

CALCULATION METHODS OF HIGH TEMPERATURE DISTRIBUTION WITHIN STRUCTURAL COMPONENTS AND APPLICATION OF THESE METHODS TO FIRE RESISTANCE ASSESSMENT

R. Mačiulaitis & K. Lukošius

To cite this article: R. Mačiulaitis & K. Lukošius (2001) CALCULATION METHODS OF HIGH TEMPERATURE DISTRIBUTION WITHIN STRUCTURAL COMPONENTS AND APPLICATION OF THESE METHODS TO FIRE RESISTANCE ASSESSMENT, *Statyba*, 7:5, 391-396, DOI: [10.1080/13921525.2001.10531760](https://doi.org/10.1080/13921525.2001.10531760)

To link to this article: <https://doi.org/10.1080/13921525.2001.10531760>



Published online: 30 Jul 2012.



Submit your article to this journal [↗](#)



Article views: 82



Citing articles: 1 View citing articles [↗](#)

AUKŠTŲ TEMPERATŪRŲ PASISKIRSTYMO STATYBINĖSE KONSTRUKCIJOSE SKAIČIAVIMO BŪDAI IR JŲ TAIKYMO ANALIZĖ ĮVERTINANT ATITVARŲ ATSPARUMĄ UGNIAI

R. Mačiulaitis, K. Lukošius

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

1. Įvadas

Konstrukcijos atsparumas ugniai yra viena svarbiausių charakteristikų, apibūdinančių jos darbą gaisro metu. Kaip žinoma, atsparumas ugniai yra laikotarpis, skaičiuojamas nuo šilumos poveikio (gaisro) pradžios iki konstrukcijos stiprumo, vientisumo, termoizoliacinių ir kt. savybių netekimo, t. y. iki galimo jos suirimo ir funkcijų praradimo [1–4]. Konstrukcijų projektavimo normos [3, 5–8] leidžia atsparumą ugniai skaičiuoti, atsižvelgiant į konstrukcijos panaudojimą, jai daromą poveikį ir tam tikrus jai keliamus reikalavimus.

Žinoti, koks yra projektuojamų ir pastatytų laikančiųjų ir kitokių konstrukcijų atsparumas ugniai, reikalaujama šalies bei tarptautiniuose standartuose [3, 5, 6]. Tačiau šį laiko parametą įvertinti nėra taip paprasta [9], nors yra žinoma gana daug metodų jam nustatyti [5, 6, 10–13]. Galima teigti, jog tiksliausias yra eksperimentinis metodas, kai tam tikromis sąlygomis atliekami temperatūros matavimai, tačiau visą gaminių sortimentą taip bandyti yra pernelyg brangu. Laikančiųjų konstrukcijų atsparumo ugniai skaičiavimas susideda iš dviejų dalių: šilumos skaičiavimo, kuris nusako šilumos mainus konstrukcijoje gaisro metu, ir statinio skaičiavimo, kuris nustato konstrukcijų laikančiąją galią. Šiuo atveju laikysime kad, atitvarinės konstrukcijos atlieka tik atitvarinę funkciją, todėl pakanka tik šilumos skaičiavimo, nes statinis skaičiavimas dažniausiai taikomas tik laikančiosioms konstrukcijoms. Pagrindinis reikalavimas nagrinėjamai konstrukcijai yra izoliuoti aukštą temperatūrą gaisro patalpoje [1–3, 5]. Todėl šiame darbe plačiau nagrinėsime tik temperatūros pasiskirstymo skaičiavimą.

Svarbiausia ir tikslinga toliau nagrinėti esminius temperatūrinių laukų pasiskirstymo konstrukcijoje nusta-

tymo principus bei metodus – toks ir būtų šio darbo tikslas.

