VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
STATYBOS FAKULTETAS
GELŽBETONINIŲ IR MŪRINIŲ KONSTRUKCIJŲ KATEDRA

Robertas Zavalis

GNIUŽDOMŲJŲ GELŽBETONINIŲ ELEMENTŲ GAISRO PAŽAIDOS IR ELEMENTŲ LAIKOMOSIOS GALIOS ATSTATYMO YPATUMAI

FIRE DAMAGE OF COMPRESED REINFORCED CONCRETE ELEMENTS AND SPECIFICS OF BEARING LOAD CAPACITY REGENERATION

Baigiamasis magistro darbas

Statinių konstrukcijų studijų programa, valstybinis kodas 62402T107
Pastatų konstrukcijų specializacija
Statybos inžinerijos mokslo kryptis

Vilnius, 2009

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
STATYBOS FAKULTETAS
GELŽBETONINIŲ IR MŪRINIŲ KONSTRUKCIJŲ KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas
(Parašas)
(Vardas, pavardė)
2009-06-17
(Data)

Robertas Zavalis

GNIUŽDOMŲJŲ GELŽBETONINIŲ ELEMENTŲ GAISRO PAŽAIDOS IR ELEMENTŲ LAIKOMOSIOS GALIOS ATSTATYMO YPATUMAI

FIRE DAMAGE OF COMPRESED REINFORCED CONCRETE ELEMENTS AND SPECIFICS OF BEARING LOAD CAPACITY REGENERATION

Baigiamasis magistro darbas

Statinių konstrukcijų studijų programa, valstybinis kodas 62402T107
Pastatų konstrukcijų specializacija
Statybos inžinerijos mokslo kryptis

Vadovas doc. dr. Arnoldas Šneideris (Moksl. laipsnis, vardas, pavardė) (Parašas) 20090601 (Data)

Konsultantas doc. dr. Zofija Bakickienė (Moksl. laipsnis, vardas, pavardė) (Parašas) 2009 06 02 (Data)

Konsultantas (Moksl. laipsnis, vardas, pavardė) (Parašas) (Data)

Vilnius, 2009

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
STATYBOS FAKULTETAS
GELŽBETONINIŲ IR MŪRINIŲ KONSTRUKCIJŲ KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas
(Parašas)
(Vardas, pavardė)
2009-06-08
(Data)

Technologijos mokslai T000	mokslo sritis
Statybos inžinerija 02T	mokslo kryptis
Statybos inžinerija	studijų kryptis
Statinių konstrukcijos	studijų programa, valstybinis kodas 62402T107
Pastatų konstrukcijos	specializacija

BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO UŽDUOTIS

2009-06-17 Nr. 1-1
Vilnius

Studentui Robertui Zavaliui
(Vardas, pavardė)

Baigiamojo darbo tema: Gniuždomųjų gelžbetoninių elementų gaisro pažaidos ir elementų laikomosios galios atstatymo ypatumai

patvirtinta 2008 m. gruodžio 11 d. dekano potvarkiu Nr. 392st

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas 2009 m. birželio 1 d.

BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

Išnagrinėti gelžbetonio ir jo komponentų (betono ir armatūros) elgseną gaisro temperatūroje. Ištirti betono ir armatūros stiprumo ir deformacijų savybes kylant temperatūrai.

Apžvelgti pagrindinius atsparumo ugniai skaičiavimo principus ir metodus.

Atlikti teorinių ir eksperimento būdu gautų rezultatų analizę. Palyginti rezultatus.

Taikant baigtinių elementų metodo programą COSMOS/M suskaičiuoti gelžbetoninio elemento skerspjūvio temperatūros pasiskirstymo laukus pagal standartinio gaisro kreivę. Pasinaudojus gautais temperatūriniais laukais ir taikant zonų metodą, nustatyti teorinių ir eksperimento būdu gautų rezultatų skirtumo įtaką elemento laikomajai galiai.

Atlikti aukštos temperatūros pažeisto ir po to apibetonavimu sustiprinto elemento laikomosios galios analizę. Pateikė išvadas ir rekomendacijas.

Baigiamojo darbo rengimo konsultantai:

.....

.....

.....
(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

Vadovas ..... doc. dr. Arnoldas Šneideris
(Parašas) (Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

Užduotį gavau
.....
(Parašas)
Robertas Zavalis

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Statybos fakultetas
Gelžbetoninių ir mūrinių konstrukcijų katedra

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

Magistrantūros studijų **Statinių konstrukcijų** programos baigiamasis darbas

Pavadinimas	**Gniuždomųjų gelžbetoninių elementų gaisro pažaidos ir elementų laikomosios galios atstatymo ypatumai**
Autorius	**Robertas Zavalis**
Vadovas	**doc. dr. Arnoldas Šneideris**

Kalba: lietuvių

Anotacija

Nagrinėjama gelžbetonio ir jo komponentų (betono ir armatūros) elgsena aukštoje temperatūroje, tiriamos betono stiprumo ir deformatyvumo savybės kylant temperatūrai. Atliekama teorinių ir eksperimento būdu gautų rezultatų lyginamoji analizė. Aptariami pagrindiniai atsparumo ugniai skaičiavimo principai ir metodai. Pasinaudojus baigtinių elementų metodo programa COSMOS/M suskaičiuoti gelžbetoninio elemento skerspjūvio temperatūros pasiskirstymo laukai pagal standartinio gaisro kreivę. Pasinaudojus gautais temperatūriniais laukais, zonų metodu, nustatyta teorinių ir eksperimento būdu gautų rezultatų skirtumo įtaka elemento laikomajai galiai. Atlikta, aukštos temperatūros pažeisto ir sustiprinto apibetonavus, elemento laikomosios galios analizė.

Prasminiai žodžiai

Atparumas ugniai, gaisras, gelžbetonis, temperatūra, temperatūriniai laukai

Vilnius Gediminas Technical University
Faculty of Civil Engineering
Department of Reinforced Concrete and Masonry Structures

ISBN ISSN
Copies No. .....
Date .....-....-.....

Master Degree Studies **Building Structures** study programme Master'sThesis

Title	**Fire damage of compresed reinforced concrete elements and specifics of bearing load capacity regeneration**
Author	**Robertas Zavalis**
Academic supervisor	**Assoc Prof Dr Arnoldas Šneideris**

Thesis language:
Lithuanian

Annotation

This article represents the behavior of reinforced concrete and its components (concrete and reinforcement) in high temperature. The comparing analysis of results obtained experimentally and theoretically is performed. The main fire resistance calculation basics are discussed. The temperature fields of reinforced concrete element cross-section are calculated according to standard fire curve using the finite elements method programme COSMOS/M. According to received temperature fields, the influence for element load bearing capacity of theoretical and experimental results difference, is determined using the zone method.

Keywords

Fire resistance, fire, reinforced concrete, temperature, fields of temperature

TURINYS

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS **7**
LENTELIŲ SĄRAŠAS **8**
ĮVADAS **10**
ANALITINĖ – METODINĖ DALIS **11**
1. PAGRINDINIAI GAISRO PARAMETRAI **11**
1.1. Gaisro ypatybės **11**
1.2. Natūralaus ir standartinio gaisro kreivės **12**
2. AUKŠTOS TEMPERATŪROS ĮTAKA GELŽBETONIUI IR JO KOMPONENTAMS **14**
2.1. Gelžbetonio savybių kitimo priežastys veikiant aukštai temperatūrai **14**
2.1.1. Užpildai *14*
2.1.2. Cementinis akmuo *15*
2.1.3. Betono elgsena *15*
2.1.4. Armatūros elgsena *17*
2.1.5. Aukštos temperatūros įtaka betono ir armatūros bendram darbui *18*
2.2. Betono ir armatūros stipris, deformacijos ir šiluminės savybės veikiant aukštai temperatūrai **20**
2.2.1. Betono stiprumo ir deformatyvumo vertinimas *20*
2.2.2. Betono šiluminių savybių vertinimas *22*
2.2.3. Armatūros stiprumo ir deformatyvumo vertinimas *23*
3. GELŽBETONINĖS KONSTRUKCIJOS (KOLONOS) GAISRO METU IR PO JO **26**
3.1. Gelžbetoninių kolonų elgsena aukštoje temperatūroje **26**
3.2. Gaisro temperatūros vertinimas **27**
3.3. Būdingiausi G/b konstrukcijų (kolonų) pažeidimai dėl aukštos temperatūros **28**
4. GELŽBETONINIŲ KONSTRUKCIJŲ ATSPARUMAS UGNIAI **29**
4.1. Atsparumo ugniai projektavimas **29**
4.2. Skaičiavimo principai **30**
4.3. Konstrukcijų atsparumo ugniai skaičiavimo metodai **32**
4.3.1. Projektavimas pagal lentelių duomenis *32*
4.3.2. Projektavimas pagal paprastuosius skaičiavimo metodus *33*
4.3.3. 500^0 C izotermės metodas *33*
4.3.4. Zonų metodas *35*
4.3.5. Bendrasis skaičiavimo modelis *38*
5. GELŽBETONINIŲ KONSTRUKCIJŲ STIPRINIMAS **39**
5.1. Stiprinimo būdai **39**
5.2. Stiprinimas didinant konstrukcijos skerspjūvį **39**
TIRIAMOJI – PRAKTINĖ DALIS **40**
6. BETONO MECHANINIŲ SAVYBIŲ TYRIMAS **40**
6.1. Eksperimento aprašymas **40**
6.2. Teorinių ir eksperimento būdu gautų rezultatų lyginamoji analizė **41**
7. TEMPERATŪRINIŲ LAUKŲ MODELIAVIMAS **43**

7.1. Modelio sudarymo tikslas **43**
7.2. Modelio sudarymas **44**
7.3. Rezultatų palyginimas **46**
7.4. Konstrukcijos laikomosios galios vertinimas panaudojant teorines ir eksperimentines betono mechanines savybes **47**
8. ELEMENTO LAIKOMOSIOS GALIOS ATSTATYMAS **48**
8.1. Bandymo aprašymas **48**
8.2. Rezultatų palyginimas **49**
9. IŠVADOS IR REKOMENDACIJOS **52**
LITERATŪROS SĄRAŠAS **53**
PRIEDAI **55**
A PRIEDAS **55**
B PRIEDAS **64**
C PRIEDAS **68**
D PRIEDAS **70**
E PRIEDAS **73**

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1.1. pav. Natūralaus ir standartinio gaisro kreivės *13*

2.1. pav. Sunkiojo betono stiprumo gniuždant (1) ir tempiant (2) pokytis dėl temperatūros poveikio *16*

2.2. pav. Betono ir armatūros sukibimo priklausomybė nuo temperatūros a) lygios armatūros; b) rumbuotos armatūros *18*

2.3. pav. Gniuždomo betono, veikiant gaisro temperatūrai σ – ε diagrama *20*

2.4. pav. Betono tempiamojo stiprio sumažinimo koeficiento $k_{ck,t}(\theta)$ *priklausomybė nuo gaisro temperatūros* *21*

2.5. pav. Stipriojo (1) ir normalaus (2) betono šiluminis laidumas veikiant temperatūrai *23*

2.6. pav. Plieno temperatūrinių deformacijų grafikas: 1 – armatūrinis plienas; 2 – įtemptoji armatūra *24*

2.7. pav. Armatūrinio plieno ir įtemptosios armatūros σ – ε diagrama *24*

4.1. pav. Pagrindiniai atsparumo ugniai reikalavimai *29*

4.2. pav. Koeficiento η_{fi} *priklausomybė nuo apkrovų santykio* $Q_{k,1} / G_k$ *31*

4.3. pav. Kolonos, kurios skerspjūvis 300 x 300 500 °C izotermė *34*

4.4. pav. 1 – temperatūros laukų plotas; 2 – visas skerspjūvio plotas *36*

4.5. pav. Temperatūros veikiamo skerspjūvio padalinimas į zonas (n=3) *36*

4.6. pav. Betoninio skerspjūvio sumažinimo zonos *37*

5.1. pav. Stiprinimo būdų klasifikacija *39*

5.2. pav. Kolonų stiprinimo būdas *40*

6.1. pav. Teorinių ir eksperimentinių betono stiprio gniuždant rezultatų palyginimas *41*

6.2. pav. Teorinių ir eksperimentinių betono tamprumo modulio rezultatų palyginimas *42*

6.3. pav. Betoninė prizmė (a) ir kubelis (b) kaitinti 800 °C temperatūroje *43*

6.4. pav. Betono tankio mažėjimas kylant temperatūrai *43*

7.1. pav. Nagrinėjamo gelžbetoninio elemento schema *44*

7.2. pav. Standartinio gaisro kreivė (temperatūros reikšmės nurodytos 30 min intervalu nuo 0,5h iki 3h) *45*

7.3. pav. Betono šilumos laidumas (modeliavimui naudojama apatinė riba) *45*

7.4. pav. Betono specifinės šilumos priklausomybė nuo aukštos temperatūros esant 1,5 % betono drėgmės kiekiui *45*

7.5. pav. Temperatūros pasiskirstymas skerspjūvyje tam tikru laiko momentu *46*

7.6. pav. Izotermių nuotoliai nuo skerspjūvio centro pagal [3] ir gauti programa COSMOS/M a) prie 30 min, b) prie 60 min, c) prie 90 min, d) 120 min *47*

7.8. pav. a) a_z *kitimo grafikas, b) laikomosios galios palyginimo grafikas* *48*

8.1. pav. Gniuždomas sustiprintas elementas,kai apkrova perduodama tik apibetonuotai prizmei (a) ir kai apkrova perduodama prizmei ir apvalkalui (b) *49*

8.2. pav. Laikomosios galios skirtumas, kai apkrova perduodama tik apibetonuotai prizmei ir kai apkrova perduodama visam elementui: (a) – su kaitinta prizme, (b) – su nepažeista prizme *50*

8.3. pav. Sustiprinimo įtaka elemento laikomajai galiai *50*

8.4. pav. Bandymo, kai apkrova perduodama visam sustiprintam elementui, ir teorinių rezultatų palyginimas: *51*

P2.1. pav. Temperatūros pasiskirstymas skerspjūvyje nuo vidurio iki krašto (po 30 min) *66*

P2.2. pav. Temperatūros pasiskirstymas skerspjūvyje nuo vidurio iki krašto (po 60 min) *66*

P2.3. pav. Temperatūros pasiskirstymas skerspjūvyje nuo vidurio iki krašto (po 90 min) *67*

P2.4. pav. Temperatūros pasiskirstymas skerspjūvyje nuo vidurio iki krašto (po 120 min) *67*
P4.1. pav. Sustiprinto elemento schema: *70*
P4.2. pav. Skaičiuojamoji elemento schema kai apkrova perduodama visam elementui: *71*

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1.1. lentelė. Ugnies poveikio zonos pagal ugnies poveikio intensyvumą *11*
1.2. lentelė. Ugnies poveikio galingumo klasifikacija *12*
1.3. lentelė. Temperatūrinių rėžimų klasifikacija *12*
2.1. Lentelė. Normaliojo betono su siliciniais arba kalkiniais užpildais įtempių ir deformacijų priklausomumų didėjant temperatūrai pagrindinių parametrų vertės *21*
2.2. Lentelė. Plieno matematinis modelis, veikiant gaisro temperatūrai *25*
2.3. Lentelė. Karštai valcuotos ir šaltai apdirbtos armatūros įtempių ir deformacijų priklausomumų kylant temperatūrai vertės *25*
3.1. Lentelė. Metalo spalvos kitimas nuo temperatūros *28*
4.1. Lentelė. Stačiakampio ir apvaliojo skerspjūvio kolonų mažiausieji matmenys ir armatūros centro atstumas a *32*
6.1. lentelė. Armatūros šiluminiai parametrai *46*
A.1. lentelė. I – betonavimo etapo išbandytų kubelių rezultatai *56*
A.2. lentelė. II – betonavimo etapo išbandytų kubelių rezultatai *56*
A.3. lentelė. III – betonavimo etapo išbandytų kubelių rezultatai *57*
A.4. lentelė. I – betonavimo etapo, betono išilginių santykinių deformacijų nustatymas (prie 20 °C) *58*
A.5. lentelė. I – betonavimo etapo, betono išilginių santykinių deformacijų nustatymas (prie 100 °C) *58*
A.6. lentelė. I – betonavimo etapo, betono išilginių santykinių deformacijų nustatymas (prie 300 °C) *59*
A.7. lentelė. I – betonavimo etapo, betono išilginių santykinių deformacijų nustatymas (prie 500 °C) *59*
A.8. lentelė. II – betonavimo etapo, betono išilginių santykinių deformacijų nustatymas (prie 20 °C) *60*
A.9. lentelė. II – betonavimo etapo, betono išilginių santykinių deformacijų nustatymas (prie 100 °C) *60*
A.10. lentelė. II – betonavimo etapo, betono išilginių santykinių deformacijų nustatymas (prie 300 °C) *61*
A.11. lentelė. II – betonavimo etapo, betono išilginių santykinių deformacijų nustatymas (prie 500 °C) *61*
A.12. lentelė. III – betonavimo etapo, betono išilginių santykinių deformacijų nustatymas (prie 20 °C) *62*
A.13. lentelė. III – betonavimo etapo, betono išilginių santykinių deformacijų nustatymas (prie 100 °C) *62*
A.14. lentelė. III – betonavimo etapo, betono išilginių santykinių deformacijų nustatymas (prie 300 °C) *63*
A.15. lentelė. III – betonavimo etapo, betono išilginių santykinių deformacijų nustatymas (prie 500 °C) *63*
C.1. lentelė. Atmetamo betono sluoksnio a_z ir koeficiento k_{cm} skaičiavimas pagal eksperimentines $k_c(\theta)$ reikšmes *68*
C.2. lentelė. Laikomosios galios skaičiavimas panaudojus eksperimentines $k_c(\theta)$ reikšmes *68*
C.3. lentelė. Atmetamo betono sluoksnio a_z ir koeficiento k_{cm} skaičiavimas pagal teorines $k_c(\theta)$ reikšmes *69*
C.4. lentelė. Laikomosios galios skaičiavimas panaudojus teorines $k_c(\theta)$ reikšmes *69*
C.5. lentelė. Armatūros parametrai laikomosios galios skaičiavimams *69*
D.1. lentelė. Papildomo betono sluoksnio kubelių bandymo rezultatai *70*

D.2. lentelė. Eksperimentiniai ir teoriniai laikomosios galios skaičiavimai, kai elementui gniuždymo jėga pridėta visame skerspjūvio plote, panaudojant charakteristines betono stiprumo reikšmes *71*
D.3. lentelė. Eksperimentiniai ir teoriniai laikomosios galios skaičiavimai, kai elementui gniuždymo jėga pridėta visame skerspjūvio plote, panaudojant skaičiuotines betono stiprumo reikšmes *71*
D.4. lentelė. Eksperimentiniai ir teoriniai laikomosios galios skaičiavimai, kai elementui gniuždymo jėga pridėta visame skerspjūvio plote *72*

ĮVADAS

Pagal priešgaisrinės apsaugos ir gelbėjimo departamento duomenis, Lietuvoje kasmet kyla apie 15500 gaisrų, iš kurių apie 4000 gyvenamosios, gamybos ir pramonės bei viešosios paskirties pastatuose.

Gaisro metu patalpoje temperatūra gali pakilti iki 1000 – 1200 °C, o pramoniniuose pastatuose ir iki 1600 °C. Tokia aukšta temperatūra gali išsilaikyti iki 3 val. ar net ilgiau. Priklausomai nuo gaisro kilimo vietos, vyravusios temperatūros ir trukmės, pastato konstrukcijos gali būti smarkiai pažeistos. Dėl atsiradusių pažeidimų konstrukcijos gali būti netinkamos tolimesnei eksploatacijai ar net sukelti griūtį. Siekiant išvengti didesnių gaisro padarinių, reikia atkreipti ypatingą dėmesį į gelžbetoninių konstrukcijų atsparumo gaisrui skaičiavimus. Nagrinėjant aukštos temperatūros pažeistas konstrukcijas, būtina tinkamai įvertinti gaisro metu vyravusią temperatūrą, atsiradusius pažeidimus ir likusią laikomąją konstrukcijos galią.

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

Darbe nagrinėjamas betono mechaninių savybių kitimas aukštoje temperatūroje. Atliekama lyginamoji elemento laikomosios galios analizė įvertinant teorines ir faktines medžiagų savybes. Sudarytas algoritmas, baigtinių elementų programai COSMOS/M, bet kokios geometrijos gelžbetoninio elemento temperatūriniams laukams, nuo standartinio gaisro, gauti. Ištirta sustiprinimo apbetonuojant įtaka elemento laikomajai galiai.

ANALITINĖ – METODINĖ DALIS

1. PAGRINDINIAI GAISRO PARAMETRAI

1.1. Gaisro ypatybės

Gelžbetoninėms konstrukcijoms aukštos temperatūros poveikis yra skirtingas, jeigu jos nevienodai nutolusios nuo gaisro židinio. Įvairiose gaisro temperatūrų zonose gaisro poveikis bus nevienodas. Įvairiuose šaltiniuose išskiriamos tokios ugnies poveikio zonos: intensyvaus degimo, aukšto, vidutinio ir silpno intensyvumo. Kiekvieną pastato dalį atitinka ugnies poveikio galingumas ir temperatūros rėžimas. Ugnies poveikio zonų charakteristika pagal intensyvumą pateikta 1.1 lentelėje [6].

1.1. lentelė. Ugnies poveikio zonos pagal ugnies poveikio intensyvumą

Ugnies poveikio zona	**Ugnies poveikio intensyvumas**	**Trukmė, (h)**	**Temperatūra, (°C)**
1	Aukštas	> 6	> 1200
2	Padidintas	2 – 6	1200 – 800
3	Ribotas	0,5 – 2	800 – 400
4	Silpnas	< 0,5	< 400

Gaisro plėtra dažniausiai priklauso nuo linijinio ugnies plitimo greičio bei gaisro vietoje susidarančių konvekcinių srautų. Pats ugnies plitimo linijinis greitis priklauso nuo medžiagų ir degimo sąlygų. Gelžbetoninės konstrukcijos yra nedegios, tačiau gaisrą pastate palaiko patalpose esančios degios medžiagos: apdailos elementai, buityje naudojami reikmenys ir prietaisai, sandėliuojamos degios ir sprogstamos medžiagos. Dėl šios priežasties gaisro trukmė ir maksimali temperatūra labiausiai priklauso nuo pastato, kuriame vyksta gaisras, paskirties.

Gyvenamuosiuose ir administraciniuose pastatuose gaisro trukmė paprastai būna 1 – 2 valandos, temperatūra pakyla iki 1000 °C – 1100 °C. Visuomeninės paskirties statiniuose gaisras gali trukti 2 – 3 valandas, temperatūra pakyla iki 1200 °C. Labai galingi gaisrai įvyksta pramoniniuose pastatuose. Atsižvelgiant į jų paskirtį, gaminamų, sandėliuojamų medžiagų temperatūra gali pakilti iki 1600^0 C ir daugiau, o gaisras gali būti visiškai nekontroliuojamas [6].

Aukštos temperatūros poveikis statybinėms konstrukcijoms charakterizuojamas ugnies poveikio galingumu. Jis nustatomas kaip gaisro šilumos kiekio ir jo išsiskyrimo per tam tikrą laiką santykis.

Šilumos kiekis išsiskiriantis per laiko vienetą į ploto vienetą vadinamas šilumos srauto tankumu. Priklausomybė tarp šilumos srauto tankio ir ugnies poveikio galingumo pateikta 1.2 lentelėje:

1.2. 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
Aukštas	> 500	> 1200

Gaisro temperatūros kylimo greitis taip pat gali būti skirtingas, pagal temperatūros prieaugį yra išskiriami keturi etapai:

- lėtas temperatūros padidėjimas $\Delta V_t \le 10°C/\min$;
- ribotas temperatūros padidėjimas $10 \le \Delta V_t \le 20°C/\min$;
- greitas temperatūros padidėjimas $20 \le \Delta V_t \le 30°C/\min$;
- ypač greitas temperatūros padidėjimas $\Delta V_t > 30°C/\min$.

Pagal gaisre veikusią maksimalios temperatūros trukmę yra skiriami keturi temperatūriniai režimai [6]:

1.3. lentelė. Temperatūrinių rėžimų klasifikacija

Pavadinimas ir klasė	**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 temperatūrinis režimas yra gaisro židinyje. Ugnies štormo zonoje temperatūra padidėja iki 1200 – 1600 °C, kartais iki 1800 – 2000 °C. Konstrukcijų, esančių prie gaisro židinio, paviršiaus temperatūra sumažėja iki 1000 – 800 °C, o tolstant nuo intensyvaus degimo zonos – iki 700 – 500 °C.

1.2. Natūralaus ir standartinio gaisro kreivės

Gaisrui, kaip taisyklė, būdingos trys plėtros stadijos [4]:

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 jei šioje stadijoje yra nepakankamas ugnies poveikio

galingumas arba nepakankamas deguonies kiekis patalpoje. Todėl yra pavojus, kad gaisras gali būti sukeltas paprasčiausiai atidarius duris ar langą ir įleidus šviežio oro į patalpą.

