



NEAPSAUGOTŲJŲ KOMPOZITINIŲ PLIENINIŲ-BETONINIŲ PLOKŠČIŲ ELGSENOS UGNYJE SKAIČIAVIMAS

Gediminas Razma¹, Audronis Kazimieras Kvedaras²

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

El. paštas: ¹gediminas.razma@ruukki.com;

²audronis-kazimieras.kvedaras@vgtu.lt (corresponding author)

Įteikta 2011 06 02; priimta 2012 02 01

Santrauka. Straipsnyje nagrinėjamas kompozitinių plieninių-betoninių plokščių elgsena ugnyje. Pateikiamas kompozitinės plieninės-betoninės plokštės aprašymas ir tokios konstrukcijos naudojimo pranašumai. Trumpai aprašyti konstrukcijų elgsenos ugnyje skaičiavimo būdai. Pristatomas neapsaugotųjų kompozitinių plokščių, iš apačios veikiamų gaisro pagal standartinę laikinę temperatūros kreivę, elgsenos ugnyje skaičiavimo modelis pagal EN 1994-1-2:2005. Pagal aptartą modelį atlikti teoriniai kompozitinės plieninės-betoninės plokštės laiko-mojo lenkiamojo momento skaičiavimai, kai nėra išilginės armatūros ir kai plokštė armuota išilgine armatūra.

Reikšminiai žodžiai: kompozitinė plieninė-betoninė plokštė, atsparumas ugniai, šilumos izoliavimas, gaisro poveikio skaičiavimas, lenkiamoji galia.

1. Įvadas

Kompozitinės plieninės-betoninės konstrukcijos imtos naudoti statybose apie 1926 metus. Per paskutinius metus šio tipo konstrukcijų naudojimas statiniams labai išaugo dėl jų pranašumų, lyginant su įprastinėmis konstrukcijomis. Optimaliai (Marčiukaitis 2001) parenkant ir išdėstant kompozitines plienines-betonines konstrukcijas sudarančias sudedamąsias dalis, geriau išnaudojamos jų fizikinės ir mechaninės savybės.

Kaip rodo atlikta kitų autorių tyrimų apžvalga ir analizė, pastaraisiais dešimtmečiais pasaulyje atlikta daugybė teorinių skaičiavimų ir eksperimentų su konstrukcijomis, veikiamomis gaisro temperatūrų. Daugelis šių skaičiavimų ir tyrimų buvo skirti skaičiuoti elementų elgseną ugnyje, tačiau tikslesniems duomenims gauti reikėtų atlikti visos konstrukcijos arba jos dalies elgsenos ugnyje skaičiavimą ir tyrimą.

Daug informacijos (British Steel plc, Technology Centre 1999) apie gaisro temperatūrų poveikį kompozitinėms plieninėms-betoninėms plokštėms buvo gauta Anglijoje atlikus tyrimus natūralių Broadgate ir Churchill Plaza gaisrų sąlygomis ir Amerikoje (Choi *et al.* 2003) po įvykdyto teroro akto Pasaulio prekybos

centre (World Trade Center). Taip pat daug tokios informacijos suteikė BHP (Broken Hill Proprietary) tyrimai, atlikti Australijoje, Štutgarto (Stuttgart) Vaihingeno universiteto tyrimai Vokietijoje, Kardingtono (Cardington) ir BRE (Building Research Establishment) tyrimai Anglijoje, Kanterburio (Canterbury) universiteto tyrimai Naujojoje Zelandijoje.

Tikras gaisras Anglijoje (Broadgate) ir (Cardington) eksperimentas sukelti gaisru metalinių griaučių pastate (British Steel plc, Swinden Technology Centre 1999) parodė, kad kompozitinės plieninės-betoninės perdangų plokštės ir be papildomos apsaugos nesuyra veikiamos gaisro temperatūrų. Eksperimento metu plieninis lakštinis profiliuotis ir visos plieninės sijos buvo neapsaugotos nuo tiesioginio gaisro poveikio, o kolonos buvo iki galo apsaugotos. Didžiausia temperatūra bandymo metu viršijo 1000 °C. Plokštės įlankis pasiekė $L/20$, bet griūtis neįvyko. Eksperimentas parodė, kad neapsaugotos sijos susilpnėja aukštesse temperatūrose, todėl apkrova palaipsniui perduodama kompozitinei plieninei-betoninei plokštei. Šiuo atveju pasireiškia plokštės, kaip diafragmos ar membranos, teigiamas poveikis (Allam *et al.* 2000).

Metalinės konstrukcijos nėra labai atsparios ugniai. Aukštoje temperatūroje (gaisro metu temperatūra pakyla daugiau kaip iki 1000 °C) plienas greitai įkaista ir netenka savo pradinio stiprumo. Pakilus temperatūrai iki 500 °C, plieno stiprumas sumažėja 50 %. Norint apsaugoti nuo gaisro, plieninės konstrukcijos apdengiamos ugniai atspariomis medžiagomis. Efektyviausia ir dažniausiai naudojama plieninių perdangos elementų gaisrinės saugos priemonė – jų apibetonavimas. Betono sluoksnis yra ne tik priešgaisrinė ir antikorozinė priemonė, bet kartu yra ir sudėtinė konstrukcijos dalis. Kompozitinėje perdangos plokštėje kietėjantis betonas gerai sukimba su plieniniu lakštiniu profiliuočiu ir naudojant dirba kartu. Betono ir plieno gerą sąveiką lemia ir labai artimos jų temperatūrinės deformacijos ($\alpha_{tb} = 0,9-1,4 \cdot 10^{-5}$ ir $\alpha_{ta} = 1,2 \cdot 10^{-5}$).

Bailey (2002) atlikti moksliniai tyrimai parodė, kad nebūtina apsaugoti visų gaisro veikiamų plieninių laikančiųjų konstrukcijų (kolonų, sijų, santvarų), jei perdangoms naudojamos kompozitinės plieninės-betoninės plokštės ir atsižvelgiama į jų membraninį poveikį. Dėl plokštės membraninio poveikio gana didelis (apie 40–50 %) plieninių sijų skaičius gali būti paliktas neapsaugotas. Tai padėtų sutaupyti lėšų dėl nereikalingų apsaugai naudoti medžiagų ir sutaupyti laiką, būtiną apsaugai nuo gaisro poveikio įrengti.

Atsižvelgiant į tai, kompozitinių plieninių-betoninių konstrukcijų naujų racionalių projektinių sprendinių paieška ir elgsenos tyrimai, įskaitant ir situacijas, kai konstrukcijas tiesiogiai veikia gaisro temperatūros, yra erdvė, kurioje tyrimams gali rasti savo nišą Lietuvos ir užsienio šalių mokslininkai, atsižvelgdami į tokių konstrukcijų poreikį statybos pramonei ir mokslinę bei techninę perspektyvą.

Šiame straipsnyje analizuojamas neapsaugotų kompozitinių plieninių-betoninių plokščių, iš apačios veikiamų gaisro pagal standartinę laikinę temperatūros kreivę, elgsenos ugnyje skaičiavimo modelis.

2. Kompozitinė plieninė-betoninė plokštė

Kaip nurodo Nagy, Szatmari (1998), rifliuotoji geležis, šiuolaikinio plieninio trapecinio profiliuoties prototipas, buvo užpatentuota 1829 m. Geležies formavimas į plonus lakštus su briaunomis, suteikiant daugiau standumo gaminiui, buvo Henrio Robinsono Palmerio idėja, kuris dirbo vienoje iš Londono uosto įmonių. Kompozitinės plieninės-betoninės plokštės padaromos iš lakštinio profiliuoties, kuris yra kaip liekamasis klo-

jynys, dangų įrengimo būdas labai paplitęs pastatuose su metaliniu laikančiuoju strypynu. Šis konstrukcijos tipas yra labai veiksmingas, nes gerai išnaudojamas plieno tempiamasis ir betono gniuždomasis stipriai. Darbo aikštelės kompozitinės perdangos iš lakštinių profiliuoties įrengimo vaizdas pateiktas 1 pav.

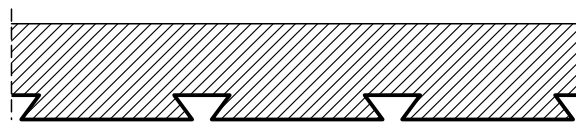
Būdingi betoninių plokščių su plieniniais lakštiniais profiliuočiais pavyzdžiai pateikti 2–4 pav.

