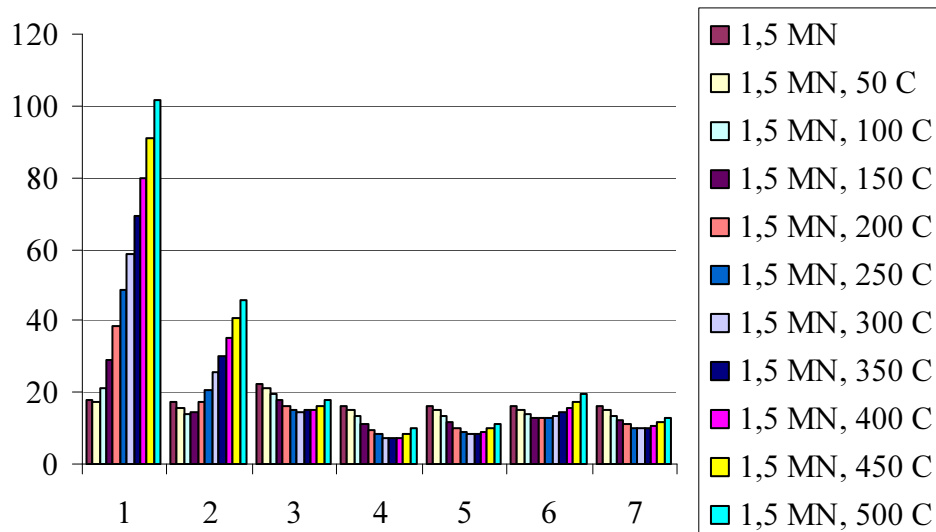
9.5 pav. Įtempiai kolonoje pagal SolidWorks rezultatus pjūvyje 1-1

Istrižajame pjūvyje 1-1 (žr. 9.5 pav.) 1 taške įtempiai didėja kylant temperatūrai. 2 taške 50-100 °C temperatūroje įtempiai šiek tiek sumažėja (8-15 % lyginant su įtempiais, kai kolona nebuvo apkrauta temperatūrine apkrova), o nuo 150-200 °C temperatūros - ima didėti. 3 taške, t.y. armatūroje, įtempiai yra apylygiai. Tolimesniuose taškuose 4, 5, 6 ir 7 įtempiai yra apylygiai ir kylant temperatūrai mažėja. Toliau nuo kolonos paviršiaus temperatūros poveikis silpnėja ir apie kolonos centrą jis beveik nepastebimas.



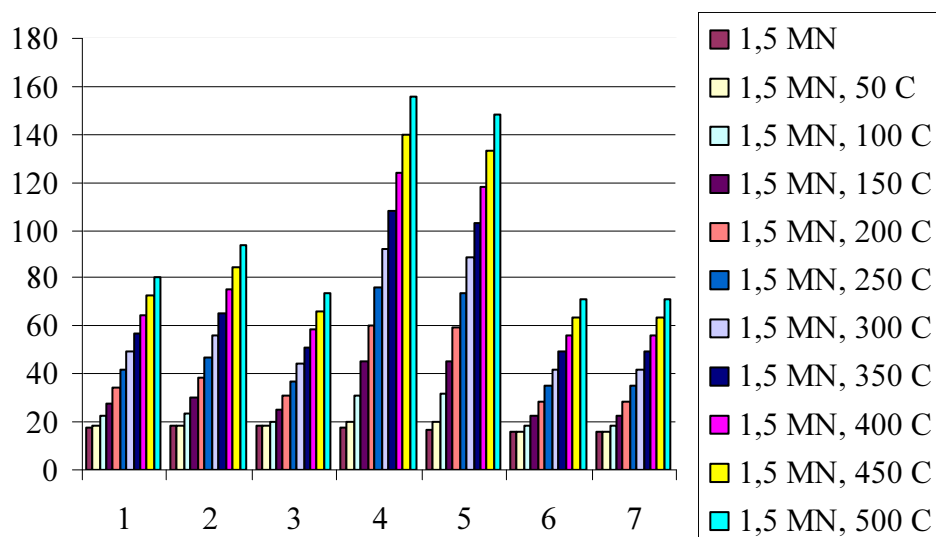
9.6 pav. Įtempiai kolonoje pagal SolidWorks rezultatus pjūvyje 2-2

Per kolonos vidurį einančiame pjūvyje 2-2 (žr. 9.6 pav.) 1 taške įtempiai didėja kylant temperatūrai. 2 taške 50-150 °C temperatūroje įtempiai sumažėja (14-92 % lyginant su įtempiais, kai kolona nebuvo apkrauta temperatūrine apkrova), o nuo 200 °C temperatūros ima didėti. 3 taške 50-100 °C temperatūroje įtempiai taip pat šiek tiek sumažėja (5-8 % lyginant su įtempiais, kai kolona nebuvo apkrauta temperatūrine apkrova), o nuo 150 °C temperatūros ima didėti. 4 taške įtempiai yra apylygiai, o 5, 6 ir 7 taškuose yra taip pat panašūs, tik kylant temperatūrai pamažu mažėja.



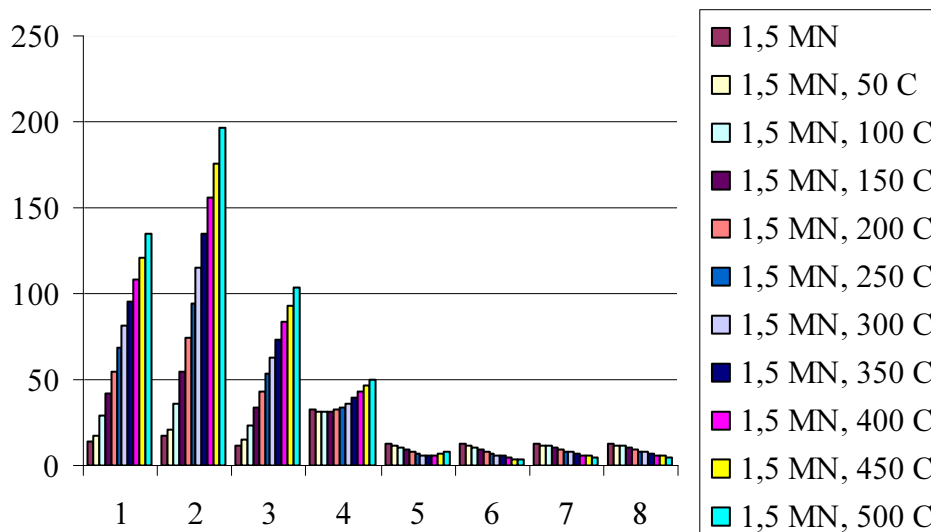
9.7 pav. Įtempiai kolonoje pagal SolidWorks rezultatus pjūvyje 3-3

Tarpiniame pjūvyje 3-3 (žr. 9.7 pav.) 1 taške įtempiai didėja kylant temperatūrai. 2 taške 50-100 °C temperatūroje įtempiai sumažėja (10-21 % lyginant su įtempiais, kai kolona nebuvo apkrauta temperatūrine apkrova), o nuo 150 °C temperatūros ima didėti. Kituose taškuose 3, 4, 5, 6 ir 7 kylant temperatūrai įtempiai mažėja, o nuo 350-400 °C temperatūros šiek tiek padidėja. Įtempių padidėjimas atsiranda dėl to, kad aukšta temperatūra pradeda veikti iš abiejų kolonos pusių, t.y. temperatūros poveikis sumuojasi.



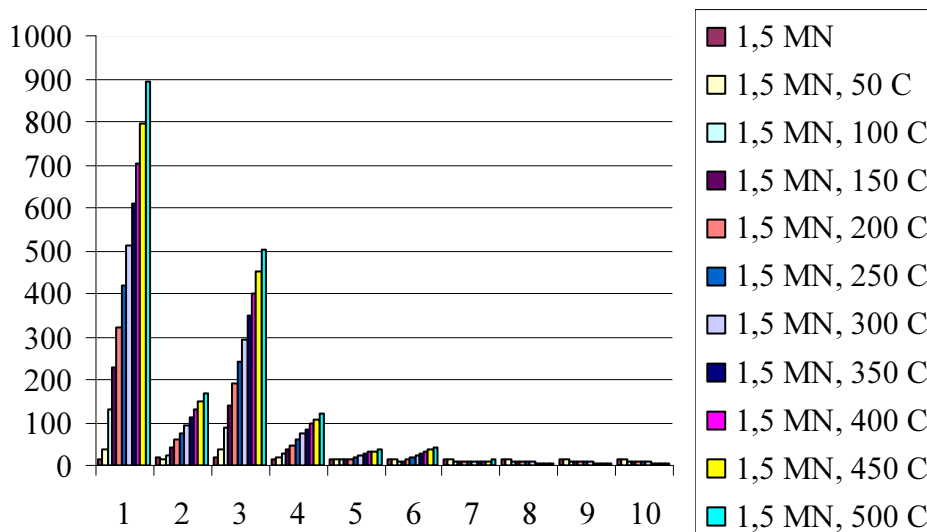
9.8 pav. Įtempiai kolonoje pagal SolidWorks rezultatus pjūvyje 4-4

Kraštiniame pjūvyje 4-4 (žr. 9.8 pav.) visuose taškuose kylant temperatūrai įtempiai didėja. 3 taške įtempiai sumažėja lyginant su 1 ir 2 taškais. Didžiausi įtempiai yra 4 ir 5 taškuose ir jie yra apylygiai, o mažiausi – 3, 6 ir 7 taškuose ir jie taip pat yra apylygiai.



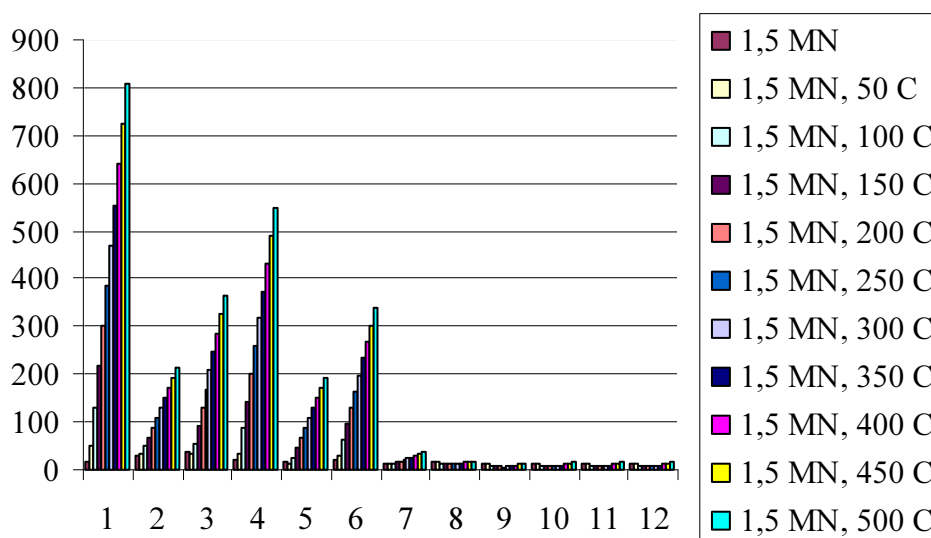
9.9 pav. Įtempiai metaliniu apvaskalu sustiprintoje kolonoje pagal SolidWorks rezultatus pjūvyje 1-1

Istrižajame pjūvyje 1-1 (žr. 9.9 pav.) 1, 2 ir 3 taškuose įtempiai didėja kylant temperatūrai. 4 taške, armatūroje įtempiai yra apytiksliai lygūs, tik nuo 350 °C temperatūros padidėja 11-50 %. 5, 6, 7 ir 8 taškuose įtempiai kylant temperatūrai mažėja ir yra apytiksliai lygūs.