2. Atitvarinės konstrukcijos atsparumo ugniai skaičiavimo ypatumai

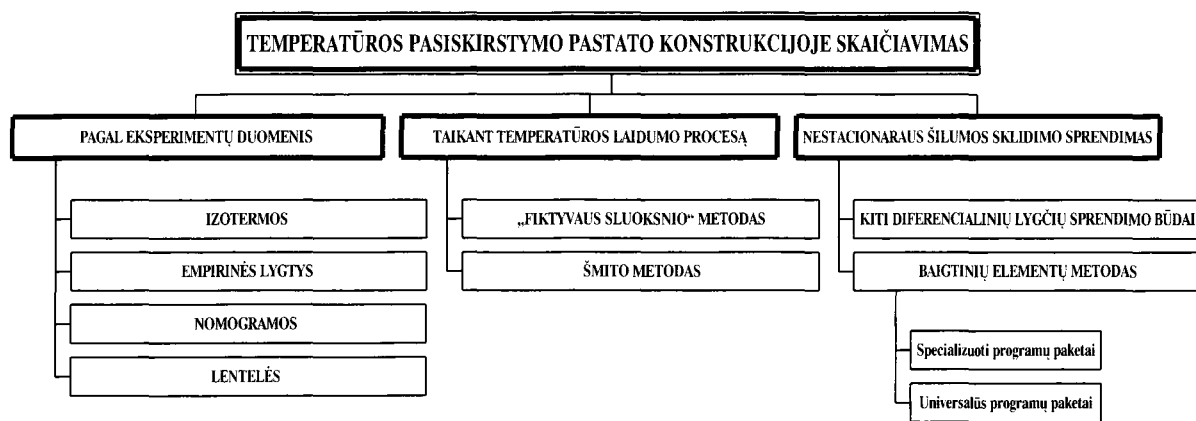
Kadangi gaisro metu vyksta sudėtingi procesai, o konstrukcinių medžiagų įvairovė yra labai didelė, todėl ir temperatūros pasiskirstymo konstrukcijoje skaičiavimo būdų yra daug ir įvairių. Esant tokiai skaičiavimo modelių gausai trūksta išsamesnės informacijos tiek apie juos pačius, tiek ir apie jų taikymo principus. Konstrukcijų projektavimo specialistui ir gaisrinės saugos inžinieriui pravartu žinoti ir išmanyti kiekvieno metodo taikymo principus, trūkumus ir privalumus.

Atitvarinėje konstrukcijoje vykstantys procesai yra savita šilumos mainų rūšis, todėl parenkant skaičiuojamąjį modelį yra daroma nemaža prielaidų.

Tikslų temperatūros pasiskirstymą konstrukcijoje skaičiavimais nustatyti trukdo gaisro proceso dinaminis pobūdis, nestacionaraus šiluminio proceso skaičiavimo sunkumai, statybinių medžiagų šiluminių charakteristikų aukštoje temperatūroje kitimas, deformacijos atitvaros sandūrose, medžiagos destrukcija aukštoje temperatūroje, kitų pasirinktos medžiagos tikslų ir patikimų rodiklių stoka.

Siekiant supaprastinti šių veiksmų įtaką skaičiavimo metu yra daromos tokios prielaidos:

– tiksliai nusakomas šiluminės apkrovos poveikis. Atlikus nemaža eksperimentų skirtingose šalyse [11, 14, 15], buvo gauti gana panašūs rezultatai ir tiksliai apibrėžta gaisro standartinė temperatūros laiko kreivė [1–4, 8, 10, 11]. Ji taikoma tiek bandant konstrukcijas, tiek skaičiuojant jų atsparumą ugniai;



1 pav. Temperatūrinių laukų pastato konstrukcijoje galimų skaičiavimo būdų schema

Fig 1. Different temperature calculation methods within the structural component

– neišvertinama atitvarinės konstrukcijos deformacija, sudegimas, apanglėjimas bei terminis suirimas [11, 12, 16–19]. Vykstant gaisrui konstrukcijose dėl aukštos temperatūros atsiranda didelės deformacijos, dėl kurių atitvaros sandūrose atsiveria plyšiai, taigi gaisras gali plisti toliau ir konstrukcija nebeatitinka jai keliamų reikalavimų. Plyšiai gali atsirasti konstrukcijai yrant, perdegant, trupant ir pan.;

– atitvara nagrinėjama kaip plokščia iš vienos pusės kaitinama konstrukcija.

Nagrinėjant atitvarinių konstrukcijų atsparumą ugniai yra nustatomas atitvaros storis, kuris užtikrintų reikalaujamą atsparumą ugniai, arba atitvaros perkaitimo iki kritinės temperatūros neveikiamoje jos pusėje laikas [12, 20]. Taigi būtina detalizuoti šių uždavinių sprendimo būdus.