Pasak Johnson (2004), plieniniai lakštiniai profiliuočiai, naudojami kompozitinėms plieninėms-betoninėms perdangoms, dažniausiai gaminami iš lakštinio plieno, kurio stipris pagal takumo ribą gali būti S350



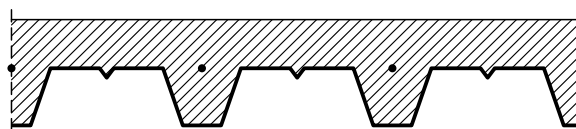
1 pav. Kompozitinės plieninės-betoninės plokštės prieš betonuojant (lakštiniai profiliuočiai sumontuoti ant metalinio sijyno)

Fig. 1. A typical example of composite steel-concrete slab before concreting, showing profiled decking placed on a steel frame



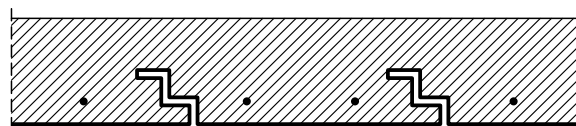
2 pav. Trapecinis lakštinis profiliuoties

Fig. 2. Trapezoidal profiled sheet



3 pav. Atvirkštinis trapecinis lakštinis profiliuoties

Fig. 3. Re-entrant profiled sheet



4 pav. Plokščiasis lakštinis profiliuoties su jungėmis

Fig. 4. Flat profiled sheet with connectors

arba S320, o storis nuo 0,7 mm iki 1,1 mm. Profiliuotai gali būti cinkuoti (iš abiejų pusių) sunaudojus 275 g/m² cinko arba papildomai dengti apsaugine baltos spalvos polimerine 20–50 µm (iš vienos pusės) storio danga.

Literatūroje (Rackham *et al.* 2009; Johnson 2004) nurodomi tokie kompozitinės plieninės-betoninės konstrukcijos pranašumai:

- lakštinis profiliuotis yra kaip liekamasis klojinys; išbaigta apatinės pusės apdaila;
- sutaupoma iki 30 % betono (lyginant su gelžbetonine lygiaverte perdanga);
- turima darbo platforma įrengiant perdangą, kai statybvietėje betonas liejamas ant lakštinio plieninio profiliuotio.

Apibendrinamosiose išvadose (Marčiukaitis 2001) išskiriami tokie kompozitinės plieninės-betoninės plokštės pranašumai:

- geresnės šilumos izoliacijos ir akustinės savybės;
- gaunamas didesnis stiprumas, pastovumas ir standumas naudojant mažiau medžiagų;
- mažesnis atskirų pastato elementų ir viso pastato svoris, mažesni konstrukcijų skerspjūvių matmenys;
- atitinkamai išdėsčius konstrukcijos sluoksnius, maksimaliai naudojamos visos medžiagų savybės;
- galimybė sumažinti svorį ir išorinius matmenis konstrukcijų, ant kurių atremiamos arba prie kurių tvirtinamos kompozitinės konstrukcijos su šilumos izoliacijos sluoksniais;
- galimybė sumažinti konstrukcijų gamybos energijos ir pervežimo ir montavimo išlaidas;
- galimybė sutrumpinti statybos trukmę;
- galimybė išvengti nelaimių statybos metu.

Nepaisant šios konstrukcijos pranašumų, nurodytų veikiant normaliose temperatūrose, literatūroje (Marčiukaitis *et al.* 2007) teigiama, kad daugeliui civilinių ir pramoninių pastatų gresia gaisro pavojus ir konstrukcijas gali veikti gaisro temperatūros. Turi būti atsižvelgta į įvairius veiksnius, turinčius poveikį elementų elgsenai ugnyje.

3. Elgsenos ugnyje skaičiavimo būdai

Kai kuriais duomenimis (Fire safety. Basic requirements 2004), pagrindiniai gaisrinės saugos tikslai – kilus gaisrui riboti riziką asmenims ir visuomenei, šalia esančiam turtui, o kai reikia – aplinkai arba tiesio-

giai veikiamam turtui. Statybos gaminių direktyvoje (Construction Products Directive 89/106/EEC 1989) pateikiamas toks esminis gaisro rizikos ribojimo reikalavimas – statiniai turi būti suprojektuoti ir pastatyti taip, kad kilus gaisrui:

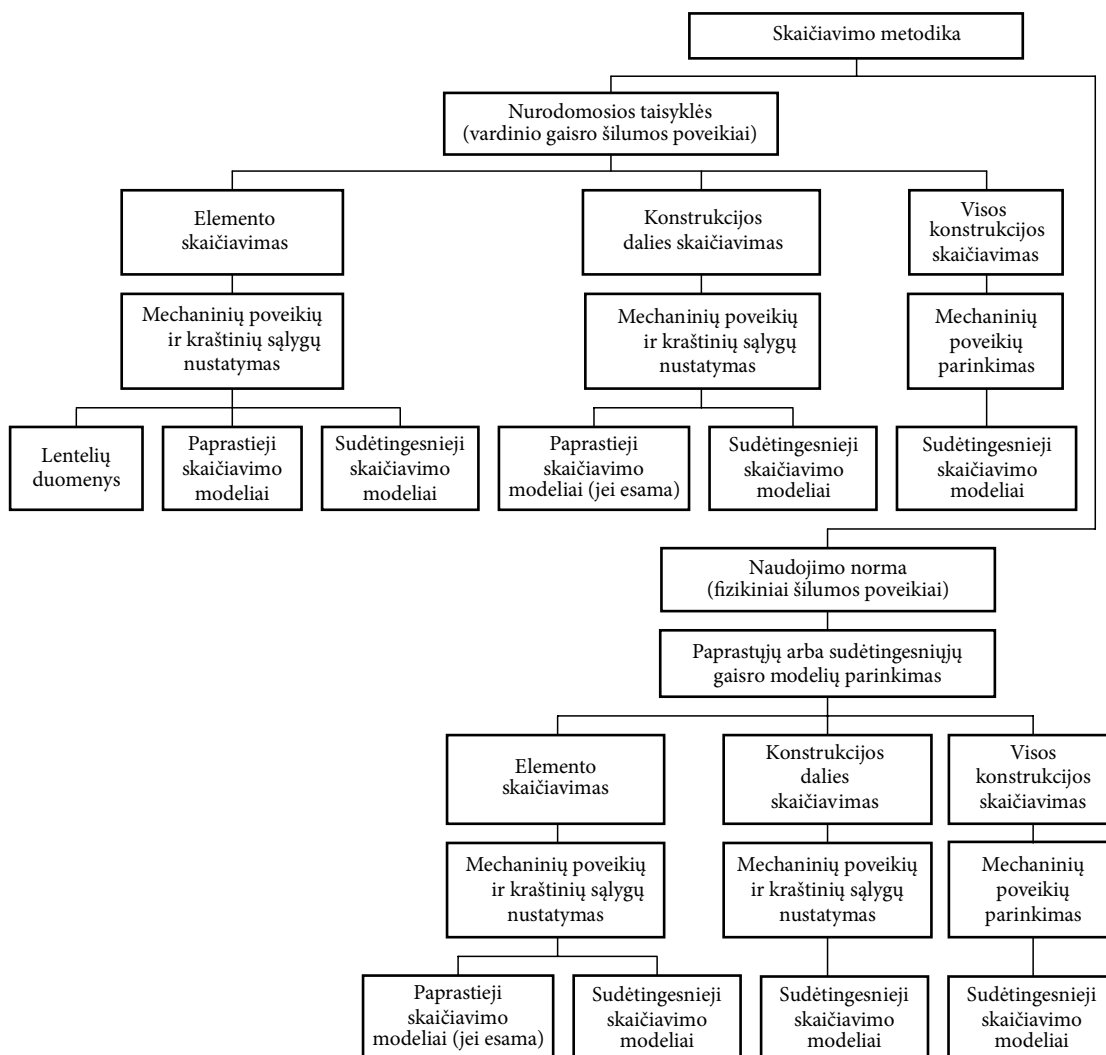
- konstrukcija nustatytą laiko tarpą galėtų atlaikyti apkrovą;
- būtų apribotas ugnies ir dūmų plitimas statinyje;
- nebūtų leistas gaisro plitimas į gretimus statinius;
- žmonės galėtų saugiai palikti statinį arba būtų išgelbėti kitais būdais;
- būtų atsižvelgta į gelbėjimo komandų saugumą.

Rengiant statinio projekto gaisrinės saugos dalį, reikia įvertinti gaisro temperatūrų veikiamos konstrukcinės sistemos elgseną, galimą šilumos poveikį ir teigiamus aktyviųjų ir pasyviųjų apsaugos nuo gaisro sistemų poveikius kartu su šių trijų savybių neapibrėžtumais ir konstrukcijų griūties pasekmėmis. Turi būti nagrinėjami gaisro veikiamų konstrukcijų šiluminiai ir mechaniniai poveikiai, numatoma, kaip atsižvelgti į tas konstrukcijų projektavimo normų dalis, kuriose pateiktos nuorodos, kaip skaičiuoti konstrukcijų elgseną ugnyje (5 pav.).