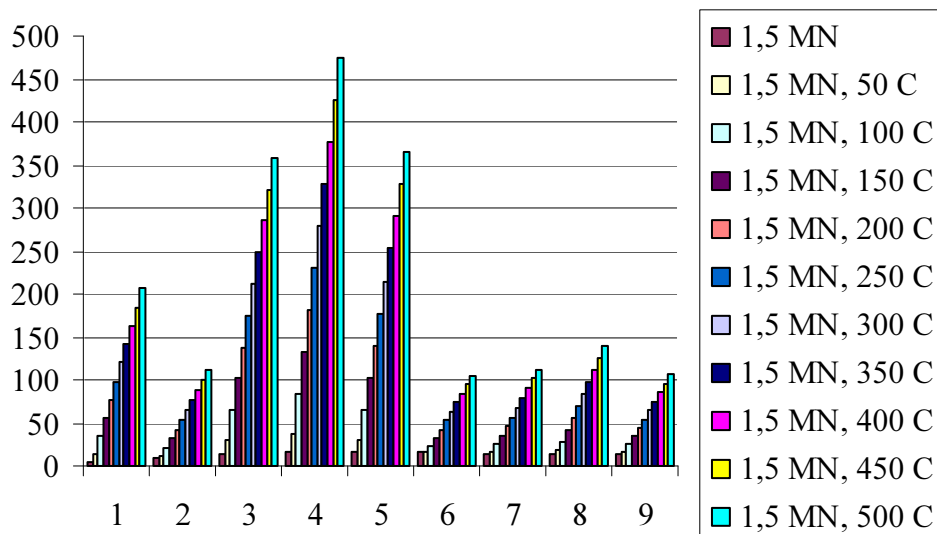
9.10 pav. Įtempiai metaliniu apvaskalu sustiprintoje kolonoje pagal SolidWorks rezultatus pjūvyje 2-2

Per kolonos vidurį einančiame pjūvyje 2-2 (žr. 9.10 pav.) metalinėje plokštelėje, t.y. 1, 2 ir 3 taškuose įtempiai didėja kylant temperatūrai. Įtempiai plokštelės kraštuose (1 ir 3 taškai) yra didesni nei plokštelės viduryje (2 taškas). Kolonos kraštiniam 4 taške įtempiai didėja kylant temperatūrai. 5 ir 6 taškuose 50-100 °C temperatūroje įtempiai sumažėja (5 taške 7-13 %, 6 taške 14-34 % lyginant su įtempiams, kai kolona nebuvo apkrauta temperatūrine apkrova), o nuo 150 °C temperatūros ima didėti. 7 taške įtempiai mažėja didėjant temperatūrai iki 250 °C, o nuo 300 °C vėl ima didėti. 8, 9 ir 10 taškuose įtempiai mažėja didėjant temperatūrai ir jie yra lygūs.



9.11 pav. Įtempiai metaliniu apvalkalu sustiprintoje kolonoje pagal SolidWorks rezultatus pjūvyje 3-3

Tarpiniame pjūvyje 3-3 (žr. 9.11 pav.) metalinės plokštelės ir kampuočio kraštuose (atitinkamai 1, 3 ir 4, 6 taškai) įtempiai yra didesni nei jų viduryje (atitinkamai 2 ir 5 taškai). Labai dideli įtempiai atsiranda kolonos krašte (6 taškas), nes labiau įkaitęs plienas perduoda didesnę šilumą betonui. 1-7 taškuose įtempiai didėja didėjant temperatūrai. 8-12 taškuose 50-200 °C temperatūroje įtempiai sumažėja (atitinkamai 5-30; 9-90; 8-68; 8-68 ir 9-78 % lyginant su įtempiams, kai kolona nebuvo apkrauta temperatūrine apkrova), o nuo 250 °C temperatūros ima didėti. 9, 10, 11 ir 12 taškuose įtempiai yra apylygiai.

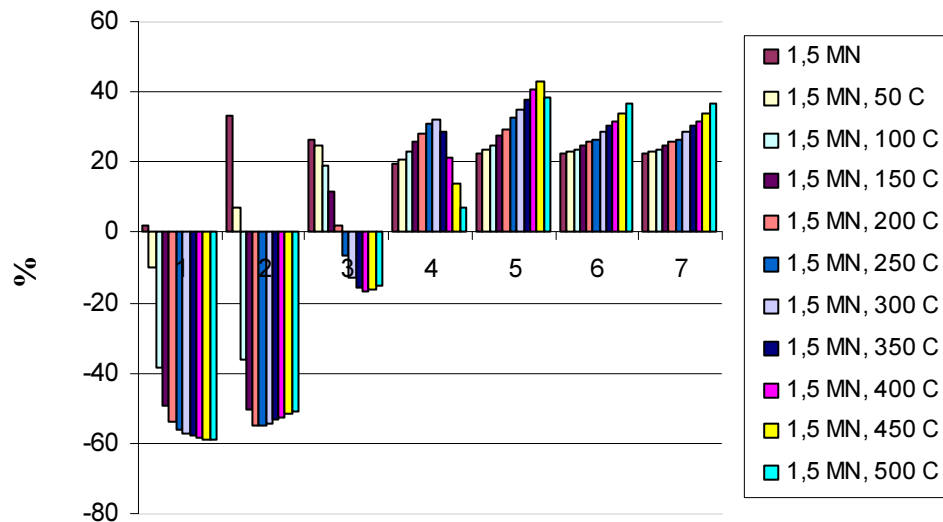


9.12 pav. Įtempiai metaliniu apvaskalu sustiprintoje kolonoje pagal SolidWorks rezultatus pjūvyje 4-4

Kraštiniame pjūvyje 4-4 (žr. 9.12 pav.) visuose taškuose kylant temperatūrai įtempiai didėja. Įtempiai plieninio kampuočio kraštuose (1 ir 3 taškai) yra didesni nei viduryje (2 taškas). Didžiausi įtempiai atsiranda kolonos ir kampuočio sąlyčio vietoje (3, 4 ir 5 taškai). Šioje srityje labiau įkaitęs metalas perduoda didesnę temperatūrinę apkrovą į koloną. Tolimesniuose taškuose 6, 7, 8 ir 9 įtempiai kylant temperatūrai didėja ir yra apylygiai.

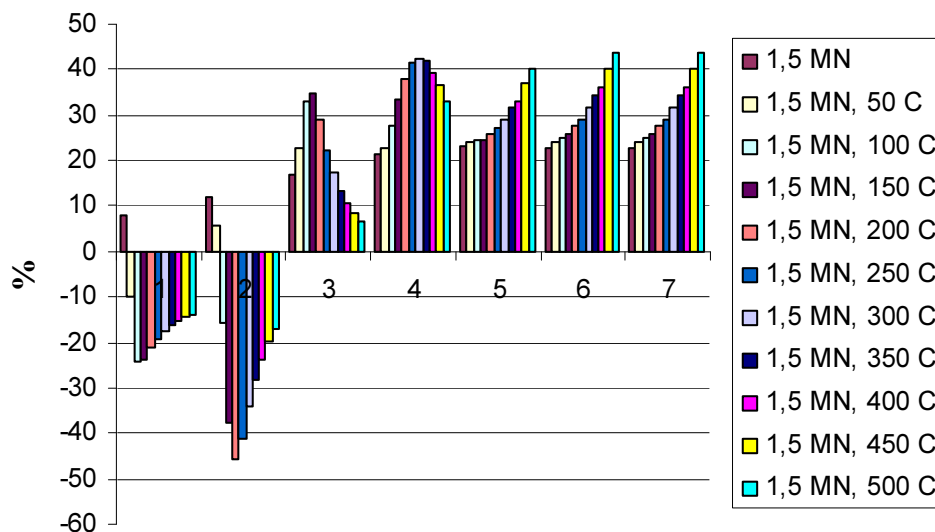
9.3. Įtempių gelžbetoninėje ir gelžbetoninėje metaliniu apvaskalu sustiprintoje kolonoje palyginimas pagal SolidWorks programinio paketo rezultatus

Įtempių gelžbetoninėje ir gelžbetoninėje metaliniu apvaskalu sustiprintoje kolonoje grafinis palyginimas pagal SolidWorks programinio paketo rezultatus pateiktas 9.13 – 9.16 paveiksluose atitinkamai 1-1; 2-2; 3-3 ir 4-4 pjūviuose. Įtempių palyginimas lentelių forma pateiktas C priede. Palyginimas atliekamas atmetus kolonos plieninį apvaskalą, t.y. lyginant gelžbetoninės dalies įtempius.



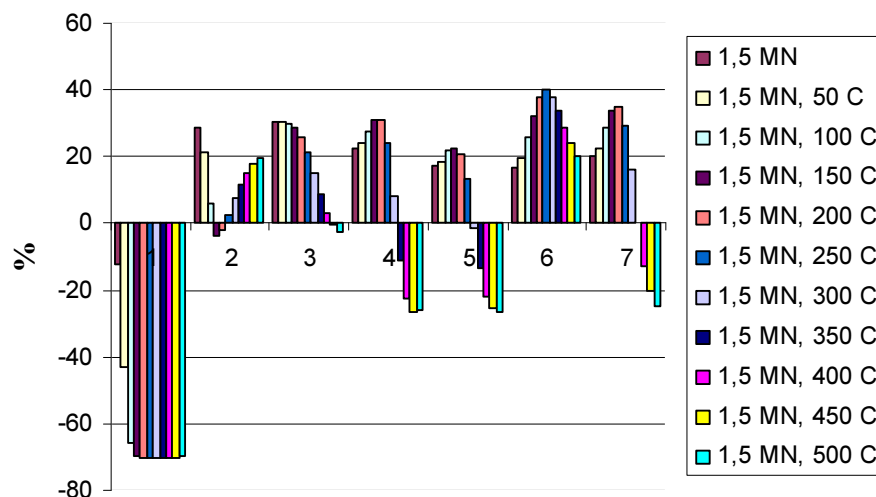
9.13 pav. Gelžbetoninės ir gelžbetoninės metaliniu apvalkalu sustiprintos kolonos įtempių palyginimas (%) pagal programinio paketo SolidWorks rezultatus pjūvyje 1-1 (viršuje nesustiprintos kolonos reikšmės, apačioje sustiprintos kolonos reikšmės)

Istrižajame pjūvyje 1-1 gelžbetoninės kolonos skerspjūvyje įtempiai iki temperatūros poveikio yra didesni nei metaliniu apvalkalu sustiprintoje kolonoje (skirtumas 2-33 %). Pridėjus temperatūrinę apkrovą (50 – 500 °C) 1-me ir 2-me taškuose metaliniu apvalkalu 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-me taške) iki 200 °C temperatūrinės apkrovos įtempiai gelžbetoninėje kolonoje didesni nei metaliniu apvalkalu sustiprintoje kolonoje (skirtumas 2 – 27 %), o nuo 250 °C temperatūrinės apkrovos didesni įtempiai pasireiškia metaliniu apvalkalu sustiprintoje kolonoje (skirtumas 7 – 17 %). Tolstant nuo kolonų kraštų (4 – 7 taškuose) įtempiai gelžbetoninėje kolonoje didesni nei metaliniais spyriais sustiprintoje kolonoje. 4-me 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 apylygis (23-38 %).



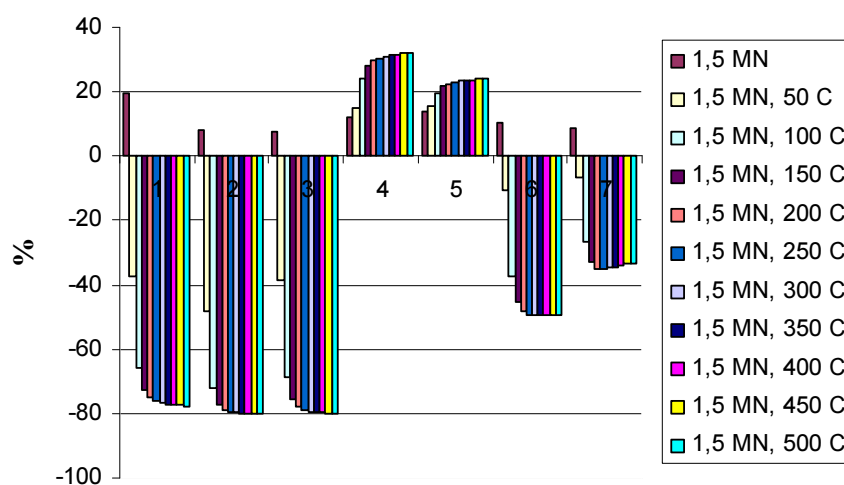
9.14 pav. Gelžbetoninės ir gelžbetoninės metaliniu apvalkalu sustiprintos kolonos įtempių palyginimas (%) pagal programinio paketo SolidWorks rezultatus pjūvyje 2-2 (viršuje nesustiprintos kolonos reikšmės, apačioje sustiprintos kolonos reikšmės)

Viduriniame pjūvyje 2-2 gelžbetoninės kolonos skerspjūvyje įtempiai iki temperatūros poveikio yra didesni nei metaliniu apvalkalu sustiprintoje kolonoje (skirtumas 8-23 %). Pridėjus temperatūrinę apkrovą (50 – 500 °C) 1-me ir 2-me taškuose metaliniu apvalkalu 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 didesni nei metaliniais spyriais sustiprintoje kolonoje. 3 ir 4 taškuose atitinkamai iki 150 °C ir 300 °C temperatūros įtempiai intensyviau didėja nesustiprintoje kolonoje (atitinkamai skirtumas 23-35 % ir 23-43 %), o nuo 200 °C ir 350 °C – sustiprintoje (atitinkamai skirtumas 29-7 % ir 42-33 %). 5 – 7 taškuose skirtumas tarp įtempių yra apylygis (23-44 %).