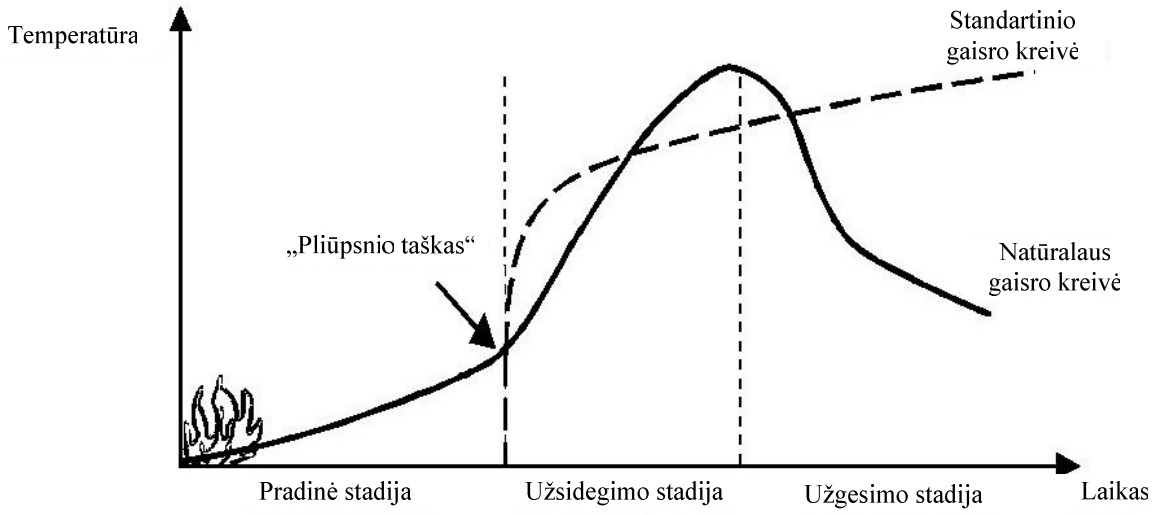
2) Intensyvaus degimo stadija yra staigus temperatūros kilimas iki aukščiausio taško. Ši stadija trunka kol ugnies intensyvumo užtenka palaikyti degimui, gaisravietėje yra pakankamai degių medžiagų, ir užtektinas deguonies srautas. Šioje stadijoje yra padaroma didžiausia žala statybinėms konstrukcijoms. 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 [4].

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

Dažniausiai realus (natūralus) gaisras savo parametrais, ypač temperatūros augimu, skiriasi nuo standartinio (skaičiuojamojo) gaisro. Tai atspindi grafikai pateikti (1.1 pav.).

Skaičiuojamojo gaisro temperatūros kreivė aprašoma funkcija [1]:

$$\theta_g = 20 + 345\log(8t + 1), \tag{2.1}$$



1.1. pav. Natūralaus ir standartinio gaisro kreivės

Standartinio gaisro kreivė yra plačiausiai naudojama sutartinė temperatūros – laiko priklausomybė. Ji tiksliai neapibūdina temperatūros kitimo gaisro metu, nes kiekvieno gaisro intensyvumas, trukmė, apkrova yra skirtingi. Pavyzdžiui, trumpo didelio galingumo gaisro metu atpleišėjęs, susproginėjęs apsauginis betono sluoksnis, atidengia armatūrą, o riboto galingumo gaisrui trunkant ilgai, labiausiai paveikiamas gniuždomasis betono stipris. Nepaisant trūkumų, daugiausia tyrimų, bandymų ir stebėjimų medžiagų ir konstrukcijų atsparumo 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

Gelžbetonio ir betono savybės veikiant aukštom temperatūrom nustatomos iš jų komponentų elgsenos: užpildų, cementinio akmens ir armatūros.

2.1.1. Užpildai

Užpildai susideda iš įvairių mineralų. Įkaitinus kalnų kilmės užpildus (granitą, sienitą ir pan.) iki 200 °C sumažėja vidiniai įtempiai betone, todėl padidėja stiprumas. Esant dar didesnei temperatūrai prasideda atskirų mineralų struktūriniai pakitimai. Ypač pavojingi užpildai, turintys savo sudėtyje kvarco, kuris prie 573 °C temperatūros pereina iš vienos modifikacijos į kitą – kvarco tūris šuoliškai išauga. Esant temperatūrai didesnei kaip 800 °C, temperatūrinių deformacijų skirtumas sukelia betone plyšius ir sumažina stiprumą. Esant dar didesnei temperatūrai, jis suminkštėja, todėl išauga deformacijos.

Iki 1000 °C temperatūrų sukeltos užpildų deformacijos žymiai skiriasi nuo cementinio akmens temperatūrinių deformacijų. Nustatyta, kad iki 900 °C temperatūrinės deformacijos granitinių ir kvarcinių užpildų yra didesnės, karbonatinių ir bazalto užpildų – mažesnės. Virš 900 °C karbonatinių užpildų stiprumas mažėja lėčiau, negu užpildų iš serpantino ar kvarco. Atspariausi kaitinimui yra dirbtiniai užpildai: šlakas, keramzitbetonis, šamotas, šlako pemza, perlitas.

Karščiui atspariuose betonuose užpildas būna šamotas, chromagnezitas ir magnezitas, kurių gniuždymo stiprumas nesumažėja, įkaitus atitinkamai iki 1200, 1100 ir 900 °C temperatūros.

2.1.2. Cementinis akmuo

Cementinis akmuo susideda iš kristalinių ir koloidinių medžiagų. Tarpkristalinė erdvė užpildoma geliu, kuris susidaro hidratacijos metu. Cementiniam akmeniui įkaitus iki 100 – 150 °C, jo gniuždymo stiprumas padidėja [6]. Įkaitus iki 200 – 300 °C temperatūros, betono stiprumas išauga dėl struktūros sutankėjimo išgaravus vandeniui. [8]

Esant 300 °C temperatūrai, cementinis akmuo pradeda trauktis, jo struktūra irsta, ir sumažėja stiprumas. Cementinio akmens susitraukimas sukelia vidinius įtempius ir mikroplyšius. Įkaitus iki 350 °C, prasideda cementiniame akmenyje esančio hidrosilikono ir hidroaliuminato dehidratacija. Pasiekus 575 °C temperatūrą, prasideda kalcio hidroksido $Ca(OH)_2$ dehidracija. $Ca(OH)_2$ dehidracija ir cementinio akmens deformacijos sukelia jo struktūros irimą. Akivaizdus cementinio akmens struktūros irimas pasireiškia virš 900 °C temperatūros. Tada iš cementinio akmens pasišalina visų rūšių vanduo, kas ir yra pagrindinė cementinio akmens struktūros irimo priežastis.

Viena iš svarbių betono stiprumo sumažėjimo priežasčių, veikiant aukštai temperatūrai, yra tai, kad padidėja vidiniai įtempiai – prarasdamas vandenį cementinis akmuo traukiasi, o tam priešinasi užpildas [6].

Kaitinant iki 200 – 400 °C, cementinis akmuo plečiasi, o esant dar didesnei temperatūrai, traukiasi, kas sukelia vidinius įtempius bei plyšius.

2.1.3. Betono elgsena

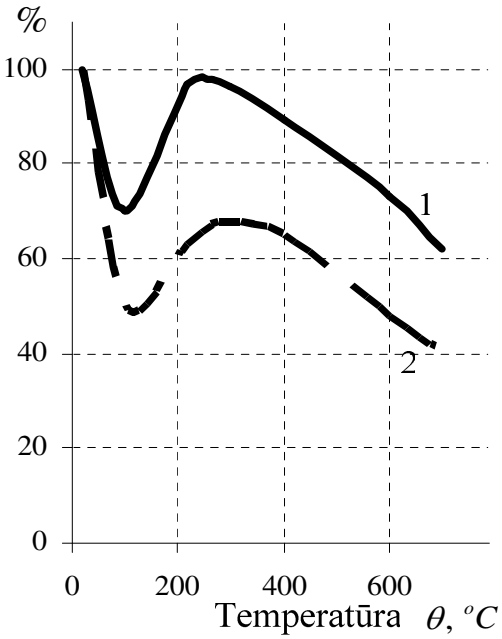
Betono elgsena, jį kaitinant, priklauso nuo užpildų ir cementinio akmens skirtingų temperatūrinių deformacijų, betono įtempių būvio ir kitų faktorių. Betonui įkaitus iki 60 – 90 °C temperatūros, jo tempimo stiprumas sumažėja 54 – 52 %. Dar pakilus temperatūrai, tempimo stiprumas padidėja, tačiau jis nepasiekia ankstesnio stiprumo, esant normaliai aplinkos temperatūrai.

Viena iš svarbiausių betono teigiamų savybių – gebėjimas efektyviai priešintis gniuždymo apkrovoms – veikiama gaisro temperatūros visiškai pakinta. Kaitinant betoną vyksta fiziniai ir cheminiai procesai, kurių neigiami rezultatai priklauso nuo temperatūros lygio, jos kitimo greičio ir poveikio trukmės, betono drėgnumo, jo sudėties ir struktūros, užpildų ir sąlyčių zonų savybių, gaminio gamybos technologijos, jo dydžio, skerspjūvio geometrinės formos, apkrovos pobūdžio ir t.t. [6].

Dėl vandens netekimo betonas traukiasi, sukeldamas vidinius įtempius, atsiranda plyšiai tarp užpildų ir cementinio akmens. Dėl to padidėja plastinės deformacijos, stiprumas ir tamprumo modulis sumažėja.

Sunkiojo natūralaus kietėjimo ir normalaus drėgnumo betono stiprumo pokyčius dėl aukštos temperatūros trumpalaikio poveikio galima suskirstyti į tris etapus (2.1 pav.).

- pirmuoju kaitinimo etapu iki 100 °C temperatūros – sunkiojo betono stiprumas gniuždant sumažėja 35% – 20% (labiausiai temperatūrų intervale nuo 60 °C iki 90 °C).
- antrasis kaitinimo etapas – 200 °C – 400 °C temperatūrų diapazonu – pasižymi visišku stiprumo savybių atstatymu ir netgi nežymiu stiprumo gniuždant padidėjimu (apie 5 % – 10 %).
- trečias, kai betonas įkaitinamas daugiau kaip 400 °C temperatūros, jo stiprumas vėl sumažėja. Kai pasiekiama 600 °C temperatūra, lieka apie 65 % pradinio betono stiprumo gniuždant, o kai pasiekiama 700 °C temperatūra – 50 %.



2.1. pav. Sunkiojo betono stiprumo gniuždant (1) ir tempiant (2) pokytis dėl temperatūros poveikio

Betono stiprumo sumažėjimas, atšaldžius įkaitintą betoną, priklauso nuo jo įkaitimo laipsnio ir laiko. Atšaldyto betono stiprumas per 30 parų sumažėja papildomai dar 10 % . Jeigu betonas nebuvo įkaitintas daugiau kaip 500 °C, tai po metų jo stiprumas atsistato iki 90 % pradinio betono stiprumo. Esant 100 °C temperatūrai betono tamprumo modulis tempiant ir gniuždant sumažėja apytiksliai 30 %. Betoną įkaitinus iki 700, 500, 400 ir 300 °C temperatūrų, jo pradinis tamprumo modulis sudaro atitinkamai 18, 45, 60, 75 % pradinės reikšmės [7].

2.1.4. Armatūros elgsena

Įkaitintų iki aukštų temperatūrų armatūrinių plienų mechaninės savybės pasikeičia. Tai aiškinama vykstančiais aukštose temperatūrose sudėtingais plieno fiziko – cheminiais procesais. Kylant temperatūrai, keičiasi armatūrinių plienų stiprumo charakteristikos,::: mažėja tamprumo modulis, didėja temperatūrų sukeltos deformacijos.

Temperatūros augimas lemia minkštų plienų takumo aikštelės sumažėjimą. Esant virš 300 °C temperatūros, takumo aikštelė išnyksta visiškai.

Esant 300 °C temperatūrai karštai valcuotų plienų laikinasis stiprumas padidėja, o sąlyginė takumo riba ir plastiškumas sumažėja. Anglinius plienus A – I ir A – II įkaitinus iki 200 – 300 °C temperatūros, laikinasis stiprumas padidėja. Bandant plienus trumpalaike tempimo apkrova, temperatūrų intervale 300 – 500 °C, santykinis pailgėjimas didėja. Prie 500 °C temperatūros laikinasis plieno stiprumas ir takumo riba žymiai (20 – 40 %) sumažėja.

Kaitinant mažai legiruotus A – III ir A – IV klasės plienus jų mechaninės savybės keičiasi analogiškai, kaip ir anglinių plienų. Maksimalias laikinojo stiprumo ir minimalias pailgėjimo reikšmes šie plienai pasiekia prie žymiai aukštesnių temperatūrų.

Atšaldytų karštai valcuotų plienų, po jų įkaitinimo iki 500 °C temperatūros, atšaldytame būvyje mechaninės savybės nepasikeičia. Be to, 25T2C markės plienas po įkaitinimo iki 600 °C nepraranda savo stiprumo, o įkaitinus jį iki 200 – 500 °C temperatūros ir atšaldžius, stiprumas netgi padidėja 20 – 30 %.

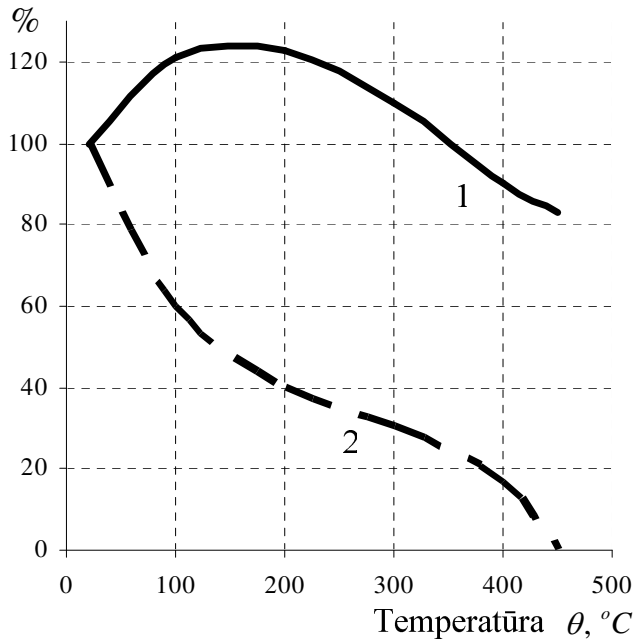
Armatūrinių plienų pagrindinė chsrakteristika yra kritinė temperatūra, virš kurios, veikiant apkrovai, deformacijos pradeda nesulaikomai didėti. Tuo atveju plienas palengva teka, esant įtempiams žymiai mažesniems už takumo ribą. Pavyzdžiui, didelio stiprumo plienas, kurio stiprumas 15000 kg/cm^2, išankstinis įtempis 6500 kg/cm^2, esant 300 °C temperatūrai pasidaro labai plastiškas ir praranda savo išankstinį įtempį.

2.1.5. Aukštos temperatūros įtaka betono ir armatūros bendram darbui

Veikiamas aukštos temperatūros ir kietėdamas betonas traukiasi, jo tūris mažėja ir apspaudžia armatūros strypus. Armatūra, kuri turi didesnį temperatūrinį plėtimosi koeficientą, kaistant plečiasi ir spaudžia betoną [11]. Kylant temperatūrai šie veiksniai didina trinties jėgą ir betono su armatūra sukibimą.

Prie labai aukštų temperatūrų armatūros ir betono sukibimas mažėja. Esant 100 °C temperatūrai, lygaus paviršiaus armatūros sukibimas su sunkiuoju betonu sumažėja 25 %, o prie 450 °C temperatūros santykinis sukibimo dydis lygus 0 (2.2 pav.). Lygaus paviršiaus armatūros ir betono sukibimą lemia armatūros ir betono paviršių trintis, atsirandanti dėl išorinės apkrovos veikiančios strypą, bei cementinio akmens klijingumas, kuris tiesiogiai proporcingas jo stipriui.

Lygaus paviršiaus armatūros sukibimo su paprastu sunkiuoju betonu, prie 100 °C temperatūros sumažėjimas, nežiūrint į tai, kad betono gniuždymo stipris padidėja, įvyksta dėl paviršiaus sukibimo mažėjimo [11].



2.2. pav. Betono ir armatūros sukibimo priklausomybė nuo temperatūros a) lygios armatūros; b) rumbuotos armatūros

Paveiksle (2.2. pav.) procentais išreikštas santykinis sukibimo dydis.

Paprastojo sunkiojo betono sukibimas su karštai valcuota rumbuoto paviršiaus armatūra įkaitinus iki 350 °C temperatūros yra didesnis, lyginant su normalių sąlygų bandiniais. Kylant temperatūrai sukibimas mažėja, o esant 450 °C sudaro tik 3/4 sukibimo dydžio, esančio normaliomis sąlygomis (prie šios temperatūros betono struktūra būna stipriai pažeista) [11].

Karštai valcuotos rumbuoto paviršiaus armatūros sukibimas su ugniai atspariais skysto stiklo ir portlandcemento betonais, temperatūrų intervale nuo 100 iki 150 °C, padidėja atitinkamai 110 ir 170 %. Taip atsitinka, dėl to, kad rumbuoto paviršiaus armatūros sukibimas su ugniai atspariais betonais priklauso nuo betono tempimo stiprio, bei santykio tarp strypo skersmens ir supančio jį betono sluoksnio, o aukštų betono markių betono tempimo stipris žymiai mažesnis, nei žemesnių betono markių [12].

Karšto betono, su rumbuoto paviršiaus armatūra, sukibimas yra šiek tiek mažesnis, nei ataušinto bandinio, nes įkaitus betonui esančiam tarp rumbuotos armatūros išsikišimų, atsiranda temperatūriniai įtempiai, kurie sumuojasi su strypo traukimo įtempiais. Temperatūriniai įtempiai susidaro, dėl temperatūrinių deformacijų skirtumo tarp betono ir armatūros, o taip pat dėl betono temperatūrinio susitraukimo [5].

Betono ir rumbuotos armatūros sukibimo padidėjimas, įkaitus iki 250 – 350 °C temperatūros, atsiranda dėl betono stiprio ir temperatūrinio susitraukimo didėjimo, kurie savo ruožtu didina paviršiaus sukibimą (didėja trinties jėga). Kai temperatūra yra aukštesnė nei 350 °C, betono sukibimas su armatūra mažėja, dėl skirtingų betono ir armatūros temperatūrinių deformacijų, kurios atsiranda dėl to, kad armatūros temperatūrinis plėtimosi koeficientas 1.2 – 1.5, o šilumos laidumo koeficientas 30 – 50 kartų didesnis už betono. Armatūra greičiau įkaista ir plečiasi, dėl to kyla sudėtinga įtempių būklė, atsiranda temperatūriniai kontaktiniai įtempiai. Tuo pat metu cementiniame akmenyje ir užpilduose vyksta deformacijos, susijusios su dehidratacijos procesais, kurie didina kontaktinius įtempius tarp armatūros ir betono. Ataušintuose bandiniuose kaupiasi negrįžtamos deformacijos ir didėja kontaktiniai įtempiai. Tuo pat metu kinta armatūrą supančio betono struktūra, atsiranda mikro makroplyšiai [5]. Pakartotiniai įkaitinimai ir atšaldymai didina mikro ir makro plyšių dydį ir kiekį, armatūros ir betono kontakto sluoksniuose, bei visame betone, tuo mažindami sukibimo jėgą.

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

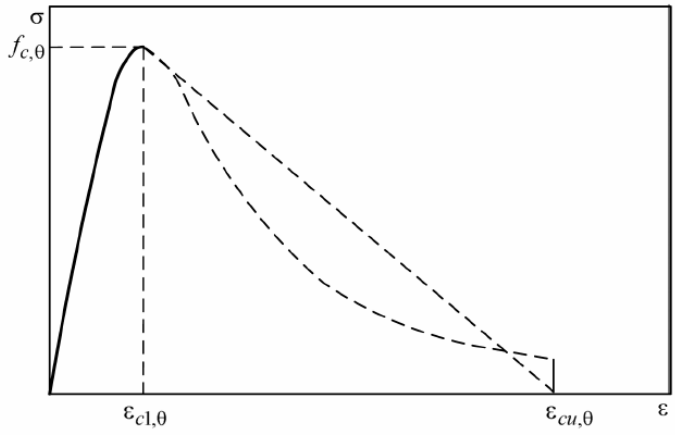
2.2.1. Betono stiprumo ir deformatyvumo vertinimas

Gniuždomo betono įtempių ir deformacijų būvis apibūdinamas dviem parametrais: gniuždomuoju stipriu $f_{ck(\Theta)}$ ir jį atitinkančia deformacija $\varepsilon_{c1(\Theta)}$. Pagal [3] paprastojo betono deformacijos, veikiant temperatūrai:

kai 20 °C < Θ ≤ 700 °C; $$\varepsilon_{c,(\Theta)} = -1{,}8 \cdot 10^{-4} + 9 \cdot 10^{-6} \cdot \Theta + 2{,}3 \cdot 10^{-11} \cdot \Theta^3, \quad (2.1)$$

kai 700 °C < Θ ≤ 1200 °C. $$\varepsilon_{c,(\Theta)} = 14 \cdot 10^{-3}, \quad (2.2)$$

Norint nustatyti tarpines temperatūros vertes, taikomas tiesinės interpoliacijos metodas. Parametrai gali būti taikomi paprastam betonui arba lengvesniems betonams, kurių tankis svyruoja nuo 1600 iki 2000 kg/m3. Veikiant natūraliam gaisrui, atsižvelgiant į žemyn krintančią kreivės dalį, turi būti modifikuojamas betono įtempių ir deformacijų tarpusavio priklausomybės modelis (2.3 pav.).



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

2.3. pav. Gniuždomo betono, veikiant gaisro temperatūrai σ – ε diagrama

2.1. Lentelė. Normaliojo betono su siliciniais arba kalkiniais užpildais įtempių ir deformacijų priklausomumų didėjant temperatūrai pagrindinių parametrų vertės

Betono temp. θ	Siliciniai užpildai			Kalkiniai 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	-	-

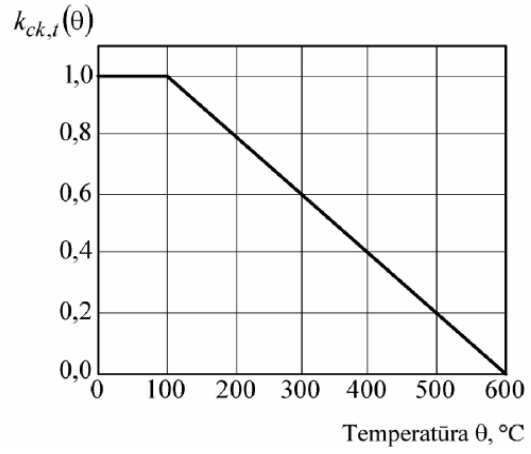
Betono tempiamojo stiprio carakteristinė reikšmė nustatoma pagal išraišką:

$$f_{ck,t(\theta)} = k_{ck,t}(\theta) f_{ck,t}. \tag{2.3}$$

Kai nėra tikslesnių duomenų, tųrėtų būti imamos tokios $k_{ck,t}(\theta)$ reikšmės (2.4 pav.)

kai 20 °C $\leq \theta \leq$ 100 °C; $k_{ck,t}(\theta) = 1{,}0$ (2.3)

kai 20 °C $< \theta \leq$ 600 °C; $k_{ck,t}(\theta) = 1{,}0 - 1{,}0(\theta - 100)/500$ (2.3)



2.4. pav. Betono tempiamojo stiprio sumažinimo koeficiento $k_{ck,t}(\theta)$ priklausomybė nuo gaisro temperatūros

2.2.2. Betono šiluminių savybių vertinimas

Kadangi 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. Pagal [7] rekomenduojama kintant temperatūrai betono *tūrinį tankį* perskaičiuoti pagal tokias priklausomybes:

kai $20^0C \le \Theta_c \le 115^0C$; $\rho(\Theta_c) = \rho(20^0C)$, (2.4)

kai $115^0C \le \Theta_c \le 200^0C$; $\rho(\Theta_c) = \rho(20^0C)\left(1 - 0,02\frac{\Theta_c - 115}{85}\right)$, (2.5)

kai $200^0C \le \Theta_c \le 400^0C$; $\rho(\Theta_c) = \rho(20^0C)\left(0,98 - 0,03\frac{\Theta_c - 200}{200}\right)$, (2.6)

kai $400^0C \le \Theta_c \le 1200^0C$; $\rho(\Theta_c) = \rho(20^0C)\left(0,95 - 0,07\frac{\Theta_c - 400}{800}\right)$, (2.7)

čia: $\rho(20^0C)$ – betono tankio (tūrinio svorio) norminė reikšmė.