Laikančiosios konstrukcijos, be atskyrimo nuo gaisro funkcijų, turi būti projektuojamos ir konstruojamos taip, kad jų laikomoji funkcija R būtų pakankama. Gaisro veikiamos konstrukcijos ir elementai su atskyrimo nuo ugnies funkcijomis turi būti projektuojami ir konstruojami taip, kad būtų pakankamas jų sandarumas E – neturi atsiverti didelių plyšių, susidaryti skylių ir kitokių ertmių, kurios leistų gaisrui plisti į kitas patalpas. Izoliavimas I – konstrukcijos šilumą izoliuojančios savybės turi būti tokios, kad gaisro sąlygomis neužsidegtų tiesiogiai gaisro neveikiamų konstrukcijų paviršiai, kad nuo šilumos spinduliavimo būtų apsaugojamos gaisro nepaliestosios konstrukcijų pusės.

4. Kompozitinės plokštės elgsenos ugnyje skaičiavimo modelis pagal EN 1994-1-2:2005

Šiame skyriuje pateikiamas neapsaugotos kompozitinės plieninės-betoninės plokštės, iš apačios veikiamos gaisro pagal standartinę laikinę temperatūros kreivę, atsparumo ugniai skaičiavimo modelis. Tarptautinėje praktikoje imta naudoti standartinę laikinę temperatūros kreivę yra įprastinis modelis, taikomas vertinant išsivysčiusio gaisro veikiamų statybos produktų elgsenai



5 pav. Konstrukcijų elgsenos ugnyje skaičiavimo schema
 Fig. 5. Methods for calculating structural behaviour in fire

įvertinti. Ši laikinė temperatūros kreivė yra supaprastintas temperatūrinio poveikio vaizdavimas aprašomas lygtimi:

$$T = 345 \log_{10}(8t + 1) + 20, \quad (1)$$

čia T – bandymo temperatūra krosnyje, °C; t – šiluminio eksponavimo trukmė gaisrinio bandymo metu, mm.

4.1. Atsparumas ugniai pagal šilumos izoliavimą

Neapsaugotosios kompozitinės plieninės-betoninės plokštės atsparumo ugniai pagal vidutinį temperatūros padidėjimą (= 140 °C) ir didžiausią temperatūros padidėjimą (= 180 °C) I (izoliavimo kriterijus) gali būti nustatomas iš šios lygties:

$$t_i = a_0 + a_1 h_1 + a_2 \Phi + a_3 \frac{A}{L_r} + a_4 \frac{1}{l_3} + a_5 \frac{A}{L_r} \frac{1}{l_3}, \quad (2)$$

čia a_i – atsparumo ugniai pagal šilumos izoliavimą

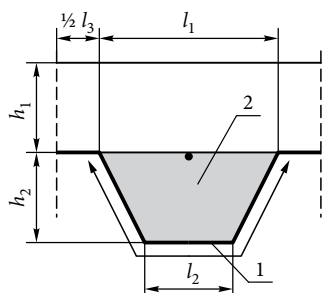
nustatymo koeficientai; t_i – atsparumas ugniai pagal šilumos izoliavimą, min; A – briaunos vienetinio ilgio betono tūris, mm³/m; L_r – briaunos vienetinio ilgio veikiamas briaunos plotas, mm³/m; – briaunos pavidalo koeficientas A/L_r , mm; Φ – viršutinės lentynos regimojo lauko koeficientas; l_3 – viršutinės lentynos plotis, mm.

Koeficientų a_i , skirtingų įprastinio ir lengvojo betono aukščiui h_1 , reikšmės pateiktos 6 pav. ir 1 lentelėje.

Briaunos matmenų koeficientas apskaičiuojamas taip:

$$\frac{A}{L_r} = h_2 \left(\frac{l_1 + l_2}{2} \right) / \left[l_2 + 2 \sqrt{h_2^2 + \left(\frac{l_1 - l_2}{2} \right)^2} \right]. \quad (3)$$

Viršutinės lentynos regimojo lauko koeficientas Φ gali būti nustatomas taip:



6 pav. Kompozitinių plokščių briaunos matmenų koeficientas \$A/L_y\$; 1 – ugnies veikiamas paviršius \$L_y\$; 2 – plotas \$A\$

Fig. 6. The edge geometry coefficient \$A/L_y\$ of composite slabs: 1 – working surface \$L_y\$; 2 – area \$A\$

$$\Phi = \left(\sqrt{h_2^2 + \left(l_3 + \frac{l_1 - l_2}{2} \right)^2} - \sqrt{h_2^2 + \left(\frac{l_1 - l_2}{2} \right)^2} \right) / l_3 \quad (4)$$

4.2. Teigiamosios lenkiamosios galios skaičiavimas

Plieninio lakštinio profiliuotio apatinės juostos, sienelės ir viršutinės juostos temperatūra \$\theta_a\$ gali būti nustatoma taip:

$$\theta_{a,A} = b_0 + b_1 \frac{1}{l_3} + b_2 \frac{A}{L_y} + b_3 \Phi + b_4 \Phi^2, \quad (5)$$

čia \$b_i\$ – plieninio lakštinio profiliuotio dalių temperatūros nustatymo koeficientai. Įprastinio ir lengvojo betono koeficientai \$b_i\$ pateikiami 2 lentelėje.

Viršutinės juostos regimojo lauko koeficientas \$\Phi\$

1 lentelė. Atsparumo ugniai pagal šilumos izoliavimą nustatymo koeficientai

Table 1. Coefficients for evaluation of fire resistance according to heat isolation

	Įprastinis betonas	Lengvasis betonas
\$a_0\$, min	-28,8	-79,2
\$a_1\$, min/mm	1,55	2,18
\$a_2\$, min	-12,6	-2,44
\$a_3\$, min/mm	0,33	0,56
\$a_4\$, min/mm	-735	-542
\$a_5\$, min	48	52,3

ir briaunos matmenų koeficientas \$A/L_y\$ gali būti nustatomas remiantis 4.1 skyriumi.

Briaunoje esančių armatūros strypų temperatūra \$\theta_s\$ (2 pav.) yra apskaičiuojama taip:

$$\theta_s = c_0 + \left(c_1 \frac{u_3}{h_2} \right) + (c_2 z) + \left(c_3 \frac{A}{L_r} \right) + (c_4 \alpha) + \left(c_5 \frac{1}{l_3} \right), \quad (6)$$

čia \$\theta_s\$ – briaunos papildomos armatūros temperatūra, °C; \$c_i\$ – briaunos armatūros strypų temperatūros nustatymo koeficientai; \$u_3\$ – atstumas iki apatinės juostos, mm; \$z\$ – briaunos padėties rodmuo, mm^{-0,5}; \$\alpha\$ – sienelės kampas 0°. Įprastinio ir lengvojo betono koeficientai \$c_i\$ pateikti 3 lentelėje, armatūros strypų padėties rodikliai – 7 pav.

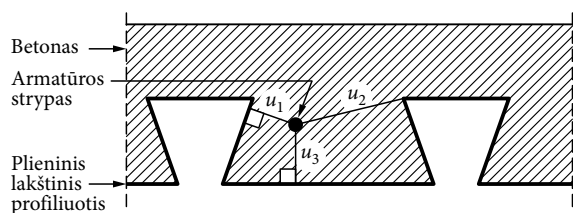
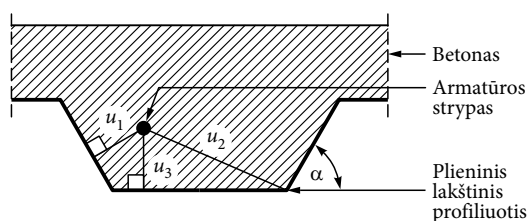
2 lentelė. Plieninio lakštinio profiliuotio dalių temperatūros nustatymo koeficientai

Table 2. Coefficients for temperature evaluation in profiled steel sheet parts

Betonas	Atsparumas ugniai, min	Plieninio lakštinio profiliuotio dalis	\$b_0\$, °C	\$b_1\$, °C mm	\$b_2\$, °C mm	\$b_3\$, °C	\$b_4\$, °C
Įprastinis betonas	60	Apatinė juosta	951	-1197	-2,32	86,4	-150,7
		Sienelė	661	-833	-2,96	537,7	-351,9
		Viršutinė juosta	340	-3269	-2,62	1148,4	-679,8
	90	Apatinė juosta	1018	-839	-1,55	65,1	-108,1
		Sienelė	816	-959	-2,21	464,9	-340,2
		Viršutinė juosta	618	-2786	-1,79	767,9	-472,0
120	Apatinė juosta	1063	-679	-1,13	46,7	-82,8	
	Sienelė	925	-949	-1,82	344,2	-267,4	
	Viršutinė juosta	770	-2460	-1,67	592,6	-379,0	
Lengvasis betonas	30	Apatinė juosta	800	-1326	-2,65	114,5	-181,2
		Sienelė	483	-286	-2,26	439,6	-244,0
		Viršutinė juosta	331	-2284	-1,54	488,8	-131,7
	60	Apatinė juosta	955	-622	-1,32	47,7	-81,1
		Sienelė	761	-558	-1,67	426,5	-303,0
		Viršutinė juosta	607	-2261	-1,02	664,5	-410,0
	90	Apatinė juosta	1019	-478	-0,91	32,7	-60,8
		Sienelė	906	-654	-1,36	287,8	-230,3
		Viršutinė juosta	789	-1847	-0,99	469,5	-313,0
	120	Apatinė juosta	1062	-399	-0,65	19,8	-43,7
		Sienelė	989	-629	-1,07	186,1	-152,6
		Viršutinė juosta	903	-1561	-0,92	305,2	-197,2

