Statyba

ISSN: 1392-1525 (Print) (Online) Journal homepage: https://www.tandfonline.com/loi/tcem19

DETERMINATION OF CREEP PARAMETERS IN LAYERS OF BUILDING COMPOSITES

G. Marčiukaitis

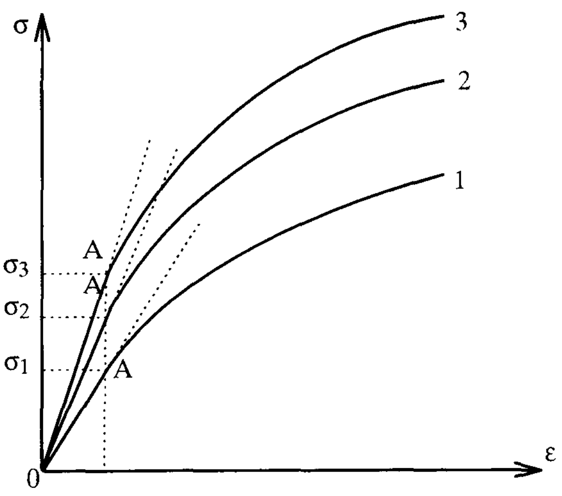
SLUOKSNIUOTŲJŲ STATYBINIŲ KOMPOZITŲ VALKŠNUMO PARAMETRŲ NUSTATYMAS

G.Marčiukaitis

1. Įvadas

Sluoksniuotaisiais statybiniais kompozitais laikomos medžiagos, dirbiniai ir konstrukcijos, kurių sudedamosios dalys - komponentai skiriasi savo fizikinėmis-mechaninėmis savybėmis ir sudėti sluoksniais. Sluoksnius apkrovos veikia skirtingai. Šio poveikio pobūdį (kaip ir kiekvienos medžiagos) nusako priklausomybė tarp įtempių ir deformacijų. Įvairių statybinio kompozito komponentų ji būna skirtinga. Tyrimai rodo [1, 2], kad betonų iki įtempių 0,1-0,4 nuo jų stiprumo ribos, polimerų pagal jų struktūrą ir tipą - 0,4-0,8, metalų - 0,65-0,75, keramikos - 0,6-0,9 ji būna beveik tiesinė. Šie skaičiai rodo, kad kompozito, sudaryto iš skirtingų savybių medžiagų, deformavimasis veikiant apkrovai taip pat bus skirtingas.

Jeigu kompozitas sudarytas iš trijų komponentų, kurie deformuojasi taip, kaip parodyta 1 pav., tai



1 pav. Skirtingų savybių medžiagų σ-ε priklausomybė.
A - sąlyginė tamprumo riba

Fig 1. σ-ε relationship for materials of different properties.
A - conventional elastic limit

gniuždant arba tempiant išilgai sluoksnių iki σ_1 įtempių visi komponentai deformuojasi kartu ir tampriai. Įtempiams didėjant 1 komponentė rodo atsiradusias plastines deformacijas, o kitos dvi, kad iki σ_2 įtempių komponentai deformuojasi tampriai. Tačiau dėl įtempių persiskirstymo tarp sluoksnių kompozitas deformuosis tampriai plastiškai. Viršijus σ_3 įtempius visi komponentai ir visas kompozitas deformuosis tampriai plastiškai. Tai rodo, kad veikiant ilgalaikei apkrovai valkšnumo deformacijos taip pat kis ne vienodai visuose komponentuose, o nuo jų priklausys ir viso kompozito valkšnumas.