9.15 pav. Gelžbetoninės ir gelžbetoninės metaliniu apvalkalu sustiprintos kolonos įtempių palyginimas (%) pagal programinio paketo SolidWorks rezultatus pjūvyje 3-3 (viršuje nesustiprintos kolonos reikšmės, apačioje sustiprintos kolonos reikšmės)

Tarpiniame pjūvyje 3-3 gelžbetoninės kolonos skerspjūvyje įtempiai iki temperatūros poveikio yra didesni nei metaliniu apvalkalu sustiprintoje kolonoje (skirtumas 17-29 %), išskyrus 1 tašką, kuriame įtempiai yra didesni sustiprintoje kolonoje (skirtumas 12 %). 1-me taške įtempiai didesni 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-me taške įtempiai iki 400 °C temperatūros yra apylygiai (skirtumas tarp 0 – 4 MPa), o tarp 450 – 500 °C temperatūrų įtempiai didesni nesustiprintoje kolonoje. 3 – 7 taškuose įtempiai yra pakankamai nedideli. Skirtumas tarp įtempių svyruoja tarp 0 – 4 MPa, todėl galima teigti, kad šiuose taškuose įtempiai yra apylygiai.



9.16 pav. Gelžbetoninės ir gelžbetoninės metaliniu apvalkalu sustiprintos kolonos įtempių palyginimas (%) pagal programinio paketo SolidWorks rezultatus pjūvyje 4-4 (viršuje nesustiprintos kolonos reikšmės, apačioje sustiprintos kolonos reikšmės)

Kraštiniame pjūvyje 4-4 gelžbetoninės kolonos skerspjūvyje įtempiai iki temperatūros poveikio yra didesni nei metaliniu apvalkalu sustiprintoje kolonoje (skirtumas 8 – 20 %). Pridėjus temperatūrinę apkrovą (50 – 500 °C) 1 – 3 taškuose metaliniu apvalkalu sustiprintoje kolonoje įtempiai yra didesni nei nesustiprintoje kolonoje (atitinkamai skirtumai 37-78 %; 48-80 % ir 38-80 %). Šiuose taškuose iki 150 – 200 °C temperatūros įtempiai sparčiau didėja sustiprintoje kolonoje (atitinkamai skirtumai 37-75 %; 48-79 % ir 38-78 %), o 200 – 500 °C temperatūroje skirtumas tarp įtempių yra apylygis (apie 80 %). 4 – 5 taškuose įtempiai didesni nesustiprintoje kolonoje (atitinkamai skirtumai 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 apylygis (atitinkamai 31 % ir 24 %). 6 – 7 taškuose įtempiai didesni sustiprintoje kolonoje (atitinkamai skirtumas 11-49 % ir 6-35 %), o skirtumas tarp įtempių didėja iki 200 °C temperatūros (atitinkamai 11-48 % ir 6-35 %) ir nuo 200 °C yra apylygis (atitinkamai 49 % ir 35 %).

10. IŠVADOS IR PASIŪLYMAI

1. Skirtumas tarp 500 °C izotermių gautų pagal Vikstromo metodą ir LST EN 1992-1-2 normas yra nedidelis. Didesnis skirtumas matomas tik dėl izotermių kampų suapvalinimo, tačiau skaičiuojant izotermės aproksimuojamos į stačiakampį, todėl rezultatui tai didelės įtakos neturi.
2. Vertinant gaisro temperatūrų įtaką centriškai gniuždomai gelžbetoninei kolonai pagal 500 °C izotermės ir zonų metodus, nustatyta, kad didėjant temperatūrinio poveikio laikui mažėja kolonos laikomoji galia. Skaičiuojant pagal zonų metodą kolonos laikomoji galia mažėja intensyviau nei 500 °C izotermės atveju. Kolonos laikomoji galia pagal zonų metodą po 30, 60, 90 ir 120 minučių temperatūros poveikio yra atitinkamai 10, 15, 39 ir 47 % mažesnė nei pagal 500 °C izotermės skaičiavimo metodą. Tai rodo, kad rezultatai pagal 500 °C izotermės metodą gaunami su didesne atsarga nei pagal zonų metodą ir galima teigti, kad zonų metodas yra tikslesnis.
3. Pagal analitinį (LST EN 1992-1-2) metodą kolonos laikomoji galia veikiant gaisro temperatūrai mažėja intensyviau nei pagal analitinį (zonų) metodą. Pagrindinė priežastis, kodėl atsiranda toks laikomosios galios skirtumas, yra ta, kad labai didelę įtaką laikomosios galios mažėjimui daro didesnis armatūros stiprio mažinimas skaičiavimus atliekant pagal analitinį (LST EN 1992-1-2) metodą. Kolonos laikomoji galia skaičiuojant pagal analitinį (zonų) metodą po 30, 60, 90 ir 120 minučių yra atitinkamai 12, 32, 39 ir 58 % didesnė nei pagal analitinį (LST EN 1992-1-2) metodą.
4. Lyginant Euronormų ir zonų metodo skaičiavimus pastebimas skirtumas tarp armatūros stiprių. Skirtumas tarp armatūros stiprių atsiranda dėl to, kad pagal LST EN 1992-1-2 normas gerokai didesnės temperatūros atsiranda paviršiniuose skerspjūvio sluoksniuose, o artėjant link skerspjūvio vidurio skirtumas tarp temperatūrų, gautų skaičiuojant pagal Euronormas ir zonų metodu, mažėja. Netikslumų atsiranda dėl to, kad zonų metodu apskaičiuotos temperatūros reikšmės yra gautos nevertinant to, kad kaistant betonui kinta jo savybės: specifinė šiluma, tūrinis tankis, šiluminis laidumas. Nuo šių faktorių priklauso ir šiluminio svarbumo koeficientas a_c , kuris nebuvo įvertintas skaičiavimuose. Pagal Vikstromo metodą paprastumo dėlei nevertinamas santykis a/a_c . Neįvertinus šių faktorių atsirado skirtumas tarp temperatūrų reikšmių charakteringuose skerspjūvio taškuose.
5. Atliekant laikomosios galios palyginamąją analizę pagal skaitiniu metodu (Cosmos/M) gautus rezultatus ir analitinį (Vikstromo) metodą, pastebima, kad didėjant temperatūros poveikio

laikui mažėja kolonos laikomoji galia. Intensyvesnis laikomosios galios mažėjimas pasireiškia skaičiavimuose pagal skaitiniu metodu gautus rezultatus. Kolonos laikomoji galia po 30, 60, 90 ir 120 minučių pagal analitinį metodą atitinkamai 23, 61, 65 ir 92 % didesnė nei pagal skaitiniu metodu gautus rezultatus.

6. Atliekant laikomosios galios palyginamąją analizę pagal skaitiniu metodu gautus rezultatus ir analitinį (LST EN 1992-1-2) metodą pastebimas laikomosios galios mažėjimas didėjant temperatūros poveikio laikui. Intensyvesnis laikomosios galios mažėjimas pasireiškia skaičiavimuose pagal skaitinio metodo rezultatus. Kolonos laikomoji galia po 30, 60, 90 ir 120 minučių pagal analitinį metodą atitinkamai 10, 22, 19 ir 21 % didesnė nei pagal skaitinio metodo rezultatus.
7. Kolonos laikomosios galios skaičiavimo rezultatai pagal Euronormas (LST EN 1992-1-2) yra artimesni skaitiniu metodu gautiems rezultatams, nei apskaičiuotiems pagal analitinį (Vikstromo) metodą. Taip yra todėl, kad skaičiuojant pagal Euronormas ir skaitinio metodo rezultatus yra įvertinami betono šilumos laidis ir savitoji šiluminė talpa, o skaičiuojant pagal analitinį (Vikstromo) metodą neįvertinami.
8. CosmosM programiniu paketu sumodeliuotas temperatūrų pasiskirstymas skiriasi nuo teorinių LST EN 1992-1-2 normose pateiktų izotermių. Skirtumas tarp literatūroje pateikiamų ir gautų rezultatų: po 0,5 h 100-300 °C temperatūroje 22-13 %, aukštesnėje - 2-3 %; po 1 h 100 °C – 44 %, 200-500 °C – 15-9 %, aukštesnėje – apie 1 %; po 1,5 h 200-600 °C – 22-7 %, aukštesnėje – apie 1 %; po 2 h 200 °C – 43 %, 300-700 °C – 19-7 %, aukštesnėje – apie 1 %. Kadangi skirtumai nėra labai žymūs, galima teigti, kad temperatūrinių laukų modeliavimo algoritmas gelžbetoninio skerspjūvio elementams yra gana tikslus.
9. Gelžbetoninėje kolonoje ir gelžbetoninės metaliniu apvalkalu sustiprintos kolonos gelžbetoninėje dalyje 100-200 °C temperatūroje pastebimas nedidelis įtempių sumažėjimas, o nuo 200-250 °C temperatūros įtempiai vėl padidėja. Taip yra, todėl, kad 100 °C temperatūroje betonas netenka porose esančio laisvojo vandens, o 200 °C temperatūroje – chemiškai ir fiziškai sujungto vandens. 200-250 °C temperatūroje išgaruoja vanduo, betonas sutankėja ir todėl padidėja įtempiai. Gelžbetoninės kolonos plieninio apvalkalo spyrių ir juostų kraštuose (per storį) įtempiai yra didžiausi, o viduryje mažiausi.
10. Lyginant gelžbetoninės kolonos ir gelžbetoninės metaliniu apvalkalu sustiprintos kolonos įtempių pasiskirstymą pastebima, kad įtempiai metaliniu apvalkalu sustiprintos kolonos kraštuose yra didesni nei nesustiprintos kolonos. Metaliniu apvalkalu sustiprintoje kolonoje tolstant nuo kolonos krašto link centro įtempiai mažėja greičiau nei nesustiprintoje kolonoje.

LITERATŪRA

- Dhir, R.K.; Chana, P.; Caliskan, S.; Lavingia, R. 2008. *Concrete for fire engineering*. University of Dundee, Scotland, UK: Bre press. 332p.
- Jokūbaitis, V.; Jurkša, A.; Kamaitis, Z.; Kivilša, J.; Kudzys, Alg.; Kudzys, Ant.; Marčiukaitis, G.; Pukelis, P.; Vadlūga, R.; Vainiūnas, P. 1992. *Gelžbetoninės ir mūrinės konstrukcijos*. Vilnius: Mokslas. 390 p.
- Jokūbaitis, V.; Jurkša, A.; Kamaitis, Z.; Kivilša, J.; Kudzys, A.; Marčiukaitis, G.; Pukelis, P.; Užpolevičius, B.; Vadlūga, R.; Vainiūnas, P. 1978. *Gelžbetoninės konstrukcijos*. Vilnius: Mokslas. 441 p.
- Jonaitis, B.; Papinigis, V. 2006. *Nauja Europos Sąjungos gaisro temperatūrų veikiamų gelžbetoninių konstrukcijų projektavimo metodika*. Vilnius: VGTU. [žiūrėta 2010-10-10]. Prieiga per internetą: http://www.tede.vgtu.lt/upload/ukis_zurn/jonaitis&papinigis.pdf.
- Juocevičius, V. 2007. *Bendrieji reikalavimai gelžbetoninių konstrukcijų projektavimui pagal euronormas. Mokomoji knyga*. Vilnius: Technika. 60 p.
- Kamaitis, Z.; Jokūbaitis, V. 1985. *Gelžbetoninių ir mūrinių konstrukcijų atstatymas ir stiprinimas. Mokomoji knygelė*. Vilnius. 91 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.
- Marčiukaitis, G.; Jonaitis, B.; Papinigis, V.; Valivonis, J. 2007. *Gelžbetoninių konstrukcijų projektavimas pagal euronormas*. Vilnius: Technika. 339 p.
- Marčiukaitis, G. 1985. *Betoninių ir gelžbetoninių konstrukcijų defektai ir remontas*. Vilnius: Mokslas. 142 p.
- Papinigis, V.; Popovas, V.; Rimkevičius, A.; Podagėlis, R. 1999. *Gaisro temperatūros veikiamos gelžbetoninės konstrukcijos. Laboratoriniai darbai*. Vilnius: Technika. 78 p.
- Pastatų konstruktoriaus ir statybininko žinynas*. 2009. Kaunas: Naujasis lankas. 1520 p.
- Purkis, J.A. 2007. *Fire safety engineering. Design of structures. Second edition*. Aston university, UK: Elsevier. 389 p.
- STR 2.01.04:2004 Gaisrinė sauga. Pagrindiniai reikalavimai. Vilnius: Aplinkos ministerija, 2003. 35 p.
- STR 2.05.11:2005 Gaisro temperatūrų veikiamų gelžbetoninių konstrukcijų projektavimas. Vilnius, 2005. 26p.
- Venckevičius, V.; Žilinskas, R. 2000. *Statinių rekonstrukcija ir remontas*. Kaunas: Technologija. 316 p.