3. Temperatūrinių laukų konstrukcijose nustatymo būdai

Temperatūra (bet kuriame statybinės konstrukcijos taške) gali būti nustatyta yra keliais būdais (1 pav.) [5, 6, 10–13]:

- remiantis tiesioginių eksperimentų duomenis;
- taikant medžiagų temperatūros laidumo procesą;
- taikant nestacionarius šilumos sklidimo principus.

Atliekant daug tos pat rūšies konstrukcijų bandymų, sukaupiama duomenų bazė, kuri yra izotermų, empirinių lygčių ir nomogramų sudarymo pagrindas (1 pav.). Naudojant izotermas galima gana tiksliai nustatyti konkrečios konstrukcijos atsparumą ugniai, nes dažniausiai yra pateikiami susisteminti standartinių matmenų ir charakteristikų gaminių tyrimų duomenys. Ta-

čiau pasitaiko ir nestandartinių konstrukcijų, kurioms naudojamos kiek kitokių charakteristikų statybinės medžiagos (gaminiai su priedais, naujai sukurtos medžiagos ir pan.). Šiuo atveju izotermos paprastai nenaudojamos arba atliekami papildomi skaičiavimai (pvz., parenkamas tinkamiausias tankis, nustatomos skerspjūvio proporcijos, pasirinktame taške tiesiškai interpoliuojama temperatūra). Tačiau ir tada gauti konstrukcijos atsparumo ugniai rezultatai gali neatitikti tikrovės [5, 10, 21, 22].

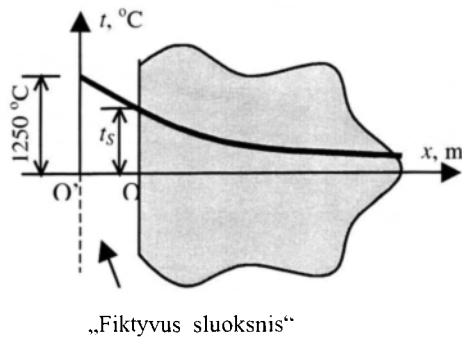
Izotermos dažniausiai naudojamos temperatūrai gelžbetoninėse konstrukcijose nustatyti.

Empirinės lygtys, kaip ir nomogramos, taip pat gautos iš tiesioginių tyrimų duomenų, dažniausiai yra skirtos jau kelių kintančių medžiagų charakteristikų poveikiui (konkrečiam gaminiui) įvertinti analizuojamu aspektu. Tokiose lygtyse kintamaisiais gali būti konstrukcijos matmenys, drėgmė, šilumos laidumo koeficientas, apsauginio sluoksnio rūšis ir pan. [5, 6, 10, 11, 15, 22].

Eksperimentiniai metodai gana dažnai taikomi praktikoje (dažniausiai naudojamos statybinės medžiagos būna pakankamai ištirtos), tačiau problemų kyla didinant konstrukcijos atsparumą ugniai, kai nukrypstama nuo standartinės konstrukcijos varianto, nes naujos apdailos ir atsparumą ugniai didinančios medžiagos bei jų priedų gausa apsunkina įtakos prognozę. Todėl visi eksperimentais pagrįsti metodai paprastai tinka tik konkrečioms tos pačios aibės konstrukcijoms iš tapačių bazinių medžiagų (1 pav.). Juos taikant negalima plačiau modeliuoti konstrukcijų darbo kilus gaisrui.

Kiti atitvarinių konstrukcijų atsparumo ugniai skaičiavimai (1 pav.) pagrįsti temperatūros laidumo proce-

su [11, 13, 16]. Šios grupės metodų esmė (2 pav.): kaitinant tariamos medžiagos paviršių (taškas O') tolygiu šilumos srautu pusiau apribotame kūne, galima rasti tokią plokštumą (taške O), kurioje temperatūra kyla pagal standartinę gaisro temperatūros ir laiko t_s kreivę. Iš čia kilo „fiktyvus sluoksnis“ metodo pavadinimas (2 pav.), kai atstumas nuo pusiau apriboto kūno paviršiaus iki nagrinėjamo taško (atstumas OO') vadinamas „fiktyviu sluoksniu“.