Pastaruoju metu statyboje vis daugiau yra naudojama gaminių ir konstrukcijų, sudarytų iš skirtingų medžiagų sluoksnių. Gaminami ir naudojami įvairūs sluoksniuotieji dirbiniai, pastatų sienos daromos iš skirtingų standžiai surištų medžiagų sluoksnių. Net ir paprasto mūro siena iš įvairių plytų ar blokelių taip pat yra sluoksniuotas gaminys. Vienas sluoksnis gali būti iš plytų ir blokelių, turinčių skirtingas fizikines-mechanines savybes, kitas - iš skiedinio. Normatyviniuose dokumentuose yra pateikiami tik kai kurių medžiagų valkšnumo parametrai ir jų nėra, jeigu dirbiniai sudaryti iš skirtingų sluoksnių. Tik medžiagų ir atskirų greta esančių sluoksnių ir jų derinių skirtingomis deformacijomis galima paaiškinti dažnus atvejus, kai supleišėja sienų ir kitų konstrukcijų sluoksniai, atsiranda plyšių tarp vienasluoksnių vidinių ir sluoksniuotųjų išorinių sienų, išsikreivina sluoksniuotieji gaminiai (įvairūs blokeliai, termoizoliaciniai dirbiniai) ir pan. Sluoksnių deformacijų suderinamumas [3, 4] yra viena iš pagrindinių problemų projektuojant kokybiškas ir ilgalaikes konstrukcijas ir dirbinius.

2. Kompozitinių statybinių dirbinių komponentų valkšnumo nustatymo bendrieji principai

Valkšnumo deformacijos priklauso nuo įvairių veiksnių: apkrovos dydžio, jos veikimo pobūdžio, medžiagos struktūros ir fizikinių-mechaninių savybių, aplinkos drėgmės ir kt.

Daugelis lygčių, skirtų medžiagos valkšnumo kitimo pobūdžiui aprašyti, yra gautos taikant Foigto, Makswelo ir Kelvino tipų modelius.

Remiantis ankstesniais mūsų ir kitų autorių tyrimais [5, 6, 7, 8, 9], parenkant kompozito komponentų valkšnumo aprašymo lygtis ir atsižvelgiant į sluoksniuotųjų statybos kompozitų naudojimo sąlygas, galima daryti šias prielaidas:

1) tarp įtempių ir deformacijų apkrovimo metu yra tiesinė priklausomybė;
2) tarp valkšnumo deformacijų ir jas sukėlusių įtempių taip pat yra tiesinė priklausomybė;
3) valkšnumo deformacijoms naudotinas poveikių pridėjimo principas.

Jei įtempiai,suteikti t_0 laiku,didėja, tai bet kurio sluoksnio medžiagos valkšnumo deformacijų $\varepsilon_i(t)$ kitimą iki tam tikro laiko t aprašyti galima tokia lygtimi [10, 11]:

$$\varepsilon_i(t)=\frac{\sigma_i(t)}{E_i(t)}-\int_{t_0}^{t}\sigma_i(t_1)\frac{\partial\delta(t,t_1)}{\partial t_1}dt_1. \qquad (1)$$

(1) lygties dešiniosios pusės pirmasis narys reiškia tamprią deformaciją t laike, kurią sukelia $\sigma_i(t)$ įtempiai, o šios lygties antrasis narys įvertina valkšnumo deformaciją ir medžiagos savybių kitimą ("senėjimą"). Šio nario analizė parodė, kad dydis

$$\delta(t,t_1)=\frac{1}{E_i(t)}+C_i(t,t_0) \qquad (2)$$

ir valkšnumo deformacija bus:

$$\varepsilon_{cr,i}=\sigma(\xi)\,C_i(t,t_0), \qquad (3)$$

čia $\sigma(\xi)$ - ekvivalentiniai įtempiai medžiagoje, kurie sukelia tokias pat plastines deformacijas laike $t-t_0$, kaip ir kintamieji $\sigma(t)$ įtempiai per tą patį laiką; $C_i(t,t_0)$ - valkšnumo matas.

Praktika ir tyrimai rodo, kad kompozitiniai dirbiniai apkraunami, pasiekę beveik pastovų stiprį, ir kitos savybės laikui einant beveik nekinta. Todėl galima laikyti, kad $E(t)=E(t_0)=const.$ (gali būti nedidelė paklaida). Tada (1) lygtis bus tokia:

$$\varepsilon_i(t)=\frac{\sigma(t)}{E_{0,i}}+\int_{t_0}^{t}\sigma_i(t_1)\frac{\partial C_i(t_0-t_1)}{\partial t_1}dt_1, \qquad (4)$$

čia $\partial C_i(t_0,t_1)$ - i-ojo sluoksnio valkšnumo mato pokytis. Atitinkamas sluoksnio medžiagos valkšnumo matas gali būti nustatomas naudojantis N. Arutiuniano pasiūlyta formule, turint tos medžiagos ribines valkšnumo mato reikšmes C_{0i}:

$$C_i(t,t_1)=C_{0i}\left[1-e^{\gamma(t-t_1)}\right], \qquad (5)$$

čia C_{0i} - i-ojo sluoksnio medžiagos ribinė valkšnumo mato reikšmė; γ - koeficientas, skirtingas kiekvienai medžiagai ir nustatomas eksperimentais. Jis priklauso nuo medžiagos tipo, struktūros, savybių bei kai kurių technologinių gamybos veiksnių.