- Ильин, Н.А. 1983. *Техническая экспертиза зданий поврежденных пожаром*. Москва: Стройиздат. 198 р.
- Ильин, Н.А. 1979. *Последствия огневого воздействия на железобетонные конструкции*. Москва: Стройиздат. 127 р.
- Мальганов, А.И.; Плевков, В.С.; Полищук, А.И. 1990. *Восстановление и усиление строительных конструкций аварийных и реконструируемых зданий. Атлас схем и чертежей*. Томск. 317 р.
- Милованов, А.Ф. 1998. *Стойкость железобетонных конструкций при пожаре*. Москва: Стройиздат. 295 р.
- Милованов, А.Ф. 1986. *Огнестойкость железобетонных конструкций*. Москва: Стройиздат. 222 р.
- Милованов, А.Ф. 1975. *Расчет жаростойких железобетонных конструкций*. Москва: Стройиздат. 231 р.
- Милованов, А.Ф. 1972. *Работа железобетонных конструкций при высоких температурах*. Москва: Стройиздат. 159 р.
- Рекомендации по проектированию усиления железобетонных конструкций зданий и сооружений реконструируемых предприятий. Надземные конструкции и сооружения*. 1992. Москва: Стройиздат. 191 р.

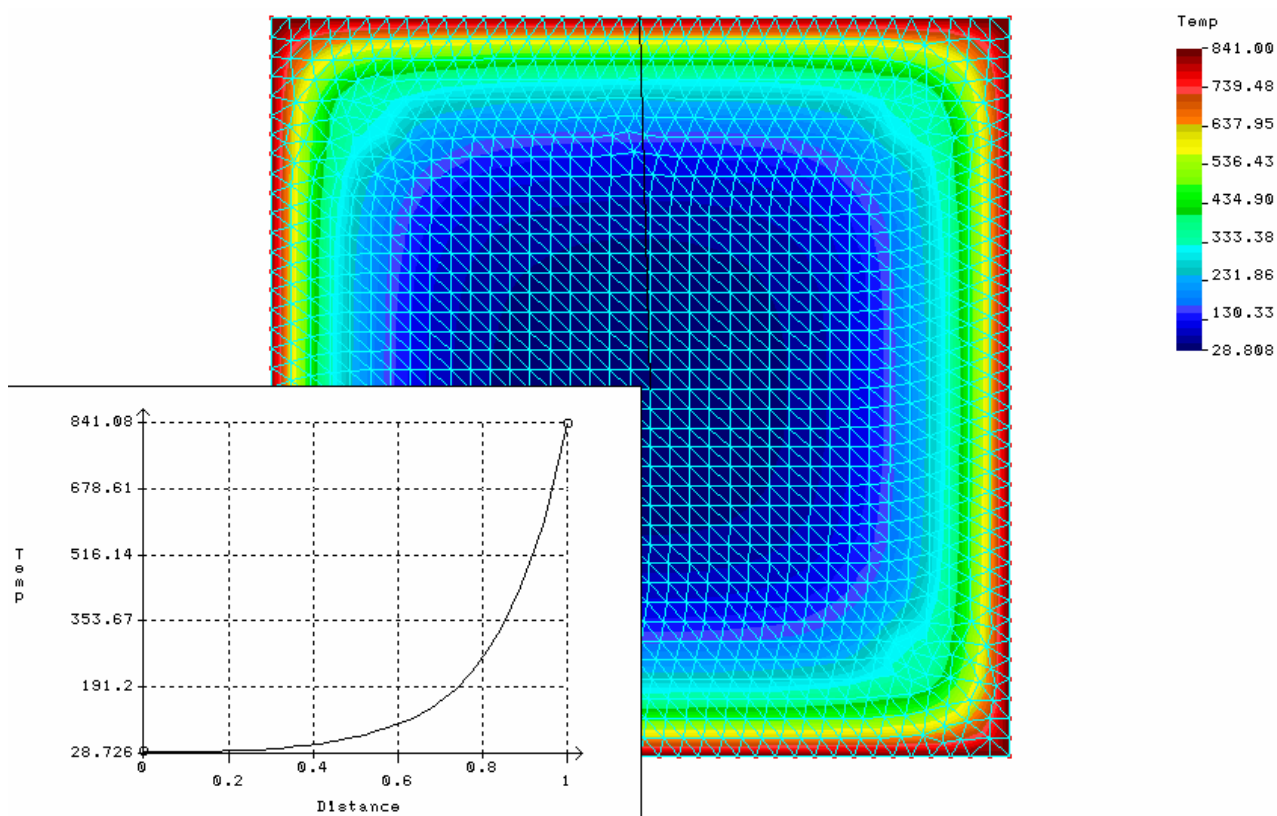
PRIEDAI

A PRIEDAS

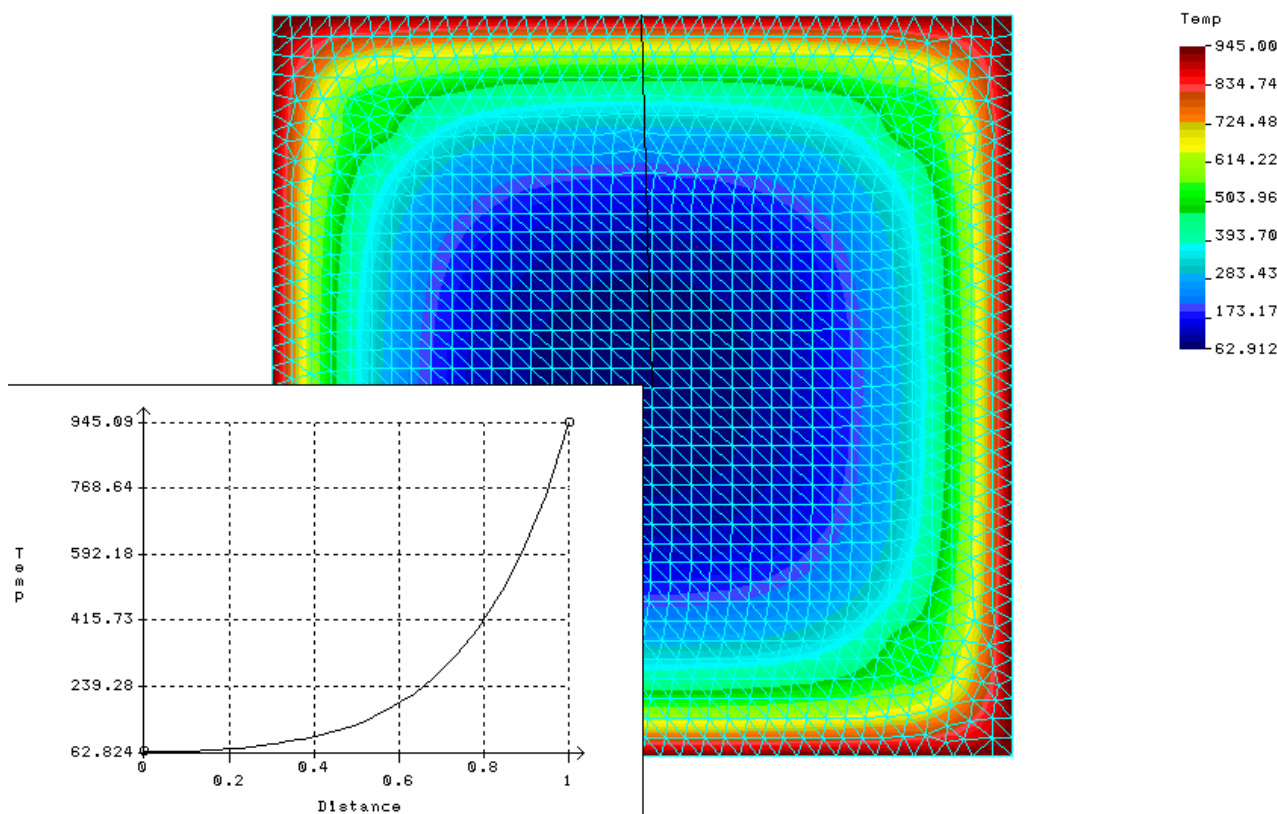
GELŽBETONINIO SKERSPJŪVIO TEMPERATŪRINIŲ LAUKŲ SUDARYMAS BAIGTINIŲ ELEMENTŲ PROGRAMA COSMOSM

Pateikiamas algoritmas gelžbetoninio skerspjūvio temperatūriniam laukams, nuo standartinio gaisro, gauti

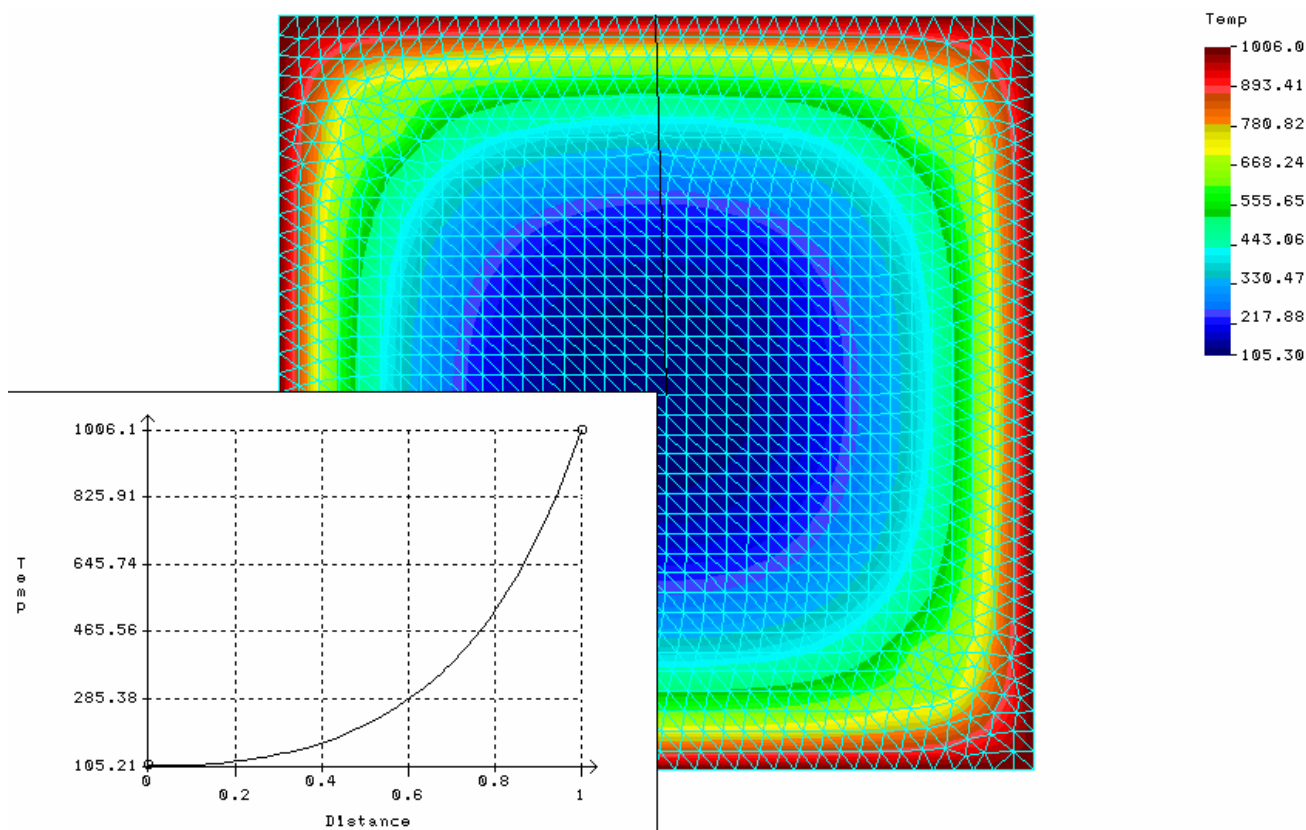
Cosmos/M komandos
PT,1,0,0,0
CREXTR,1,1,1,Y,0.3
CREXTR,1,1,1,X,0.3
CREXTR,3,3,1,Y,0.3
CRLINE,4,2,4
PT,5,0.04,0.04,0
PT,6,0.26,0.04,0
PT,7,0.04,0.26,0
PT,8,0.26,0.26,0
CREXTR,5,8,1,Z,-0.2
CREXTR,5,8,1,X,0.1
CRLINE,13,5,9
CRCIRCLE,13,5,9,13,0.009,360,4
CRCIRCLE,17,6,10,14,0.009,360,4
CRCIRCLE,21,7,11,15,0.009,360,4
CRCIRCLE,25,8,12,16,0.009,360,4
ACTKEEP,PT,1
CRDEL,5,12,1
ACTKEEP,PT,0
PTDEL,9,16,1
CT,1,0,0.008,5,1,2,3,4,1,0
CT,2,0,0.008,5,13,14,15,16,13,0
CT,3,0,0.008,5,17,18,19,20,17,0
CT,4,0,0.008,5,21,22,23,24,21,0
CT,5,0,0.008,5,25,26,27,28,25,0
RG,1,5,1,2,3,4,5,0
RG,2,1,2,0
RG,3,1,3,0
RG,4,1,4,0
RG,5,1,5,0
EGROUP,1,SHELL3T,0,0,0,0,0,0,0
RCONST,1,1,1,1,0.1
MPROP,1,DENS,7800
MPROP,1,KX,14
MPROP,1,C,440
MA_RG,2,5,1,3,1,0
MPROP,2,DENS,2400
CURDEF,TEMP,1,1,0,1.36,120,1.21,240,1.07,360,0.94,480,0.84,600,0.75,72&0.68,840,0.62,960,0.58,1200,0.55
MPROP,2,KX,1
CURDEF,TEMP,2,1,0,900,100,900,100,1470,115,1470,200,1000,400,1100,1200&,1100
MPROP,2,C,1
MA_RG,1,1,1,3,1,0
NMERGE,1,NDMAX,1,0.0001,0,1,0
NCOMPRESS,1,NDMAX
CURDEF,TIME,3,1,0,20,300,576,600,679,900,738,1200,781,1500,810,1800,84&1,2400,885,3000,915,3600,945
CURDEF,TIME,3,11,4200,970,4800,990,5400,1006,6000,1025,6600,1035,7200,&
1049,8100,1067,9000,1082,9900,1097,10800,1110
CURDEF,TIME,3,21,11700,1120,12600,1133,13500,1143,14400,1153,15300,116&
3,16200,1170,17100,1178,18000,1186
NTCR,1,1,4,1
INITIAL,TEMP,1,1490,1,20
TIMES,0,10800,600
A_THERMAL,T,0.001,1,1,20,0,1,1E+008,0,0,0
R_THERMAL