Betono *specifinė šiluma* taip kinta didėjant temperatūrai ir priklauso nuo betono užpildų rūšies. Specifinė šiluma – tai energijos kiekis, reikalingas medžiagos 1 kg temperatūrą pakelti 1^0C ($1K$). Pagal [7] normalaus betono su silicio arba kalcio užpildais, perskaičiavimui kintant temperatūrai, taikomos šios formulės:

kai $20^0C \le \Theta_c \le 100^0C$; $c_p(\Theta_c) = 900(J/kg \cdot K)$, (2.8)

kai $100^0C \le \Theta_c \le 200^0C$; $c_p(\Theta_c) = 900 + (\Theta_c - 100)(J/kg \cdot K)$, (2.9)

kai $200^0C \le \Theta_c \le 400^0C$; $c_p(\Theta_c) = 1000 + \frac{\Theta_c - 200}{2}(J/kg \cdot K)$, (2.10)

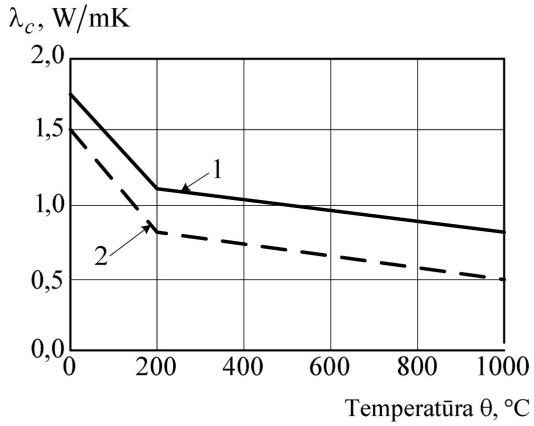
kai $400^0C \le \Theta_c \le 1200^0C$. $c_p(\Theta_c) = 1100(J/kg \cdot K)$, (2.11)

Normaliojo betono su silikatiniais užpildais *šiluminis laidumas* pagal [7] apskaičiuojamas:

kai $20^0 C \le \theta \le 200^0 C$; $\lambda_c = 1,5 - 0,7(\theta - 20)/180$, (2.12)

kai $200^0 C \le \theta \le 1000^0 C$; $\lambda_c = 0,8 - 0,3(\theta - 200)/800$, (2.13)

kai $1000^0 C \le \theta \le 1200^0 C$. $\lambda_c = 0,5$, (2.14)

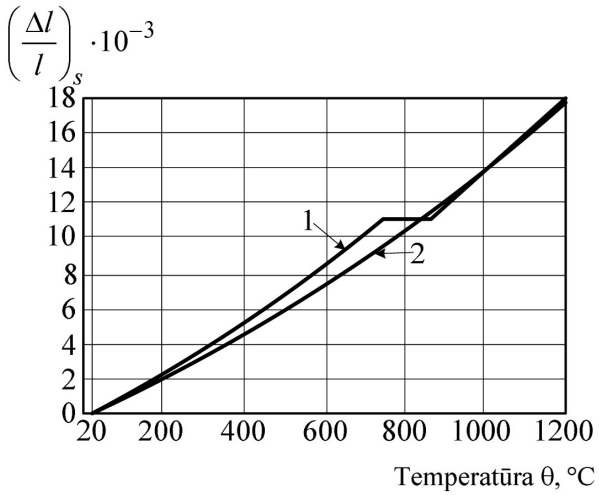


2.5. pav. Stipriojo (1) ir normalaus (2) betono šiluminis laidumas veikiant temperatūrai

Šiluminio laidumo koeficiento sumažėjimas kylant temperatūrai yra sąlygojamas dviejų faktorių: cementinio akmens hidratų dehidratacijos, dėl kurios susidaro naujos mažesnio tankio medžiagos (negesintos kalkės) ir pažeidžiama betono kristalinė struktūra. Kylant temperatūrai, didėja betono poringumas, mažėja tankis, padidėja šilumos perdavimas spinduliavimu.

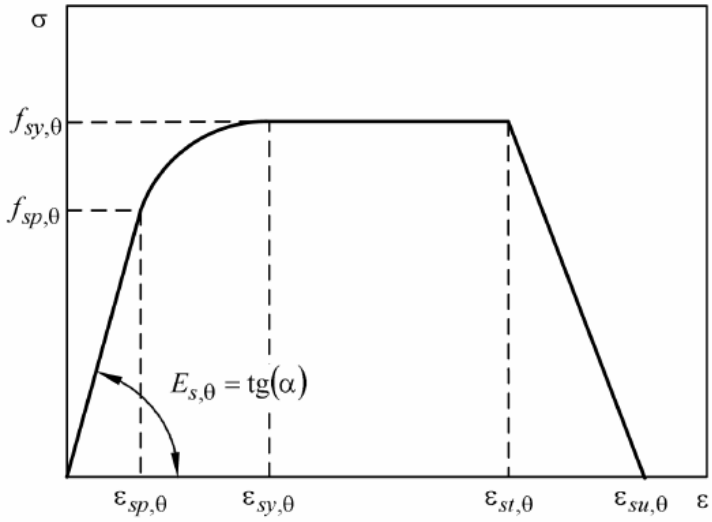
2.2.3. Armatūros stiprumo ir deformatyvumo vertinimas

Armatūrinių plienų pagrindinė charakteristika yra kritinė temperatūra, virš kurios, veikiant apkrovai, deformacijos pradeda nesulaikomai didėti, todėl plienas pradeda tekėti, nepasiekęs takumo ribos (2.6 pav.). Dėl to, didelio stiprumo plienai, įtemptojo gelžbetonio konstrukcijose, temperatūrai pasiekus 300 °C ribą pasidaro plastiški ir praranda išankstinį įtempį.



2.6. pav. Plieno temperatūrinių deformacijų grafikas: 1 – armatūrinis plienas; 2 – įtemptoji armatūra

Pagal [7] įtemptosios armatūros stiprio ir deformacinės savybės, veikiant temperatūrai, apskaičiuojamos taikant tą patį modelį kaip ir armatūriniam plienui.



2.7. pav. Armatūrinio plieno ir įtemptosios armatūros σ – ε diagrama

Armatūrinio plieno σ – ε priklausomybė (1.2 lentelė) charakterizuojama trimis parametrais: tamprumo moduliu $E_{s,\Theta}$, proporcingumo riba $f_{sp,\Theta}$ ir ribiniais įtempiais $f_{yp,\Theta}$.

2.2. Lentelė. Plieno matematinis modelis, veikiant gaisro temperatūrai

Lygis	Įtempiai	Tamprumo modulis
$\varepsilon < \varepsilon_{sp,\theta}$	$\varepsilon E_{s,\theta}$	$E_{s,\theta}$
$\varepsilon_{sp,\theta} \le \varepsilon \le \varepsilon_{sy,\theta}$	$f_{sp,\theta} - c + (b/a)\left[a^2 - (\varepsilon_{sy,\theta} - \varepsilon)^2\right]^{0,5}$	$\frac{b(\varepsilon_{sy,\theta} - \varepsilon)}{a\left[a^2 - (\varepsilon - \varepsilon_{sp,\theta})^2\right]^{0,5}}$
$\varepsilon_{sy,\theta} < \varepsilon < \varepsilon_{st,\theta}$	$f_{sy,\theta}$	0
$\varepsilon_{st,\theta} \le \varepsilon < \varepsilon_{su,\theta}$	$f_{sy,\theta}\left[1 - (\varepsilon - \varepsilon_{t,\theta})/(\varepsilon_{u,\theta} - \varepsilon_{t,\theta})\right]$	–
$\varepsilon = \varepsilon_{su,\theta}$	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	$a^2 = (\varepsilon_{sy,\theta} - \varepsilon_{sp,\theta})(\varepsilon_{sy,\theta} - \varepsilon_{sp,\theta} + c/E_{s,\theta})$; $b^2 = c(\varepsilon_{sy,\theta} - \varepsilon_{sp,\theta})E_{s,\theta} + c^2$ $c = \frac{(f_{sy,\theta} - f_{sp,\theta})^2}{(\varepsilon_{sy,\theta} - \varepsilon_{sp,\theta})E_{s,\theta} - 2(f_{sy,\theta} - f_{sp,\theta})}$	

2.3. Lentelė. Karštai valcuotos ir šaltai apdirbtos armatūros įtempių ir deformacijų priklausomumų kylant temperatūrai vertės

Plieno temperatūra θ [℃]	$f_{sy,\theta}/f_{yk}$		$f_{sp,\theta}/f_{yk}$		$E_{s,\theta}/E_s$	
	karštai valcuota	šaltai apdirbta	karštai valcuota	šaltai apdirbta	karštai valcuota	šaltai apdirbta
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

3. GELŽBETONINĖS KONSTRUKCIJOS (KOLONOS) GAISRO METU IR PO JO

3.1. Gelžbetoninių kolonų elgsena aukštoje temperatūroje

Gaisro poveikis gelžbetonio kolonoms priklauso nuo kaitinimo schemos, skerspjūvio dydžio, betono stiprio, išorinės apkrovos pridėjimo ekscentriciteto dydžio, armavimo koeficiento ir armatūros rūšies, taip pat nuo betono apsauginio sluoksnio efektyvaus storio.

Vykstant gaisrui stebimas 800 – 1000 °C temperatūrų skirtumas tarp išorinių ir vidinių kolonos skerspjūvio sluoksnių. Mažiausia temperatūra yra skerspjūvio centre. Todėl faktiškas betono stiprumas kolonų skerspjūvyje kinta nuo pirmapradės reikšmės esant 20 °C iki nulio esant kritinei temperatūrai ir aukščiau. Tai ir sąlygoja gaisro poveikį kolonoms.

Temperatūriniai įtempiai didėja, padidėjus temperatūrų skirtumui tarp vidurinės dalies kolonos skerspjūvio ir paviršinio sluoksnio. Kaitinimo pradžioje kolona pailgėja. Pirmieji plyšiai, įtrūkimai atsiranda po 5 – 10 minučių. Praėjus 15 – 20 min. prasideda betono nedidelių gabaliukų atskilimas ir toliau vyksta plyšių padidėjimas, pailgėjimas. Plintant gaisrui iki 600 – 800 °C įkaista apsauginis betono sluoksnis. Pirminiu gaisro periodu kolonos skerspjūvių paviršiuje atsiranda žymūs gniuždymo įtempiai, kurie sukuria pavojų apsauginiam betono sluoksniui atšokti. Dažniausiai betonas atsisluoksniuoja nuo suspaustų elementų, pagamintų iš sunkiojo betono su granito ir kvarco užpildais. Daug rečiau šis reiškinys pasitaiko kolonoms, pagamintoms iš betono kaip užpildą panaudojus kalkes, keramzitą, aukštakrosnių šlaką [6].

Praėjus 1 – 1,5 valandoms po ugnies veikimo, kolonos pradeda trumpėti. Po 2 – 3 valandų įkaitusių kolonų aukštis lygus apytikriai jų aukščiui esant apkrovai iki gaisro. Apsauginis betono sluoksnis ir darbinė armatūra, įkaitusi iki 600 °C, praranda stiprumą ir tolimesnėje elemento darbo eigoje nedalyvauja. Toliau vyksta dar didesnis plyšinėjimas, betono apsauginio sluoksnio atskilinėjimas. Atidengta armatūra įkaista iki raudonumo ir išlinksta į lauko pusę. Kolonos branduolio betonas taip pat perkaista. Po tokių pažeidimų netrukus kolona suyra. Jeigu apsauginis betono sluoksnis nukrenta pirminėje gaisro stadijoje, tai reiškia, kad elemento faktinis ugnies atsparumas žymiai mažesnis, negu projektinis.

Armatūrai netekus 90 – 95 % stiprumo, bei mažėjant kolonos darbiniam skerspjūviui, įtempiai kolonoje didėja. Dėl to kolonos pradeda trumpėti, kol nesuyra. Gelžbetoninių kolonų suirimas charakterizuojamas apsauginio betono sluoksnio atšokimu, armatūros išlinkimu, išstumiamas betonas

kolonos branduolyje. Kolonų suirimas charakterizuojamas betono apsauginio sluoksnio nutrupėjimu, darbinės armatūros išsišokimu, betono sutrupėjimu skerspjūvyje.

Gelžbetonio kolonų su išilgine ir šalutine armatūra irimo pobūdis skiriasi nuo elementų tik su išilginiu armavimu irimo. Kolonų su šalutine armatūra ribinę būklę charakterizuoja ne išilginės darbinės armatūros išsipūtimas, bet plastiškas bandinių takumas. Betono įkaitimo greitis kolonų (30 x 30, su šalutiniu armavimu) pjūvyje po 2,5 val. toks pat, kaip ir elementų su liaunąja armatūra. Tačiau vėliau jis padidėja ir prieš suyrant kolonoms su šalutiniu armavimu pjūvio branduolys įkaista iki 450 – 500 °C, kai elementų su liaunąja armatūrą – iki 150 °C. Betono kritinė temperatūra pjūvio branduolio ribose aukštesnė, todėl šalutine armatūra armuotų elementų atsparumas ugniai 1,5 – 2 kartus didesnis negu kolonų su liaunąja armatūra. Šalutinis armavimas neefektyvus liaunosiose kolonose (λ_h>12) ir esant dideliems ekscentricitetams [6, 13].

3.2. Gaisro temperatūros vertinimas

Aukšta temperatūra turi didžiulę įtaką statybinėms konstrukcijoms, todėl yra labai svarbu tinkamai įvertinti gaisro metu buvusias temperatūras. Temperatūros, veikusios konstrukcijas gaisro metu, gali būti nustatomos keletu būdų. Tiksliausias būtų tiesioginis temperatūros fiksavimas gaisro metu, tačiau tokie matavimai atliekami tik vykdant eksperimentinius gaisrus.

Kitas plačiai naudojamas temperatūros nustatymo metodas pagrįstas medžiagų savybių pokyčiais veikiant aukštai temperatūrai. Šiuo atveju naudojamasi taip vadinamais termoindikatoriais. Statybinių konstrukcijų medžiagos ir komponentai tiesiogiai veikiant ugniai ar aukštoms temperatūroms patiria įvairius pakitimus. Šie pakitimai lydimi charakteringų požymių, kurie pasireiškia fizinių, cheminių ir mechaninių medžiagų ir komponentų savybių kitimu, deformacijų didėjimu, pastato dalių sugriuvimu ar net visišku sunaikinimu. Komponentai ir medžiagos, užfiksavusios savyje informaciją apie temperatūros poveikį, yra laikomi natūraliais termoindikatoriais. Pagal medžiagų pokyčius, natūralūs termoindikatoriai gali būti [13]:

- keičiantys spalvą prie tam tikros (kritinės) temperatūros;
- besilydantys, išgaruojantys arba išdegantys prie atitinkamos temperatūros;
- charakterizuojantys pastato dalių, statybinių konstrukcijų ir įrangos, paveiktų ugnies būklės pasikeitimą.

Bendriesiems požymiams, pagal kuriuos galima spręsti apie temperatūros poveikį betonui [3], priklauso jo spalvos kitimas ir pasidengimas suodžiais; atsisluoksniavimas ir atskilimai; betono skambesio sumažėjimas stuksenant į jį; sprogstamo pobūdžio ir vietiniai suirimai; stiprumo ir deformatyvumo bei fizinių – cheminių savybių pasikeitimas.

Pagal [13] betono spalva keičiasi priklausomai nuo užpildo ir rišamosios medžiagos tipo. Prie 300 °C sunkusis betonas įgauna rožinį atspalvį, prie 400 ... 600 °C – gelsvą, prie 900 ... 1000 °C – baltai pilką.

Intensyvaus degimo zonoje, kurioje paprastai temperatūra aukštesnė kaip 800 °C didelio užsuodinimo nebūna, nes suodžiai išdega.

Padidintoje ir ribotai aukštoje temperatūros veikimo zonoje (100 ... 400 °C) galimas žymus suodžių nusėdimas.

Stuksenant plaktuku galima nustatyti betono, paveikto gaisro, struktūros suirimo laipsnį. Nepažeistas betonas yra skambus. Didėjant betono suirimo laipsniui, garsas duslėja.

Paveikus betoną virš 600 °C temperatūra, betono pavyzdžio paviršius sudavus plaktuku susmunka, įsispaudžia. Bandinio skerspjūvio dalis, perkaitinta daugiau kaip 500 °C, atskyla sudavus vidutinį smūgį.

Veikiant ribotai aukštoms (200 ... 400 °C) ir aukštoms temperatūroms (400 ... 800 °C) betono irimas yrą arba sąlyginai ramus, arba sprogstamo pobūdžio. Tai priklauso nuo betono klasės, jo užpildų ir drėgmės kiekio.

Kai drėgmės kiekis betone sudaro ne daugiau 3 % bendro svorio, tikimybė, kad įvyks sprogstamasis atskilimas, maža. Kai drėgmės kiekis viršija 3 %, būtina įvertinti drėgmės kiekį, užpildo tipą, betono pralaidumą ir įkaitimo intensyvumą [7].

Prie 300 ... 400 °C atsiranda pakankamai dideli vidiniai įtempiai cementinio akmens ir užpildų kontakte, dėl ko susidaro mikroplyšiai. Toliau didėjant temperatūrai, atsiranda makroplyšiai.

Metalo spalvų kaita atsiranda po metalo užgrūdinimo atšaldant oru prie 200 ... 300 °C. Šis reiškinys paaiškinamas plono oksido sluoksnio susidarymu ant švaraus metalo paviršiaus. Oksido sluoksnio spalva priklauso nuo jo storio (3.1 lentelė) [3].

3.1. Lentelė. Metalo spalvos kitimas nuo temperatūros

Metalo spalvų kaita	**Oksido sluoksnio storis, (mm)**	**Temperatūra (įkaitimo), (°C)**
Šviesiai geltona	0,04	220... 230
Geltona	0,045	231... 240
Oranžinė	0,5	241... 260
Rausvai – violetinė	0,065	261... 280
Mėlyna	0,07	281... 300

3.3. Būdingiausi G/b konstrukcijų (kolonų) pažeidimai dėl aukštos temperatūros

Sunku išskirti vien tik kolonoms būdingus aukštos temperatūros pažeidimus, nes visos g/b konstrukcijos į aukštą temperatūrą reaguo panašiai [3]:

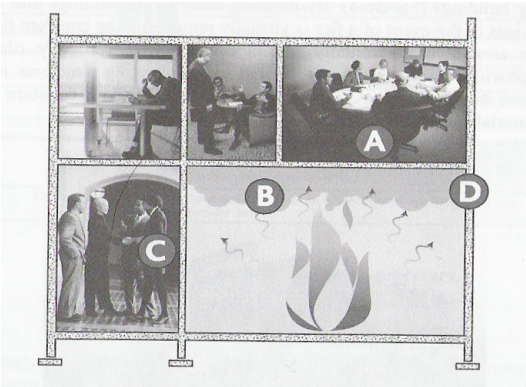
- chaotiškai išsidėstę temperatūriniai – sėdimo plyšiai, įtrūkimai;
- temperatūriniai plyšiai išilgai armatūros;
- elemento skerspjūvio dalies suirimas, jo perkaitimas aukščiau kritinės betono temperatūros;
- apsauginio betono sluoksnio atsisluoksniavimas;
- betono elementų paviršių sprogstamo pobūdžio suirimas;
- kiauri plyšiai, betono atskilimai;
- perkaitinto betono stiprumo ir deformatyvumo charakteristikų pasikeitimas;
- armatūros plienų, įkaitintų iki aukštų temperatūrų, mechaninių savybių pasikeitimas;
- betono ir plieno ugnies erozijos pėdsakai.

4. GELŽBETONINIŲ KONSTRUKCIJŲ ATSPARUMAS UGNIAI

4.1. Atsparumo ugniai projektavimas

Konstrukcijų atsparumas ugniai yra nustatomas norminiais dokumentais, standartais. Yra keturi pagrindiniai reikalavimai, kurie turi būti įvykdyti, kad pastatas būtų saugus [10]:

- konstrukcija privalo atlaikyti jai tenkančias apkrovas;
- apsaugoti žmones nuo dūmų ir kenksmingų dujų;
- apsaugoti žmones nuo karščio;
- netrukdyti ugniagesių darbui.



4.1. pav. Pagrindiniai atsparumo ugniai reikalavimai

Tiriant gaisro poveikį, reikia įvertinti konstrukcinės sistemos elgseną, veikiant gaisro temperatūroms, galimą šilumos poveikį ir aktyvių, bei pasyvių apsaugos prieš gaisrą sistemų efektus. Laikančios 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 jų pakankamas sandarumas **E** (*angl. Separation*) – neturi atsiverti didelių plyšių, susidaryti skylių ir kitokių ertmių, kurios leistų gaisrui plisti į kitas patalpas. Izoliavimas **I** (*angl. Isolation*) – šilumą izoliuojančios savybės turi būti tokios, kad gaisro sąlygomis neužsidegtų tiesiogiai gaisro neveikiami konstrukcijų paviršiai [7] [10].

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 [1] ,[2]. Atitinkamai gaisro poveikio trukmei skaičiavimais turi būti patvirtinta, kad:

$$E_{d,fi} \le R_{d,fi}, \tag{4.1}$$

Čia:

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

$R_{d,fi}$ – 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:

$$E_{d,fi} = \eta_{fi} \cdot E_d, \tag{4.2}$$

Čia:

E_d – skaičiuotinis poveikio efektas, veikiant normaliai temperatūrai;

η_{fi} – koeficientas, kuriuo sumažinamos apkrovos kilus gaisrui. Pagal [3] šis koeficientas skaičiuojamas:

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \psi_{fi} \cdot Q_{k,1}}{\gamma_G \cdot G_k + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1}}, \tag{4.3}$$

Čia:

$Q_{k,1}$ – pagrindinė kintamoji apkrova;

G_k – charakteristinė nuolatinio poveikio vertė;

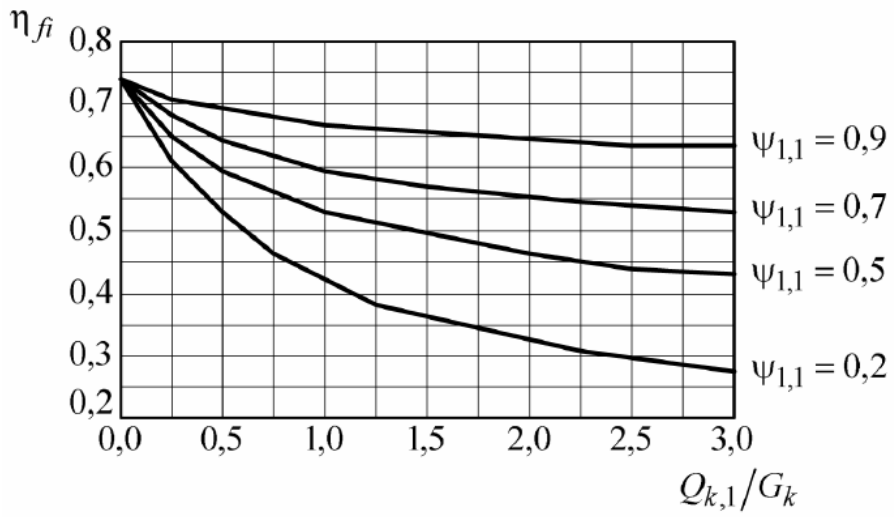
γ_G – nuolatinio poveikio dalinis koeficientas;

$\gamma_{Q,1}$ – kintamojo poveikio dalinis koeficientas;

ψ_{fi} – dažnų arba tariamai nuolatinių poveikių verčių derinio koeficientas.

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, gali būti taikomi lentelių duomenys, paprastieji ir bendrieji skaičiavimo metodai. 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 irimo 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.



4.2. pav. Koeficiento η_{fi} priklausomybė nuo apkrovų santykio $Q_{k,1} / G_k$

Visos konstrukcijos skaičiavimas. Skaičiuojant visą konstrukciją, gaisro poveikiui, būtina atsižvelgti į atitinkamą konstrukcijos irimo dėl ugnies poveikio pobūdį, nuo temperatūros priklausančias medžiagų savybes, konstrukcijos elementų standumą, taip pat šiluminio plėtimosi ir deformacijų poveikį.

4.3. Konstrukcijų atsparumo ugniai skaičiavimo metodai

4.3.1. Projektavimas pagal lentelių duomenis

Elementų skaičiavimas, veikiant gaisro temperatūroms, taikant lentelių duomenis – tai detalizavimas pagal pripažintus skaičiavimo metodus, kai duomenys pateikiami lentelėse. Lentelės sudarytos empiriškai, patvirtintos patirtimi ir teoriniais atliktų bandymų vertinimais. Skaičiavimai taikomi standartiniam gaisrui iki 240 minučių. Kai naudojamasi lentelių duomenimis nereikalaujama atlikti jokių tolesnių šlyties ir sukimosi gebos, taip pat ir 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 [7].

Įvykdžius mažiausiųjų skerspjūvio matmenų (b_{min}) ir armatūros centro atstumo iki skerspjūvio krašto reikalavimus (a), nustatytus lentelėse, atlaikymo funkcija R bus pakankama ir galios sąlyga (4.1). Lentelių duomenys yra pagrįsti apkrovos lygio sumažėjimo veiksniu, kilus gaisrui – $\eta_{fi} = 0,7$.

4.1. Lentelė. Stačiakampio ir apvaliojo skerspjūvio kolonų mažiausieji matmenys ir armatūros centro atstumas a

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
	$\mu_{fi} = 0,2$	$\mu_{fi} = 0,5$	$\mu_{fi} = 0,7$	$\mu_{fi} = 0,7$
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 [8.6].

3.1 lentelės 5 skiltyje (kai gaisro veikiamas gaisro šonas) pateikto matmens b_{min} reikšmės tinka kolonoms, kurių gaisro veikiamas paviršius yra to paties atsparumo ugniai sienos plokštumoje. Šis matmuo taip pat taikomas iš dalies išsikišusioms iš sienos kolonoms, jeigu jų skerspjūvio dalis, esanti sienoje, gali laikyti visą apkrovą [2].