Pasinaudojus (5) lygtimi iš (4) lygties gaunama:

$$\varepsilon_i(t)=\frac{\sigma(t)}{E_{0,i}}+\gamma C_{0,i}\int_{t_0}^{t}\sigma(t_1)e^{-\gamma(t-t_1)}dt_1. \qquad (6)$$

Duotųjų lygčių sprendimas ir gautų rezultatų panaudojimas yra paprastesnis, kai sluoksniai išdėstyti statmenai įtempių veikimo krypčiai. Tačiau, kai sluoksniai išdėstyti išilgai įtempių veikimo krypties ir reikia įvertinti įtempių persiskirstymą tarp sluoksnių, patogiausia naudotis Z. Bazanto pasiūlytu metodu [12, 13, 14]. Pagal jį, bendra valkšnumo deformacija susideda iš valkšnumo deformacijų, kurias sukelia įtempiai $\sigma(t_0)$, ir deformacijų nuo jų pokyčio $\Delta\sigma(t)$. Šis pokytis sukelia deformacijas įtempių pasikeitimo ir valkšnumo metu. Taigi:

$$\varepsilon(t)=\frac{\sigma(t_0)}{E(t_0)}\varphi(t,t_0)+\frac{\Delta\sigma(t)}{E(t_0)}\left[1+\chi(t,t_0)\varphi(t,t_0)\right], \qquad (7)$$

čia $\varphi(t,t_0)$ yra valkšnumo koeficientas.

Valkšnumo koeficientas yra pagrindinis parametras, rekomenduojamas Europos normų [15, 16] skaičiuojant konstrukcijas, atsižvelgiant į valkšnumo deformacijas:

$$\varphi(t,t_0)=\frac{\varepsilon_i(t,t_0)}{\varepsilon_0}=\frac{\varepsilon_i(t,t_0)}{\sigma(t_0)}E(t_0), \qquad (8)$$

čia ε_0 - tamprioji deformacija.

Tarp valkšnumo koeficiento ir valkšnumo mato yra toks ryšys:

$$\varphi(t,t_0)=C(t,t_0)\cdot E(t_0). \qquad (9)$$

(7) lygtyje esantis dydis $\chi(t,t_0)$ yra koeficientas, kuris įvertina medžiagos savybių kitimą bėgant laikui, amžių apkrovimo metu, apkrovos veikimo laiką, gaminio formą, dydį ir kitus veiksnius. Šio koeficiento reikšmę galima nustatyti žinant pradinius įtempius $\sigma(t_0)$, įtempius po tam tikro laiko $\sigma(t)$ ir valkšnumo koeficientą:

$$\chi(t,t_0)=\frac{\sigma(t_0)}{\sigma(t_0)-\sigma(t,t_0)}-\frac{1}{\varphi(t,t_0)}. \qquad (10)$$

Kiekvienas kompozito komponentas turi savo E(t), C(t, t_0) arba φ(t, t_0) parametrus. Pavyzdžiui, vieno komponento valkšnumo deformacijos kartu ir valkšnumo koeficientas gali būti didesni, kito mažesni. Taigi kompozito deformavimosi priklausomybė ir visi valkšnumo parametrai užims tarpinę padėtį.

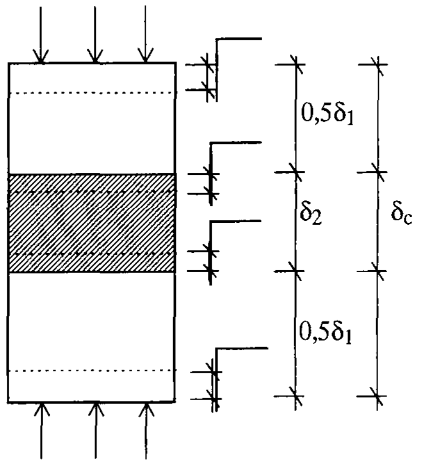
Kaip nustatyti σ(t_0) ir σ(t, t_0) įtempius, parodyta kituose poskyriuose.