2 pav. „Fiktyvus sluoksnio“ metodo principas

Fig 2. “Fictitious layer” method principle

Šiuo atveju vyksta temperatūros laidumo procesas medžiagoje (2 pav.). Juo metu dalis šilumos srauto yra sunaudojama temperatūrai kelti įvairiuose medžiagos taškuose ir medžiagos storyje pagal x ašį atsiranda temperatūros gradientas. Temperatūros T pasikeitimo per laiką t sparta kiekviename kūno ilgio x taške gali būti aprašoma lygtimi [11, 16, 23]:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}. \quad (1)$$

Taigi skaičiuojant temperatūros pasiskirstymą medžiagoje, kai atsparumo ugniai bandymo temperatūros ir laiko kreivė yra standartinė, temperatūra bet kuriame medžiagos taške gali būti nustatoma pagal lygtį:

$$T = 1250 - (1250 - T_o) \operatorname{erf} \frac{k\sqrt{a} + l}{2\sqrt{at}}, \quad (2)$$

k – medžiagos tankio rodiklis; a – temperatūros laidumo koeficientas; t – laikas nuo kaitinimo pradžios; x – atstumas nuo medžiagos paviršiaus ir „fiktyvus sluoksnio sandūros“.

Temperatūrinio laidumo proceso grafinį sprendimą pasiūlė Šmitas [11, 16]. Taikant šį metodą kaitinamos konstrukcijos skerspjūvis sudalijamas į lygias dalis, siekiant grafiškai nustatyti temperatūrą kiekviename sluoks-

nyje, kai temperatūra plokštumoje n lygi vidutinei dviejų gretimų plokštumų $n-1$ ir $n+1$ temperatūrai. Tai supaprastintas galinių skirtumų metodas, kuris gana sėkmingai taikomas panaudojant ESM [16].

Temperatūros laidumo proceso pritaikymas, nustatant konstrukcijos temperatūrą, yra sudėtingų šilumos mainų, vykstančių statybinėje konstrukcijoje, supaprastinimas. Šie metodai tinka vienalytei medžiagai, iš vienos pusės kaitinamai aukšta temperatūra (atitvaroms, plokštėms ir pan.). Tačiau jie netinka daugiasluoksniams medžiagoms arba nėra minimos jų taikymo ribos [11, 16]. Be to, temperatūros laidumo metodai, kaip temperatūros gaisro metu nustatymo būdai konstrukcijoje, nėra įteisinti normatyviniuose dokumentuose. Todėl jie nėra plačiai paplitę.

Šiuo metu temperatūrinių laukų pasiskirstymui statybinės konstrukcijos skerspjūvyje nustatyti yra naudojami įvairūs specializuoti programiniai paketai, kurie pagrįsti baigtinių elementų skaičiavimo principais. Plačiau šie naudojami FIRES-T3, TASEF-2, THELMA ir kt. [10, 12, 17–19, 22, 24]. Be abejo, šiems skaičiavimams tinka ir universalūs programiniai paketai, kuriuose numatytas šiluminių uždavinių sprendimas.

Taikant baigtinių elementų metodą (2 pav.) galima naudoti sudėtingas diferencialines lygtis, kurios gana tiksliai aprašo nestacionarius šilumos mainus konstrukcijoje. Šiuolaikiniais kompiuteriais per trumpą laiką patogioje darbo aplinkoje galima atlikti begalę matematinų veiksmų. Jiems sukurti grafiniai generatoriai, kurie labai vaizdžiai parodo apskaičiuotų temperatūrinių laukų išsidėstymą [18, 24].

Šio tipo metodų pranašumas išryškėja skaičiuojant skirtingų medžiagų konstrukcijoje panaudojimo bei skaičiavimo galimybes vienmatėje, dvimatėje ir trimatėje koordinatinių sistemose. Atitvarinėms konstrukcijoms skaičiuoti visiškai pakanka ir vienmatės koordinatinių sistemos, nes nagrinėjamas tik uždavinys tarp taško kaitinamame atitvaros paviršiuje ir taško, esančio nekaitinamame atitvaros paviršiuje [10, 12, 17–19, 22, 24].

Yra dar viena kompiuterinio modeliavimo rūšis, kuri vadinama CFD (*computational fluid dynamic*) modeliais ir grindžiama šilumos, kaip skysčio, judėjimo dėsniais [14, 22, 24]. Tokiu principu buvo sukurtas Lukjanovo hidraulinis integratorius, kurio skaičiavimo procesas yra ilgalaikis ir gana sunkus, bet gauti rezultatai pakankamai tikslūs [22].

Minėtieji metodai yra universalūs, leidžia lanksčiai ir pakankamai tiksliai nagrinėti šilumos mainus. Pagrindinė problema taikant šiuos metodus – šiluminių techninių rodiklių stoka.