3 lentelė. Briaunos armatūros strypų temperatūros nustatymo koeficientai
Table 3. Coefficients for temperature evaluation in reinforcement bars

Betonas	Atsparumas ugniai, min	c_0 , °C	c_1 , °C	c_2 , °C mm ^{-0,5}	c_3 , °C mm	c_4 , °C /°	c_5 , °C mm
Įprastinis betonas	60	1191	-250	-240	-5,01	1,04	-925
	90	1342	-256	-235	-5,30	1,39	-1267
	120	1387	-238	-227	-4,79	1,68	-1326
Lengvasis betonas	30	809	-135	-243	-0,70	0,48	-315
	60	1336	-242	-292	-6,11	1,63	-900
	90	1381	-240	-269	-5,46	2,24	-918
	120	1397	-230	-253	-4,44	2,47	-906



7 pav. Armatūros strypų padėties rodikliai
Fig. 7. The standing index of reinforcement bars

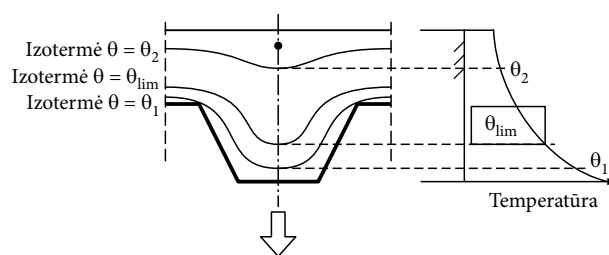
z koeficientas, kuris nurodo armatūros strypo padėtį, apskaičiuojamas taip:

$$\frac{1}{z} = \frac{1}{\sqrt{u_1}} + \frac{1}{\sqrt{u_2}} + \frac{1}{\sqrt{u_3}}, \quad (7)$$

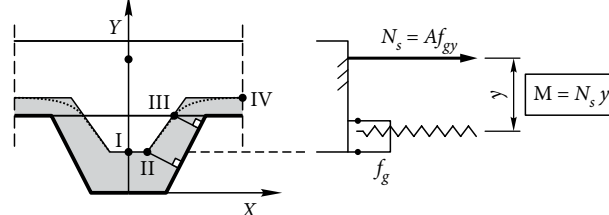
čia u_1, u_2 – trumpiausias atstumas nuo armatūros strypo iki bet kurio plieninio lakštinio profiliuoties sienelių taško, mm, ir atstumas nuo armatūros strypo iki plieninio lakštinio profiliuoties apatinės juostos, mm.

4.3. Neigiamosios lenkiamosios galios skaičiavimas

Saugiai supaprastinant skaičiavimą plieninio lakštinio profiliuoties indėlio neigiamajai lenkiamajai galiai gali būti nepaisoma. Kompozitinės plieninės-betoninės plokštės neigiamoji lenkiamoji galia skaičiuojama taikant sumažintą skerspjūvį. Skerspjūvio dalys, kurių temperatūra viršija tam tikrą ribinę temperatūrą θ_{lim} , atmetamos. Likęs skerspjūvis nagrinėjamas kaip kambario temperatūros sąlygomis. Liekamasis skerspjūvis nustatomas remiantis ribinės temperatūros izoterma



8 pav. Temperatūros pasiskirstymas skerspjūvyje. Izotermos
Fig. 8. Distribution of temperature in cross-section. Scheme of isotherms



9 pav. Konkreči izotermos $\theta = \theta_{lim}$ schema. Izotermų radimas
Fig. 9. Specific scheme of isotherm $\theta = \theta_{lim}$. Determination of isotherms

(8, 9 pav.). Ribinės temperatūros izoterma schematiškai sukurama šiais 4 būdingaisiais taškais:

I taškas: yra ant briaunos vidurio linijos nuo plieninio lakštinio profiliuoties apatinės juostos nutolęs atstumu, apskaičiuojamu kaip ribinės temperatūros funkcija, remiantis (8) ir (10) lygtimis;

II taškas: yra ant vidurio linijos tarp dviejų briaunų nuo plieninio lakštinio profiliuoties viršutinės juostos nutolęs atstumu, apskaičiuojamu kaip ribinės temperatūros funkcija, remiantis (8) ir (15) lygtimis;

III taškas: yra per I tašką lygiagrečiai su plieninio lakštinio profiliuoties apatine juosta einančioje linijoje nuo plieninio lakštinio profiliuoties sienelės nutolęs atstumu, lygiu atstumui nuo apatinės juostos;

IV taškas: yra per plieninio lakštinio profiliuoties viršutinę juostą einančioje linijoje nuo plieninio lakš-

tinio profiliuotio sienelės nutolęs atstumu, lygiu IV taško atstumui iki viršutinės juostos.

Izoterma tarp I, II, III ir IV taškų gaunama taikant tiesinę interpoliaciją.

Ribinė temperatūra θ_{lim} apskaičiuojama taip:

$$\theta_{lim} = d_0 + d_1 \times N_s + d_2 \times \frac{A}{L_r} + d_3 \times \Phi + d_4 \times \frac{1}{\ell_3}, \quad (8)$$

čia N_s yra viršutinės armatūros ašinė jėga, N .

Įprastinio ir lengvojo betono koeficientų d_i reikšmės yra pateiktos 4 lentelėje.

Keturių taškų nuo I iki IV koordinatės nustatomos taip:

$$X_I = 0, \quad (9)$$

$$Y_I = Y_{II} = 1 / \left(\frac{1}{z} - \frac{4}{\sqrt{l_1 + l_3}} \right)^2, \quad (10)$$

$$X_{II} = (l_2/2) + Y_I \cdot (\cos\alpha - 1/\sin\alpha), \quad (11)$$

$$\text{su: } \alpha = \arctan(2h_2/(l_1 - l_2)).$$

$$X_{III} = (l_1/2) - (b/\sin\alpha), \quad (12)$$

$$\text{su: } a = \left((1/z) - (1/\sqrt{h_2}) \right)^2 l_1 \sin\alpha.$$

$$Y_{III} = h_2, \quad (13)$$

$$\text{su: } b = \frac{1}{2} l_1 \sin\alpha \left(1 - \left(\sqrt{a^2 - 4a + c} / a \right) \right).$$

$$X_{IV} = (l_1 + l_3)/2, \quad (14)$$

$$\text{su: } c = -8(1 + \sqrt{1+a}); a \geq 8.$$

$$Y_{IV} = h_2 + b, \quad (15)$$

$$\text{su: } c = +8(1 + \sqrt{1+a}); a < 8.$$

Nurodytas rodiklis z gali būti apskaičiuojamas taikant lygtį, skirtą armatūros strypo temperatūrai nustatyti (t. y. 6 lygtį), tariant, kad $u_3/h_2 = 0,75$ ir $\theta_s = \theta_{lim}$. Jei $Y_I > h_2$, plokštės briaunų gali būti nepaisoma. 5 lentelė galima pasinaudoti izotermos apytikriai vietai su atsarga nustatyti. Neigiamoji lenkiamoji galia skaičiuojama imant liekamojo skerspjuvio plotą, nustatytą šiose pastraipose. Lengvajam betonui imamos 90 % sumažintos 5 lentelėje pateiktos temperatūros reikšmės.