4.3.2. Projektavimas pagal paprastuosius skaičiavimo metodus

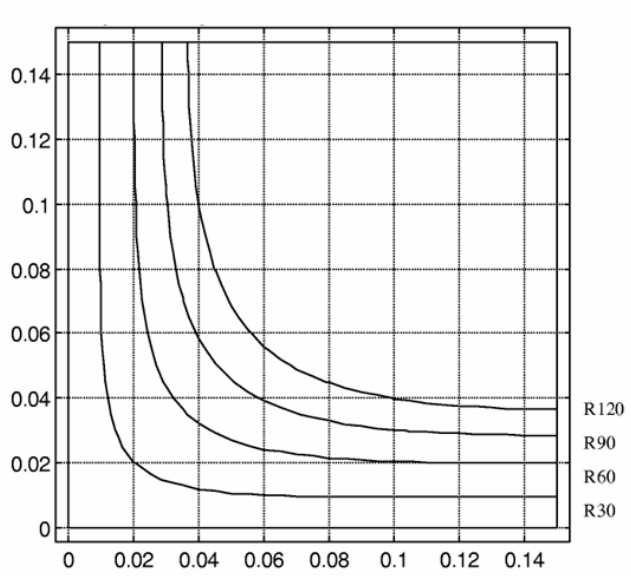
Paprastuoju skaičiavimo modeliu nustatoma kaitinamojo skerspjūvio laikomoji geba. Šis metodas tinka konstrukcijoms, paveiktoms standartinio gaisro iki didžiausios gaisro temperatūros. Metodas taip pat tinka skaičiuoti laikomąjai gebai pasirinktuoju laiko momentu bet kokio kito gaisro atveju, jeigu temperatūrų laukai, atitinkantys tą laiko momentą, yra žinomi arba apskaičiuoti, o medžiagų savybės yra žinomos [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 gelžbetoninių konstrukcijų skaičiavimo ir konstravimo reikalavimais. Elementai turi būti sukonstruoti taip, kad neatplyštų apsauginis betono sluoksnis. Elemento suirimo dėl betono sprogimo, armatūros inkaravimo pažeidimo arba nepakankamos gebos sukimo momentui atlaikyti tikimybė turi būti mažesnė, negu suirimo dėl lenkimo momento, skersinės arba išilginės jėgos veikimo.

Gaisro veikiamose gelžbetoninėse konstrukcijose temperatūrų pasiskirstymas gali būti nustatomas bandymais arba skaičiavimais. Temperatūrinių laukų pasiskirstymas yra labai svarbi projektavimo dalis. Elemento skerspjūvyje temperatūrai charakteringuose taškuose nustatyti naudojami du metodai.

4.3.3. 500 °C izotermės metodas

500 °C izotermės metodas. Ši izotermė yra kreivė, parodanti nuo kurios vietos elemento skerspjūvis bus įkaitęs 500 °C (4.3 pav.). Naudojantis šiuo metodu 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, tuo tarpu likęs skerspjūvis išlaiko pirmines savo stiprumo ir standumo savybes [1], [2].



4.3. pav. Kolonos, kurios skerspjūvis 300 x 300 500 °C izotermė

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:

- skaičiuojama ugnies poveikio – standartinio arba parametrinio gaisro 500 °C izotermė;
- nustatomas naujas skerspjūvio plotas, atmetant pažeistas zonas;
- nustatoma gniuždomos ir tempiamos zonos armatūros strypų temperatūra;
- suskaičiuojamas dėl temperatūros poveikio sumažėjęs armatūros stipris, pagal (4.5) – (4.15) išraiškose pateiktas priklausomybes;
- pagal [14] reikalavimus skaičiuojama skerspjūvio likutinė laikomoji galia.

Gniuždomos armatūros stiprio redukavimo koeficientas $k_s\left(\Theta\right)$ skaičiuojamas pagal priklausomybes [1]:

kai 20 °C ≤ Θ ≤ 100 °C; $k_s\left(\Theta\right)=1,$ (4.5)

kai 100 °C ≤ Θ ≤ 400 °C; $k_s\left(\Theta\right)=0,7-0,3\frac{\Theta-400}{300},$ (4.6)

kai 400 °C ≤ Θ ≤ 500 °C; $k_s\left(\Theta\right)=0,57-0,13\frac{\Theta-500}{100},$ (4.7)

kai 500 °C ≤ Θ ≤ 700 °C; $k_s\left(\Theta\right)=0,1-0,47\frac{\Theta-700}{200},$ (4.8)

kai 700 °C ≤ Θ ≤ 1200 °C, $k_s(\Theta) = 0,1\frac{1200-\Theta}{500}$. (4.9)

Tempiamos armatūros stiprio redukavimo koeficientas $k_s(\Theta)$ skaičiuojamas pagal priklausomybes:

kai 20 °C ≤ Θ ≤ 400 °C; $k_s(\Theta) = 1,$ (4.10)

kai 400 °C ≤ Θ ≤ 500 °C; $k_s(\Theta) = 0,78 - 0,22\frac{\Theta-500}{200}$, (4.11)

kai 500 °C ≤ Θ ≤ 600 °C; $k_s(\Theta) = 0,47 - 0,31\frac{\Theta-600}{100}$, (4.12)

kai 600 °C ≤ Θ ≤ 700 °C; $k_s(\Theta) = 0,23 - 0,24\frac{\Theta-700}{100}$, (4.13)

kai 700 °C ≤ Θ ≤ 800 °C; $k_s(\Theta) = 0,11 - 0,12\frac{\Theta-800}{100}$, (4.14)

kai 800 °C ≤ Θ ≤ 1200 °C. $k_s(\Theta) = 0,11\frac{1200-\Theta}{400}$, (4.15)

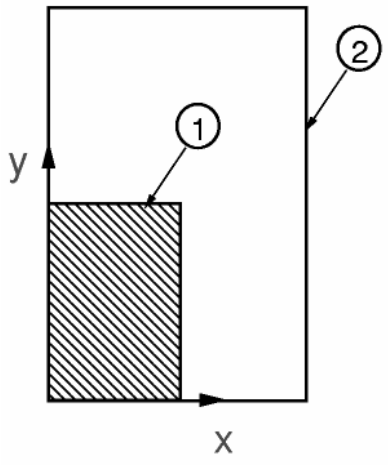
Pažymėtina tai, kad armatūros strypai gali nepatekti į sumažintą betoninį skerspjūvį. Nepaisant to, jie gali būti įtraukiami į ugnies veikiamo skerspjūvio ribinės laikomosios galios skaičiavimą.

4.3.4. Zonų metodas

Skaičiuojant zonų metodu temperatūros veikiamas skerspjūvis dalinamas į keletą zonų. Šis metodas sudėtingesnis ir tikslesnis, ypač taikant kolonoms, tačiau gali būti taikomas tik esant standartiniam gaisrui [1], [2].

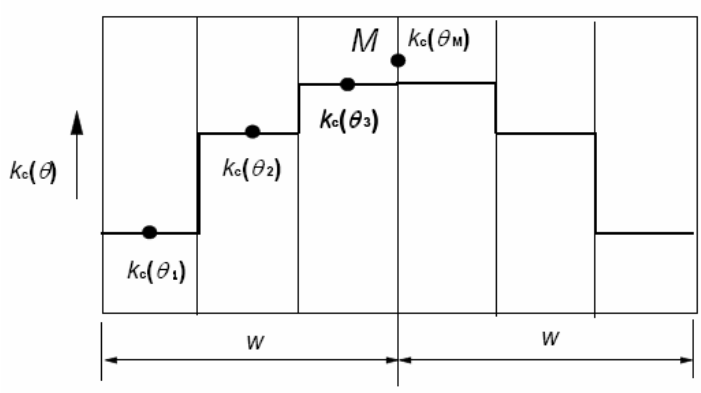
Skaičiavimo šio metodu eiga:

a) skerspjūvis dalinamas į keletą (ne mažiau kaip tris) lygių dalių, skaičiuojama skerspjūvio dalis parodyta 3.3 pav.



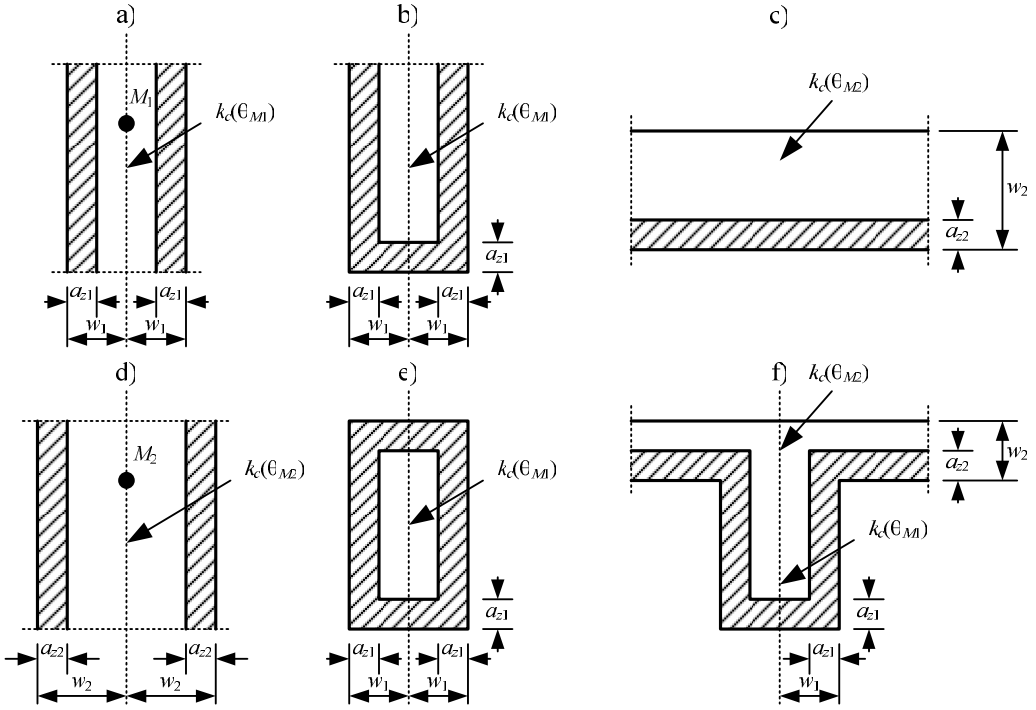
4.4. pav. 1 – temperatūros laukų plotas; 2 – visas skerspjūvio plotas

b) įvertinama kiekvienos zonos vidurio temperatūra (Θ_i), bei skerspjūvio vidurio temperatūra $k_c(\Theta_M)$ pagal temperatūrinius laukus. Čia $2w$=b – elemento plotis.



4.5. pav. Temperatūros veikiamo skerspjūvio padalinimas į zonas (n=3)

c) 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 parodytos 4.6 pav.:



4.6. pav. Betoninio skerspjūvio sumažinimo zonos

d) charakteringuose skerspjūvio taškuose $k_c(\Theta)$ reikšmės perskaičiuojamos pagal tokias priklausomybes:

kai 20 °C ≤ θ ≤ 100 °C; $k_c(\theta) = 1,$ (4.16)

kai 100 °C < θ ≤ 400 °C; $k_c(\theta) = (1600-\theta) / 1500,$ (4.17)

kai 400 °C < θ ≤ 900 °C; $k_c(\theta) = (900-\theta) / 625,$ (4.18)

kai 900 °C < θ ≤ 1200 °C, $k_c(\theta) = 0,$ (4.19)

e) pagal 4.20 formulę apskaičiuojamas redukuotas betono gniuždomasis stipris:

$$f_{cd}(\theta_M) = k_c(\theta_M) f_{cd}(20\ °C), \tag{4.20}$$

čia: $f_{cd}(20\ °C)$ – skaičiuotinis gniuždomasis betono stipris, esant normaliai temperatūrai.

f) konkretaus skerspjūvio vidutinis mažinamasis koeficientas:

$$k_{cm} = (1 - 0{,}2/n)/n \sum_{i=1}^{n} k_c(\theta_i). \tag{4.21}$$

g) pagal 4.22 išraišką apkaičiuojamas pažeistos zonos plotis a_z (ši išraiška taikoma gelžbetoninėms kolonoms ir sienoms) :

$$a_z = w[1 - k_{cm}/k_c(\theta_M))^{1.3}]. \tag{4.22}$$

h) temperatūrinių laukų pagalba surandama armatūros strypų temperatūra ir pagal (4.5) – (4.15) lygtis apskaičiuojamas redukcijos koeficientas $k_s(\Theta)$.Pagal (4.23) priklausomybę surandamas redukuotas armatūros stipris:

$$f_{yd}(\theta) = k_s(\theta) f_{yd}(20\ ^\circ\mathrm{C}). \qquad (4.23)$$

i) remiantis STR reikalavimais skaičiuojama redukuoto skerspjūvio laikomoji galia.

Naudojant 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 [1].

Paprastuoju skaičiavimo modeliu galima įvertinti konstrukcijos elemento atlaikymo funkciją, veikiant aukštai temperatūrai. Šis skaičiavimo modelis gali būti sėkmingai taikomas projektuojant statinius, kuriems netaikomi ypatingi 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 modelis

Bendrasis skaičiavimo modelis mechaninei arba šiluminei 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. Todėl naudojant šį skaičiavimo metodą galima gana tiksliai sumodeliuoti gaisro veikiamos konstrukcijos elgseną. Taikant šį būdą galimas tiek vieno elemento, tiek visos konstrukcijos ar jos dalies skaičiavimas.

Bendrasis skaičiavimo modelis turi atskirus modelius, kurie skirti:

- temperatūros plėtojimuisi ir pasiskirstymui konstrukcijos elementuose nustatyti;
- 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: temperatūrinius poveikius, medžiagų savybių priklausomybę nuo temperatūros, papildomų apsauginių priemonių sluoksnių, jeigu tokie yra, įtaką.

Šis metodas gali būti taikomas bet kurio tipo skerspjūviams su bet kokia gaisro kreive, jei yra žinomos medžiagų savybės, atitinkamame temperatūros intervale ir žinoma kaitimo sparta [1], [2].

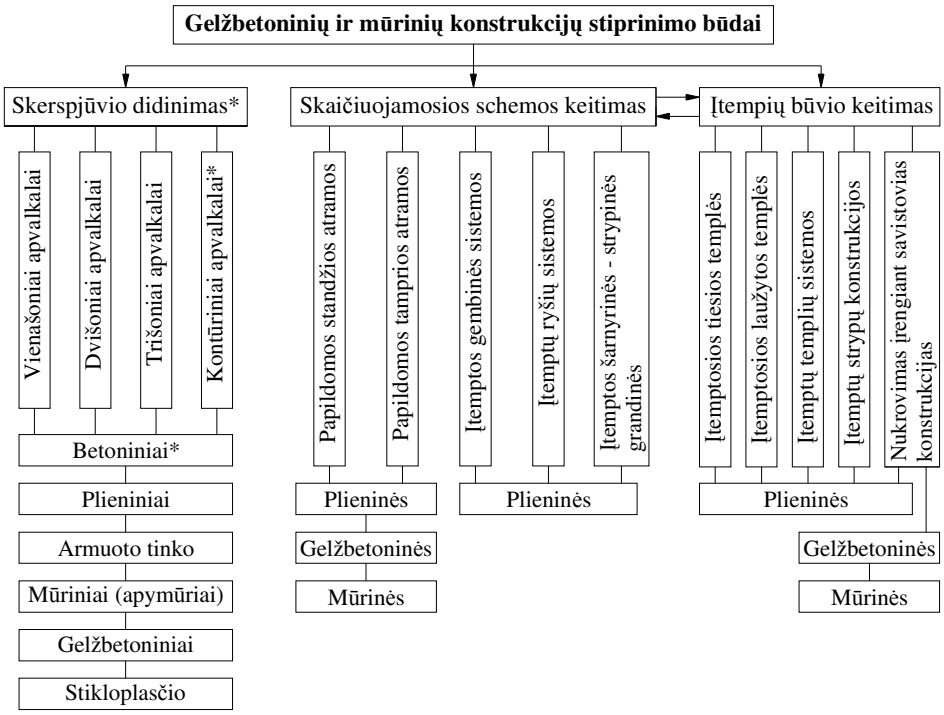
5. GELŽBETONINIŲ KONSTRUKCIJŲ STIPRINIMAS

5.1. Stiprinimo būdai

Laikančiosios konstrukcijos turi būti stiprinamos pagal šiuos reikalavimus:

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

Gelžbetoninių konstrukcijų stiprinimo būdų įvairovė padeda kiekvienu konkrečiu atveju, atsižvelgus į eksploatuojamųjų konstrukcijų būklę, pasirinkti patikimą variantą. Visus stiprinimo būdus galima suklasifikuoti į tris grupes (5.1 pav.) [9] [15].

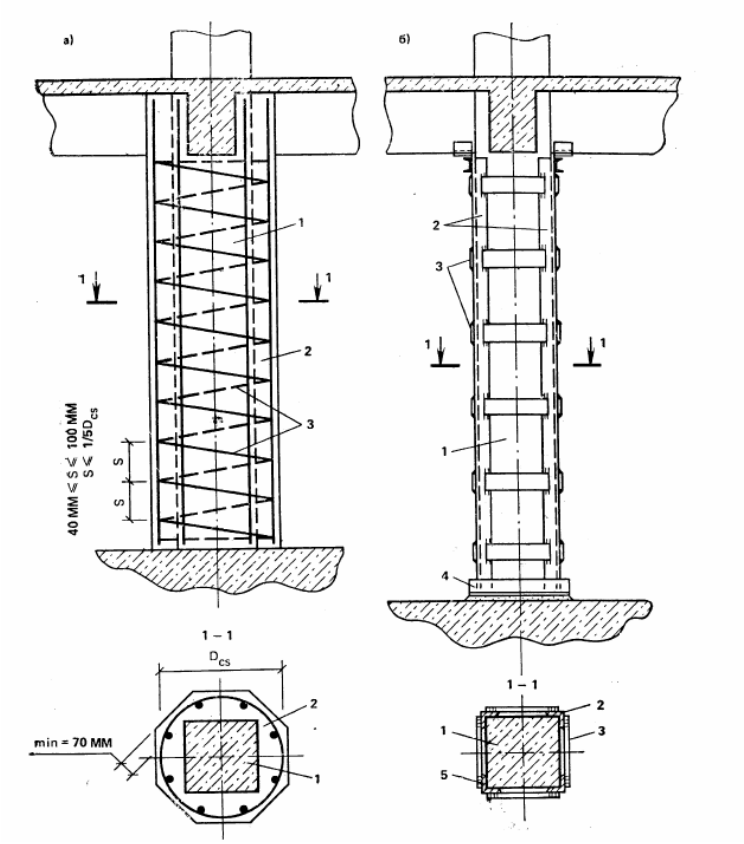


5.1. pav. Stiprinimo būdų klasifikacija

5.2. Stiprinimas didinant konstrukcijos skerspjūvį

Konstrukcijų skerspjūvio didinimas – labiausiai paplitęs, universalus ir patikimas stiprinimo būdas. Skerspjūvio matmenys gali būti padidinti iš vieno, dviejų, trijų arba iš visų šorų, įrengus apvalkalą (5.2 pav.). Pastarasis ypač tinka gniuždomiems elementams stiprinti. Stiprinimas, didinant elementų skerspjūvį gali būti vietinis, kai stiprinamos tik labiausiai apkrautos ir pažeistos konstrukcijų vietos,

arba ištisas. Prieš stiprinimo darbus konstrukcijos turi būti maksimaliai nukrautos. Šis būdas efektyvus, jeigu garantuojamas patikimas naujų sluoksnių ryšys su stiprinamąja konstrukcija. Naujas gelžbetoninis apvalkalas daromas torkretuojant arba vibratoriais tankinant betoną. Betono stiprumas turi būti ne mažesnis kaip 20 MPa ir ne mažesnis kaip stiprinamo elemento betono stiprumas. Torkretuojamo sluoksnio storis daromas, ne mažesnis kaip 30 mm, vibruojamo – ne mažesnis kaip 60 mm. Vienas iš didžiausių šio būdo trūkumų – stiprinimo darbų metu kartais trukdoma gamybai.



5.2. pav. Kolonų stiprinimo būdas

TIRIAMOJI – PRAKTINĖ DALIS

6. BETONO MECHANINIŲ SAVYBIŲ TYRIMAS

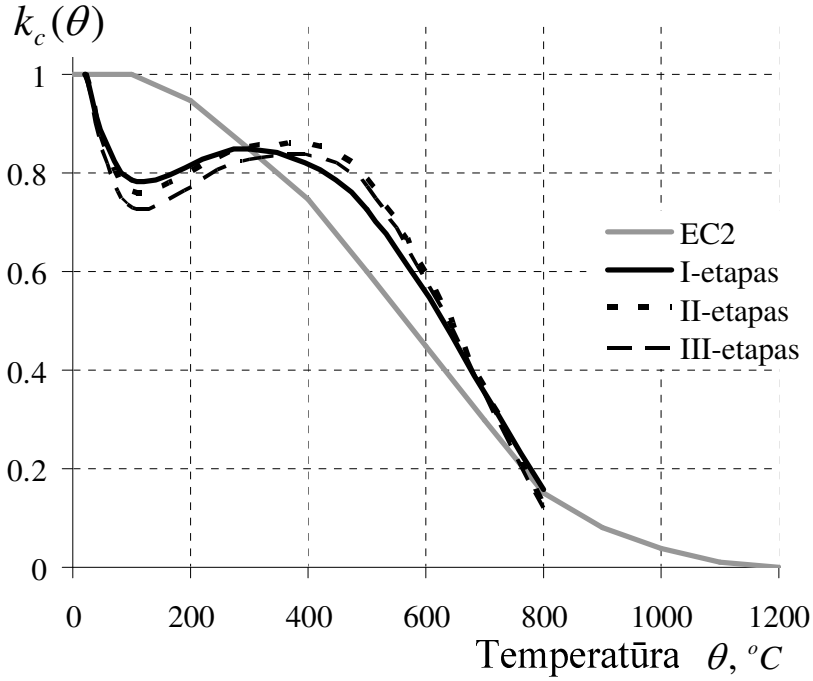
6.1. Eksperimento aprašymas

Atliekant eksperimentus buvo siekiama išsiaiskinti betono mechaninių savybių kitimą aukštoje temperatūroje. Norima palyginti teorijoje pateiktas [3] ir eksperimento būdu gautas betono stiprumo ir deformatyvumo reikšmes.

Bandymams atlikti, trimis etapais, užbetonuoti bandiniai: kubeliai(100 x 100 x 100) mm – stiprumo nustatymui ir prizmės (100 x 100 x 400) mm – betono tamprumo modulio reikšmėms gauti. Eksperimentai atliekami normaliomis sąlygomis (prie 20 °C) ir įkaitinus bandinius iki 100 °C, 300 °C, 500 °C ir 800 °C temperatūrų. Įkaitinti bandiniai tiriami praėjus savaitei po išėmimo iš krosnies.

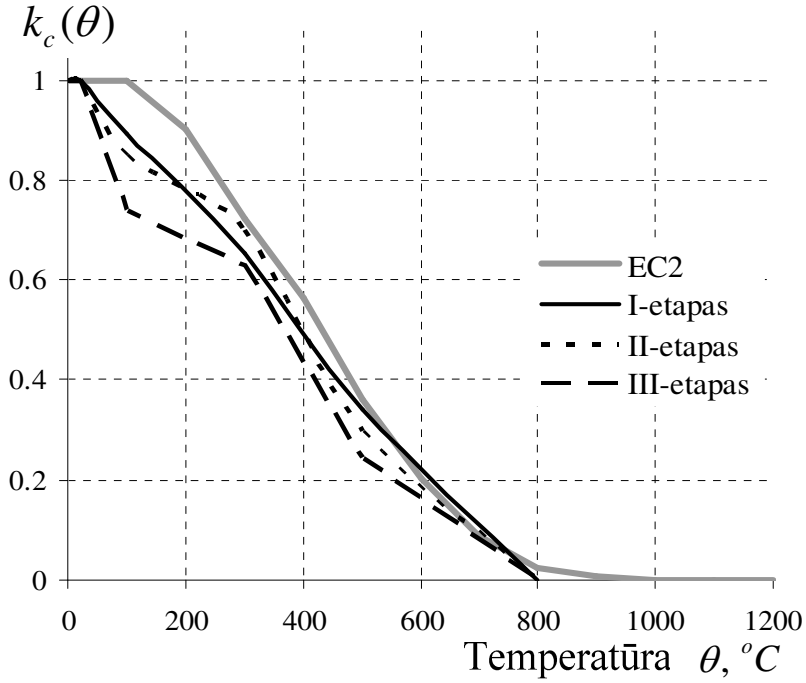
6.2. Teorinių ir eksperimento būdu gautų rezultatų lyginamoji analizė

Atlikus bandymus ir apdorojus duomenis (žr. 1 priedą) gauta gniuždomo betono stiprio ir tamprumo modulio priklausomybė nuo temperatūros (6.1 pav. ir 6.2 pav.). Betono gniuždomojo stiprio redukavimo kreivės charakteris panašus į kreivę pateiktą 2.1 pav., tačiau skiriasi nuo [1, 3] aprašomos betono charakteristinio stiprio redukavimo koeficiento $k_c(\theta)$ priklausomybės.



6.1. pav. Teorinių ir eksperimentinių betono stiprio gniuždant rezultatų palyginimas

Iš 6.1 pav. akivaizdu, jog eksperimentiškai gautų rezultatų kreivės skiriasi nuo teorinių rezultatų. Pagal [1, 3] pateiktą, betono su siliciniais užpildais, santykinio stiprio priklausomybę nuo temperatūros matome, jog stipris mažėja tolygiai kylant temperatūrai. Iš eksperimentinių bandymų kreivių matome jog stiprumas gniuždant keičiasi netolygiai. Betonas įkaitintas iki 100 °C gali prarasti apie 20 % ar daugiau gniuždomojo stiprio, o prie aukštesnių temperatūrų stiprumas iš dalies atsistato.