Taikant daugelį išvardytų skaičiavimo metodų reikia medžiagos šiluminių techninių charakteristikų, kurios leistų tiksliai nustatyti medžiagų savybes aukštų temperatūrų sąlygomis ir jų darbo ypatumus.

4. Statybinių medžiagų šiluminių techninių rodiklių įtaka atliekant temperatūrinių laukų skaičiavimus

Pagrindiniai šiluminiai techniniai rodikliai yra: šilumos laidumo koeficientas, šilumos talpa ir temperatūros laidumo koeficientas. Be abejo, medžiagos tankis ir drėgmė taip pat yra svarbūs rodikliai, apibūdinantys medžiagos šiluminės savybės. Panagrinėkime, kokia yra jų įtaka skaičiavimo rezultatams.

Iš (1) lygties matome, kad temperatūros sklidimą kūne nusako temperatūros laidumo koeficientas a , kuris savo ruožtu priklauso nuo medžiagos santykinės šilumos talpos, šilumos laidumo koeficiento, medžiagos tankio ir kt. [11, 20, 22, 23]. Temperatūros laidumo koeficientas prilyginamas temperatūros pokyčiui, suteiktam atitinkamos medžiagos tūrio vienetui, jei suteiktas šilumos kiekis lygus šilumos laidumo koeficientui [23].

Remdamiesi temperatūros laidumo koeficiento apibrėžimu jį galime išreikšti lygtimi [23]:

$$a = \frac{\lambda}{c\rho}, \quad (3)$$

λ – šilumos laidumo koeficientas; c – statybinės medžiagos specifinė šilumos talpa; ρ – nagrinėjamos medžiagos tankis.

Atlikus tyrimus [11], buvo nustatyta, kad medžiagų temperatūros laidumo koeficientas priklauso ir nuo pačios medžiagos drėgmės (būdinga išorinėms konstrukcijoms) ir gali būti apskaičiuojamas taip:

$$a = \frac{\lambda}{(c + 0,012\omega)\rho}, \quad (4)$$

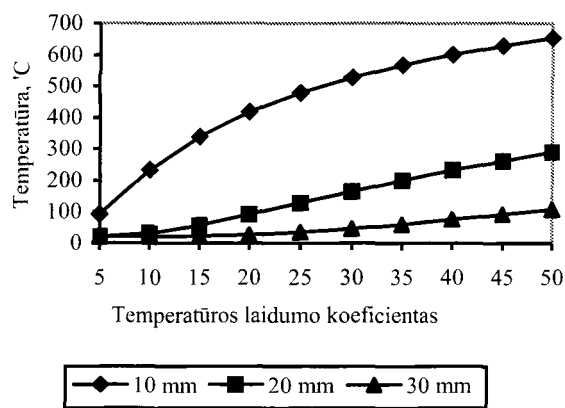
ω – medžiagos eksploatacinė drėgmė.

Statybinės medžiagos eksploatacinės drėgmės įtaka koeficientui gali būti išreikšta ir taip [13]:

$$a = \frac{3,6\lambda}{(c + 0,5\omega)\rho}. \quad (5)$$

Akivaizdžiai matyti, kad temperatūros laidumo ko-

eficiento nustatymo lygtys (3) – (5) yra skirtingos. Apskaičiavę sunkiojo betono temperatūros laidumo koeficientą pagal anksčiau pateiktas tris skirtingas išraiškas, gauname, kad (3) ir (4) lygčių rezultatai beveik nesiskiria, o lygčių (3) ir (5) rezultatai skiriasi apie 3,6 karto (3 pav.).

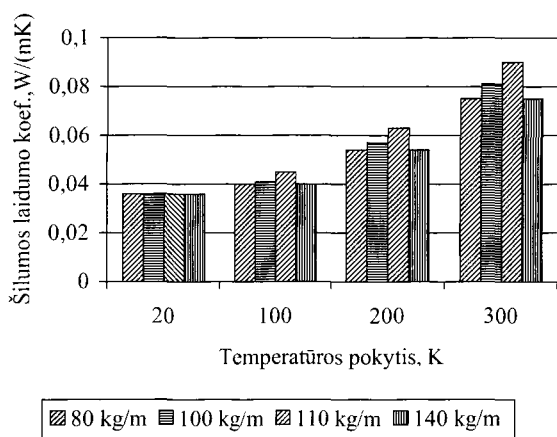


3 pav. Temperatūros ir temperatūros laidumo sąryšis taikant „fiktyvaus sluoksnio“ metodą, pagal lygtį (2) 10, 20 ir 30 mm atstumu nuo kaitinamo paviršiaus. Tiriama medžiaga – sunkusis betonas, kuris kaitinamas 30 min pagal standartinę gaisro kreivę