4 lentelė. Koeficientai ribinei temperatūrai nustatyti

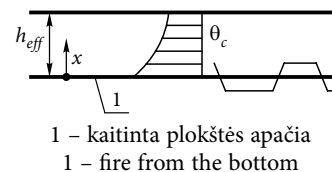
Table 4. Coefficients for design of limitary temperature

Betonas	Atsparumas ugniai, min	d_0 , °C	d_1 , °C N	d_2 , °C mm	d_3 , °C	d_4 , °C mm
Įprastinis betonas	60	867	$-1,9 \cdot 10^{-4}$	-8,75	-123	-1378
	90	1055	$-2,2 \cdot 10^{-4}$	-9,91	-154	-1990
	120	1144	$-2,2 \cdot 10^{-4}$	-9,71	-166	-2155
Lengvasis betonas	30	524	$-1,6 \cdot 10^{-4}$	-3,43	-80	-392
	60	1030	$-2,6 \cdot 10^{-4}$	-10,95	-181	-1834
	90	1159	$-2,5 \cdot 10^{-4}$	-10,88	-208	-2233
	120	1213	$-2,5 \cdot 10^{-4}$	-10,09	-214	-2320

5 lentelė. Betoninės neizoliuotos vientisos 100 mm storio plokštės temperatūros pasiskirstymas atsižvelgiant į jos storį

Table 5. Repartition of temperature in a usual 100 thickness concrete slab without any fire protection according to the slab depth

Atstumas x , mm	Temperatūra θ_c , °C, po gaisro, kurio trukmė yra, min					
	30	60	90	120	180	240
5	535	705				
10	470	642	738			
15	415	581	681	754		
20	350	525	627	697		
25	300	469	571	642	738	
30	250	421	519	591	689	740
35	210	374	473	542	635	700
40	180	327	428	493	590	670
45	160	289	387	454	549	645
50	140	250	345	415	508	550
55	125	200	294	369	469	520
60	110	175	271	342	430	495
80	80	140	220	270	330	395
100	60	100	160	210	260	305



4.4. Kompozitinės plokštės efektyvusis storis

Efektyvusis storis h_{eff} apskaičiuojamas iš šios formulės, kai $h_2/h_1 \leq 1,5$ ir $h_1 > 40$ mm:

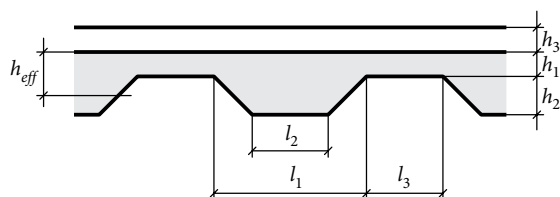
$$h_{eff} = h_1 + 0,5h_2 \left((l_1 + l_2) / (l_1 + l_3) \right), \quad (16)$$

kai $h_2/h_1 > 1,5$ ir $h_1 > 40$ mm:

$$h_{eff} = 1 + 0,75 \left((l_1 + l_2) / (l_1 + l_3) \right). \quad (17)$$

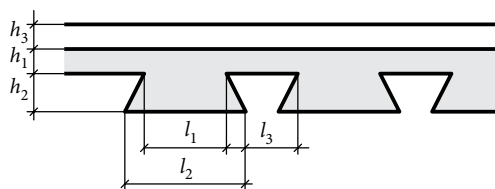
Plokštės skerspjūvio matmenys h_1 , h_2 , l_1 , l_2 ir l_3 nurodyti 10 pav. ir 11 pav. Jei $l_3 > 2l_1$, efektyvusis storis gali būti laikomas lygus h_1 . Atsparumo ugniai pagal šilumos izoliavimo kriterijų ir mažiausio efektyviojo plokštės storio h_{eff} ryšys pateiktas 6 lentelėje. Joje pateikiami standartiniai atsparumo ugniai lygiai, o h_3 yra dangos sluoksnio ant betoninės plokštės viršaus storis (jei toks sluoksnis yra).

Įprastinio (NC) ir lengvojo (LC) betonų naudojimo neapsaugotoms kompozitinėms plokštėms sritis pateikta 7 lentelėje, o žymenys – 10 ir 11 pav.



10 pav. Trapecinio lakštinio profiliuočio žymenys

Fig. 10. Symbols of a trapezoidal profiled sheet



11 pav. Atvirkštinio trapecinio profiliuočio žymenys

Fig. 11. Symbols of a re-entrant profiled sheet

6 lentelė. Mažiausias efektyvusis storis kaip standartinio atsparumo ugniai funkcija

Table 6. Minimal effective thickness as standard resistance function to fire

Standartinis atsparumas ugniai	Mažiausias efektyvusis storis h_{eff} mm
R30	$60-h_3$
R60	$80-h_3$
R90	$100-h_3$
R120	$120-h_3$
R180	$150-h_3$
R240	$175-h_3$

7 lentelė. Taikymo sritis

Table 7. Application zone

Atvirkštiniai trapeciniai plieniniai lakštiniai profiliuočiai	Trapeciniai plieniniai lakštiniai profiliuočiai
$77,0 \leq l_1 \leq 135,0$ mm	$88,0 \leq l_1 \leq 155,0$ mm
$110,0 \leq l_2 \leq 150,0$ mm	$32,0 \leq l_2 \leq 132,0$ mm
$38,5 \leq l_3 \leq 97,5$ mm	$40,0 \leq l_3 \leq 115,0$ mm
$50,0 \leq h_1 \leq 130,0$ mm	$50,0 \leq h_1 \leq 125,0$ mm
$30,0 \leq h_2 \leq 60,0$ mm	$50,0 \leq h_2 \leq 100,0$ mm

4.5. Gaisro poveikio skaičiavimas pagal EN 1991-1-2:2002

Gaisro poveikio trukmei skaičiavimais turi būti patvirtinta, kad

$$E_{d,fi} \leq R_{d,t,fi}, \quad (18)$$

čia $E_{d,fi}$ – skaičiuotinė įrąža gaisro sąlygomis, nustatyta pagal LST EN 1991-1-2:2004, įskaitant plėtimosi dėl šilumos ir deformacijų poveikius; $R_{d,t,fi}$ – skaičiuotinė laikomoji galia, veikiant gaisrui pasirinktu laiku t .

Kaip konstrukcijos dalies skaičiavimo, kilus gaisrui, kai laikas $t = 0$, alternatyva skaičiuojamas elementas. Atraminės reakcijos ir įrąžos nustatomos pagal projektavimo normaliajai temperatūrai analizę:

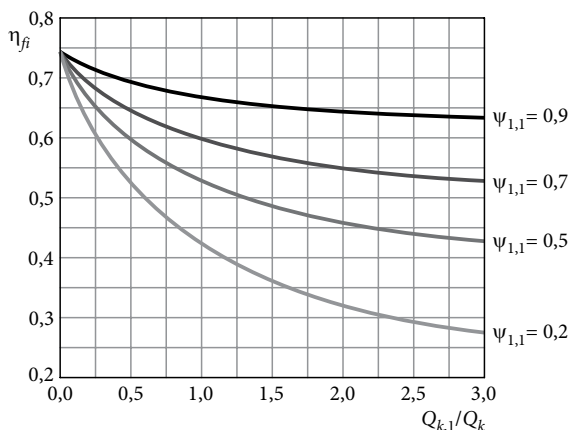
$$E_{d,fi} \leq \eta_{fi} E_d, \quad (19)$$

čia E_d – skaičiuotinė įrąžos projektavimo normaliajai temperatūrai reikšmė, nustatyta pagal pagrindinį poveikių derinį; η_{fi} – koeficientas, kuriuo sumažinamos skaičiuotinės apkrovos, kilus gaisrui, ir apskaičiuojamas pagal formulę:

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \psi_{fi} Q_{k,1}}{\gamma_G G_k + \gamma_{Q,1} Q_{k,1}}, \quad (20)$$

čia $Q_{k,1}$ – pagrindinė kintamoji apkrova; G_k – charakteristinė nuolatinio poveikio reikšmė; γ_G – nuolatinio poveikio dalinis koeficientas, imamas 1,35; $\gamma_{Q,1}$ – kintamojo 1 poveikio dalinis koeficientas, imamas 1,5; ψ_{fi} – yra dažninių arba tariamai nuolatinių reikšmių, išreikštų $\psi_{1,1}$ arba $\psi_{1,2}$, derinio koeficientas. Supaprastinant gali būti taikoma rekomenduojamoji $\eta_{fi} = 0,7$ reikšmė su prielaida, kad visą ugnies poveikio laiką įtvirtinimo sąlygos atramose ir konstrukcijų galuose išlieka nepakitusios.

(19) lygtyje taikomo pataisos koeficiento η_{fi} kitimas apkrovų santykio $Q_{k,i}/G_k$ atžvilgiu ir įvairios derinio koeficiento $\psi_{1,1}$ reikšmės pateiktos 12 pav.



12 pav. Pataisos koeficiento η_{fi} kaita apkrovų santykio $Q_{k,i}/G_k$ atžvilgiu

Fig. 12. Correctional coefficient η_{fi} shift according to $Q_{k,i}/G_k$

5. Kompozitinės plieninės-betoninės plokštės elgsenos ugnyje skaičiavimo pavyzdys pagal EN 1994-1-2:2005

Rengiant statinio projekto gaisrinės saugos dalį, projektiniai sprendiniai turi būti pagrindžiami skaičiavimais, tai yra tenkinami įrodant pakankamą apkrovas laikančių ir (arba) atskiriančių elementų atsparumą ugniai. Šiame skyriuje pateikiami neapsaugotos kompozitinės plieninės-betoninės plokštės, iš apačios veikiamos gaisro pagal standartinę laikinę temperatūros kreivę, atsparumo ugniai du skaičiavimo pavyzdžiai: kai kompozitinė plieninė-betoninė plokštė nearmuota išilgine armatūra ir kai kompozitinė plieninė-betoninė plokštė armuota išilgine armatūra.