3. Sluoksniuotojo kompozito su sluoksniais, išdėstytais skersai apkrovos veikimo krypties, valkšnumo parametrų nustatymas

Jeigu paimtume sluoksniuotą elementą, pavaizduotą 2 pav., gautume, kad bendrasis jo sutrupėjimas bus lygus atskirų sluoksnių sutrupėjimų sumai, t.y.:

$$\Delta_c=\Delta_1+\Delta_2, \qquad (11)$$

čia ir toliau 1 - matrica (m) ir 2 - intarpas (inc).



2 pav. Kompozito su horizontaliai išdėstytais sluoksniais deformavimosi schema

Fig 2. Deformation diagram for a composite with horizontally spaced layers

Kadangi $\Delta_i=\varepsilon_i\,\delta_i$ (ε_i ir δ_i atitinkamo sluoksnio santykinė deformacija ir storis), tai (11) lygtį galime užrašyti taip:

$$\varepsilon_c\delta_c=\varepsilon_1\delta_1+\varepsilon_2\delta_2. \qquad (12)$$

Abi (12) lygties puses padaliję iš bendro kompozito δ_c storio gauname:

$$\varepsilon_c=\varepsilon_1\frac{\delta_1}{\delta_c}+\varepsilon_2\frac{\delta_2}{\delta_c}. \qquad (13)$$

Jeigu atskirų sluoksnių dalis imtume kaip tūrinius santykius, t.y. $\frac{\delta_1\cdot l}{\delta_c\cdot l}=V_1$ ir $\frac{\delta_2\cdot l}{\delta_c\cdot l}=V_2$ (l - elemento plotis), (13) lygtį galima užrašyti taip:

$$\varepsilon_c=\varepsilon_1 V_1+\varepsilon_2 V_2. \qquad (14)$$

Jei deformacijos nustatomos po tam tikro laiko t, tai:

$$\varepsilon_c(t)=\varepsilon_{1c}(t)V_1+\varepsilon_2(t)V_2. \qquad (15)$$

Įtempiai visuose sluoksniuose bet kuriuo laiku yra vienodi, t.y. $\sigma(t)=\sigma_1(t)=\sigma_2(t)=\sigma_i(t)$. Atskirų sluoksnių bendrosios deformacijos tam tikru laiko momentu t yra nustatomos pasinaudojus (8) sąlyga pagal tokią formulę:

$$\varepsilon_i(t,t_0)=\sigma(t_0)\left[\frac{1}{E_i(t_0)}+\frac{\varphi_i(t,t_0)}{E(t)}\right]=\sigma(t_0)I_i(t,t_0), \qquad (16)$$

čia $I_i(t, t_0)$ - valkšnumo funkcija.

$\varepsilon_i(t, t_0)$ reikšmę iš (16) lygties įrašę į (15) lygtį gauname:

$$\varepsilon_c(t)=\sigma(t_0)I_1(t,t_0)V_1+\sigma(t_0)I_2(t,t_0)V_2. \qquad (17)$$

Kadangi $\sigma(t_0)$ visuose sluoksniuose vienodi, tai (17) lygtį galima užrašyti taip:

$$\varepsilon_c(t)=\sigma(t_0)[I_1(t,t_0)V_1+I_2(t,t_0)V_2]. \qquad (18)$$

Jeigu kompozitinis dirbinys yra sudarytas iš n skirtingų sluoksnių, tai:

$$\varepsilon_c(t)=\sigma(t_0)\sum_{i=1}^{n}I_i(t,t_0)V_i. \qquad (19)$$

Jeigu sluoksnių deformacijų moduliai laikui bėgant nekinta, tai:

$$I_i(t,t_0)=\frac{1}{E_i(t_0)}[1+\varphi_i(t,t_0)]. \qquad (20)$$

Skaičiuojant kompozitų deformavimąsi veikiant tik ilgalaikei apkrovai ir neatsižvelgiant į pradines deformacijas apkrovimo metu, (19) lygtis bus tokia:

$$\varepsilon_c(t)=\frac{\sigma(t_0)}{E_i(t)}\sum_{i=1}^{n}\varphi_i(t,t_0)V_i. \qquad (21)$$