6.2. pav. Teorinių ir eksperimentinių betono tamprumo modulio rezultatų palyginimas

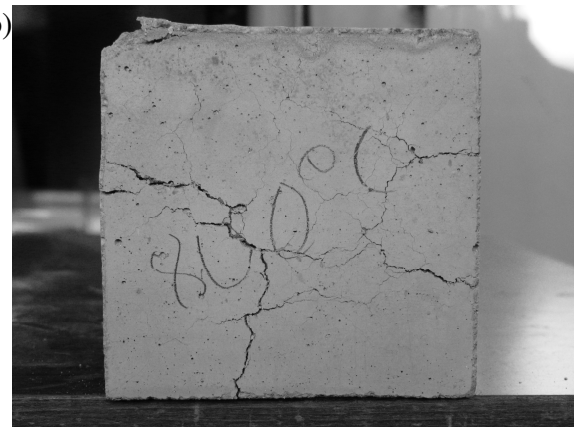
6.2 pav. pavaizduotame grafike pateiktos betono tamprumo modulio redukavimo koeficiento, teorinių ir eksperimentinių rezultatų kreives. Jų kitimo charakteris yra labai panašus, tik esant 100 °C temperatūrai, eksperimentiniai rezultatai yra apie 15 – 30 % mažesni už teorinius, o esant 800 °C – lygūs nuliui. Taip yra todėl, nes bandiniai, kaitinti 800 °C temperatūroje, buvo smarkiai pažeisti. Dėl atsiradusių pažeidimų nebuvo galimybės ištirti tamprumo modulio (6.3 pav.), todėl jis buvo priimtas lygus nuliui.

Tiriant betono stiprumą gniuždant ir tamprumo modulį, taip pat buvo stebimas bandinių tankio kitimas kylant temperatūrai, tai apibūdinantis grafikas pateiktas 6.4 pav. Pastebėta, jog kylant temperatūrai betono tankis mažėja tiesine priklausomybe. Vienas iš faktorių turinčių tam įtaką yra vandens netekimas. Dėl tankio mažėjimo keičiasi ir šiluminės betono savybės: šilumos laidumas λ_c ir specifinė šiluma C_c.

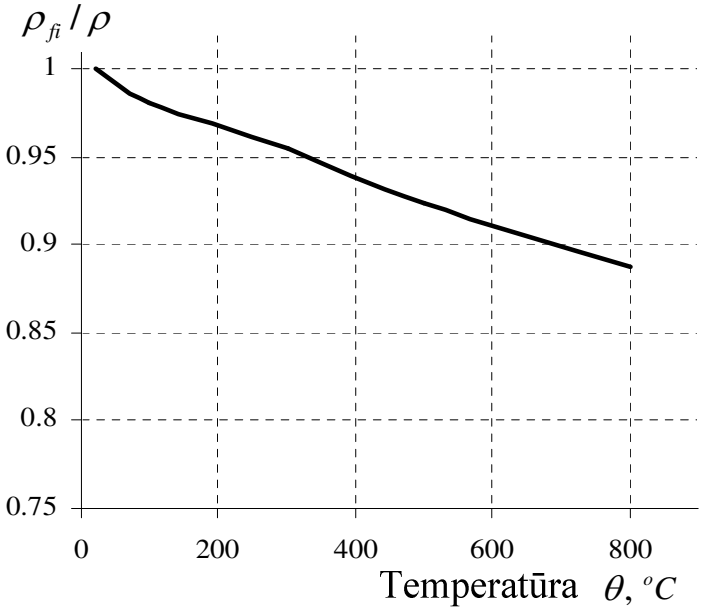
a)



b)



6.3. pav. Betoninė prizmė (a) ir kubelis (b) kaitinti 800 °C temperatūroje



6.4. pav. Betono tankio mažėjimas kylant temperatūrai

7. TEMPERATŪRINIŲ LAUKŲ MODELIAVIMAS

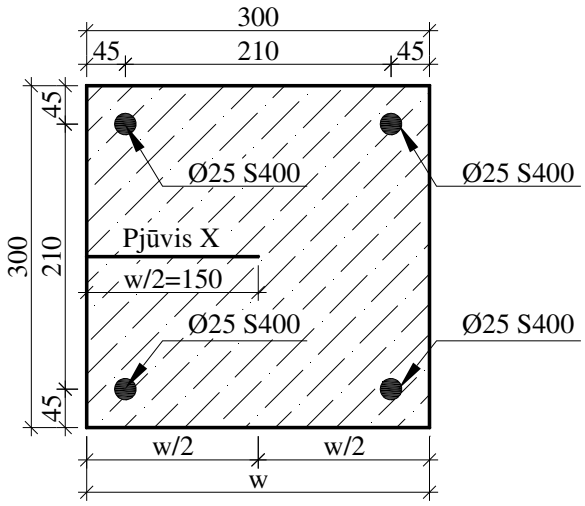
7.1. Modelio sudarymo tikslas

Baigtinių elementų programa COSMOS/M modeliuojamas gelžbetoninis kolonos skerspjūvis (300 x 300 mm) (7.1 pav.). Toks elementas pasirinktas, nes buvo siekiama gautus rezultatus palyginti su literatūroje [1, 3] pateiktais temperatūriniais laukais. Pagrindis šio modelio tikslas – gauti algoritmą

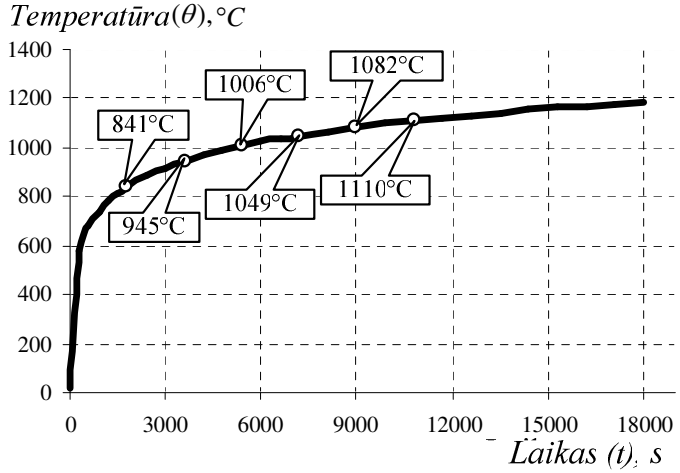
baigtinių elementų programai COSMOS/M tam, kad būtų galima sumodeliuoti temperatūrinius laukus, bet kokios geometrijos gelžbetoniniam elementui.

7.2. Modelio sudarymas

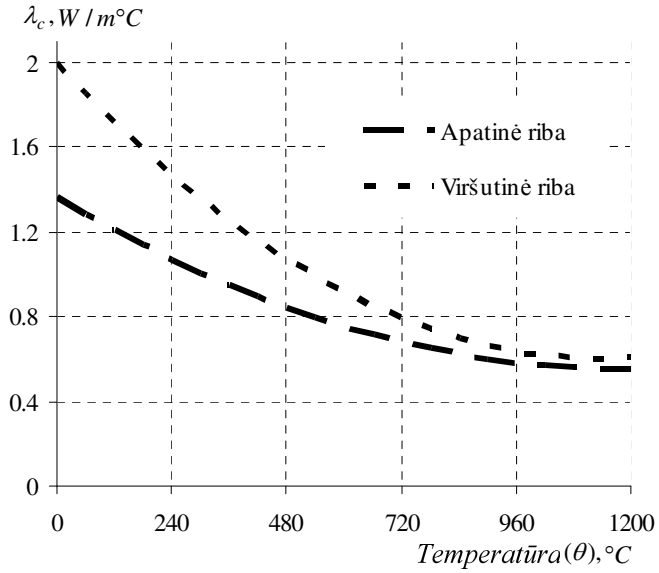
Temperatūriniai laukai skaičiuojami kvadratinio skesrpjūvio 300 x 300 mm elementui (7.1 pav.). Elementas kaitinamas iš visų keturių pusių pagal standartinio gaisro kreivę (7.2 pav.). Kadangi aukštoje temperatūroje keičiasi ne tik mechaninės, bet ir šiluminės betono savybės, buvo įvestos ir betono šiluminio laidumo λ_c (7.3 pav.), bei specifinės šilumos priklausomybės C_c (7.4 pav.). Sudarytas algoritmas pateiktas antrame priede.



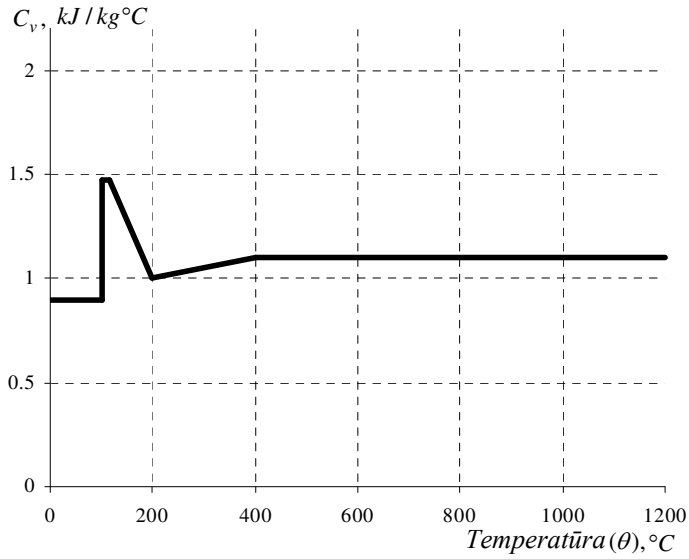
7.1. pav. Nagrinėjamo gelžbetoninio elemento schema



7.2. pav. Standartinio gaisro kreivė (temperatūros reikšmės nurodytos 30 min intervalu nuo 0,5h iki 3h)



7.3. pav. Betono šilumos laidumas (modeliavimui naudojama apatinė riba)

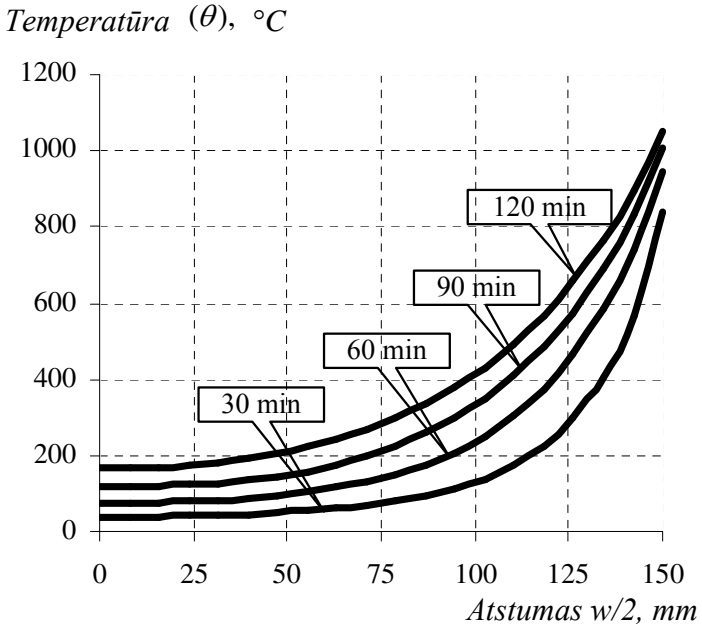


7.4. pav. Betono specifinės šilumos priklausomybė nuo aukštos temperatūros esant 1,5 % betono drėgmės kiekiui

6.1. lentelė. Armatūros šiluminiai parametrai

Parametras	**Reikšmė**
Specifinis šilumos laidumas λ_s 1	$47 \frac{W}{(m^\circ K)}$
Specifinė šiluma c_s	$440 \frac{J}{(kg^\circ K)}$

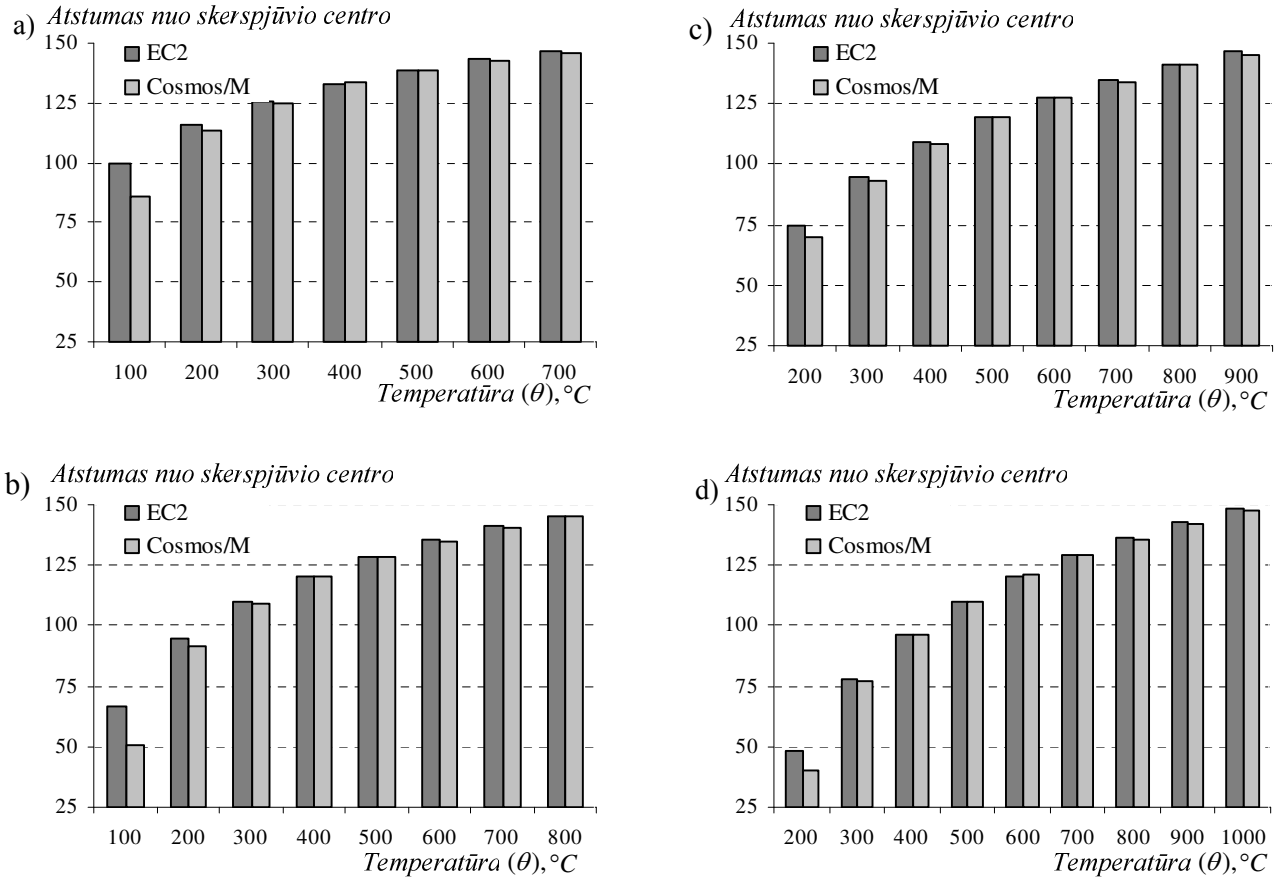
Gauti rezultatai išvedami grafike (7.5 pav.), per pjūvį X kaip parodyta paveiksle (7.1 pav.). Rezultatai išvedami keturiems standartinio gaisro etapams, nuo 0,5h iki 2h kas 30 min.



7.5. pav. Temperatūros pasiskirstymas skerspjūvyje tam tikru laiko momentu

7.3. Rezultatų palyginimas

Gautas temperatūrinių laukų pasiskirstymas baigtinių elementų programa lyginamas su literatūroje [1, 3] pateikiamomis izotermomis. Palyginimas pateiktas diagramų pavidale paveiksle (7.6 pav.), čia pateiktas tam tikros temperatūros (100, 200 ... 1000 °C) nuotolis nuo skerspjūvio centro. Iš šio paveikslo matome, jog teorijoje pateikiamos izotermės skiriasi nuo programa COSMOS/M sumodeliuoto temperatūrų pasiskirstymo. Skirtumas tarp literatūroje pateikiamų ir gautų rezultatų, prie 300 °C ir didesnių temperatūrų, siekia tik apie 1 %, o prie 100 °C ir 200 °C, skirtumas nuo 10 iki 23 %. Kadangi skirtumai nėra labai žymūs, galima teigti, jog temperatūrinių laukų modeliavimo algoritmas, gelžbetonio skerspjūvio elementams, yra ganėtinai tikslus.



7.6. pav. Izotermių nuotoliai nuo skerspjūvio centro pagal [3] ir gauti programa COSMOS/M
a) prie 30 min, b) prie 60 min, c) prie 90 min, d) 120 min

7.4. Konstrukcijos laikomosios galios vertinimas panaudojant teorines ir eksperimentines betono mechanines savybes

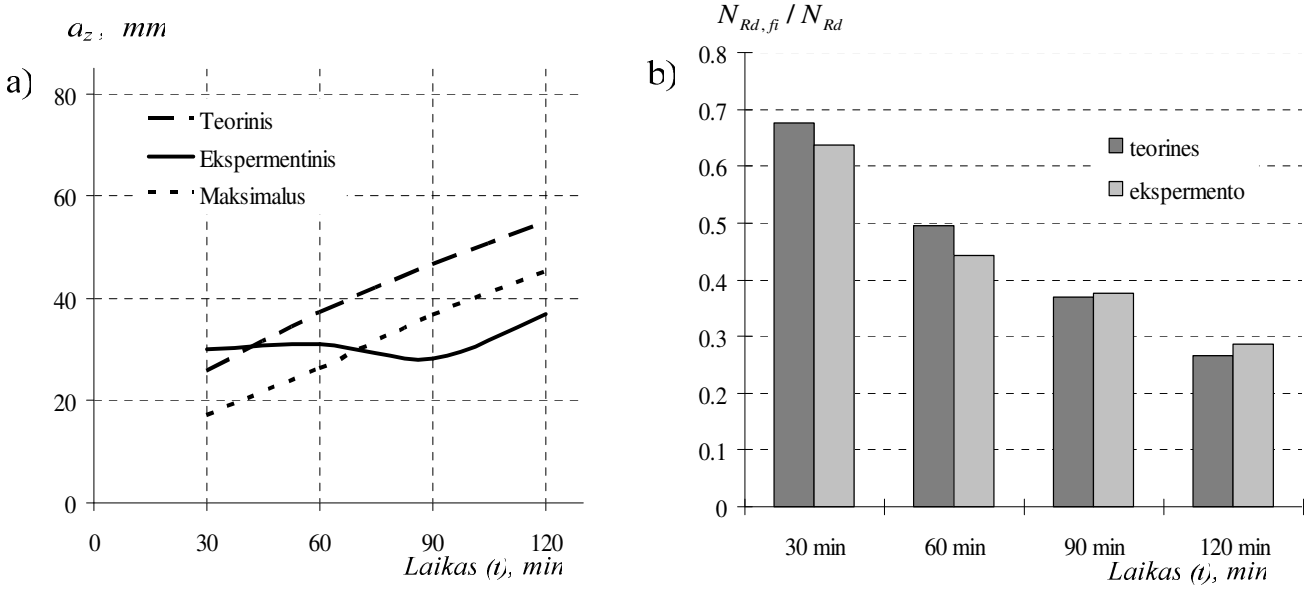
Pasinaudojant gautais temperatūriniais laukais, skaičiuojami du atvejai gelžbetonio elemento (*7.1 pav.*) laikomosios galios nustatymui:

- panaudojant $f_c(\theta) / f_c(20°C)$ priklausomybę pagal [3];
- taikant eksperimentinius rezultatus imant vidutinę trijų betonavimo etapų $k_c(\theta)$ reikšmę (6.1 pav.).

Abiem atvejais armatūros stipruminės savybės įvertinamos pagal literatūroje pateiktus duomenis [3]. Tokiu būdu siekiama išsiaiškinti betono gniuždomosios galios kritimo, esant 100 °C temperatūrai, jo įtaką konstrukcijos laikomajai galiai. Skaičiavimai atliekami zonų metodu pagal [3].

Atliktų skaičiavimų rezultatai pateikti grafike (*7.8 pav.*). Iš šio grafiko matome, jog liekamasis elemento stiprumas pagal teorinę betono stiprio redukavimo kreivę yra didesnis nei pagal eksperimento

rezultatus apie 5 %, tik po 30 ir 60 min. Po 90, 120 min elemento stiprumas apie 2 % didesnis , kai skaičiavimams naudojama eksperimento būdu gauta $k_c(\theta)$ priklausomybė.



7.8. pav. a) a_z kitimo grafikas, b) laikomosios galios palyginimo grafikas

Tokį laikomosios galios pasiskirstymą galima paaiškinti skaičiavimuose atmetamo pažeisto sluoksnio a_z kitimu. Panaudojant eksperimentinę $k_c(\theta)$ priklausomybę dydis a_z kinta netolygiai, tam įtakos turi koeficientas $k_c(\theta_M)$. Grafike (*7.8 pav. a)*) matoma, jog a_z dydžio krintanti dalis sutampa su nagrinėjamo skespjūvio centrinės dalies įkaitimu iki temperatūros artimos 100 °C. Šioje temperatūroje pagal grafiką (*6.1 pav*.) koeficiento $k_c(\theta)$ reikšmė krinta apie 20 %, tai ir turėjo įtaką a_z reikšmėms. Laikomosios galios (*7.8 pav. b)*) skaičiavimams atlikti įvertinta maksimali atmetamo sluoksnio a_z reikšmė pagal [3].

8. ELEMENTO LAIKOMOSIOS GALIOS ATSTATYMAS

8.1. Bandymo aprašymas

Šiame darbo etape buvo imituojamas gaisro pažeistos centriškai gniuždomos kolonos laikomosios galios atstatymas. Tam tiksui panaudojamos betoninės prizmės (100 x 100 x 400 mm). Pusė prizmių kaitinamos 500 °C temperatūroje, taip imituojant kolonos pažeidimą gaisro metu. Tiek pažeistos, tiek nepažeistos prizmės apibetonuojamos iš visų keturių pusių po 2,5 cm. Papildomo betono sluoknio mechaninės savybės, bei skaičiavimai pateikti ketvirtame priede.

Atliekant šiuos bandymus buvo siekiama ištirti:

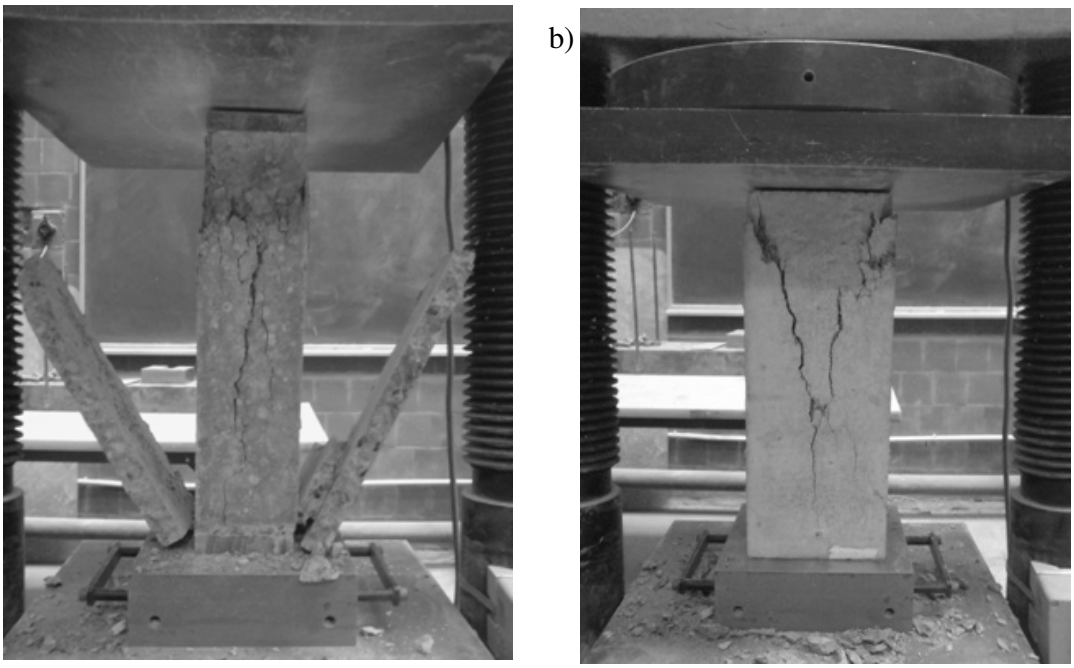
- įtaką elemento laikomajai galiai, kai apibetonuota prizmė dirba kartu su apvalkalu ir kai visa gniuždymo jėga yra perduodama vien tik prizmei;
- kokią įtaką laikomąjai galiai sustiprinimas turėjo kaitintiems ir nepažeistiems elementams;
- skirtumą tarp eksperimento būdu gautų rezultatų ir teorinių skaičiavimų.