5.1. Skaičiavimams atlikti reikalingi duomenys

Atramos plotis 150 mm;

L – tarpatramio ilgis, $L = 3,0$ m;

h – bendrasis kompozitinės plieninės-betoninės plokštės aukštis, $h = 120$ mm;

Betono klasė C25/30;

f_{cd} – skaičiuotinis ritininis gniuždomasis betono stipris;

f_{ck} – charakteristinis ritininis gniuždomasis 28 parų betono stipris;

γ_C – betono dalinis koeficientas;

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_C} = \frac{25}{1,5} = 16,7 \text{ N/mm}^2, \quad (21)$$

$E_{cm} = 31,0 \text{ kN/mm}^2$ – betono kirstinis tamprumo modulis;

Tūrinis betono svoris – $19,5 \text{ kN/m}^3$.

Plieninio atvirkštinio trapecinio lakštinio profiliuočio, kurio pavadinimas pagal „Rautaruukki Corporation“ (2011) yra CS48-36-750, geometrinis modelis pateiktas 13 pav. Gamintojas – Rautaruukki Oyj, Suomija.

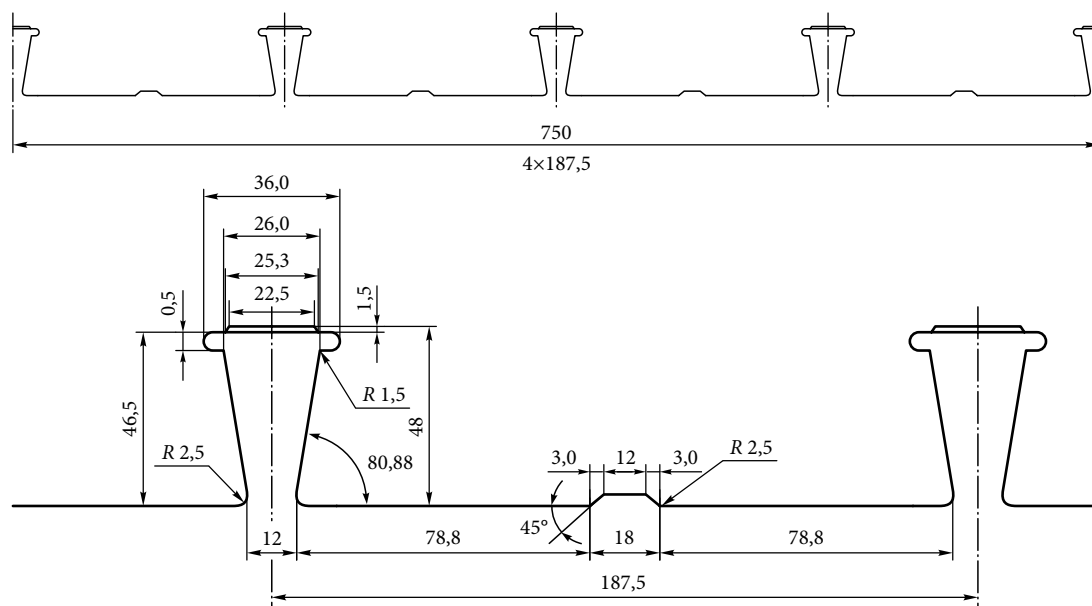
Gamintojo pateikiami techniniai duomenys pagal (Lortis 1998):

$f_{yp,d}$ – skaičiuotinis lakštinio profiliuočio plieno stipris pagal takumo ribą;

f_{yp} – charakteristinis lakštinio profiliuočio plieno stipris pagal takumo ribą;

γ_A – plieno dalinis koeficientas;

$$f_{yp,d} = (f_{yp}/\gamma_A) = (327/1,0) = 327 \text{ N/mm}^2; \quad (22)$$



13 pav. Plieninio atvirkštinio trapecinio lakštinio profiliuočio geometrinis modelis

Fig. 13. Geometric model of re-entrant profiled sheet

A_p – plieninio lakštinio profiliuoto skerspjūvio plotas;

$$A_p = 1033 \text{ mm}^2/\text{m};$$

$E_a = 210 \text{ kN/mm}^2$ – plieno tamprumo modulis;

I_p – plieninio lakštinio profiliuoto skerspjūvio ploto inercijos momentas; $I_p = 0,257 \cdot 10^6 \text{ mm}^4/\text{m}$;

$t_w = 0,7 \text{ mm}$ – lakštinio profiliuoto sienelės storis;

$t_p = 0,63 \text{ mm}$ – skaičiuotinis plieninio lakštinio profiliuoto sienelės storis;

$M_{pa} = 2,60 \text{ kNm/m}$ – plieninio lakštinio profiliuoto efektyviojo skerspjūvio plastinė lenkiamoji galia;

V_{pa} – plieninio lakštinio profiliuoto efektyviojo skerspjūvio skersinės jėgos skaičiuotinė laikomoji galia:

$$V_{pa} = 19,4 \text{ kN/m, kai atramos plotis } 50 \text{ mm};$$

$$V_{pa} = 25,8 \text{ kN/m, kai atramos plotis } 100 \text{ mm};$$

$$V_{pa} = 30,9 \text{ kN/m, kai atramos plotis } 150 \text{ mm}.$$

Charakteristinių ir skaičiuotinių apkrovų skaičiavimas

Naudodamiesi Eurocode 1 (2002) duota skaičiavimo metodika nustatome apkrovas. Kompozitinę plokštę veikiančios pastovios charakteristinės apkrovos (lakštinio profiliuoto ir betono svoris + iki galo išbaigtų grindų svoris):

$$G_k = (3,1 + 1,3) = 4,4 \text{ kN/m}^2.$$

Kompozitinę plokštę veikiančios kintamos charakteristinės apkrovos (naudojimo apkrova + pertvarų apkrova):

$$Q_k = (5,0 + 1,2) = 6,2 \text{ kN/m}^2.$$

Kompozitinę plokštę veikiančios pastovios skaičiuotinės apkrovos (lakštinio profiliuoto ir betono svoris + iki galo baigtų grindų svoris):

$$G_d = 4,4 \times 1,35 = 5,94 \text{ kN/m}^2.$$

Kompozitinę plokštę veikiančios kintamos skaičiuotinės apkrovos (naudojimo apkrova + pertvarų apkrova):

$$Q_d = 6,2 \times 1,5 = 9,30 \text{ kN/m}^2.$$

Efektyvaus tarpatramio ilgio skaičiavimas

Efektyvaus tarpatramio ilgio skaičiavimas:

$$L_e = (3000 - 150 + 50) = 2900 \text{ mm}.$$

Veikiančios įrąžos skaičiavimas

Apskaičiuojamas skaičiuotinis kompozitinės plokštės lenkiamasis momentas:

$$M_{ED} = (5,94 + 9,3) \times 2,90^2/8 = 16,02 \text{ kNm/m}.$$

5.2. Kompozitinės plieninės-betoninės plokštės skaičiavimas, kai nėra išilginės armatūros

Koeficientas, kuriuo sumažinamos skaičiuotinės apkrovos, kilus gaisrui, apskaičiuojamas pagal (20) formulę:

$$\eta_{fi} = 4,4 + 0,7 \times 6,2/1,35 \times 4,4 + 1,5 \times 6,2 = 0,57.$$

Pagal (19) formulę skaičiuojame skaičiuotinį lenkiamąjį momentą naudodami koeficientą η_{fi} :

$$M_{fi,d} = 0,57 \times 16,02 = 9,13 \text{ kNm/m}.$$

Pagal 12 ir 13 pav. nustatome atvirkštinio trapecinio profiliuoto reikalingus žymenis, briaunos matmenų koeficientą pagal (3) formulę skaičiavimui:

$$l_1 = 139,6 \text{ mm}, l_2 = 175,6 \text{ mm}, l_3 = 36,0 \text{ mm},$$

$$h_2 = 48,0 \text{ mm},$$

$$\frac{A}{L_r} = \frac{48 \left((139,6 + 175,6)/2 \right)}{175,6 + 2 \sqrt{48^2 + \left((139,6 - 175,6)/2 \right)^2}} = 27,21 \text{ mm}.$$

Apskaičiuojamas viršutinės lentynos regimojo lauko koeficientas pagal (4) formulę:

$$\Phi = \left(\sqrt{48^2 + \left(36 + (139,6 - 175,6/2) \right)^2} - \sqrt{48^2 + \left((139,6 - 175,6/2) \right)^2} \right) / 36 = 0,582.$$

Neapsaugotųjų kompozitinių plokščių atsparumo ugniai pagal vidutinį temperatūros padidėjimą (= 140 °C) ir didžiausią temperatūros padidėjimą (= 180 °C) I (izoliavimo kriterijus) gali būti nustatomas iš (2) lygties:

$$t_i = (-28,8) + 1,55 \times 72 + (-12,6) \times 0,582 + 0,33 \times 27,21 + (-735/36) + 48 \times 27,21/36 = 100,319 \text{ min}.$$

Plieninio lakštinio profiliuoto apatinės juostos, sienelės ir viršutinės juostos temperatūra θ_a gali būti nustatoma naudojant (5) formulę:

$$\theta_{a,inf} = 1018 - 839/36 - 1,55 \times 27,21 + 65,1 \times 0,582 - 108,1 \times 0,582^2 = 953,80 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\theta_{a,w} = 816 - 959/36 - 2,21 \times 27,21 + 464,9 \times 0,582 - 340,2 \times 0,582^2 = 884,57 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\theta_{a,sup} = 618 - 2786/36 - 1,79 \times 27,21 + 767,9 \times 0,582 - 472 \times 0,582^2 = 778,95 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Pagal EN 1994-1-2 statybinio plieno aukštesnėje temperatūroje pataisos koeficientas $k_{y,i}$ yra pateiktas 3.2 lentelėje, o armatūrinio plieno – 3.4 lentelėje. Tarpinėms reikšmėms nustatyti leidžiama taikyti tiesinę interpoliaciją. Atlikus skaičiavimus gauti rezultatai pateikti 8 lentelėje.