(19) ir (21) formulių analizė rodo, kad, norint nustatyti kompozitinio dirbinio valkšnumo deformacijas, reikia turėti atskirų sluoksnių valkšnumo koeficiento ir sluoksnio medžiagos deformacijų modulių reikšmes. Koeficientas $\varphi_i(t, t_0)$ priklauso nuo laiko, o deformacijų modulis gali būti ir pastovus, t.y. laikui bėgant nekisti.

Atskiros medžiagos valkšnumo koeficientui, panašiai kaip ir valkšnumo matui, nustatyti yra pasiūlyta įvairių metodų ir formulių [6, 8, 9].

Jeigu yra žinoma atskirų komponentų (sluoksnių) ribinės valkšnumo koeficiento reikšmės, tai ribinės sluoksniuotojo kompozito valkšnumo deformacijos bus:

$$\varepsilon_{c,\lim} = \frac{\sigma(t)}{E_i(t)} \sum_{i=1}^{n} \varphi_{0,i} V_i \, . \tag{22}$$

Abi (22) lygties puses padaliję iš $\frac{\sigma(t)}{E_i(t)}$, gauname:

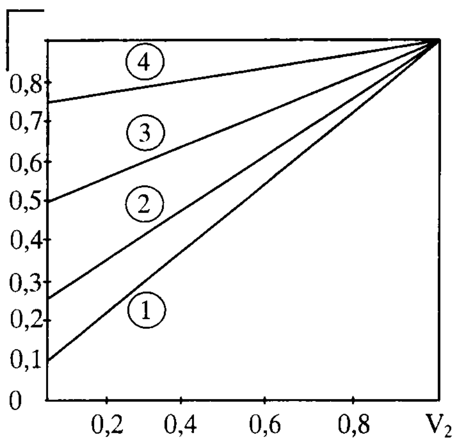
$$\varphi_{0,c} = \sum_{i=1}^{n} \varphi_{0,i} V_i \, . \tag{23}$$

Mūsų nagrinėjamo sluoksniuotojo kompozito iš dviejų skirtingų medžiagų valkšnumo koeficiento ribinė reikšmė bus:

$$\varphi_{0,c} = \varphi_{01} V_1 + \varphi_{02} V_2 \, . \tag{24}$$

Kadangi $V_1+V_2=1$ ir $V_1=1-V_2$, (24) lygtį galima užrašyti taip:

$$\varphi_{0,c} = \varphi_{01}(1-V_2) + \varphi_{02} V_2 \, . \tag{25}$$



3 pav. Kompozito ir didesnio valkšnumo sluoksnio valkšnumo koeficientų santykio ($\varphi_{0,c}/\varphi_{0,2}$) priklausomybė nuo šio sluoksnio santykinio tūrio (V_2) ir sluoksnių valkšnumo koeficientų santykio ($\varphi_{01}/\varphi_{02}$):1-0,10; 2-0,25; 3-0,50; 4-0,75

Fig 3. Variation of creep ratio ($\varphi_{0,c}/\varphi_{0,2}$) of creep coefficient of composite and that of the layer with higher creep in relation to relative volume (V_2) of this layer and to creep coefficient rations of layers ($\varphi_{0,1}/\varphi_{0,2}$): 1-0.10; 2-0.25; 3-0.50; 4-0.75

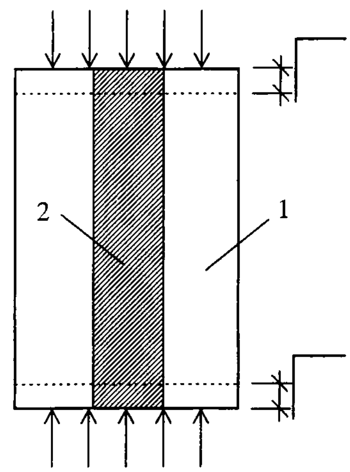
(24) ir (25) lygtys rodo, kad, žinant atskirų komponentų valkšnumo koeficientų ribines reikšmes ir jų santykinius tūrius, galima apskaičiuoti sluoksniuotojo kompozito valkšnumo koeficiento ribinę reikšmę.