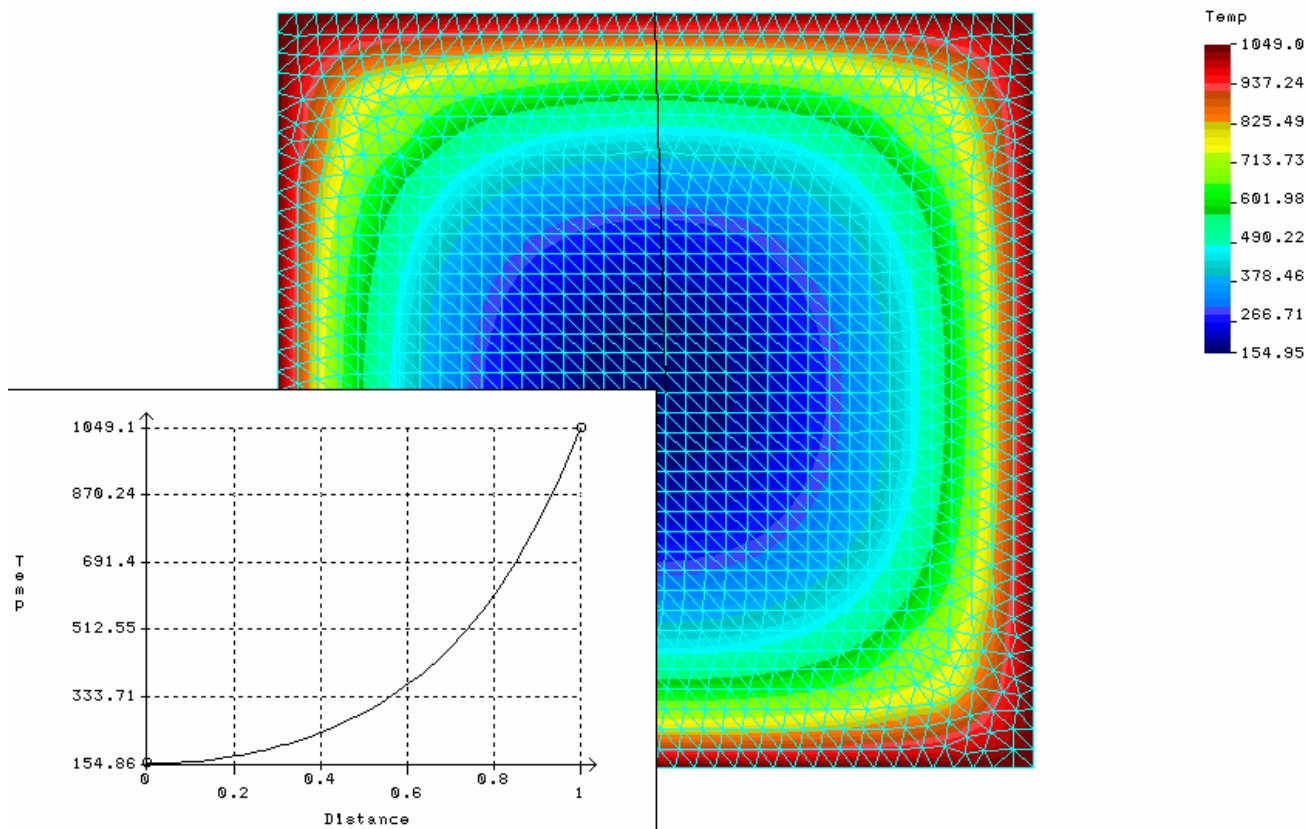
A.1. pav. Temperatūros pasiskirstymas skerspjūvyje nuo vidurio link krašto (po 30 min)



A.2. pav. Temperatūros pasiskirstymas skerspjūvyje nuo vidurio link krašto (po 60 min)



A.3. pav. Temperatūros pasiskirstymas skerspjūvyje nuo vidurio link krašto (po 90 min)



A.4. pav. Temperatūros pasiskirstymas skerspjūvyje nuo vidurio link krašto (po 120 min)

B PRIEDAS

ĮTEMPIAI KOLONŲ PJŪVIUOSE PAGAL SOLIDWORKS PROGRAMINIO PAKETO REZULTATUS

Gelžbetoninės kolonos įtempiai charakteringuose pjūviuose.

B.1. lentelė. Kolonos įtempiai skerspjūvyje (MPa), pjūvyje 1-1

Apkrovos	Taškai						
	1	2	3	4	5	6	7
1,5 MN	17,9	17,4	44,4	16,1	16,0	15,9	15,9
1,5 MN, 50 °C	18,6	16,1	42,2	15,3	15,4	15,5	15,5
1,5 MN, 100 °C	22,2	15,1	38,2	13,6	14,2	14,5	14,5
1,5 MN, 150 °C	27,8	16,5	35,0	12,1	13,1	13,6	13,6
1,5 MN, 200 °C	34,5	19,5	32,7	10,6	11,9	12,7	12,7
1,5 MN, 250 °C	41,7	23,9	31,5	9,4	10,8	11,7	11,7
1,5 MN, 300 °C	49,2	28,9	31,6	8,4	9,7	10,8	10,8
1,5 MN, 350 °C	56,9	34,1	33,0	7,7	8,5	9,9	9,9
1,5 MN, 400 °C	64,7	39,6	35,5	7,5	7,4	8,9	8,9
1,5 MN, 450 °C	72,5	45,3	38,9	7,8	6,3	8,0	8,0
1,5 MN, 500 °C	80,5	51,0	43,0	8,5	5,2	7,1	7,1

B.2. lentelė. Kolonos įtempiai skerspjūvyje (MPa), pjūvyje 2-2

Apkrovos	Taškai						
	1	2	3	4	5	6	7
1,5 MN	16,2	16,1	16,1	16,0	16,0	15,9	15,9
1,5 MN, 50 °C	15,4	14,1	15,3	15,4	15,5	15,5	15,5
1,5 MN, 100 °C	19,5	10,6	14,9	14,5	14,4	14,5	14,5
1,5 MN, 150 °C	27,9	8,4	16,1	14,0	13,4	13,6	13,6
1,5 MN, 200 °C	38,0	8,6	18,6	13,7	12,4	12,7	12,7
1,5 MN, 250 °C	48,7	11,1	21,9	13,7	11,4	11,7	11,7
1,5 MN, 300 °C	59,6	14,8	25,8	14,1	10,4	10,8	10,8
1,5 MN, 350 °C	70,7	18,9	29,9	14,8	9,5	9,9	9,9
1,5 MN, 400 °C	81,9	23,3	34,3	15,7	8,5	8,9	8,9
1,5 MN, 450 °C	93,1	27,8	38,8	16,9	7,6	8,0	8,0
1,5 MN, 500 °C	104,4	32,4	43,4	18,2	6,7	7,1	7,1

B.3. lentelē. Kolonas ģēmpiai skerspūvyje (MPa), pūvyje 3-3

Apkrovos	Taškai						
	1	2	3	4	5	6	7
1,5 MN	17,6	17,1	22,4	16,4	16,1	16,0	16,0
1,5 MN, 50 °C	17,2	15,6	21,3	15,3	15,1	15,3	15,1
1,5 MN, 100 °C	21,1	14,1	19,3	13,3	13,3	14,0	13,6
1,5 MN, 150 °C	28,9	14,6	17,6	11,4	11,5	13,1	12,2
1,5 MN, 200 °C	38,3	17,2	16,2	9,7	10,0	12,7	11,1
1,5 MN, 250 °C	48,4	20,9	15,2	8,2	8,9	12,8	10,3
1,5 MN, 300 °C	58,7	25,4	14,7	7,3	8,2	13,4	10,0
1,5 MN, 350 °C	69,3	30,3	14,8	7,0	8,2	14,4	10,1
1,5 MN, 400 °C	79,9	35,4	15,3	7,5	8,8	15,8	10,6
1,5 MN, 450 °C	90,7	40,7	16,4	8,6	9,9	17,5	11,6
1,5 MN, 500 °C	101,5	46,0	17,8	10,2	11,3	19,3	12,8

B.4. lentelē. Kolonas ģēmpiai skerspūvyje (MPa), pūvyje 4-4

Apkrovos	Taškai						
	1	2	3	4	5	6	7
1,5 MN	17,9	18,1	18,6	17,5	16,8	16,3	16,3
1,5 MN, 50 °C	18,6	18,7	18,4	19,9	20,1	16,1	16,1
1,5 MN, 100 °C	22,2	23,2	20,4	31,0	31,4	18,2	18,2
1,5 MN, 150 °C	27,8	30,3	24,8	45,3	44,9	22,8	22,8
1,5 MN, 200 °C	34,5	38,5	30,6	60,4	59,2	28,6	28,6
1,5 MN, 250 °C	41,7	47,3	37,2	76,0	73,8	35,2	35,2
1,5 MN, 300 °C	49,2	56,4	44,1	91,8	88,5	42,0	42,0
1,5 MN, 350 °C	56,9	65,7	51,3	107,6	103,3	49,1	49,1
1,5 MN, 400 °C	64,7	75,1	58,7	123,6	118,2	56,3	56,3
1,5 MN, 450 °C	72,5	84,6	66,1	139,5	133,1	63,6	63,6
1,5 MN, 500 °C	80,5	94,1	73,6	155,5	148,0	70,9	70,9

Metaliniu apvalkalu sustiprintos gelžbetoninēs kolonas ģēmpiai rakteringuose pūviuose.

B.5. lentelē. Kolonas, sustiprintas metaliniu apvalkalu, ģēmpiai skerspūvyje (MPa), pūvyje 1-1

Apkrovos	Taškai							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1,5 MN	13,4	17,5	11,6	32,6	12,9	12,4	12,3	12,3
1,5 MN, 50 °C	17,9	20,7	15,0	31,8	12,1	11,8	11,9	11,9
1,5 MN, 100 °C	29,5	36,1	23,7	31,0	10,5	10,7	11,1	11,1
1,5 MN, 150 °C	42,2	54,9	33,3	31,0	9,0	9,5	10,2	10,2
1,5 MN, 200 °C	55,2	74,6	43,1	32,0	7,6	8,4	9,4	9,4
1,5 MN, 250 °C	68,3	94,6	53,1	33,7	6,5	7,3	8,6	8,6
1,5 MN, 300 °C	81,6	114,8	63,2	36,2	5,7	6,3	7,7	7,7
1,5 MN, 350 °C	94,8	135,1	73,2	39,2	5,5	5,3	6,9	6,9
1,5 MN, 400 °C	108,1	155,4	83,3	42,6	5,9	4,4	6,1	6,1
1,5 MN, 450 °C	121,4	175,7	93,5	46,4	6,7	3,6	5,3	5,3
1,5 MN, 500 °C	134,8	196,1	103,6	50,5	7,9	3,2	4,5	4,5

B.6. lentelė. Kolonos, sustiprintos metaliniu apvalkalu, įtempiai skerspjūvyje (MPa), pjūvyje 2-2