Fig 3. Temperatures calculated by the “fictitious layer” method equation (2) 10, 20 and 30 mm from exposed surface. Calculated material is heavy concrete, exposure time is 30 min

Temperatūros, apskaičiuotos pagal „fiktyvaus sluoksnio“ metodą, kai temperatūros laidumo koeficientas, nustatytas pagal (3) ir (5) lygtis, atitinkamai yra 212 °C ir 553 °C ir tarpusavyje skiriasi net apie 340 °C. Pagal izotermas galima nustatyti sunkiojo betono temperatūrą 10 mm atstumu nuo kaitinamo paviršiaus po 30 min temperatūros poveikio, kuri yra tarp nustatytų (apie 430 °C) [5]. Vadinasi, temperatūros laidumo koeficientas, nustatytas pagal (5) lygtį, tiksliau įvertina sunkiojo betono temperatūros laidumo savybes. Tačiau ir šis rezultatas yra gana apytikslis.

Temperatūros laidumo koeficiento reikšmės įtaka galutiniam rezultatui pateikta 3 paveiksle. Remiantis šio paveikslo kreivėmis galima teigti, kad, 4 kartus padidėjus temperatūros laidumo koeficientui, apskaičiuota temperatūra padidėja 3 kartus. Kitaip tariant, nuo koeficiento a tikslaus dydžio iš esmės priklauso temperatūros vertė, t. y. nagrinėjamame skerspjūvio taške gali būti netiksliai nustatyta temperatūra, dėl to gali būti klaidingai apskaičiuotas ir atsparumas ugniai arba netinka-



4 pav. Skirtingų tankių akmens vatos šilumos laidumo koeficientas keičiantis aplinkos temperatūrai

Fig 4. Rock-wool of different density thermal conduction dependence on environment temperature

mai apskaičiuotas apsauginio sluoksnio storis. Šis skirtumas gilesniuose sluoksniuose mažėja, t. y. žemesnėse temperatūrose skaičiavimo tikslumas didėja (3 pav.).

Turbūt žinomiausia statybinių medžiagų šiluminė charakteristika yra šilumos laidumo koeficientas, nes jis apie medžiagą suteikia nemaža informacijos ir yra pradinis rodiklis, padedantis nustatyti kitus išvestinius statybinės medžiagos rodiklius [11, 20, 23]. Vadinasi, taikant skaičiavimo metodus būtina imti tiksliai šio koeficiento reikšmes, nes, pavyzdžiui, deklaruojamos akmens vatos šilumos laidumo koeficientas yra 0,036 W/(mK). Tačiau, atlikus skaičiavimus, nustatyta, kad, šilumos laidumo koeficientui pakitus vos 0,004 (imant 0,04 W/(mK)), temperatūra skaičiuojamajame taške pakyla net 35 °C.

Pažymėtina, kad, nors deklaruojamas (normaliomis aplinkos sąlygomis) vienos rūšies medžiagos šilumos laidumo koeficientas yra vienodas, tačiau kylant temperatūrai jis gali būti visiškai skirtingas. Vadinasi, panašios medžiagos savybės normaliomis eksploataavimo sąlygomis neužtikrina identiško šiluminių techninių rodiklių pokyčio aukštesnėse temperatūrose. Šį reiškinį akivaizdžiai iliustruoja duomenys, pateikti 4 pav.

Svarbu tai, kad 100 kg/m³ tankio akmens vatos šilumos laidumo koeficientas kylant temperatūrai didėja sparčiau nei 140 kg/m³ tankio akmens vatoje, o 110 kg/m³ tankio akmens vatoje, kuri taip pat tankesnė, šis koeficientas, palyginti su 100 kg/m³, didėja lėčiau (4 pav.). Tuo tarpu 80 kg/m³ tankio akmens vatos šilumos laidumo koeficientas kinta taip pat, kaip ir

140 kg/m³ tankio akmens vatos. Visų išvardytų tankių akmens vatos deklaruojamas šilumos laidumo koeficientas yra 0,036 W/(mK).