8 lentelė. Skaičiavimai naudojant pataisos koeficientą $k_{y,i}$

Table 8. Calculations with the reduction factor $k_{y,i}$

	Lakštinio profiliuotio kraštinė		
	apatinė	šoninė	viršutinė
Temperatūra $\theta_p, ^\circ\text{C}$	953,800	884,57	778,95
Pataisos koeficientas $k_{y,i}$	0,049	0,067	0,135
Skerspjūvio plotas A_p, cm^2	1,106	0,302	0,226
$f_{y,p}, \text{kN/cm}^2$	35,00	35,00	35,00
Laikomoji galia Z_p, kN	1,89	0,71	1,06

Apatinės lakštinio profiliuotio kraštinės pataisos koeficiento k_{inf} skaičiavimas interpoliacijos būdu:

esant $900\text{ }^\circ\text{C}$, $k_{y,i} = 0,06$;

esant $1000\text{ }^\circ\text{C}$, $k_{y,i} = 0,04$;

esant $953,80\text{ }^\circ\text{C}$,

$$k_{inf} = 0,06 - (0,06 - 0,04)/100 \times 53,80 = 0,049.$$

Apatinės lakštinio profiliuotio kraštinės skerspjūvio ploto A_{inf} skaičiavimas:

$$A_{inf} = t_p l_{inf} = 0,63 \times 175,6 = 1,106 \text{ cm}^2.$$

Apatinės lakštinio profiliuotio kraštinės skerspjūvio ploto laikomosios galios Z_{inf} skaičiavimas:

$$Z_{inf} = k_{inf} A_{inf} f_{y,inf} = 0,049 \times 1,106 \times 35,0 = 1,89 \text{ kN}.$$

Šoninė ir viršutinė lakštinio profiliuotio kraštinės skaičiuojamos taip pat kaip ir apatinė.

Plastinės neutraliosios ašies padėtis nustatoma iš gulsčiųjų jėgų pusiausvyros (užrašyta vienai briaunai):

$$z_{pl} = \frac{\sum Z_i}{\alpha_{slab} (l_1 + l_2) f_c} = \frac{1,89 + 0,71 + 1,06}{0,85(139,6 + 36)25 \times 10^{-3}} = 0,981 \text{ mm}.$$

Vienos briaunos atlaikomojo lenkiamojo momento skaičiavimo rezultatai pateikti 9 lentelėje.

Esant lenkiamajam momentui $M_{pl,rib} = 0,1994 \text{ kNm}$ (vienos briaunos) ir vienos briaunos pločiui $w_{rib} = 0,185 \text{ m}$, randama kompozitinės plokštės lenkiamoji galia:

$$M_{fi,Rd} = 0,1994/0,1875 = 1,063 \text{ kNm/m}.$$

Patikrinimas:

$$M_{Ed} \times \eta_{fi} / M_{fi,Rd} \leq 1,0; 16,02 \times 0,57 / 1,063 = 8,59 > 1,0.$$

9 lentelė. Vienos briaunos atlaikomojo lenkiamojo momento skaičiavimo rezultatai

Table 9. Calculation of the moment resistance of one rib

	Lakštinio profiliuotio kraštinė			Betonas
	apatinė	šoninė	viršutinė	
Laikomoji galia Z_p, kN	1,89	0,71	1,06	-22,91
z_i	12	9,6	7,2	0,75
M_p, kNcm , $\Sigma 19,94$	22,68	6,81	7,63	-17,18

Kadangi sąlyga neatitinka reikalavimų, turi būti atlikti nauji skaičiavimai naudojant sprendimus, didinančius plokštės laikomąją galią arba mažinančius gaisro temperatūrų poveikį plokštei. Sprendimai, mažinantys gaisro temperatūrų poveikį ir didinantys plokštės atsparumo ugniai laipsnį, yra:

- dažymas priešgaisriniais dažais;
- apipurškimas priešgaisrinium tinku ar skiediniu (portlandcemenčio ir vermikulito mišiniu);
- apipurškimas skysta mineraline vata (mineralinio pluošto be asbesto, artimų cementui neorganinių rišiklių bei kitų papildomų priedų mišiniu);
- priešgaisrinių plokščių įrengimas (gipso, cemento, kalcio silikato, mineralinės vatos).

Sprendimai, didinantys plokštės laikomąją galią gaisro temperatūrų poveikio metu, yra plieninio lakštinio profiliuotio storio didinimas, išilginės armatūros arba aukštesnės betono klasės naudojimas.

5.3. Kompozitinės plieninės-betoninės plokštės skaičiavimas, kai plokštė armuota išilgine armatūra

Pagal (7) formulę apskaičiuojame z koeficientą, kuris nurodo armatūros strypų padėtį:

$$(1/z) = (1/72) + (1/72) + (1/50) = 0,375 \text{ mm}^{0,5},$$

$$z = 1/0,375 = 2,66 \text{ mm}^{0,5}.$$

Briaunoje esančių armatūros strypų temperatūra Q_s apskaičiuojama pagal (6) formulę:

$$Q_s = 1342 + (-256 \times 50/48) + (-235 \times 2,66) + (-5,3 \times 27,21) + (1,39 \times 99,6) + (-1267 \times 1/36) = 132,41\text{ }^\circ\text{C}.$$

Armatūrinio plieno aukštesnėje temperatūroje pataisos koeficientas $k_{y,i}$ pateiktas EN 1994-1-2 3.4 lentelėje.

Armatūros pataisos koeficiento k_r skaičiavimas interpoliacijos būdu:

$$\text{esant } 100\text{ }^\circ\text{C}, k_{y,i} = 1,0;$$

$$\text{esant } 1000\text{ }^\circ\text{C}, k_{y,i} = 1,0;$$

$$\text{esant } 132,41\text{ }^\circ\text{C}, k_r = 1,0 - (1,0 - 1,0)/100 \times 32,41 = 1,0.$$

Armatūros skerspjūvio ploto A_r skaičiavimas:

$$A_r = \pi \times R^2 = 3,14 \times 0,35 = 0,385\text{ cm}^2.$$

Viršutinės lakštinio profiliuoties kraštinės skerspjūvio ploto laikomosios galios Z_r skaičiavimas:

$$Z_r = k_r A_r f_{y,r} = 1,0 \times 0,385 \times 50 = 19,25\text{ kN}.$$

Atlikę skaičiavimus papildome 8 lentelę naujais duomenimis ir juos pateikiame 10 lentelėje.

10 lentelė. Skaičiavimai naudojant pataisos koeficientą $k_{y,i}$

Table 10. Calculation with coefficient $k_{y,i}$

Rodiklis	Lakštinio profiliuoties kraštinė			Armatūra
	apatinė	šoninė	viršutinė	
Temperatūra $\theta_p, ^\circ\text{C}$	953,80	884,57	778,95	132,4
Pataisos koeficientas $k_{y,i}$	0,049	0,067	0,135	1,0
Skerspjūvio plotas A_p	1,106	0,302	0,226	0,385
$f_{y,p}$ kN/cm ²	35,00	35,00	35,00	50,00
Laikomoji galia Z_p kNcm	1,89	0,71	1,06	19,25

Plastinė neutralioji ašis yra pusiausvyra horizontalių jėgų (užrašyta vienai briaunai):

$$z_{pl} = \frac{\sum Z_i}{\alpha_{slab} (l_1 + l_2) f_c} =$$

$$\frac{1,89 + 0,71 + 1,06 + 19,25}{0,85(139,6 + 36)25 \times 10^{-3}} = 6,14\text{ mm}.$$

Vienos briaunos lenkiamojo momento skaičiavimo rezultatai pateikti 11 lentelėje.