Apkrovos	Taškai									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1,5 MN	16,0	16,7	17,6	14,9	14,2	13,4	12,6	12,3	12,3	12,3
1,5 MN, 50 °C	38,2	14,6	37,0	17,1	13,3	11,8	11,9	11,8	11,8	11,8
1,5 MN, 100 °C	132,1	24,3	87,0	25,8	12,6	10,0	10,5	10,9	10,9	10,9
1,5 MN, 150 °C	227,0	40,6	138,7	36,6	13,5	10,5	9,3	10,1	10,1	10,1
1,5 MN, 200 °C	322,1	58,2	190,7	48,2	15,8	13,2	8,5	9,2	9,2	9,2
1,5 MN, 250 °C	417,2	76,2	242,8	60,2	18,9	17,0	8,0	8,3	8,3	8,3
1,5 MN, 300 °C	512,3	94,4	295,0	72,2	22,5	21,3	8,1	7,4	7,4	7,4
1,5 MN, 350 °C	607,4	112,6	347,2	84,4	26,4	25,9	8,6	6,5	6,5	6,5
1,5 MN, 400 °C	702,5	131,0	399,4	96,6	30,5	30,7	9,5	5,7	5,7	5,7
1,5 MN, 450 °C	797,6	149,3	451,6	108,9	34,7	35,5	10,7	4,8	4,8	4,8
1,5 MN, 500 °C	892,8	167,7	503,9	121,2	39,0	40,5	12,2	4,0	4,0	4,0

B.7. lentelė. Kolonos, sustiprintos metaliniu apvalkalu, įtempiai skerspjūvyje (MPa), pjūvyje 3-3

Apkrovos	Taškai											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1,5 MN	16,3	27,3	37,9	20,2	17,5	20,0	12,2	15,6	12,7	13,3	13,3	12,8
1,5 MN, 50 °C	48,6	32,2	34,7	33,0	14,6	30,3	12,3	14,8	11,6	12,3	12,3	11,7
1,5 MN, 100 °C	131,5	48,2	56,2	86,5	26,7	61,4	13,3	13,5	9,6	10,4	10,4	9,7
1,5 MN, 150 °C	215,7	67,4	91,1	143,4	46,1	95,1	15,2	12,5	7,9	8,9	8,9	8,1
1,5 MN, 200 °C	300,2	87,8	129,1	200,8	66,7	129,4	17,6	12,0	6,7	7,9	7,9	7,2
1,5 MN, 250 °C	384,7	108,6	167,9	258,5	87,6	164,0	20,4	12,0	6,2	7,7	7,7	7,3
1,5 MN, 300 °C	469,2	129,7	207,3	316,2	108,7	198,6	23,5	12,5	6,7	8,3	8,3	8,4
1,5 MN, 350 °C	553,8	150,9	246,8	373,9	129,9	233,3	26,7	13,5	7,9	9,5	9,5	10,1
1,5 MN, 400 °C	638,4	172,2	286,5	431,7	151,1	268,1	30,1	14,8	9,7	11,3	11,3	12,2
1,5 MN, 450 °C	723,0	193,6	326,2	489,5	172,4	302,8	33,5	16,5	11,7	13,3	13,3	14,5
1,5 MN, 500 °C	807,6	215,0	366,0	547,3	193,7	337,6	36,9	18,3	13,8	15,4	15,4	17,0

B.8. lentelė. Kolonos, sustiprintos metaliniu apvalkalu, įtempiai skerspjūvyje (MPa), pjūvyje 4-4

Apkrovos	Taškai								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1,5 MN	5,1	10,3	14,4	16,6	17,2	15,4	14,5	14,6	14,9
1,5 MN, 50 °C	13,6	12,1	29,6	36,2	29,8	16,9	17,0	18,0	17,2
1,5 MN, 100 °C	34,6	20,8	65,1	83,4	65,0	23,6	25,2	29,0	24,8
1,5 MN, 150 °C	55,9	31,6	101,5	131,8	102,0	32,6	35,2	41,9	34,0
1,5 MN, 200 °C	77,3	42,9	138,2	180,5	139,5	42,5	45,8	55,5	43,9
1,5 MN, 250 °C	98,7	54,4	174,8	229,2	177,1	52,8	56,7	69,2	54,1
1,5 MN, 300 °C	120,2	66,0	211,6	278,0	214,7	63,2	67,8	83,1	64,4
1,5 MN, 350 °C	141,6	77,6	248,3	326,8	252,4	73,8	78,9	97,1	74,8
1,5 MN, 400 °C	163,1	89,3	285,1	375,7	290,2	84,4	90,1	111,1	85,2
1,5 MN, 450 °C	184,5	101,1	321,8	424,5	327,9	95,1	101,3	125,2	95,7
1,5 MN, 500 °C	206,0	112,7	358,6	473,4	365,7	105,8	112,6	139,2	106,2

C PRIEDAS

ĮTEMPIŲ GELŽBETONINĖJE IR GELŽBETONINĖJE METALINIU APVALKALU SUSTIPRINTOJE KOLONOJE PALYGINIMAS PAGAL PROGRAMINIO PAKETO SOLIDWORKS REZULTATUS

C.1. lentelė. Įtempių gelžbetoninėje ir gelžbetoninėje metaliniu apvalkalu sustiprintoje kolonoje palyginimas (%) pagal SolidWorks programinio paketo rezultatus (pjūvis 1-1)

Apkrova	Charekteringi taškai						
	1	2	3	4	5	6	7
1,5 MN	2	33	27	20	23	23	23
1,5 MN ir 50 °C	10	7	25	21	23	23	23
1,5 MN ir 100 °C	39	36	19	23	25	23	23
1,5 MN ir 150 °C	49	50	11	26	27	25	25
1,5 MN ir 200 °C	54	55	2	28	29	26	26
1,5 MN ir 250 °C	56	55	7	31	32	26	26
1,5 MN ir 300 °C	57	54	13	32	35	29	29
1,5 MN ir 350 °C	58	53	16	29	38	30	30
1,5 MN ir 400 °C	58	52	17	21	41	31	31
1,5 MN ir 450 °C	59	52	16	14	43	34	34
1,5 MN ir 500 °C	59	51	15	7	38	37	37

Gelžbetoninės kolonos įtempiai didesni nei gelžbetoninės kolonos sustiprintos metaliniu apvalkalu

Gelžbetoninės kolonos sustiprintos metaliniu apvalkalu įtempiai didesni nei gelžbetoninės kolonos

C.2. lentelė. Įtempių gelžbetoninėje ir gelžbetoninėje metaliniu apvalkalu sustiprintoje kolonoje palyginimas (%) pagal SolidWorks programinio paketo rezultatus (pjūvis 2-2)

Apkrova	Charekteringi taškai						
	1	2	3	4	5	6	7
1,5 MN	8	12	17	21	23	23	23
1,5 MN ir 50 °C	10	6	23	23	24	24	24
1,5 MN ir 100 °C	24	16	33	28	24	25	25
1,5 MN ir 150 °C	24	38	35	34	25	26	26
1,5 MN ir 200 °C	21	46	29	38	26	28	28
1,5 MN ir 250 °C	19	41	22	42	27	29	29
1,5 MN ir 300 °C	17	34	17	43	29	31	31
1,5 MN ir 350 °C	16	28	13	42	32	34	34
1,5 MN ir 400 °C	15	24	10	39	33	36	36
1,5 MN ir 450 °C	15	20	9	37	37	40	40
1,5 MN ir 500 °C	14	17	7	33	40	44	44

Gelžbetoninės kolonos įtempiai didesni nei gelžbetoninės kolonos sustiprintos metaliniu apvalkalu

Gelžbetoninės kolonos sustiprintos metaliniu apvalkalu įtempiai didesni nei gelžbetoninės kolonos

C.3. lentelė. Įtempių gelžbetoninėje ir gelžbetoninėje metaliniu apvalkalu sustiprintoje kolonoje palyginimas (%) pagal SolidWorks programinio paketo rezultatus (pjūvis 3-3)

Apkrova	Charekteringi taškai						
	1	2	3	4	5	6	7
1,5 MN	12	29	30	23	17	17	20
1,5 MN ir 50 °C	43	21	31	24	19	20	23
1,5 MN ir 100 °C	66	6	30	28	22	26	29
1,5 MN ir 150 °C	70	4	29	31	23	32	34
1,5 MN ir 200 °C	70	2	26	31	21	38	35
1,5 MN ir 250 °C	70	2	21	24	13	40	29
1,5 MN ir 300 °C	70	7	15	8	1	38	16
1,5 MN ir 350 °C	70	12	9	11	14	34	0
1,5 MN ir 400 °C	70	15	3	23	22	28	13
1,5 MN ir 450 °C	70	18	1	26	26	24	20
1,5 MN ir 500 °C	70	20	3	26	27	20	25

Gelžbetoninės kolonos įtempiai didesni nei gelžbetoninės kolonos sustiprintos metaliniu apvalkalu

Gelžbetoninės kolonos sustiprintos metaliniu apvalkalu įtempiai didesni nei gelžbetoninės kolonos

C.4. lentelė. Įtempių gelžbetoninėje ir gelžbetoninėje metaliniu apvalkalu sustiprintoje kolonoje palyginimas (%) pagal SolidWorks programinio paketo rezultatus (pjūvis 4-4)

Apkrova	Charekteringi taškai						
	1	2	3	4	5	6	7
1,5 MN	20	8	8	12	14	10	9
1,5 MN ir 50 °C	37	48	38	15	15	11	6
1,5 MN ir 100 °C	66	72	69	24	20	37	27
1,5 MN ir 150 °C	73	77	76	28	22	46	33
1,5 MN ir 200 °C	75	79	78	30	23	48	35
1,5 MN ir 250 °C	76	79	79	31	23	49	35
1,5 MN ir 300 °C	77	80	79	31	23	49	35
1,5 MN ir 350 °C	77	80	80	31	24	49	34
1,5 MN ir 400 °C	77	80	80	32	24	49	34
1,5 MN ir 450 °C	77	80	80	32	24	49	34
1,5 MN ir 500 °C	78	80	80	32	24	49	33

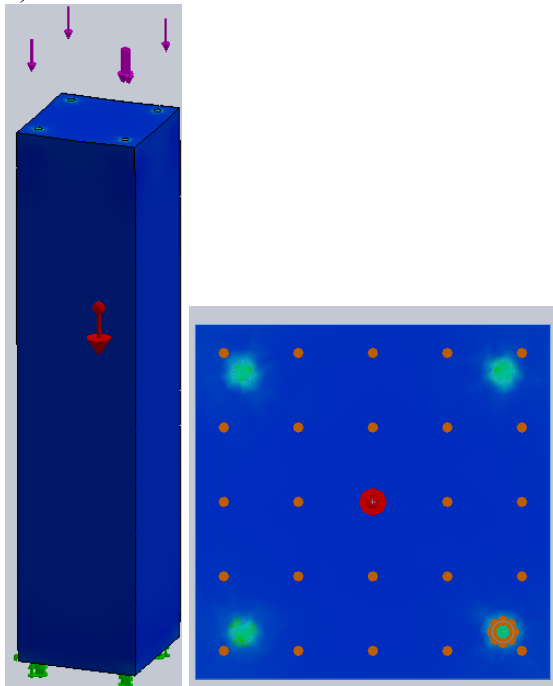
Gelžbetoninės kolonos įtempiai didesni nei gelžbetoninės kolonos sustiprintos metaliniu apvalkalu

Gelžbetoninės kolonos sustiprintos metaliniu apvalkalu įtempiai didesni nei gelžbetoninės kolonos

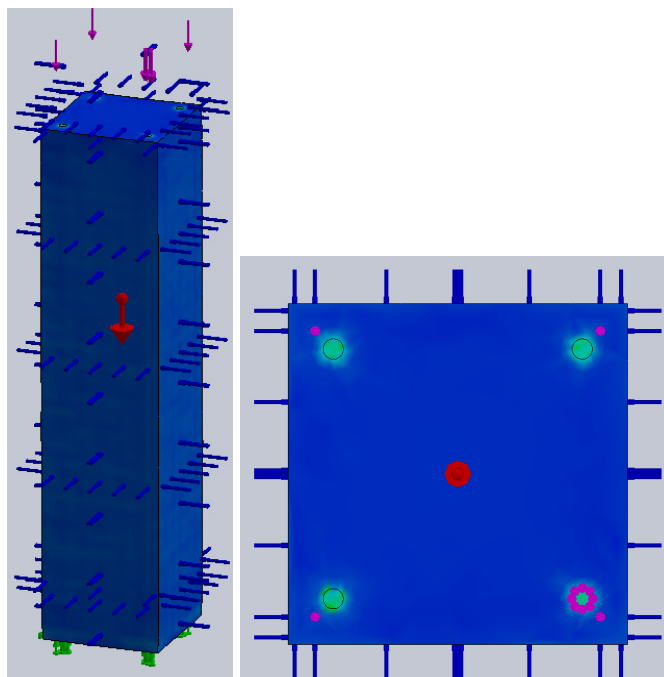
D PRIEDAS

ĮTEMPIŲ PASISKIRSTYMAS PROGRAMINIU PAKETU SOLIDWORKS SUDARYTOSE GELŽBETONINĖJE IR GELŽBETONINĖJE METALINIU APVALKALU SUSTIPRINTOJE KOLONOSE