8.2. Rezultatų palyginimas

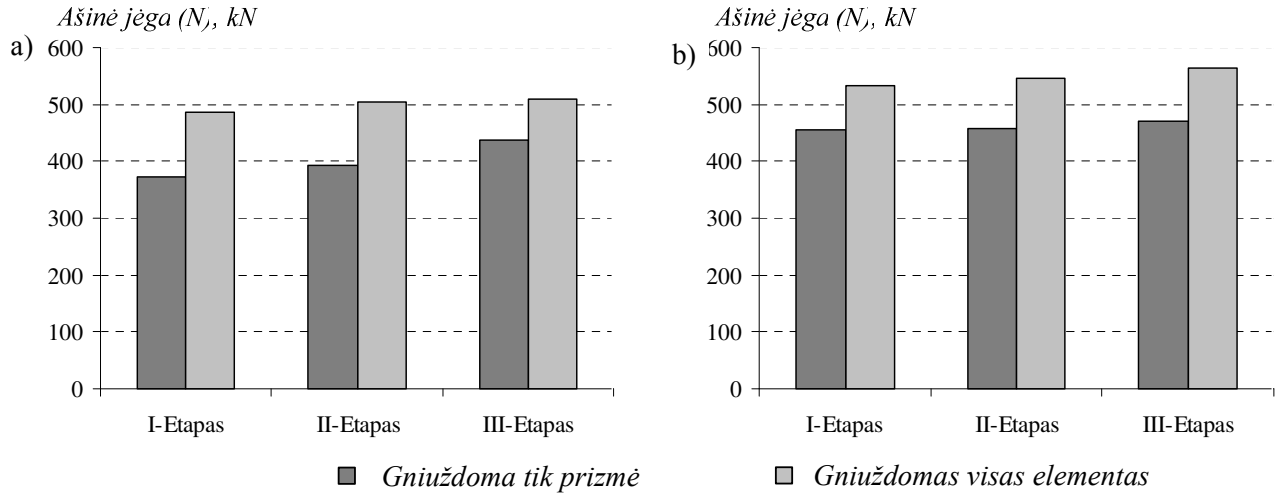
Gauti teoriniai ir eksperimentinio bandymo rezultatai pateikti grafikuose (8.2 pav., 8.3 pav., 8.4 pav.)

Atlikus sustiprintų elementų gniuždymo bandymus galima teigti, jog tokiu būdu sustiprintos konstrukcijos yra žymiai efektyvesnės, kai papildomas sluoksnis itraukiamas į bendrą darbą su stiprinamu elementu. Tokios konstrukcijos suirimo pobūdis saugesnis, nei tada kai apkrova perduodama vien stiprinamam elementui. Bandinių, kuriems apkrova buvo koncentruojama į apibetonuotą prizmę, suirimas buvo labai staigus (trapus), vos tik atsiradus pirmiesiems plyšiams. Kitų bandinių, kurie buvo apgniuždyti visu plotu, suirimas buvo lėtas, atsivėrė dideli plyšiai.

a) b)

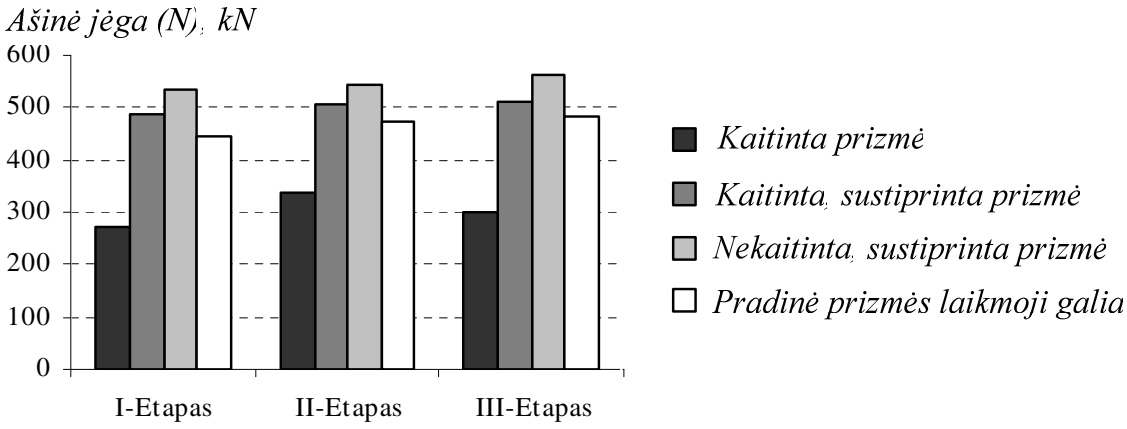


8.1. pav. Gniuždomas sustiprintas elementas,kai apkrova perduodama tik apibetonuotai prizmei (a) ir kai apkrova perduodama prizmei ir apvalkalui (b)



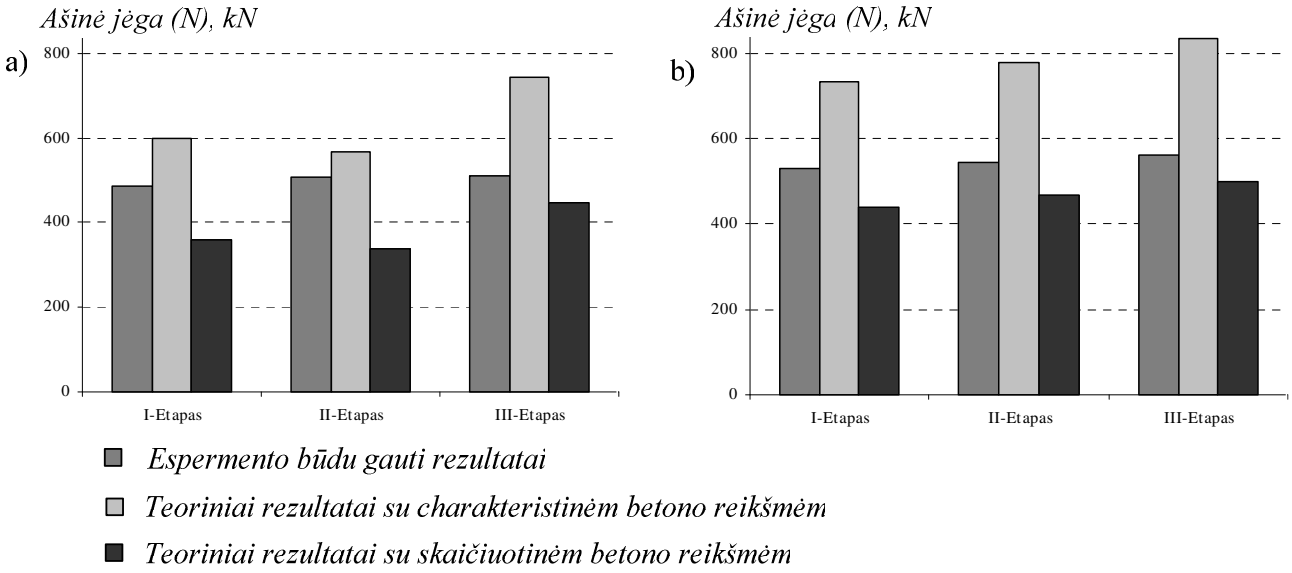
8.2. pav. Laikomosios galios skirtumas, kai apkrova perduodama tik apibetonuotai prizmei ir kai apkrova perduodama visam elementui: (a) – su kaitinta prizme, (b) – su nepažeista prizme

Iš (8.2 pav.) grafiko matome, jog bendras stiprinamo elemento ir naujo betono sluoksnio darbas turi didelę įtaką sustiprinto elemto laikomąjai galiai. Tarp iš dalies ir visu skerspjūvio plotu apkrauto elemento laikomosios galios skirtumas siekia 15 – 25 %. Atidžiau panagrinėjus (8.3 pav.) grafiką, matoma, jog sustiprinimas kur kas didesnę reikšmę turėjo iki 500 °C iškaitinto elemento laikomajai galiai. Tai galima paaiškinti susilpnintos prizmės daliniu stiprumo atsistatymu po jos apibetonavimo, kaitintas elementas sugėrė dalį vandens ir cemento mišinio iš naujai užkresto betono.



8.3. pav. Sustiprinimo įtaka elemento laikomajai galiai

Lyginant teorinius ir ekspermento būdu gautus sustiprinto elemento laikomosios galios rezultatus (*8.3 pav.*), ryškus 10 – 30 % skirtumas tarp ekspermentinių ir teorinių rezultatų.



8.4. pav. Bandymo, kai apkrova perduodama visam sustiprintam elementui, ir teorinių rezultatų palyginimas:
a) – elementas su kaitinta prizme, b) – elementas su nekaitinta prizme

Išanalizavus gautus rezultatus, prieinama išvada, kad vienas iš svarbiausių stiprinamos konstrukcijos bruožų yra stiprinamo elemento ir jį stiprinančios konstrukcijos bendras darbas. Tokiu būdu efektyviau išnaudojamos statybinės medžiagos, tokia konstrukcija yra saugesnė dėl lėtesnio suirimo.

9. IŠVADOS IR REKOMENDACIJOS

1. Teorijoje pateikiamos izotermės skiriasi nuo programa COSMOS/M sumodeliuoto temperatūrų pasiskirstymo. Skirtumas tarp literatūroje pateikiamų ir gautų rezultatų esant 300 °C ir didesnėms temperatūroms siekia tik apie 1 %, o esnat 100 °C ir 200 °C skirtumas yra nuo 10 iki 23 %. Kadangi skirtumai nėra labai dideli, galima teigti, jog temperatūrinių laukų modeliavimo algoritmas, gelžbetonio skerspjūvio elementams, yra pakankamai tikslus.
2. Liekamasis elemento stiprumas pagal teorinę betono stiprio redukavimo kreivę yra didesnis nei pagal eksperimento rezultatus apie 5 %, tik po 30 ir 60 min. Po 90, 120 min elemento stiprumas apie 2 % didesnis, kai skaičiavimams naudojama eksperimento būdu gauta priklausomybė. Tokiam liekamojo elemento stiprumui įtaką turėjo atmetamos zonos dydis, kurį nulėmė betono stiprio redukavimo koeficiento reikšmės kritimas ties 100 °C temperatūra.
3. Didelę įtaką sustiprintų elementų laikomajai galiai ir suirimo būdui turi bendras darbas tarp esamos ir naujos konstrukcijos dalies. Bandymais nustatyta, jog laikomoji galia 15 – 20 % didesnė, kai elementas dirbo kartu su papildomu betono sluoksniu. Be to, tokios konstrukcijos suirimo būdas yra lėtesnis (saugesnis).
4. Atliekant stiprinimo bandymą buvo pastebėta, jog iškaitintas elementas smarkiai(labai) sugeria drėgmę iš naujai užkrėsto betono. Tai galėjo turėti įtakos papildomo betono sluoksnio mechaninėms savybėms ir viso sustiprinto elemento laikomajai galiai. Siekiant to išvengti, reikėtų naudoti didesnį V/C santykį arba papildomai drėkinti aukštos temperatūros pažeistą konstrukciją.
5. Lyginant teorinius sustiprinto elemento laikomosios galios rezultatus su eksperimento būdu gautais rezultatais, didelis skirtumas nepastebėtas. Bandymų rezultatai buvo apie 3 – 10 % didesni, nei teorinių skaičiavimų.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. STR 2.05.11:2005. Gaisro veikiamų gelžbetoninių konstrukcijų projektavimas. Vilnius, 2004. 24 p
2. Eurocode 2: Design of Concrete Structures. Part 1 – 2: Design of concrete structures. Fire design. Brussels, 2004. 95 p.
3. Техническая экспертиза зданий, поврежденных пожаром / Н. А. Ильин. Стройиздат, 1983. 198 p.
4. Fire safety engineering design of structures. Second edition / J. A. Purkiss. Elsevier, 2007.
5. Стойкость железобетоных конструкций при пожаре. / А. Ф. Милованов. Стройиздат, 1998. 295 p.
6. Последствия огневого вщздействия на железобетоные конструкции. / Н. А. Ильин. Стройиздат, 1979. 123 p.
7. Nauja Europos sąjungos gaisro veikiamų gelžbetoninių konstrukcijų projektavimo metodika / Jonaitis, B.; Papinigis V. 2005. Vilnius: VGTU [žiūrėta 2006 m. birželio 15 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.tede.vgtu.lt/upload/ukis_zurn/jonaitis&papinigis.pdf>.
8. Gaisro temperatūros veikiamos gelžbetoninės konstrukcijos. Laboratoriniai darbai. Papinigis V.; Popovas Vilnius: Technika, V. 1999.
9. Gelžbetoninės konstrukcijos / V. Jokūbaitis, A. Jurkša, Z. Kamaitis, J. Kivilša, A. Kudzys, G. Marčiukaitis, P. Pukelis, B. Užpolevičius, R. Vadlūga, P. Vainiūnas. Vilnius, 1978.
10. Concrete for fire engineering / University of Dudee. Bre press, 2008.
11. Расчет жаростойких железобетоных конструкций. / А. Ф. Милованов. Стройиздат, 1975. 232 p.
12. Betoninių ir gelžbetoninių konstrukcijų defektai ir remontas / G. Marčiukaitis. Vilnius, 1985.
13. Огнестойкость железобетоных конструкций. / А. Ф. Милованов. Стройиздат, 1986. 226 p.
14. STR 2.05.05:2005. Betoninių ir gelžbetoninių konstrukcijų projektavimas. Vilnius, 2004. 125 p.
15. Gelžbetoninės ir mūrinės konstrukcijos / V. Jokūbaitis. Vilnius, 1992
16. Рекомендции по проектиранию усиления железобетоных конструкций зданий и сооружений рукоструируемых предприятийю / НИИЖБ. Стройиздат, 1992.

17. Проектирание усилений несущих железобетоных конструкций производственных зданий и сооружений / А. Б. Голушевым. Киев, 2001.

18. Gelžbetoninių ir mūrinių konstrukcijų atstatymas ir stiprinimas / Z. Kamaitis, V. Jokūbaitis. Vilnius, 1985.

19. STR 2.01.04:2004. Gaisrinė sauga. Pagrindiniai reikalavimai. Vilnius, 2003. 34 p.

20. Marčiukaitis G. 2007. Gelžbetoninių konstrukcijų projektavimas pagal euronormas. Vilnius: Technika.

21. Bačinskas, D., Kaklauskas. G., Gribniak, V., Geda, E. 2007. Gelžbetoninių plokščių, veikiamų gaisro, modeliavimas. Iš Ūkio technologinis ir ekonominis vystymas. 2007, vol XIII, No 4, 295 – 302.

22. Cooke, G. M. E., 2001. Behaviour of precast concrete floor slabs exposed to standardised fires. Fire safety journal 36 (2001) 459 – 475.

PRIEDAI

A PRIEDAS

Siekiant ištirti betono mechaninių savybių kitiną aukštoje temperatūroje buvo atlikti bandymai su betoniniais kubeliais (100 x 100 x 100 mm) ir prizmėmis (100 x 100 x 400 mm). Bandiniai tiriamis 20 °C (kambario temperatūroje), 100 °C, 300 °C, 500 °C, 800 °C temperatūrose.

A.1. lentelė. I – betonavimo etapo išbandytų kubelių rezultatai

Temperatūra	Bandinio eilės nr.	Bandinio kraštinių matmenys		Bandinio skerspjūvio plotas	Ribinė jėga	Mastelio faktorius	Redukuotas etaloninio kubo stiprumas $R_{i,15}$	Vidutinis betono kubinis stiprumas R_m	Betono tankis
		ilgis	plotis						
°C		*mm*	*mm*	*mm^2*	*kN*		*MPa*	*MPa*	*kg/m3*
20	1	101,4	103,4	10482,8	522,9	0,91	45,4	50,8	2466
	2	100,1	99,1	9919,9	567,5	0,91	52,1		2489
	3	101,5	101,1	10264,7	632,5	0,91	56,1		2464
	4	101,2	102,2	10337,6	565,7	0,91	49,8		2492
100	1	101,3	101,1	10241,4	434,0	0,91	38,6	40,0	2421
	2	101,3	103,3	10464,3	448,3	0,91	39,0		2445
	3	101,4	101,5	10292,1	499,7	0,91	44,2		2403
	4	101,4	101,3	10271,8	433,9	0,91	38,4		2451
300	1	101,9	101,4	10332,7	444,5	0,91	39,1	43,3	2332
	2	99,9	100,6	10049,9	493,7	0,91	44,7		2354
	3	100,2	101,3	10150,3	537,6	0,91	48,2		2330
	4	101,8	101,2	10302,2	465,6	0,91	41,1		2356
500	1	100,9	101,3	10223,2	380,5	0,91	33,9	37,0	2334
	2	101,8	98,8	10055,9	471,1	0,91	42,6		2253
	3	102,5	99,6	10213,0	394,0	0,91	35,1		2302
	4	102,5	101,4	10395,5	413,5	0,91	36,2		2249
800	1	*Brokuotas bandinys*						8,1	
	2	99,8	100,1	9990,0	112,4	0,91	10,2		2253
	3	99,8	100,1	9990,0	121,9	0,91	11,1		2328
	4	100,0	100,8	10080,0	122,4	0,91	11,1		2255

A.2. lentelė. II – betonavimo etapo išbandytų kubelių rezultatai

Temperatūra	Bandinio eilės nr.	Bandinio kraštinių matmenys		Bandinio skerspjūvio plotas	Ribinė jėga	Mastelio faktorius	Redukuotas etaloninio kubo stiprumas $R_{i,15}$	Vidutinis betono kubinis stiprumas R_m	Betono tankis
		ilgis	plotis						
°C		*mm*	*mm*	*mm^2*	*kN*		*MPa*	*MPa*	*kg/m3*

20	1	102,2	105,0	10737,2	575,4	0,91	48,8	50,4	2478
	2	102,6	101,0	10364,7	566,9	0,91	49,8		2497
	3	101,8	101,4	10319,5	584,0	0,91	51,5		2465
	4	101,4	102,3	10373,2	587,1	0,91	51,5		2513
100	1	101,4	102,3	10373,2	391,8	0,91	34,4	38,4	2433
	2	101,4	102,3	10373,2	470,5	0,91	41,3		2453
	3	101,4	102,3	10373,2	461,4	0,91	40,5		2404
	4	101,4	102,3	10373,2	428,6	0,91	37,6		2472
300	1	100,1	101,8	10190,2	517,9	0,91	46,2	43,1	2343
	2	100,6	102,3	10291,4	498,9	0,91	44,1		2361
	3	99,1	101,5	10058,7	438,0	0,91	39,6		2331
	4	100,2	101,6	10180,3	475,6	0,91	42,5		2376
500	1	100,9	102,6	10349,2	345,0	0,91	30,3	39,8	2264
	2	100,4	104,4	10483,9	495,5	0,91	43,0		2282
	3	100,7	103,2	10389,2	431,8	0,91	37,8		2253
	4	101,5	101,8	10331,7	547,1	0,91	48,2		2296
800	1	*Brokuotas bandinys*						6,2	
	2	*Brokuotas bandinys*							
	3	100,5	101,1	10160,6	131,4	0,91	11,8		2250
	4	102,1	100,4	10250,8	148,7	0,91	13,2		2241

A.3. lentelė. III – betonavimo etapo išbandytų kubelių rezultatai

Tempe ratūra	Bandinio eilės nr.	Bandinio kraštinių matmenys		Bandinio skerspjūvio plotas	Ribinė jėga	Mastelio faktorius	Redukuotas etaloninio kubo stiprumas $R_{i,15}$	Vidutinis betono kubinis stiprumas R_m	Betono tankis
		ilgis	plotis						
°C		*mm*	*mm*	*mm^2*	*kN*		*MPa*	*MPa*	*kg/m3*
20	1	102,1	101,9	10412,2	626,8	0,91	54,8	60,1	2543

	2	101,8	102,2	10409,1	717,1	0,91	62,7		2542
	3	103,7	101,4	10515,2	699,6	0,91	60,5		2487
	4	99,8	101,7	10149,6	694,8	0,91	62,3		2531
100	1	101,1	99,7	10079,7	457,6	0,91	41,3	43,9	2496
	2	102,2	102,0	10424,4	523,5	0,91	45,7		2498
	3	100,7	101,3	10200,9	507,2	0,91	45,2		2425
	4	100,8	100,2	10100,2	479,4	0,91	43,2		2490
300	1	101,3	101,8	10312,3	535,3	0,91	47,2	49,9	2405
	2	101,6	102,3	10393,7	542,1	0,91	47,5		2391
	3	102,8	102,5	10537,0	604,8	0,91	52,2		2352
	4	100,4	100,1	10050,0	580,4	0,91	52,6		2393
500	1	100,4	102,7	10319,2	509,0	0,91	44,9	46,4	2334
	2	102,5	102,5	10508,3	549,7	0,91	47,6		2324
	3	100,4	103,5	10391,3	529,2	0,91	46,3		2349
	4	100,8	102,9	10376,4	534,5	0,91	46,9		2241
800	1	102,0	100,5	10251,0	157,7	0,91	14,0	7,2	2271
	2	102,0	100,5	10251,0	167,0	0,91	14,8		2264
	3	*Brokuotas bandinys*							
	4	*Brokuotas bandinys*							

A.4. lentelė. I – betonavimo etapo, betono išilginių santykinių deformacijų nustatymas (prie 20 °C)

Eilės	F	Bazė	Indikatorių rodmenys (mm)				Δl (mm)				Δl_{vid}	σ_b	ε_c x 10^{-5}
Nr.	*(kN)*	*(mm)*	*Nr. 1*	*Nr. 2*	*Nr. 3*	*Nr. 4*	*Nr. 1*	*Nr. 2*	*Nr. 3*	*Nr. 4*	*(mm)*	*MPa*	
1	0	200	8,962	-0,57	11,291	3,535	0	0	0	0	0	0,00	0,00
2	20		8,963	-0,569	11,293	3,537	0,001	0,001	0,002	0,002	0,001	1,91	0,75
3	40		8,966	-0,567	11,298	3,538	0,004	0,003	0,007	0,003	0,004	3,83	2,23
4	60		8,975	-0,556	11,303	3,542	0,013	0,014	0,012	0,007	0,012	5,74	6,04
5	80		8,981	-0,552	11,305	3,547	0,019	0,018	0,014	0,012	0,016	7,66	8,66
6	100		8,987	-0,546	11,307	3,56	0,025	0,024	0,016	0,025	0,023	9,57	14,63
7	120		8,998	-0,543	11,312	3,576	0,036	0,027	0,021	0,041	0,031	11,49	20,31
8	140		9,021	-0,538	11,323	3,592	0,059	0,032	0,032	0,057	0,045	13,40	27,00
9	160		9,023	-0,532	11,343	3,607	0,061	0,038	0,052	0,072	0,056	15,32	33,45
10	180		9,028	-0,521	11,353	3,615	0,066	0,049	0,062	0,08	0,064	17,23	38,55
11	200		9,034	-0,513	11,359	3,626	0,072	0,057	0,068	0,091	0,072	19,15	43,20
12	220		9,039	-0,498	11,374	3,638	0,077	0,072	0,083	0,103	0,084	21,06	50,25
13	240		9,046	-0,483	11,387	3,66	0,084	0,087	0,096	0,125	0,098	22,98	58,80
14	260		9,053	-0,472	11,398	3,674	0,091	0,098	0,107	0,139	0,109	24,89	65,25
15	280		9,061	-0,465	11,406	3,68	0,099	0,105	0,115	0,145	0,116	26,81	69,60
16	300		9,072	-0,452	11,423	3,685	0,11	0,118	0,132	0,15	0,128	28,72	76,50

A.5. lentelė. I – betonavimo etapo, betono išilginių santykinių deformacijų nustatymas (prie 100 °C)

Eilės	F	Bazė	Indikatorių rodmenys (mm)				Δl (mm)				Δl_{vid}	s_b	ε_c x 10^{-5}
Nr.	*(kN)*	*(mm)*	*Nr. 1*	*Nr. 2*	*Nr. 3*	*Nr. 4*	*Nr. 1*	*Nr. 2*	*Nr. 3*	*Nr. 4*	*(mm)*	*MPa*	
1	0	200	17,746	10,259	12,904	8,977	0	0	0	0	0	0,00	0,00

2	20		17,755	10,259	12,907	8,977	0,009	0	0,003	0	0,003	1,91	1,50
3	40		17,762	10,259	12,911	8,977	0,016	0	0,007	0	0,006	3,83	3,02
4	60		17,773	10,26	12,92	8,977	0,027	0,001	0,016	0	0,011	5,74	5,78
5	80		17,786	10,264	12,927	8,977	0,04	0,005	0,023	0	0,017	7,66	9,35
6	100		17,797	10,269	12,935	8,978	0,051	0,01	0,031	0,001	0,023	9,57	15,11
7	120		17,805	10,284	12,953	8,988	0,059	0,025	0,049	0,011	0,036	11,49	23,40
8	140		17,825	10,3	12,967	9,000	0,079	0,041	0,063	0,023	0,052	13,40	30,90
9	160		17,85	10,32	12,98	9,01	0,104	0,061	0,076	0,033	0,069	15,32	41,10
10	180		17,871	10,335	12,99	9,018	0,125	0,076	0,086	0,041	0,082	17,23	49,20
11	200		17,889	10,351	12,996	9,031	0,143	0,092	0,092	0,054	0,095	19,15	57,15
12	220		17,908	10,367	13,000	9,047	0,162	0,108	0,096	0,07	0,109	21,06	65,40
13	240		17,928	10,383	13,016	9,059	0,182	0,124	0,112	0,082	0,125	22,98	75,00
14	260		17,954	10,392	13,03	9,088	0,208	0,133	0,126	0,111	0,145	24,89	86,70
15	280		17,984	10,415	13,044	9,123	0,238	0,156	0,14	0,146	0,170	26,81	102,00
16	300		18,02	10,454	13,076	9,148	0,274	0,195	0,172	0,171	0,203	28,72	121,80

A.6. lentelė. I – betonavimo etapo, betono išilginių santykinių deformacijų nustatymas (prie 300 °C)