Taigi nagrinėdami 4 pav. duomenis pastebime, kad tankis ir šilumos laidumo koeficientas normaliomis sąlygomis nėra lemiami šilumos laidumo koeficientui, o kartu ir temperatūros laidumo koeficiento kitimui aukštesnėse temperatūrose.

Logiška teigti, kad ir nežymus temperatūros laidumo koeficiento skirtumas iškreipia galutinius konstrukcijos atsparumo ugniai skaičiavimo rezultatus. Nors pagrindiniai statybinių medžiagų šiluminių techninių rodiklių kitimo dėsniai ir priklausomybės yra žinomos, tačiau tikslesnius šiluminius techninius duomenis atsparioms ugniai medžiagoms aukštesnėse temperatūrose (daugiau kaip 200 °C) rasti ar nustatyti yra sudėtinga arba jie iš viso dar nėra patikimai įvertinti.

5. Išvados

1. Yra trys pagrindiniai temperatūros bet kuriame atitvaros, veikiamos standartinio gaisro šilumine apkrova, taške apskaičiavimo principai. Skaičiavimo būdai, atliekami remiantis šiais principais, jų taikymas ir rezultatų tikslumas yra skirtingi.

2. Apžvelgti šilumos mainų atitvarinėje konstrukcijoje skaičiavimo būdai rodo, kad ne visuomet galima tiksliai įvertinti konstrukcijų deformacijas, jų suirimą ar sudegimą, dėl kurių atitvaroje atsiranda plyšiai, kuriais gali sklisti liepsna.

3. Statybinės medžiagos šiluminės savybės normaliomis sąlygomis nepakankamai apibūdina jos savybes aukštesnėse temperatūrose, nes tai lemia medžiagos struktūrą, cheminę sudėtį ir pan.

4. Remiantis išdėstyta medžiaga galima teigti, kad būtina plačiau nagrinėti statybinių medžiagų šiluminių techninių rodiklių kaitą, atsižvelgiant į temperatūrą, drėgmę, konstrukcijos funkcijas, medžiagos struktūros ypatumus ir pan. Tai ypač aktualu kuriant naujas ugniai atsparias medžiagas arba priemones, gerinančias šį rodiklį.

Literatūra

1. LST ISO 834:1997. Atsparumo ugniai bandymai. Pastatų konstrukcijos elementai. Vilnius: LST, 1997. 29 p.
2. LST EN 1363-1. Atsparumo ugniai bandymai. 1-oji dalis: Pagrindiniai reikalavimai. CEN, 1999. 49 p.
3. STR 2.01.01(2):1999. Esminiai statinio reikalavimai. Gaisrinė sauga / Aplinkos ministerija. Vilnius, 2000. 45 p.