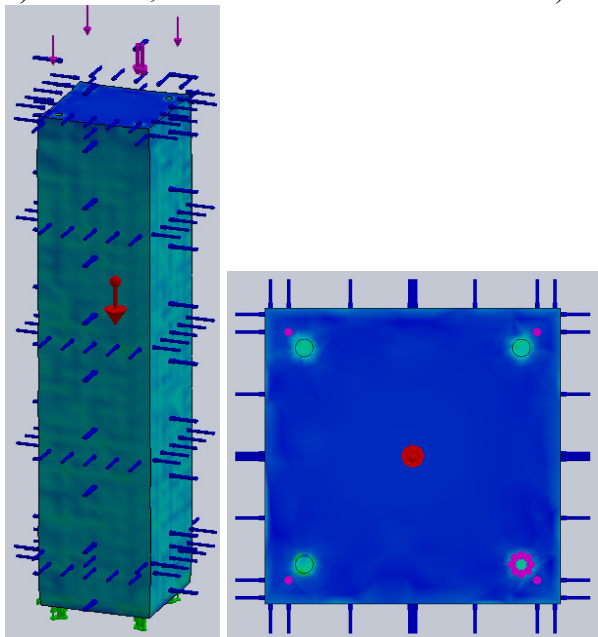
a) 1500 kN



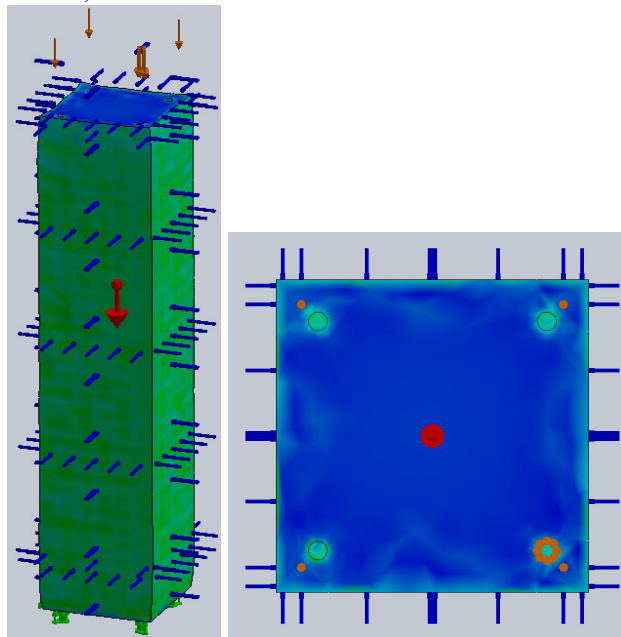
b) 1500 kN, 50 °C



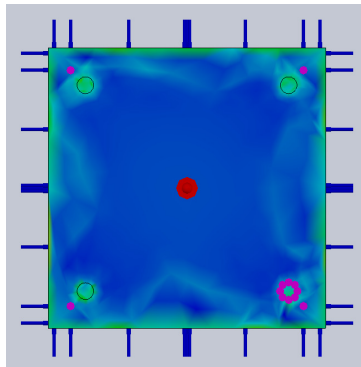
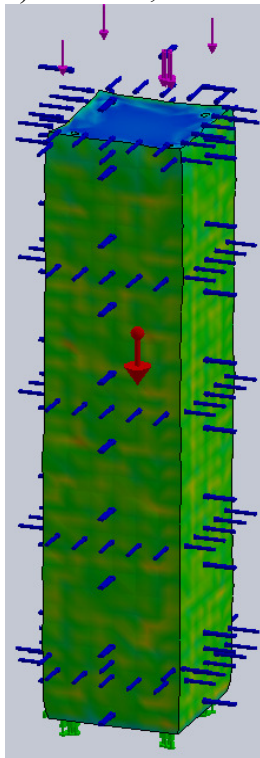
c) 1500 kN, 100 °C



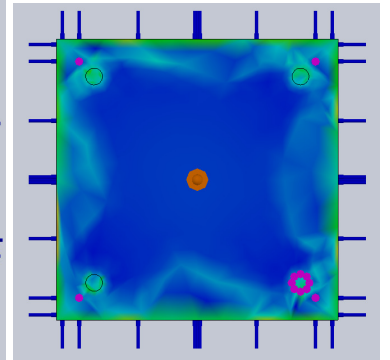
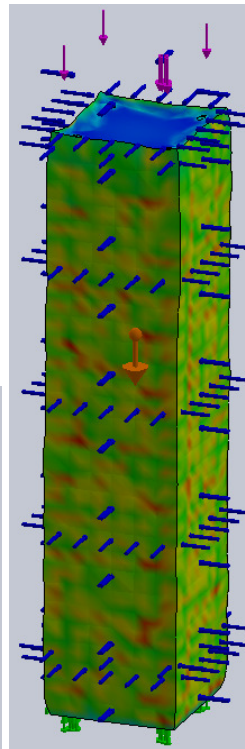
d) 1500 kN, 150 °C



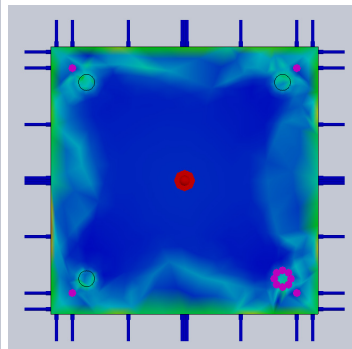
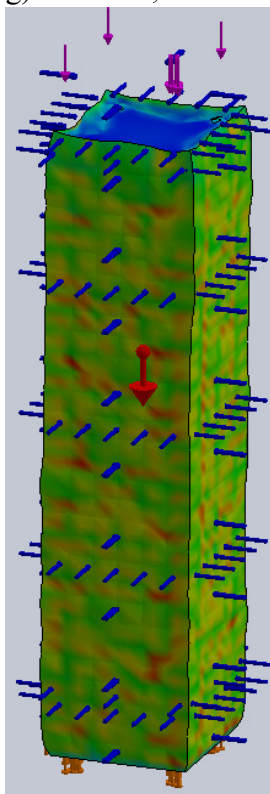
e) 1500 kN, 200 °C



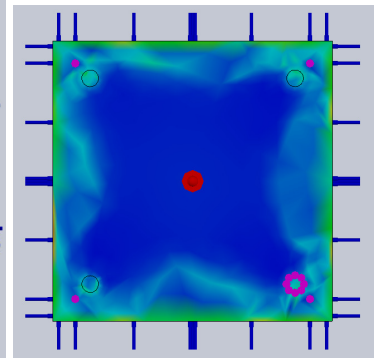
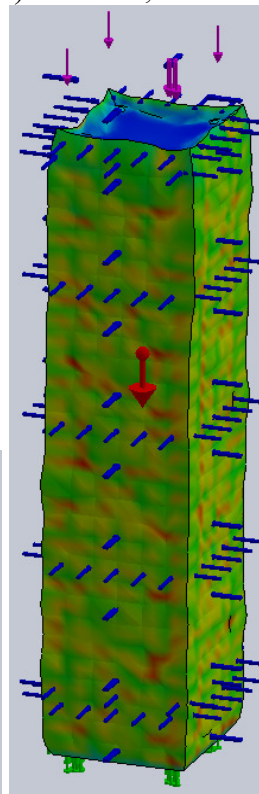
f) 1500 kN, 250 °C



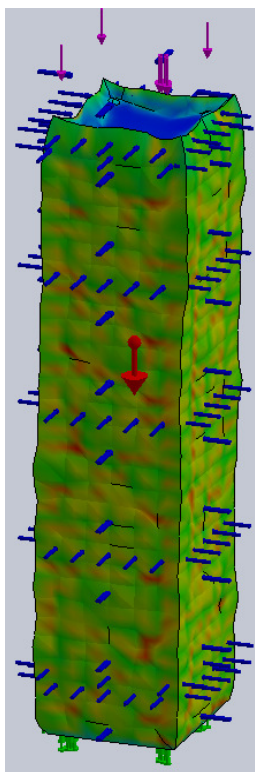
g) 1500 kN, 300 °C



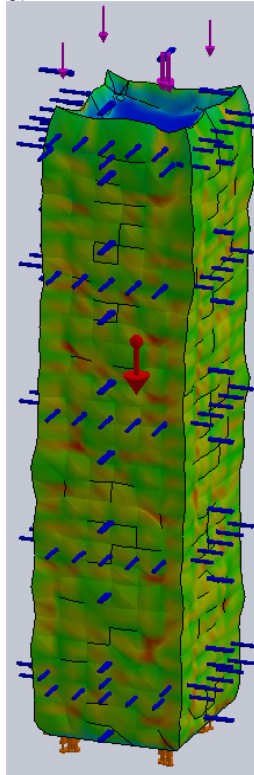
h) 1500 kN, 350 °C



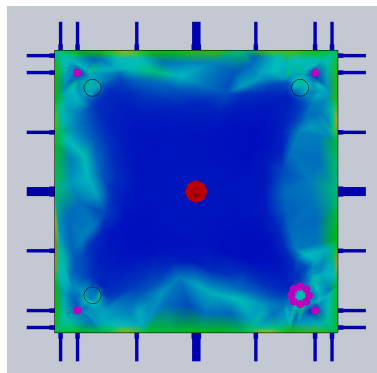
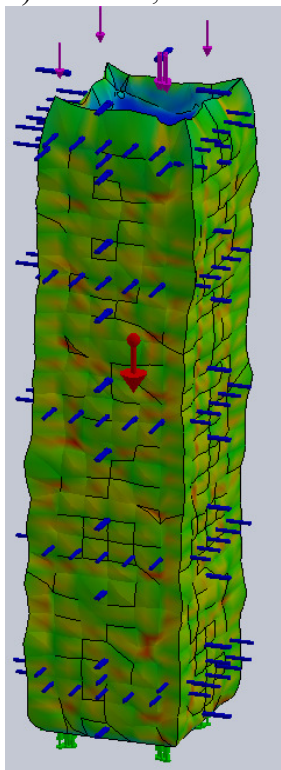
i) 1500 kN, 400 °C



j) 1500 kN, 450 °C

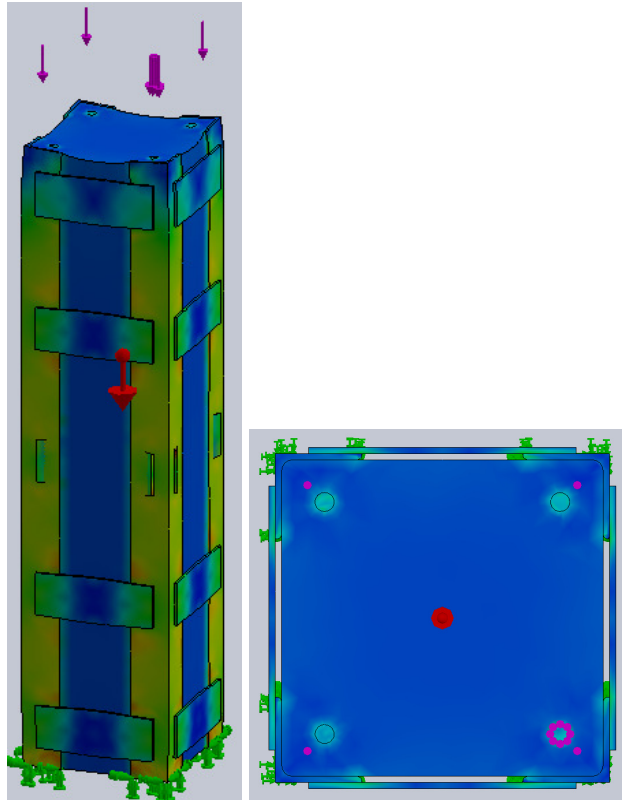


k) 1500 kN, 500 °C

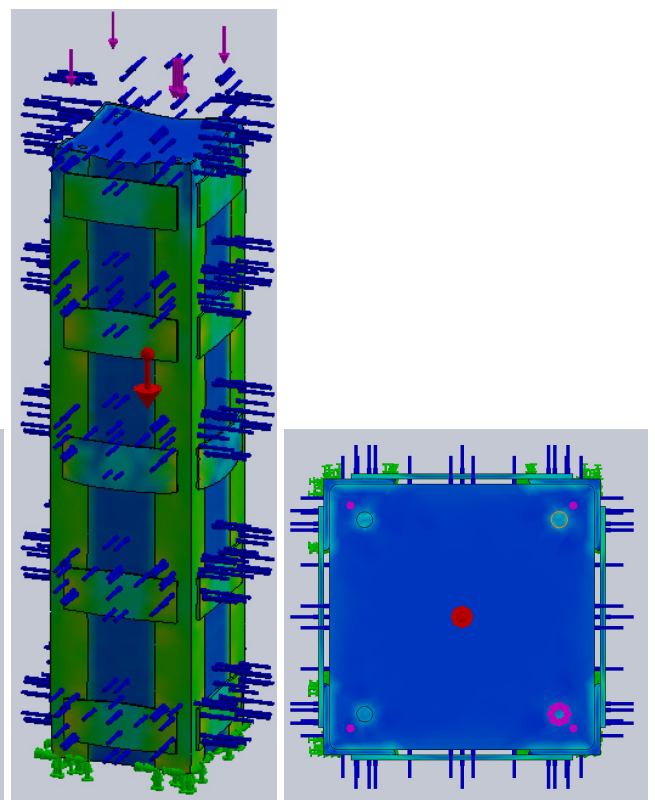


D.1. pav. Įtempių pasiskirstymas programiniu paketu SolidWorks sudarytoje gelžbetoninėje kolonoje nuo įvairių apkrovimo variantų