Eilės	F	Bazė	Indikatorių rodmenys (mm)				Δl (mm)				Δl_{vid}	s_b	ε_c x 10^{-5}
Nr.	*(kN)*	*(mm)*	*Nr. 1*	*Nr. 2*	*Nr. 3*	*Nr. 4*	*Nr. 1*	*Nr. 2*	*Nr. 3*	*Nr. 4*	*(mm)*	*MPa*	
1	0	200	17,746	10,259	12,904	8,977	0	0	0	0	0	0,00	0,00
2	20		17,754	10,263	12,914	8,998	0,008	0,004	0,01	0,021	0,011	1,91	5,38
3	40		17,763	10,267	12,921	9,018	0,017	0,008	0,017	0,041	0,021	3,83	10,38
4	60		17,779	10,28	12,932	9,033	0,033	0,021	0,028	0,056	0,035	5,74	17,25
5	80		17,794	10,298	12,939	9,041	0,048	0,039	0,035	0,064	0,047	7,66	23,25
6	100		17,812	10,307	12,944	9,05	0,066	0,048	0,04	0,073	0,057	9,57	28,38
7	120		17,831	10,329	12,962	9,075	0,085	0,07	0,058	0,098	0,078	11,49	38,88
8	140		17,848	10,346	12,972	9,092	0,102	0,087	0,068	0,115	0,093	13,40	46,50
9	160		17,864	10,363	12,995	9,099	0,118	0,104	0,091	0,122	0,109	15,32	54,38
10	180		17,879	10,376	13,015	9,11	0,133	0,117	0,111	0,133	0,124	17,23	61,75
11	200		17,902	10,401	13,042	9,155	0,156	0,142	0,138	0,178	0,154	19,15	76,75
12	220		17,923	10,416	13,061	9,182	0,177	0,157	0,157	0,205	0,174	21,06	87,00
13	240		17,93	10,424	13,071	9,202	0,184	0,165	0,167	0,225	0,185	22,98	92,63
14	260		17,945	10,469	13,095	9,235	0,199	0,21	0,191	0,258	0,215	24,89	107,25
15	280		17,961	10,483	13,12	9,27	0,215	0,224	0,216	0,293	0,237	26,81	118,50
16	300		17,982	10,517	13,172	9,32	0,236	0,258	0,268	0,343	0,276	28,72	138,13

A.7. lentelė. I – betonavimo etapo, betono išilginių santykinių deformacijų nustatymas (prie 500 °C)

Eilės	F	Bazė	Indikatorių rodmenys (mm)				Δl (mm)				Δl_{vid}	s_b	ε_c x 10^{-5}
Nr.	(kN)	(mm)	Nr. 1	Nr. 2	Nr. 3	Nr. 4	Nr. 1	Nr. 2	Nr. 3	Nr. 4	(mm)	MPa	
1	0	200	-14,83	11,924	14,751	12,222	0	0	0	0	0	0	0
2	20		-14,896	11,967	14,746	12,223	0,066	0,043	0,005	0,001	0,029	1,91	14,38

3	40		-14,929	11,991	14,716	12,243	0,099	0,067	0,035	0,021	0,056	3,83	27,75
4	60		-14,947	12,033	14,687	12,265	0,117	0,109	0,064	0,043	0,083	5,74	41,63
5	80		-14,981	12,048	14,631	12,274	0,151	0,124	0,12	0,052	0,112	7,66	55,87
6	100		-15,003	12,062	14,59	12,274	0,173	0,138	0,161	0,052	0,131	9,57	65,50
7	120		-15,031	12,065	14,55	12,279	0,201	0,141	0,201	0,057	0,150	11,49	75,00
8	140		-15,054	12,067	14,508	12,279	0,224	0,143	0,243	0,057	0,167	13,40	83,38
9	160		-15,075	12,074	14,48	12,288	0,245	0,15	0,271	0,066	0,183	15,32	91,50
10	180		-15,101	12,076	14,428	12,288	0,271	0,152	0,323	0,066	0,203	17,23	101,50
11	200		-15,12	12,079	14,398	12,288	0,29	0,155	0,353	0,066	0,216	19,15	108,00
12	220		-15,149	12,083	14,356	12,288	0,319	0,159	0,395	0,066	0,235	21,06	117,38
13	240		-15,187	12,099	14,29	12,288	0,357	0,175	0,461	0,066	0,265	22,98	132,38
14	260		-15,223	12,137	14,214	12,288	0,393	0,213	0,537	0,066	0,302	24,89	151,13

A.8. lentelė. II – betonavimo etapo, betono išilginių santykinių deformacijų nustatymas (prie 20 °C)

Eilės	F	Bazė	Indikatorių rodmenys (mm)				Δl (mm)				Δl_{vid}	s_b	ε_c x 10^{-5}
Nr.	(kN)	(mm)	Nr. 1	Nr. 2	Nr. 3	Nr. 4	Nr. 1	Nr. 2	Nr. 3	Nr. 4	(mm)	MPa	
1	0	200	8,027	-0,567	11,089	4,781	0	0	0	0	0	0,00	0,00
2	20		8,032	-0,565	11,092	4,783	0,005	0,002	0,003	0,002	0,003	1,91	1,50
3	40		8,035	-0,556	11,095	4,793	0,008	0,011	0,006	0,012	0,009	3,83	4,63
4	60		8,042	-0,545	11,095	4,806	0,015	0,022	0,006	0,025	0,017	5,74	8,50
5	80		8,048	-0,539	11,1	4,815	0,021	0,028	0,011	0,034	0,024	7,66	11,75
6	100		8,058	-0,531	11,106	4,826	0,031	0,036	0,017	0,045	0,032	9,57	16,13
7	120		8,077	-0,52	11,11	4,836	0,05	0,047	0,021	0,055	0,043	11,49	21,63
8	140		8,089	-0,512	11,113	4,847	0,062	0,055	0,024	0,066	0,052	13,40	25,88
9	160		8,098	-0,502	11,12	4,857	0,071	0,065	0,031	0,076	0,061	15,32	30,38
10	180		8,107	-0,493	11,129	4,877	0,08	0,074	0,04	0,096	0,072	17,23	36,25
11	200		8,123	-0,483	11,136	4,893	0,096	0,084	0,047	0,112	0,085	19,15	42,37
12	220		8,131	-0,473	11,145	4,911	0,104	0,094	0,056	0,13	0,096	21,06	48,00
13	240		8,141	-0,466	11,146	4,926	0,114	0,101	0,057	0,145	0,104	22,98	52,13
14	260		8,152	-0,459	11,146	4,937	0,125	0,108	0,057	0,156	0,112	24,89	55,75
15	280		8,168	-0,455	11,15	4,951	0,141	0,112	0,061	0,17	0,121	26,81	60,50
16	300		8,187	-0,447	11,154	4,962	0,16	0,12	0,065	0,181	0,132	28,72	65,75

A.9. lentelė. II – betonavimo etapo, betono išilginių santykinių deformacijų nustatymas (prie 100 °C)

Eilės	F	Bazė	Indikatorių rodmenys (mm)				Δl (mm)				Δl_{vid}	s_b	ε_c x 10^{-5}
Nr.	(kN)	(mm)	Nr. 1	Nr. 2	Nr. 3	Nr. 4	Nr. 1	Nr. 2	Nr. 3	Nr. 4	(mm)	MPa	
1	0	200	17,608	9,796	12,857	8,525	0	0	0	0	0	0,00	0,00
2	20		17,616	9,806	12,865	8,536	0,008	0,01	0,008	0,011	0,009	1,91	4,62
3	40		17,623	9,807	12,866	8,542	0,015	0,011	0,009	0,017	0,013	3,83	6,50

4	60		17,631	9,807	12,871	8,547	0,023	0,011	0,014	0,022	0,018	5,74	8,75
5	80		17,638	9,811	12,873	8,561	0,03	0,015	0,016	0,036	0,024	7,66	12,13
6	100		17,653	9,812	12,876	8,576	0,045	0,016	0,019	0,051	0,033	9,57	16,37
7	120		17,66	9,819	12,89	8,597	0,052	0,023	0,033	0,072	0,045	11,49	22,50
8	140		17,673	9,834	12,906	8,61	0,065	0,038	0,049	0,085	0,059	13,40	29,62
9	160		17,684	9,859	12,922	8,633	0,076	0,063	0,065	0,108	0,078	15,32	39,00
10	180		17,692	9,887	12,94	8,652	0,084	0,091	0,083	0,127	0,096	17,23	48,13
11	200		17,704	9,905	12,966	8,663	0,096	0,109	0,109	0,138	0,113	19,15	56,50
12	220		17,719	9,922	12,985	8,675	0,111	0,126	0,128	0,15	0,129	21,06	64,38
13	240		17,742	9,938	12,993	8,693	0,134	0,142	0,136	0,168	0,145	22,98	72,50
14	260		17,755	9,977	13,023	8,731	0,147	0,181	0,166	0,206	0,175	24,89	87,50
15	280		17,77	9,995	13,045	8,758	0,162	0,199	0,188	0,233	0,196	26,81	97,75
16	300		17,801	10,004	13,063	8,784	0,193	0,208	0,206	0,259	0,217	28,72	108,25

A.10. lentelė. II – betonavimo etapo, betono išilginių santykinių deformacijų nustatymas (prie 300 °C)

Eilės	F	Bazė	Indikatorių rodmenys (mm)				Δl (mm)				Δl_{vid}	s_b	ε_c x 10^{-5}
Nr.	(kN)	(mm)	Nr. 1	Nr. 2	Nr. 3	Nr. 4	Nr. 1	Nr. 2	Nr. 3	Nr. 4	(mm)	MPa	
1	0	200	3,517	-0,567	9,079	6,761	0	0	0	0	0	0,00	0,00
2	20		3,528	-0,566	9,095	6,783	0,011	0,001	0,016	0,022	0,013	1,91	6,25
3	40		3,541	-0,566	9,102	6,796	0,024	0,001	0,023	0,035	0,021	3,83	10,38
4	60		3,537	-0,562	9,109	6,804	0,02	0,005	0,03	0,043	0,025	5,74	12,25
5	80		3,561	-0,549	9,119	6,817	0,044	0,018	0,04	0,056	0,040	7,66	19,75
6	100		3,581	-0,53	9,141	6,832	0,064	0,037	0,062	0,071	0,059	9,57	29,25
7	120		3,597	-0,519	9,155	6,846	0,08	0,048	0,076	0,085	0,072	11,49	36,13
8	140		3,612	-0,504	9,163	6,851	0,095	0,063	0,084	0,09	0,083	13,40	41,50
9	160		3,638	-0,482	9,175	6,865	0,121	0,085	0,096	0,104	0,102	15,32	50,75
10	180		3,657	-0,468	9,182	6,884	0,14	0,099	0,103	0,123	0,116	17,23	58,13
11	200		3,676	-0,451	9,198	6,903	0,159	0,116	0,119	0,142	0,134	19,15	67,00
12	220		3,699	-0,414	9,22	6,924	0,182	0,153	0,141	0,163	0,160	21,06	79,88
13	240		3,734	-0,398	9,237	6,952	0,217	0,169	0,158	0,191	0,184	22,98	91,88
14	260		3,764	-0,345	9,28	6,977	0,247	0,222	0,201	0,216	0,222	24,89	110,75
15	280		3,799	-0,276	9,359	7,011	0,282	0,291	0,28	0,25	0,276	26,81	137,88
16	300		3,821	-0,236	9,373	7,037	0,304	0,331	0,294	0,276	0,301	28,72	150,63

A.11. lentelė. II – betonavimo etapo, betono išilginių santykinių deformacijų nustatymas (prie 500 °C)

Eilės	F	Bazė	Indikatorių rodmenys (mm)				Δl (mm)				Δl_{vid}	s_b	ε_c x 10^{-5}
Nr.	(kN)	(mm)	Nr. 1	Nr. 2	Nr. 3	Nr. 4	Nr. 1	Nr. 2	Nr. 3	Nr. 4	(mm)	MPa	
1	0	200	-14,742	12,113	14,263	12,318	0	0	0	0	0	0	0
2	20		-14,806	12,134	14,262	12,329	0,064	0,021	0,001	0,011	0,024	1,91	12,12
3	40		-14,854	12,144	14,241	12,375	0,112	0,031	0,022	0,057	0,055	3,83	27,75
4	60		-14,872	12,179	14,21	12,396	0,13	0,066	0,053	0,078	0,082	5,74	40,88

5	80		-14,905	12,219	14,163	12,404	0,163	0,106	0,1	0,086	0,114	7,66	56,87
6	100		-14,939	12,238	14,135	12,404	0,197	0,125	0,128	0,086	0,134	9,57	67,00
7	120		-14,975	12,273	14,085	12,41	0,233	0,16	0,178	0,092	0,166	11,49	82,87
8	140		-14,999	12,318	14,058	12,429	0,257	0,205	0,205	0,111	0,195	13,40	97,25
9	160		-15,028	12,328	14,047	12,451	0,286	0,215	0,216	0,133	0,213	15,32	106,25
10	180		-15,048	12,352	14,038	12,476	0,306	0,239	0,225	0,158	0,232	17,23	116,00
11	200		-15,072	12,376	14,027	12,489	0,33	0,263	0,236	0,171	0,250	19,15	125,00
12	220		-15,1	12,428	14,017	12,51	0,358	0,315	0,246	0,192	0,278	21,06	138,88
13	240		-15,125	12,451	14,01	12,536	0,383	0,338	0,253	0,218	0,298	22,98	149,00
14	260		-15,152	12,469	14,002	12,562	0,41	0,356	0,261	0,244	0,318	24,89	158,88
15	280		-15,183	12,493	13,99	12,576	0,441	0,38	0,273	0,258	0,338	26,81	169,00
15	300		-15,218	12,512	13,975	12,576	0,476	0,399	0,288	0,258	0,355	28,72	177,63

A.12. lentelė. III – betonavimo etapo, betono išilginių santykinių deformacijų nustatymas (prie 20 °C)

Eilės	F	Bazė	Indikatorių rodmenys (mm)				Δl (mm)				Δl_{vid}	s_b	ε_c x 10^{-5}
Nr.	(kN)	(mm)	Nr. 1	Nr. 2	Nr. 3	Nr. 4	Nr. 1	Nr. 2	Nr. 3	Nr. 4	(mm)	MPa	
1	0	200	8,501	-0,481	11,008	4,294	0	0	0	0	0	0,00	0,00
2	20		8,509	-0,479	11,013	4,296	0,008	0,002	0,005	0,002	0,004	1,91	2,13
3	40		8,531	-0,466	11,025	4,3	0,03	0,015	0,017	0,006	0,017	3,83	8,50
4	60		8,554	-0,46	11,035	4,303	0,053	0,021	0,027	0,009	0,028	5,74	13,75
5	80		8,571	-0,458	11,05	4,304	0,07	0,023	0,042	0,01	0,036	7,66	18,13
6	100		8,577	-0,456	11,064	4,309	0,076	0,025	0,056	0,015	0,043	9,57	21,50
7	120		8,579	-0,455	11,072	4,322	0,078	0,026	0,064	0,028	0,049	11,49	24,50
8	140		8,583	-0,451	11,078	4,34	0,082	0,03	0,07	0,046	0,057	13,40	28,50
9	160		8,59	-0,447	11,085	4,355	0,089	0,034	0,077	0,061	0,065	15,32	32,63
10	180		8,595	-0,447	11,092	4,367	0,094	0,034	0,084	0,073	0,071	17,23	35,63
11	200		8,598	-0,446	11,101	4,372	0,097	0,035	0,093	0,078	0,076	19,15	37,88
12	220		8,603	-0,443	11,108	4,377	0,102	0,038	0,1	0,083	0,081	21,06	40,38
13	240		8,614	-0,441	11,112	4,388	0,113	0,04	0,104	0,094	0,088	22,98	43,88
14	260		8,621	-0,436	11,119	4,415	0,12	0,045	0,111	0,121	0,099	24,89	49,63
15	280		8,627	-0,439	11,128	4,434	0,126	0,042	0,12	0,14	0,107	26,81	53,50
16	300		8,636	-0,43	11,141	4,444	0,135	0,051	0,133	0,15	0,117	28,72	58,63

A.13. lentelė. III – betonavimo etapo, betono išilginių santykinių deformacijų nustatymas (prie 100 °C)

Eilės	F	Bazė	Indikatorių rodmenys (mm)				Δl (mm)				Δl_{vid}	s_b	ε_c x 10^{-5}
Nr.	(kN)	(mm)	Nr. 1	Nr. 2	Nr. 3	Nr. 4	Nr. 1	Nr. 2	Nr. 3	Nr. 4	(mm)	MPa	
1	0	200	7,611	1,121	5,498	-3,721	0	0	0	0	0	0,00	0,00
2	20		7,619	1,125	5,508	-3,7	0,008	0,004	0,01	0,021	0,011	1,91	5,38
3	40		7,624	1,125	5,511	-3,684	0,013	0,004	0,013	0,037	0,017	3,83	8,38
4	60		7,636	1,134	5,518	-3,673	0,025	0,013	0,02	0,048	0,027	5,74	13,25
5	80		7,651	1,152	5,525	-3,665	0,04	0,031	0,027	0,056	0,039	7,66	19,25

6	100		7,669	1,161	5,53	-3,656	0,058	0,04	0,032	0,065	0,049	9,57	24,38
7	120		7,676	1,171	5,536	-3,643	0,065	0,05	0,038	0,078	0,058	11,49	28,88
8	140		7,688	1,183	5,541	-3,631	0,077	0,062	0,043	0,09	0,068	13,40	34,00
9	160		7,704	1,2	5,564	-3,624	0,093	0,079	0,066	0,097	0,084	15,32	41,88
10	180		7,719	1,213	5,584	-3,613	0,108	0,092	0,086	0,108	0,099	17,23	49,25
11	200		7,732	1,228	5,601	-3,578	0,121	0,107	0,103	0,143	0,119	19,15	59,25
12	220		7,753	1,243	5,62	-3,551	0,142	0,122	0,122	0,17	0,139	21,06	69,50
13	240		7,753	1,251	5,63	-3,531	0,142	0,13	0,132	0,19	0,149	22,98	74,25
14	260		7,753	1,286	5,644	-3,508	0,142	0,165	0,146	0,213	0,167	24,89	83,25
15	280		7,753	1,3	5,669	-3,473	0,142	0,179	0,171	0,248	0,185	26,81	92,50
16	300		7,78	1,334	5,721	-3,423	0,169	0,213	0,223	0,298	0,226	28,72	112,88

A.14. lentelė. III – betonavimo etapo, betono išilginių santykinių deformacijų nustatymas (prie 300 °C)

Eilės	F	Bazė	Indikatorių rodmenys (mm)				Δl (mm)				Δl_{vid}	s_b	ε_c x 10^{-5}
Nr.	(kN)	(mm)	Nr. 1	Nr. 2	Nr. 3	Nr. 4	Nr. 1	Nr. 2	Nr. 3	Nr. 4	(mm)	MPa	
1	0	200	8,501	-0,481	11,008	4,294	0	0	0	0	0	0,00	0,00
2	20		8,509	-0,479	11,013	4,296	0,017	0,004	0,009	0,015	0,011	1,91	5,63
3	40		8,531	-0,466	11,025	4,3	0,022	0,004	0,013	0,04	0,020	3,83	9,88
4	60		8,554	-0,46	11,035	4,303	0,051	0,022	0,03	0,052	0,039	5,74	19,38
5	80		8,571	-0,458	11,05	4,304	0,064	0,035	0,045	0,059	0,051	7,66	25,38
6	100		8,577	-0,456	11,064	4,309	0,074	0,04	0,054	0,063	0,058	9,57	28,88
7	120		8,579	-0,455	11,072	4,322	0,09	0,056	0,078	0,078	0,076	11,49	37,75
8	140		8,583	-0,451	11,078	4,34	0,1	0,074	0,092	0,086	0,088	13,40	44,00
9	160		8,59	-0,447	11,085	4,355	0,117	0,088	0,105	0,1	0,103	15,32	51,25
10	180		8,595	-0,447	11,092	4,367	0,136	0,095	0,122	0,116	0,117	17,23	58,63
11	200		8,598	-0,446	11,101	4,372	0,157	0,1	0,137	0,144	0,135	19,15	67,25
12	220		8,603	-0,443	11,108	4,377	0,18	0,117	0,158	0,169	0,156	21,06	78,00
13	240		8,614	-0,441	11,112	4,388	0,202	0,129	0,182	0,19	0,176	22,98	87,88
14	260		8,621	-0,436	11,119	4,415	0,23	0,152	0,218	0,222	0,206	24,89	102,75
15	280		8,627	-0,439	11,128	4,434	0,249	0,211	0,277	0,301	0,260	26,81	129,75
16	300		8,636	-0,43	11,141	4,444	0,278	0,236	0,321	0,333	0,292	28,72	146,00

A.15. lentelė. III – betonavimo etapo, betono išilginių santykinių deformacijų nustatymas (prie 500 °C)

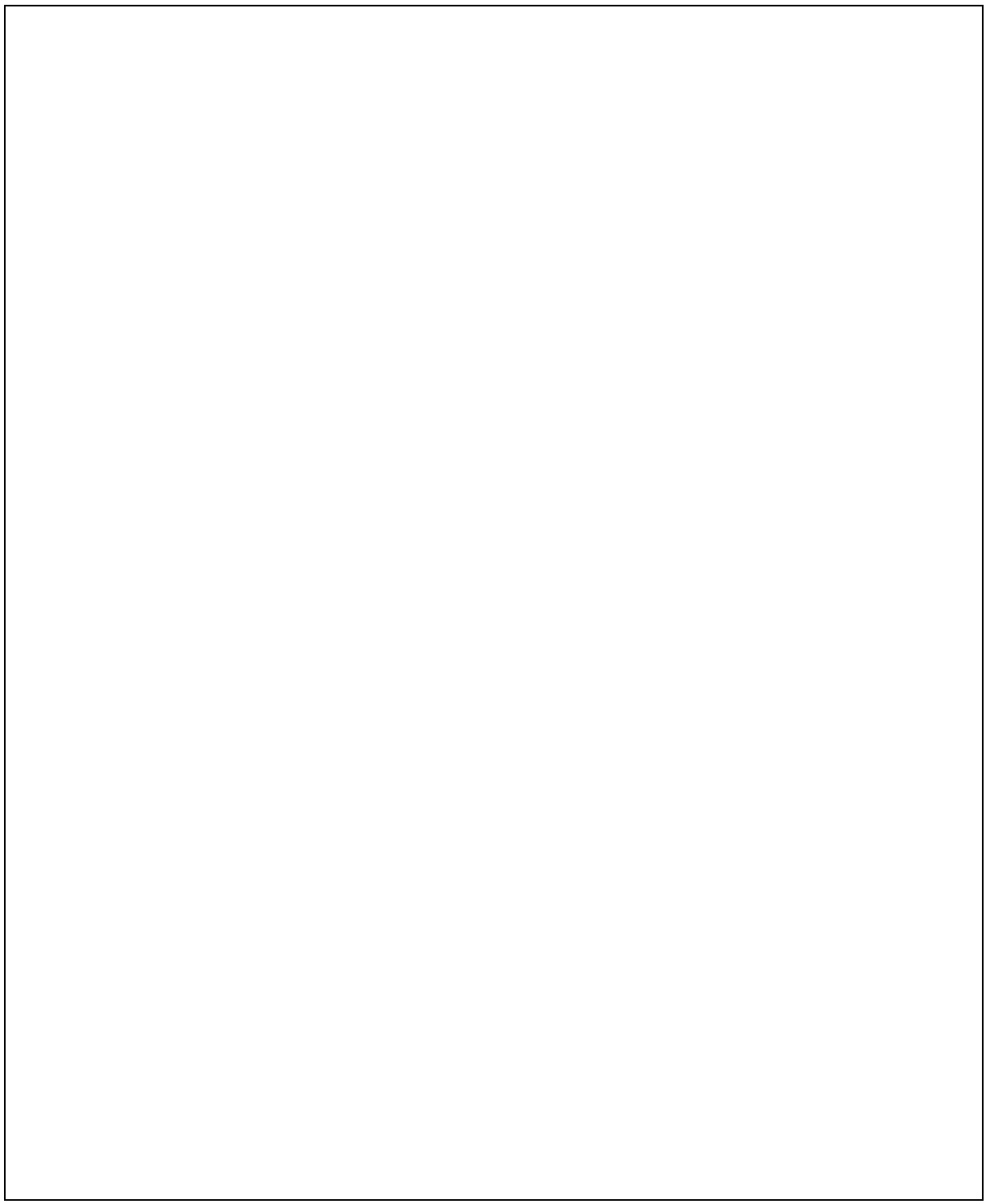
Eilės	F	Bazė	Indikatorių rodmenys (mm)				Δl (mm)				Δl_{vid}	s_b	ε_c x 10^{-5}
Nr.	(kN)	(mm)	Nr. 1	Nr. 2	Nr. 3	Nr. 4	Nr. 1	Nr. 2	Nr. 3	Nr. 4	(mm)	MPa	
1	0	200	-14,811	12,328	14,152	12,448	0	0	0	0	0	0	0
2	20		-14,923	12,371	14,152	12,455	0,112	0,043	0	0,007	0,041	1,91	20,25
3	40		-14,975	12,385	14,116	12,477	0,164	0,057	0,036	0,029	0,071	3,83	35,75
4	60		-14,999	12,446	14,066	12,482	0,188	0,118	0,086	0,034	0,107	5,74	53,25
5	80		-15,039	12,465	14,023	12,49	0,228	0,137	0,129	0,042	0,134	7,66	67,00
6	100		-15,071	12,511	13,988	12,49	0,26	0,183	0,164	0,042	0,162	9,57	81,12