4. LST L ENV 1991-2-2 Eurokodas 1. Projektavimo pagrindai ir poveikiai konstrukcijoms. 2–2 dalis. Gaisro poveikiai konstrukcijoms. CEN, 1995. 50 p.
5. LST L ENV 1992-1-2+AC Eurokodas 2. Gelžbetoninių konstrukcijų projektavimas. 1–2 dalis. Bendrosios taisyklės. Konstrukcijų gaisrinės saugos projektavimas. CEN, 1995. 85 p.
6. LST L ENV 1993-1-2 Eurokodas 3. Plieninių konstrukcijų projektavimas. 1–2 dalis. Konstrukcijų gaisrinės saugos projektavimas. CEN, 1995. 64 p.
7. СНиП 2.03.04-84. Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций в условиях воздействия повышенных и высоких температур / НИИЖБ. М.: ЦИТС Госстроя СССР, 1989. 82 с.
8. Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen Bauaufsichtlich eingeführte Prüfnormen DIN 4102. Ratingen: Pro-mat-Buros, 2000. 94 S.
9. K. Lukošius, R. Mačiulaitis. Akmens vatos gaminių temperatūros laidumo analizė aukštų temperatūrų sąlygomis // 6-osios tarptautinės konferencijos „Naujos statybinės medžiagos, konstrukcijos ir technologijos“, įvykusios Vilniuje 1999 m. gegužės mėn. 19–22 d., straipsniai. IV tomas. V: Technika, 1999, p. 375–380.
10. C. Gosselin, P. Eng. Structural Fire Protection – Predictive Methods. National Research Council of Canada, 1987.
11. В. П. Бушев, В. А. Пчелинцев и др. Огнестойкость зданий. М.: Стройиздат, 1970. 261 с.
12. L. Y. Cooper, J. M. Franssen. A basis for using fire modeling with 1-D thermal analyses of barriers/partitions to simulate 2-D and 3-D barriers/partitions structural performance in real fires, Report NISTIR 6170, BFRL, 1998. 53 p.
13. A. A. Šakmanas. Termodinamika ir šilumos mainai ugniagesyboje. Vilnius: Technika, 1996. 44 p.
14. B. Karlsson, J. G. Quintiere. Enclosure Fire Dynamics. Dept. of Fire Safety Engineering, Lund University, 1999. 327 p.
15. A. E. Cote and J. L. Linville. Fire protection handbook, 16th edition, Fire safety in building design and construction. Quincy, MA: NFPA, 1986, p. 7–82 to 7–108.
16. Д. Драйздеил. Введение в динамику пожаров. Москва: Стройиздат, 1990. 423 с.
17. R. Iding, B. Bresler, Z. Niramuddin. Fire-T3 a computer program for the fire response of structures – Thermal (three dimensional version). NIST Department of Civil Engineering, Report Nr. NIST GCR 95-682. 1996. 156 p.
18. U. Wickstrom. TASEF-2 a computer program for temperature analysis of structures exposed to fire, Report 79–2, Dept. of Structural Mechanics, Lund University, 1979.
19. T. T. Lie. A procedure to calculate fire resistance of structural members // Fire and Materials, Vol 8, No 1, NRCC 23574. 1984, p. 40–48.
20. A. Šapalas. Statybinių konstrukcijų atsparumas ugniai. Vilnius: Technika, 1995. 40 p.
21. В. М. Астапенко, Ю. А. Кошмаров, И. С. Молчадский, А. Н. Шевляков. Термогазодинамика пожаров в помещениях. Москва: Стройиздат, 1988. 448 с.
22. В. Р. Хлевчук, Е. Т. Артыкпаев. Огнезащита металлических конструкций зданий. Москва: Стройиздат, 1973. 97 с.
23. Л. А. Сена. Единицы физических величин и их размерности. Москва: Наука, 1977. 335 с.
24. S. Kumar. Computer love // Fire prevention 1997 September Hertfordshire: Fire protection association, 1997, p. 46–48.

Įteikta 2001 02 15

CALCULATION METHODS OF HIGH TEMPERATURE DISTRIBUTION WITHIN STRUCTURAL COMPONENTS AND APPLICATION OF THESE METHODS TO FIRE RESISTANCE ASSESSMENT

R. Mačiulaitis, K. Lukošius

Summary

Fire resistance of a building structure is one of important properties which describes the behaviour of the structure exposed to fire. Performance based on codes allows to use calculation methods. Given a satisfactory characterisation of the heat exposure, the designer may then compute how quickly temperatures will increase at various sections within the structural component. There are many calculation methods. They can be divided into three groups (Fig 1): using experimental data, using both temperature conduction process and non-stationary thermal conduction. Thermal conduction, temperature conduction and thermal capacitance are general properties for temperature prediction methods. Usually building materials have thermal characteristics for normal environment, which can not exactly describe material properties at high temperatures. But many calculation methods lack accurate thermal characteristics describing building material properties at high temperatures. This article is intended for the analysis of this question.

.....
Romualdas MAČIULAITIS. Doctor Habil, Professor. Head of Dept of Building Materials. Vilnius Gediminas Technical University (VGTU), Saulėtekio al. 11, LT-2040 Vilnius, Lithuania. E-mail: romualdas.maciulaitis@st.vtu.lt

Doctor (technical sciences, 1980), Doctor Habil (technical sciences, 1993). Professor (1999). Author of more than 120 publications. Research interests: durability, frost resistance, fire prevention and other properties and processes of building materials and products.

.....
Keštutis LUKOŠIUS. PhD student. Dept of Building Materials. Vilnius Gediminas Technical University (VGTU), Saulėtekio al. 11, LT-2040 Vilnius, Lithuania.
 E-mail: gtc.kestutis@vpgt.lt

MSc (1999, civil engineer). Co-author of 3 research papers. Research interests: fire resistance of building structures.