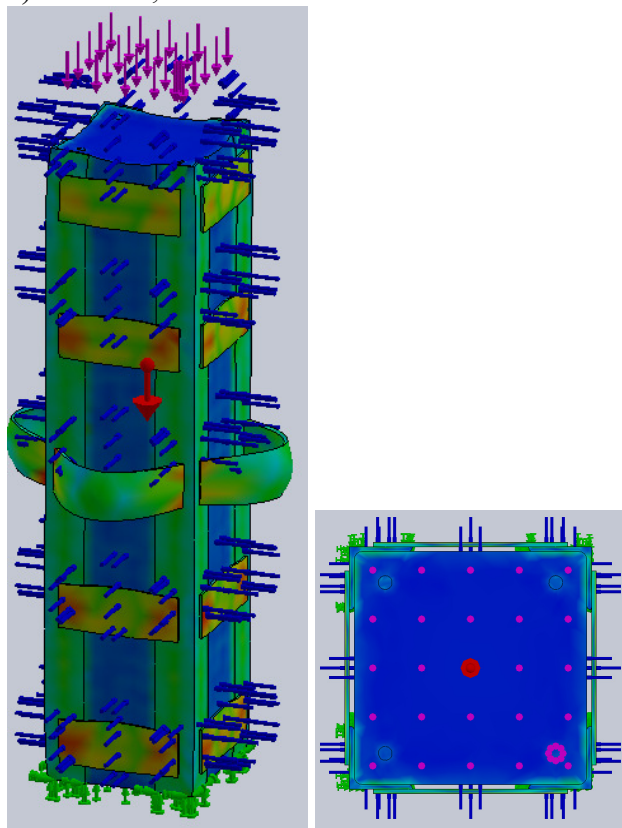
a) 1500 kN



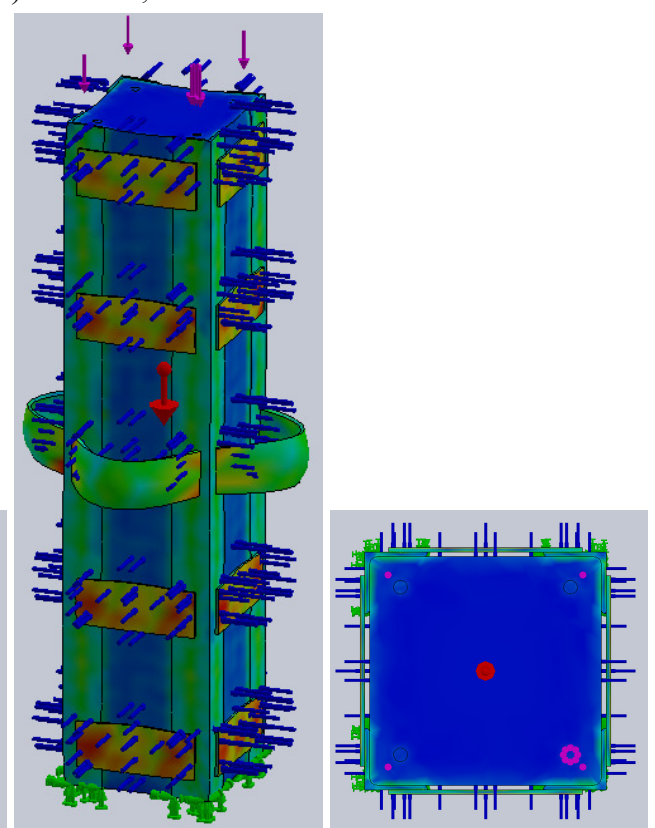
b) 1500 kN, 50 °C



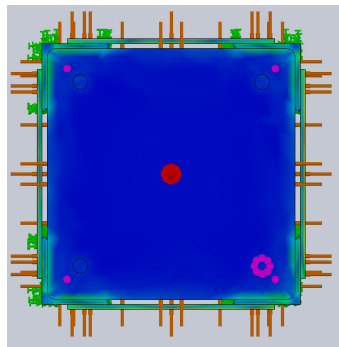
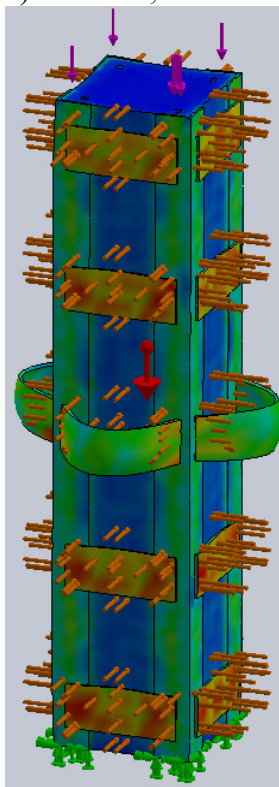
c) 1500 kN, 100 °C



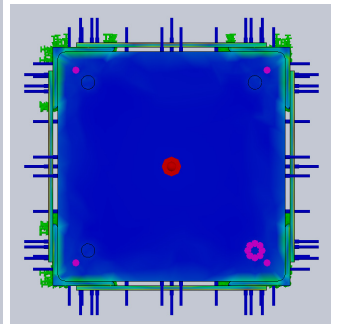
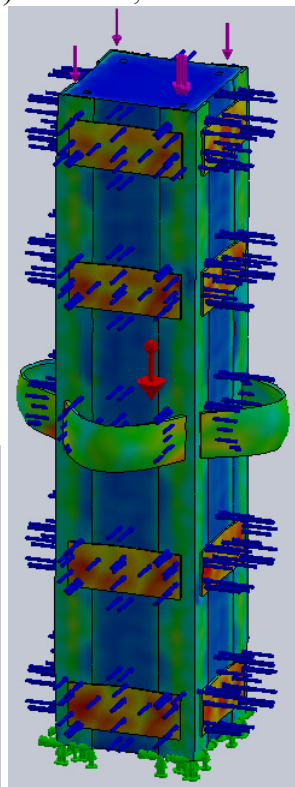
d) 1500 kN, 150 °C



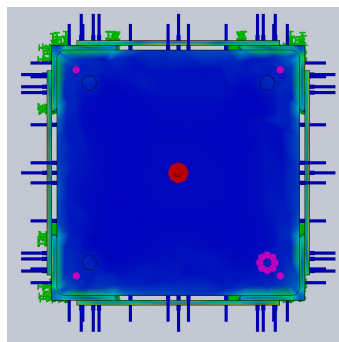
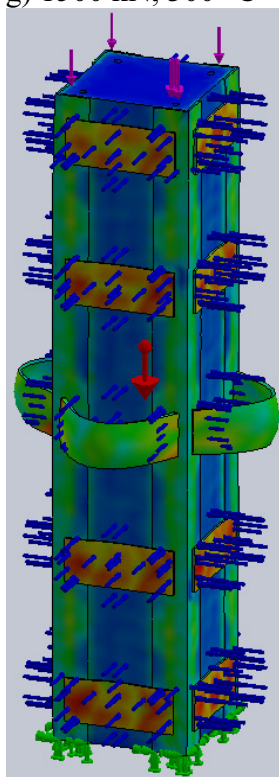
e) 1500 kN, 200 °C



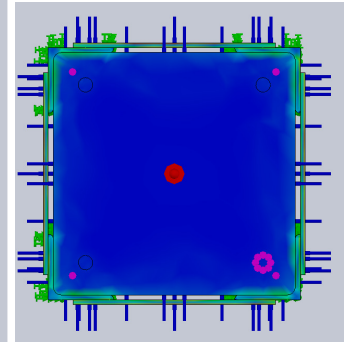
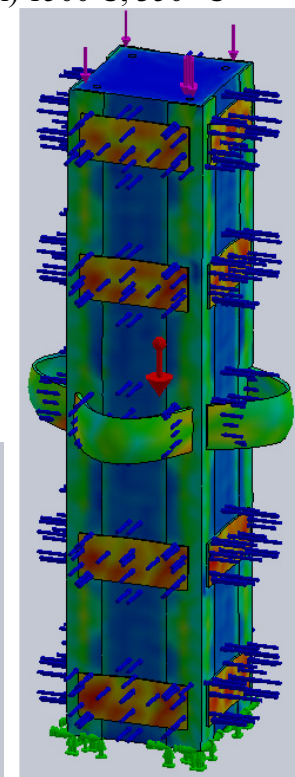
f) 1500 kN, 250 °C



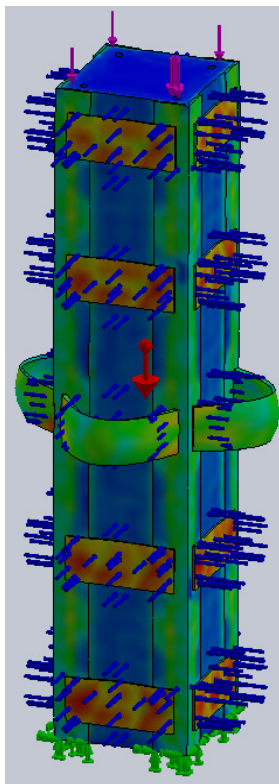
g) 1500 kN, 300 °C



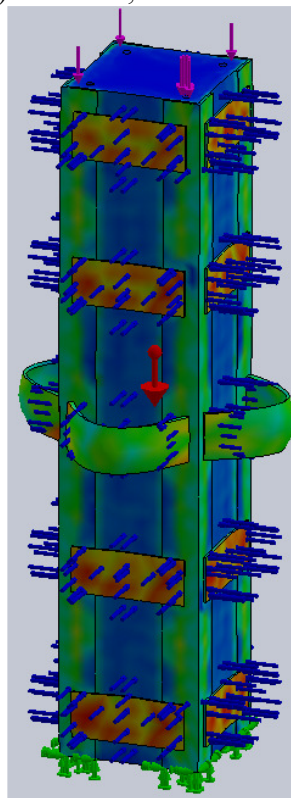
h) 1500 C, 350 °C



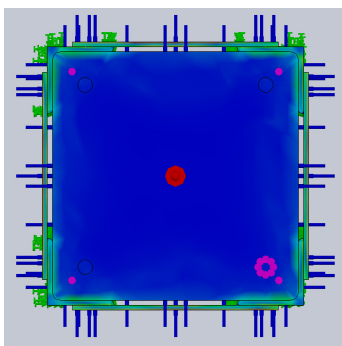
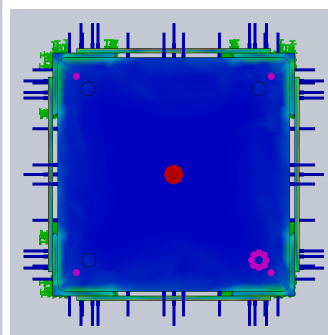
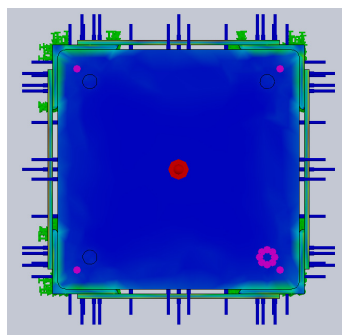
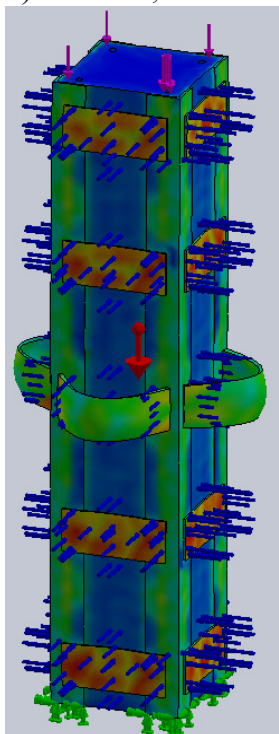
i) 1500 kN, 400 °C



j) 1500 kN, 450 °C



k) 1500 kN, 500 °C



D.2. pav. Įtempių pasiskirstymas programiniu paketu SolidWorks sudarytoje gelžbetoninėje metaliniu apvalkalu sustiprintoje kolonoje nuo įvairių apkrovimo variantų

E PRIEDAS

PRIDEDAMA KONFERENCIJOS MEDŽIAGA