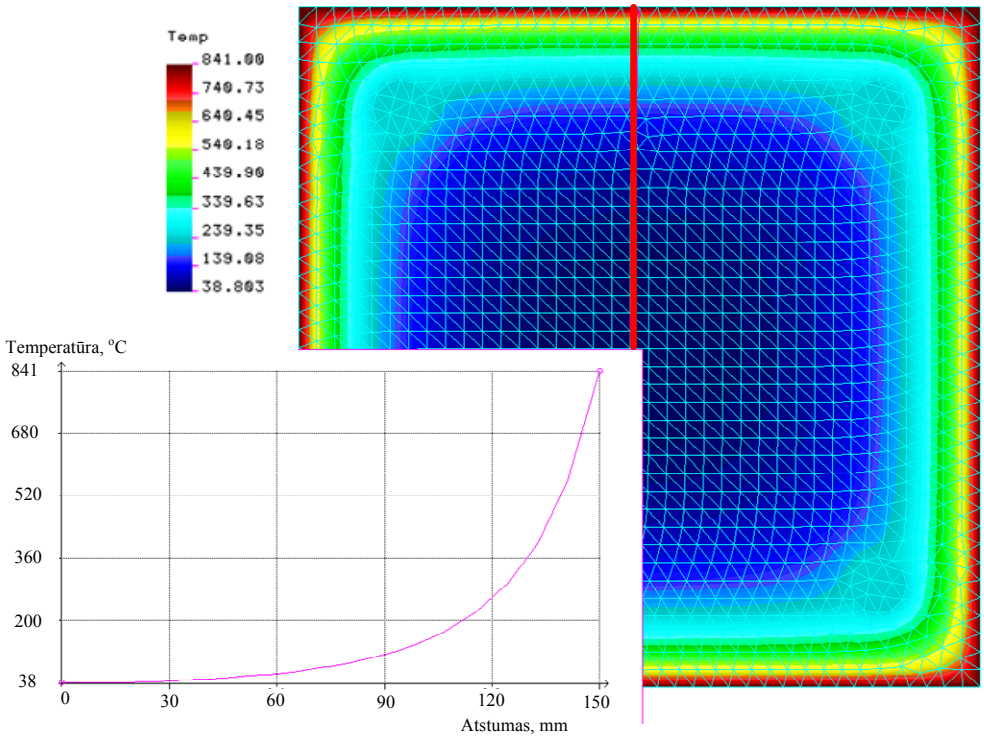
7	120		-15,112	12,567	13,957	12,49	0,301	0,239	0,195	0,042	0,194	11,49	97,12
8	140		-15,144	12,599	13,933	12,508	0,333	0,271	0,219	0,06	0,221	13,40	110,38
9	160		-15,183	12,64	13,906	12,508	0,372	0,312	0,246	0,06	0,248	15,32	123,75
10	180		-15,201	12,676	13,892	12,508	0,39	0,348	0,26	0,06	0,265	17,23	132,25
11	200		-15,229	12,718	13,875	12,508	0,418	0,39	0,277	0,06	0,286	19,15	143,13
12	220		-15,255	12,759	13,86	12,508	0,444	0,431	0,292	0,06	0,307	21,06	153,38
13	240		-15,31	12,806	13,84	12,508	0,499	0,478	0,312	0,06	0,337	22,98	168,63
14	260		-15,337	12,856	13,816	12,508	0,526	0,528	0,336	0,06	0,362	24,89	181,25
15	280		-15,376	12,903	13,789	12,508	0,565	0,575	0,363	0,06	0,391	26,81	195,38

B PRIEDAS

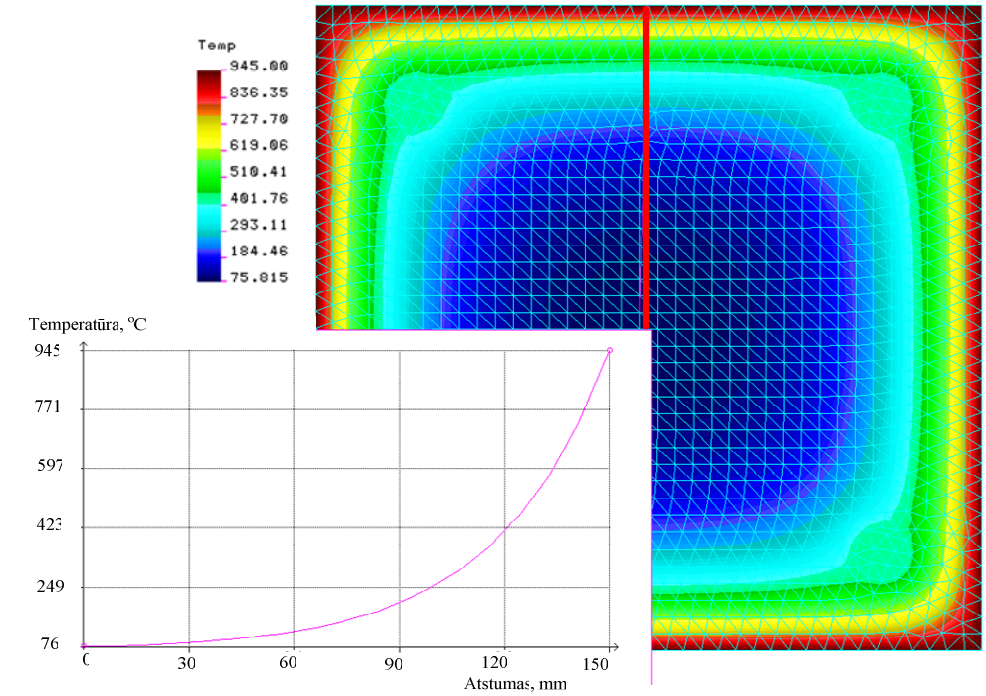
GELŽBETONINIO SKERSPJŪVIO TEMPERATŪRINIŲ LAUKŲ SUDARYMAS BAIGTINIŲ ELEMENTŲ PROGRAMA COSMOS/M

Žemiau pateiktas algoritmas gelžbetoninio skerspjuvio temperatūrniams laukams, nuo standartinio gaisro, gauti.

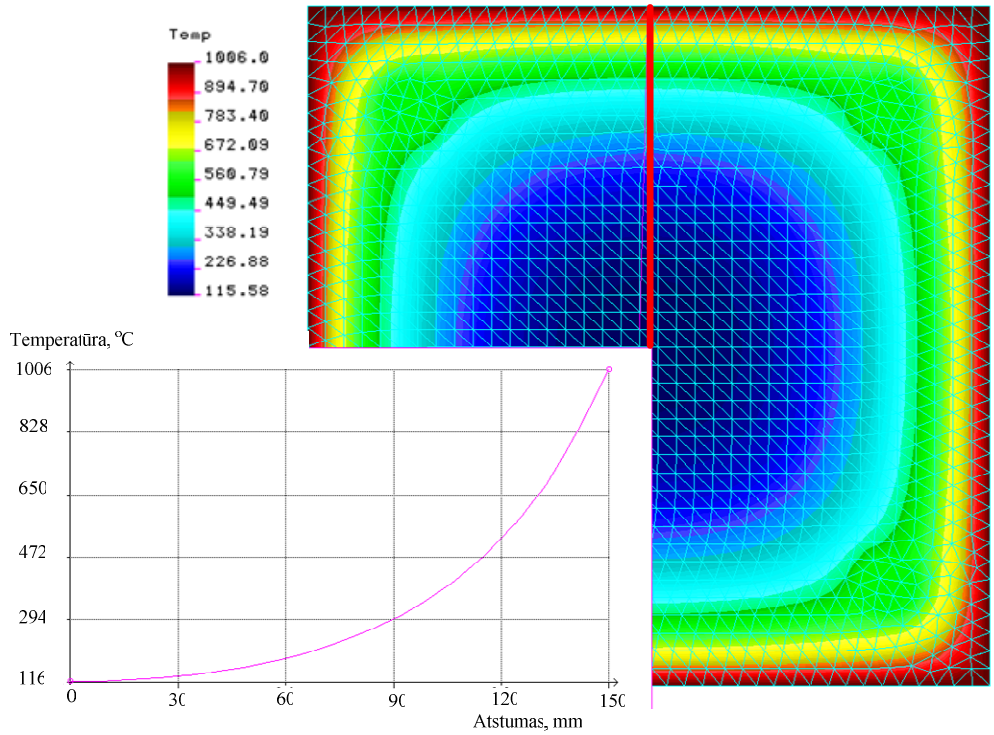




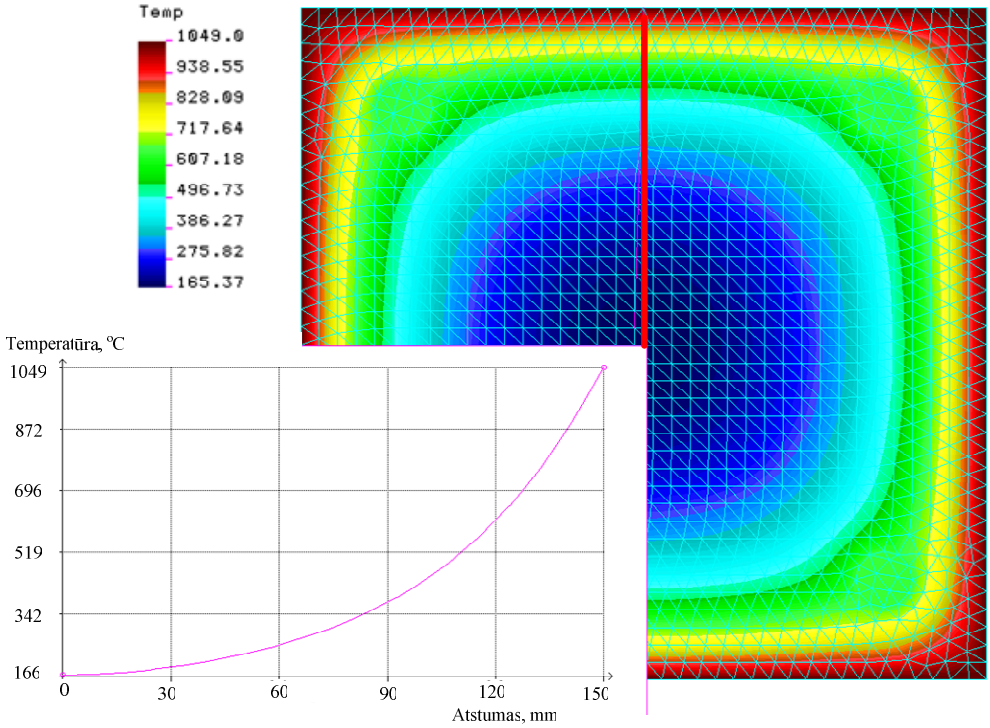
B.1. pav. Temperatūros pasiskirstymas skerspjūvyje nuo vidurio iki krašto (po 30 min)



B.2. pav. Temperatūros pasiskirstymas skerspjūvyje nuo vidurio iki krašto (po 60 min)



B.3. pav. Temperatūros pasiskirstymas skerspjūvyje nuo vidurio iki krašto (po 90 min)



B.4. pav. Temperatūros pasiskirstymas skerspjūvyje nuo vidurio iki krašto (po 120 min)

C PRIEDAS

KONSTRUKCIJOS LAIKOMOSIOS GALIOS KITIMAS ĮVERTINUS TEORINES IR EKSPERIMENTINES MEDŽIAGŲ SAVYBES

Pasinaudojant gautais temperatūriniais laukais, skaičiuojami du centriškai gniuždomo gelžbetonio elemento laikomosios galios nustatymo atvejai:

- panaudojant $f_c(\theta) / f_c(20°C)$ priklausomybę pagal [3];
- taikant eksperimentinius rezultatus imant vidutinę 3 – jų betonavimo etapų $k_c(\theta)$ reikšmę (6.1 pav.).

Žemiau pateikti skaičiavimai lentelių pavidalu pagal zonų metodą, kuris aprašytas (*4.3.4)* skyriuje. Gauti rezultatai pateikti darbo (*7.4)* skyriuje. Lentelėje (*P.3.5*) pateikti armatūros parametrai naudojami laikomosios galios skaičiavimuose tiek pagal ekspermentines, tiek pagal teotines $k_c(\theta)$*reikšmes.*

C.1. lentelė. Atmetamo betono sluoksnio a_z ir koeficiento k_{cm} skaičiavimas pagal eksperimentines $k_c(\theta)$ reikšmes

Eil. Nr.	Laikas [*min*]	Vidutinė zonos temperatūra °C					Atitinkamas koeficientas $k_c(\theta)$					k_{cm}	$k_c(\theta_M)$	Atmetama zona a_z [*mm*]	Maksimali a_z reikšmė [*mm*]	Skaičiavimuose naudojama a_z reikšmė [*mm*]
		Zonos numeris					Zonos numeris									
		nr. 1	*nr. 2*	*nr. 3*	*nr. 4*	*nr. 5*	*nr. 1*	*nr. 2*	*nr. 3*	*nr. 4*	*nr. 5*					
1.	**30**	40,72	50,00	79,62	170,06	539,78	0,938	0,910	0,821	0,790	0,680	0,795	0,943	29,92	17,14	17,14
2.	**60**	79,67	96,92	149,18	289,22	668,01	0,821	0,769	0,781	0,841	0,411	0,696	0,831	30,96	26,29	26,29
3.	**90**	121,05	147,08	221,41	387,22	753,08	0,769	0,780	0,812	0,810	0,233	0,654	0,767	28,18	37,14	28,18
4.	**120**	173,67	208,64	295,16	469,61	817,29	0,792	0,807	0,844	0,776	0,088	0,635	0,789	36,90	45,14	36,90

C.2. lentelė. Laikomosios galios skaičiavimas panaudojus eksperimentines $k_c(\theta)$ reikšmes

Eil. Nr.	Laikas [*min*]	Betono skerspjūvio plotas A_c atmetus a_z zoną	fck	Betono atlaikoma ašinė jėga	Armatūros atlaikoma ašinė jėga	Suminė atlaikoma ašinė jėga
		[mm^2]	[*MPa*]	[*kN*]	[*kN*]	[*kN*]
1.	**30**	70607,12	20	1122,21	526,62	1648,84
2.	**60**	61216,66	20	851,67	293,76	1145,43
3.	**90**	59360,45	20	775,92	196,32	972,24
4.	**120**	51166,44	20	649,76	90,99	740,75

C.3. lentelė. Atmetamo betono sluoksnio a_z ir koeficiento k_{cm} skaičiavimas pagal teorines $k_c(\theta)$ reikšmes

Eil. Nr.	Laikas [*min*]	Vidutinė zonos temperatūra °C					Atitinkamas koeficientas $k_c(\theta)$					k_{cm}	$k_c(\theta_M)$	Atmetama zona a_z [*mm*]	Maksimali a_z reikšmė [*mm*]	Skaičiavimuose naudojama a_z reikšmė [*mm*]
		Zonos numeris					Zonos numeris									
		nr. 1	*nr. 2*	*nr. 3*	*nr. 4*	*nr. 5*	*nr. 1*	*nr. 2*	*nr. 3*	*nr. 4*	*nr. 5*					
1.	**30**	40,72	50,00	79,62	170,06	539,78	1,0	1,0	1,0	0,964	0,540	0,865	1,0	25,82	17,14	17,14
2.	**60**	79,67	96,92	149,18	289,22	668,01	1,0	1,0	0,975	0,861	0,348	0,803	1,0	37,16	26,29	26,29
3.	**90**	121,05	147,08	221,41	387,22	753,08	0,989	0,976	0,929	0,763	0,220	0,744	0,991	46,60	37,14	37,14
4.	**120**	173,67	208,64	295,16	469,61	817,29	0,963	0,941	0,855	0,646	0,138	0,680	0,966	54,92	45,14	45,14

C.4. lentelė. Laikomosios galios skaičiavimas panaudojus teorines $k_c(\theta)$ reikšmes

Eil. Nr.	Laikas [*min*]	Betono skerspjūvio plotas A_c atmetus a_z zoną	fck	Betono atlaikoma ašinė jėga	Armatūros atlaikoma ašinė jėga	Suminė atlaikoma ašinė jėga
		[mm^2]	[*MPa*]	[*kN*]	[*kN*]	[*kN*]
1.	**30**	70607,12	20	1221,18	526,62	1747,80
2.	**60**	61216,66	20	983,54	293,76	1277,30
3.	**90**	50949,52	20	758,52	196,32	954,84
4.	**120**	43982,48	20	598,39	90,99	689,38

C.5. lentelė. Armatūros parametrai laikomosios galios skaičiavimams

Eil. Nr.	Laikas [*min*]	Armatūros parametrai				Armatūros skerspjūvio plotas A_s	Atlaikoma ašinė jėga
		Temperatūra	k_s	f_{yk}	$f_{yd}(\theta)$		
		°C		[*MPa*]	[*Mpa*]	[mm^2]	[*kN*]
1.	**30**	237,65	0,735	365	268,28	1963	526,62
2.	**60**	416,28	0,410	365	149,65	1963	293,76
3.	**90**	547,86	0,274	365	100,01	1963	196,32
4.	**120**	648,32	0,127	365	46,36	1963	90,99

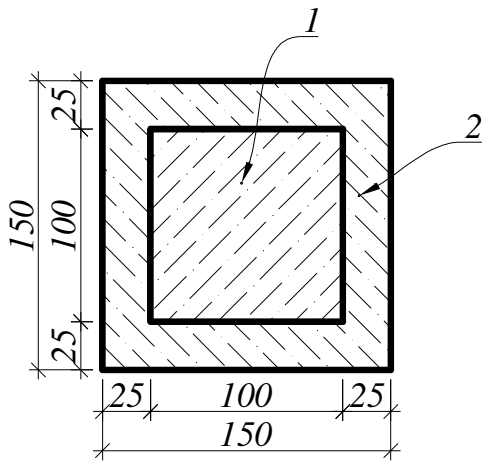
D PRIEDAS

LAIKOMOSIOS GALIOS ATSTATYMAS

Atliekant stiprinamos konstrukcijos bandymus buvo norima išsiaiškinti:

- įtaką elemento laikomajai galiai, kai apibetonuota prizmė dirba kartu su apvalkalu ir kai visa gniuždymo jėga yra perduodama vien tik prizmei;
- kokią įtaką laikomąjai galiai sustiprinimas turėjo kaitintiem ir nepažeistiem elementam;
- skirtumą tarp eksperimento būdu gautų rezultatų ir teorinių skaičiavimų.

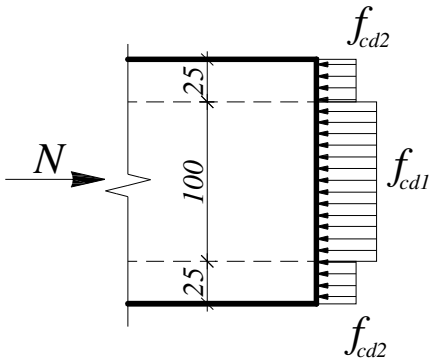
Visi skaičiavimai pateikti žemiau esančiose lentelėse.



D.1. pav. Sustiprinto elemento schema:
1 – stiprinama prizmė, 2 – naujas betono sluoksnis

D.1. lentelė. Papildomo betono sluoksnio kubelių bandymo rezultatai

Bandinio eilės nr.	Bandinio kraštinių matmenys		Bandinio skerspjūvio plotas	Ribinė jėga	Mastelio faktorius	Redukuotas etaloninio kubo stiprumas $R_{i,15}$	Vidutinis betono kubinis stiprumas R_m
	ilgis	plotis					
	[*mm*]	[*mm*]	[mm^2]	[*kN*]		[*MPa*]	[*MPa*]
1	101,3	101,0	10230,3	335,2	0,91	29,8	28,2
2	101,7	100,8	10253,4	296,6	0,91	26,3	
3	101,8	100,1	10185,2	284,3	0,91	25,4	
4	101,1	99,1	10015,9	307,4	0,91	27,9	
5	102,8	99,2	10197,8	343,8	0,91	30,7	
6	102,9	99,8	10269,5	319,0	0,91	28,3	
7	102,2	99,0	10108,8	337,4	0,91	30,4	
8	102,2	98,8	10101,3	298,0	0,91	26,8	



D.2. pav. Skaičiuojamoji elemento schema kai apkrova perduodama visam elementui:
f_{cd1} – prizmės skaičiuotinis betono stiprumas, f_{cd2} – naujo betono sluoksnio skaičiuotinis stiprumas

Skaičiavimai atliekami sustiprintam, visu skerspjūvio plotu apkrautam elementui, pagal skaičiuotine schemą pateiktą paveiksle (*P4.2. pav*.).

D.2. lentelė. Eksperimentiniai ir teoriniai laikomosios galios skaičiavimai, kai elementui gniuždymo jėga pridėta visame skerspjūvio plote, panaudojant charakteristines betono stiprumo reikšmes

Eilės nr.	Apibetonuota nekaitinta prizmė							
	Prizmės plotas A_{c1} [mm^2]	Apvalkalo plotas A_{c2} [mm^2]	f_{ck1} [Mpa]	f_{ck2} [Mpa]	Prizmės atlaikoma ašinė jėga N_1 [kN]	Apvalkalo atlaikoma ašinė jėga N_2 [kN]	Suminė atlaikoma ašinė jėga [kN]	Bandymo metu atlaikyta ašinė jėga N [kN]
1	10444.71	12055.29	43.47	23.30	454.03	280.89	734.92	532.3
2	10166.60	12333.40	48.21	23.30	490.13	287.37	777.50	544.4
3	10037.65	12462.35	54.12	23.30	543.24	290.37	833.61	563.1
	Apibetonuota kaitinta prizmė							
1	10330.64	12169.36	30.63	23.30	316.43	283.55	599.97	486.2
2	10369.30	12130.70	27.27	23.30	282.77	282.65	565.42	505.3
3	10293.06	12206.94	44.52	23.30	458.25	284.42	742.67	509.4

D.3. lentelė. Eksperimentiniai ir teoriniai laikomosios galios skaičiavimai, kai elementui gniuždymo jėga pridėta visame skerspjūvio plote, panaudojant skaičiuotines betono stiprumo reikšmes

Eilės nr.	Apibetonuota nekaitinta prizmė							
	Prizmės plotas A_{c1} [mm^2]	Apvalkalo plotas A_{c2} [mm^2]	f_{cd1} [Mpa]	f_{cd2} [Mpa]	Prizmės atlaikoma ašinė jėga N_1 [kN]	Apvalkalo atlaikoma ašinė jėga N_2 [kN]	Suminė atlaikoma ašinė jėga [kN]	Bandymo metu atlaikyta ašinė jėga N [kN]
1	10444.71	12055.29	26.08	13.98	272.40	168.53	440.93	532.3
2	10166.60	12333.40	28.93	13.98	294.12	172.42	466.54	544.4
3	10037.65	12462.35	32.47	13.98	325.92	174.22	500.15	563.1
	Apibetonuota kaitinta prizmė							
1	10330.64	12169.36	18.38	13.98	189.88	170.13	360.00	486.2
2	10369.30	12130.70	16.36	13.98	169.64	169.59	339.23	505.3
3	10293.06	12206.94	26.71	13.98	274.93	170.65	445.58	509.4

Teoriniam laikomosios galios skaičiavimui nustatomi betono charakteristiniai rodikliai. Skaičiavimų rezultatai pateikti lentelėje (*P4.4 lentelė*).

D.4. lentelė. Eksperimentiniai ir teoriniai laikomosios galios skaičiavimai, kai elementui gniuždymo jėga pridėta visame skerspjūvio plote

I – betonavimo etapo kubeliai išbadyti normaliomis sąlygomis							
Eilės nr.	Redukuotas standartinio kubo stiprumas *fci*,15	Vidutinis stiprumas *fcm*	Statistiniai betono kintamumo rodikliai		Patikimumo rodiklis	Charakteristiniai betono stipriai pagal saugos ribinį būvį	
			Sf	*δf*		*fck*	*fcd*
1	45,4	50,8	4,47	0,09	1,64	43,47	26,08
2	52,1						
3	56,1						
4	49,8						
I – betonavimo etapo kubeliai išbadyti atkaitinus iki 500 C							
1	33,9	37,0	3,88	0,10	1,64	30,63	18,38
2	42,6						
3	35,1						
4	36,2						
II – betonavimo etapo kubeliai išbadyti normaliomis sąlygomis							
1	48,8	50,4	1,33	0,03	1,64	48,21	28,93
2	49,8						
3	51,5						
4	51,5						
II – betonavimo etapo kubeliai išbadyti atkaitinus iki 500 C							
1	30,3	39,8	7,64	0,19	1,64	27,27	16,36
2	43,0						
3	37,8						
4	48,2						
III – betonavimo etapo kubeliai išbadyti normaliomis sąlygomis							
1	54,8	60,1	3,64	0,06	1,64	54,12	32,47
2	62,7						
3	60,5						
4	62,3						
III – betonavimo etapo kubeliai išbadyti atkaitinus iki 500 C							
1	44,9	46,4	1,15	0,02	1,64	44,52	26,71
2	47,6						
3	46,3						
4	46,9						
Papildomo sluoksnio rodikliai							
1	29,8	28,2	2,99	0,11	1,64	23,30	13,98
2	26,3						
3	25,4						
4	27,9						
5	30,7						
6	28,3						
7	30,4						
8	26,8						

E PRIEDAS

PRIDEDAMA KONFERENCIJOS MEDŽIAGA