Esant vienos bangos lenkiamajam momentui $M_{pl,rib} = 1,7942\text{ kNm}$ ir vienos briaunos pločiui $w_{rib} = 0,1875\text{ m}$, randama kompozitinės plokštės lenkimoji galia:

$$M_{fi,Rd} = 1,7942/0,1875 = 9,57\text{ kNm}.$$

Patikrinimas:

$$M_{Ed} \times \eta_{fi} / M_{fi,Rd} = 16,02 \times 0,57 / 9,57 = 0,95 < 1,0.$$

11 lentelė. Vienos briaunos lenkiamojo momento skaičiavimo rezultatai

Table 11. Calculation of the moment resistance of one rib

Rodikliai	Lakštinio profiliuoties kraštinė			Armatūra	Betonas
	apatinė	šoninė	viršutinė		
Laikomoji galia Z_p kN	1,89	0,71	1,06	19,25	-22,91
z_p cm	12	9,6	7,2	6,5	0,75
M_p kNcm $\Sigma 179,42$	22,68	6,81	7,63	125,12	-17,18

Kadangi sąlyga atitinka reikalavimus, atlikti naujų skaičiavimų naudojant sprendimus, didinančius plokštės laikomąją galią arba mažinančius gaisro temperatūrų poveikį plokštei, nebūtina.

6. Išvados

Atlikus teorinę mokslinės literatūros apžvalgą ir praktinius kompozitinių plieninių-betoninių plokščių, veikiamų gaisro temperatūrų, skaičiavimus, nustatyta:

1. Kompozitines plienines-betonines plokštes naudoti statyboje ekonomiškai naudinga.
2. Kompozitinė plieninė-betoninė plokštė gaisro metu nesukelia jokių neigiamų pasekmių statiniui. Plieninis lakštinis profiliuoties yra labai svarbus naudojant statinį ir kilus gaisrui, nes padeda užtikrinti konstrukcijos vientisumą ir izoliacines savybes. Profiliuoties yra tarsi apsauginė atitvara, neleidžianti plisti gaisrui ir karštomis dujoms, taip pat nuo tiesioginės kaitros ir atskilimo yra apsaugomas betonas.
3. Aptartų pastatų gaisro bandymų rezultatai rodo, kad pastate esant kompozitinėms plieninėms-betoninėms plokštėms, o atraminei konstrukcijai – neapsaugotai nuo kaitros apsaugine dangą, veikiant ugniai, yra svarbios pastato strypyno teikiamos atraminės sąlygos. Be to, gali būti per didelė atsarga nustatinėti atsparumo ugniai koeficientą atskirai kiekvienam konstrukciniam elementui. Todėl nebūtina apsaugoti visų laikančiųjų plieninių elementų nuo ugnies, ypač kai jie yra vienoje sąrankoje su plieninėmis-betoninėmis plokštėmis.
4. Gaisrinės saugos būdai leidžia numatyti, kad kompozitinės plieninės-betoninės perdangos plastiškojo lenkiamojo momento dydis dėl temperatūros poveikio gali padidėti ir tolygiai pasiskirstyti elemente.

5. Išanalizuotas neapsaugotųjų kompozitinių plieninių-betoninių plokščių, iš apačios veikiamų gaisro pagal standartinę laikinę temperatūros kreivę, elgsenos ugnyje skaičiavimo modelis pagal EN 1994-1-2:2005 yra gana paprastas ir gali būti naudojamas skaičiuojant, įrodant pakankamą apkrovą laikančių ir (arba) atskiriančių elementų atsparumą ugniai.
6. Atlikti skaičiavimų rezultatai leidžia nustatyti plokštės atsparumą ugniai pagal šilumos izoliavimą ir lenkiamojo momento dydį. Atsižvelgiant į gautus rezultatus gali būti priimami sprendimai įrengti papildomą plokščių apsaugą nuo ugnies arba padidinti jų laikomąją galią.

Literatūra

- Allam, A. M.; Burgess, I. W.; Plank, R. J. 2000. Simple Investigations of tensile membrane action in composite slabs in fire, paper 03.02, in *Proc. International Conference on Steel Structures of the 2000's*, September 11–13, 2000, Istanbul, Turkey. Istanbul: TUI, 327–332.
- Bailey, C. 2002. Structural fire design of unprotected steel beams supporting composite floor slabs, in *II CICOM, II International Conference on Steel Construction*, November 2002, Sao Paulo, Brazil. Available on [CD] only.
- British Steel plc, Swinden Technology Centre. 1999. *The behaviour of multi-storey steel framed buildings in fire*. 82 p.
- Choi, S. K.; Burgess, I. W.; Plank, R. J. 2003. The behaviour of lightweight composite floor trusses in fire, in *ASCE Specialty Conference: Designing Structures for Fire*, Baltimore, 24–32.
- Construction Products Directive 89/106/EEC. *Official Journal of the European Communities*. 1989 02 11, Num., L 40, 12–26.
- ECCS – Technical committee 7 – Working group 7.6 Composite Slabs. *Good construction practice for composite slabs*. 1993. 65 p.
- EN 1994. Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures – Part 1-2: General Rules – Structural Fire Design, Brussels: CEN, November 2006.
- Johnson, R. P. (Roger, Paul). 2004. *Composite structures of steel and concrete*. Oxford: Blackwell. 230 p.
- Lortis, K. 1998. *Load bearing profile*. Parnu: Steelcomp. 47 p.
- Marčiukaitis, G. 2001. XXI a. prioritinės medžiagos. Kompozitai ir jų istoriniai prototipai, *Mokslas ir gyvenimas* 7–8: 9–11.
- Marčiukaitis, G.; Jonaitis, B.; Papinigis, V.; Valivonis, J. 2007. *Gelžbetoninių konstrukcijų projektavimas pagal euronormas*. Vilnius: Technika. 339 p.
- Nagy, Z. V.; Szatmari, I. 1998. Composite slab design, in *Proc. of the 2nd International Ph.D. Symposium in Civil Engineering, Department of Steel Structures*. August 26–28, 1998, Budapest, Hungary. Budapest: TU, 1–8.
- Rackham, J. W.; Couchman, G. H.; Hicks, S. J. 2009. *Composite slabs and beams using steel decking: best practice for design and construction*. The Metal Cladding & Roofing Manufacturers Association in partnership with the Steel Construction Institute. 110 p.
- Rautaruukki Corporation. 2011. *Composite sheet CS48-36-750*. 3 p.
- STR 2.01.04:2004. Gaisrinė sauga. Pagrindiniai reikalavimai. 2004. Statybos techniniai reglamentai. LR Aplinkos apsaugos ministerija. 45 p.
- VGTM MI „Kompozitas“. Vertimas. 2008–2009. Skaičiavimas pagal EN. 1994. 1–2 dalis. [VGTM RI „Kompozitas“ Translation according to Example to EN 1994 Part 1-2]. Difisek: Vilnius. 56 p.

FIRE DESIGN OF UNPROTECTED COMPOSITE STEEL AND CONCRETE SLABS

G. Razma, A. K. Kvedaras

Abstract. The paper presents fire design of composite steel-concrete slabs and a description of the use of the advantages of such a structure. Following the review of scientific literature on composite steel-concrete slabs, behaviour under fire temperature may confirm that this solution has no negative consequences for the construction of the building in fire. Profiled steel sheet is a very important building component, because it helps ensuring integrity and insulation properties. Such sheeting serves as a restraint preventing the spread of fire and hot gases, as well as protects the concrete from direct heat action not allowing its chipping off. Fire tests show that the construction of composite steel-concrete slabs without a protective coating under influence of fire is an important bracing frame provided by these conditions. In addition, it may be too conservative to establish the fire resistance coefficient for each element. Maybe it is not necessary to protect all load bearing steel elements in a building from fire, especially when they are in one setup with composite steel-concrete slabs. Fire protection methods make it possible for composite steel-concrete slabs to behave under a plastic bending moment allowing increased temperatures and distributing evenly in an element. The paper provides a brief description of methods for fire design. It analyzes the fire design method according to EN 1994-1-2:2005 regarding unprotected composite steel-concrete slabs exposed to fire from the bottom according to the standard temporary temperature curve. The paper provides an example of the calculation of composite steel-concrete slab according to described method without longitudinal reinforcement and the composite slab with longitudinal reinforcement. Results of calculations let to designate fire resistance of composite slab to heat isolation (I parameter) and the resistance value of the bending moment. Solutions for extra fire protection or increasing bending moment value depend on estimated results.

Keywords: composite steel-concrete slab, fire resistance, isolation of heat, fire exposure calculation, bending moment resistance.

Gediminas RAZMA. PhD student at the Department of Steel and Timber Structures, Vilnius Gediminas Technical University, Lithuania. A graduate of Civil Engineering at Klaipėda University (2004). MSc of Civil Engineering (2006) at Klaipėda University. Research interests: the fire resistance of composite steel-concrete structures.

Audronis Kazimieras KVEDARAS. Prof. Dr Habil at the Department of Steel and Timber Structures and Director of the Innovatory Scientific Institute of Special Structures "Kompozitas" of Vilnius Gediminas Technical University. Member of the International Association for Bridge and Structural Engineering (IABSE) and ASCCS, invited NATO Expert (1996, 2000). Research interests: steel, composite steel-concrete and timber-concrete structures.