(25) lygties analizė rodo (3 pav.), kad, įtempiams veikiant statmena sluoksniams kryptimi, kompozito valkšnumo koeficientas mažėja, mažėjant didesnio valkšnumo sluoksnio storiui (santykiniam tūriui V_1), ir atvirkščiai. Šie duomenys taip pat rodo, kad, atitinkamai parenkant sluoksnių medžiagas, jų savybes ir santykinius tūrius, galima gauti sluoksniuotąjį kompozitą su numatytomis valkšnumo deformacijomis. Tai yra labai svarbu norint pasiekti šalia esančių konstrukcijų ar jų sluoksnių deformacijų suderinamumą.

4. Valkšnumo nustatymas, kai sluoksniai išdėstyti išilgai įtempių veikimo krypties

Kai komponentai išdėstyti išilgai įtempių veikimo krypties, tai, naudodamiesi 4 paveikslo schema, galime užrašyti:

$$\Delta_c=\Delta_m=\Delta_{inc} \text{ arba } \varepsilon_c(t)=\varepsilon_m(t)=\varepsilon_{inc}(t). \tag{26}$$



4 pav. Kompozito su vertikaliai išdėstytais sluoksniais deformavimo schema: 1 - matrica (m) (išoriniai sluoksniai); 2 - intarpas (inc) (vidiniai sluoksniai)

Fig 4. Deformation diagram of a composite with vertically spaced layers: 1 - matrices (m) (exterior layers); (2) - insert (inc) (interior layers)

Priklausomai nuo komponentų medžiagų deformacinių savybių, stiprio ir įtempių dydžio, sutinkami trys valkšnumo deformacijų kitimo atvejai.

1 atvejis - kai komponentų deformacinės savybės yra vienodos. Šiuo atveju kompozitas laikui bėgant deformuojasi pagal tą patį dėsnį kaip atskiras komponentas. Vadinasi, ir valkšnumo koeficientai turi būti lygūs:

$$\varphi_c(t, t_0)=\varphi_{inc}(t, t_0)= \varphi_m(t, t_0) \, . \tag{27}$$

Bendras deformavimosi dėsningumas bus aprašomas naudojantis aukščiau duotomis lygtimis.

Įtempių persiskirstymo tarp sluoksnių apskaičiavimo rezultatai

Results of calculation of stress distribution between layers

Sluoksniai	E_i (MPa)	A_i (m^2)	φ (t, t_0), kai t (paromis)					
			0	25	50	100	500	1000
Išoriniai (1)	21000	0,012	0	0,8	1,2	1,7	2,3	2,7
Vidiniai (2)	4000	0,020	0	1,0	1,7	2,4	3,2	3,8
Įtempiai (MPa) sluoksniuose		Išoriniuose	4,74	4,86	4,97	4,99	5,00	5,02
		Vidiniuose	0,90	0,83	0,77	0,75	0,74	0,74

2 atvejis - kai abu komponentai deformuojasi tampriai plastiškai, t.y. kai veikiantys σ įtempiai viršija jų medžiagos tamprumo ribas, kurios yra skirtingos. Dėl to įtempiai viename komponente didės, o kitame mažės. Tai galima užrašyti taip:

$$\sigma_m(t)=\sigma_m(t_0)+\Delta\sigma_m(t), \tag{28}$$

$$\sigma_{inc}(t)=\sigma_{inc}(t_0)-\Delta\sigma_{inc}(t), \tag{29}$$

čia $\sigma_m(t_0)$ ir $\sigma_{inc}(t_0)$ - įtempiai matricoje ir intarpuose apkrovos suteikimo metu (t_0); $\Delta\sigma_m(t)$ ir $\Delta\sigma_{inc}(t)$ - įtempių matricoje ir intarpuose pokyčiai dėl jų persiskirstymo.

Bet kuriuo atveju turi būti išlaikyta tokia pusiausvyros sąlyga: kompozito atstojamoji įrąža $N_c(t)$ bet kuriuo momentu turi būti lygi atskirų komponentų atstojamųjų $N_i(t)$ įrąžų sumai, t.y.:

$$N_c=N_{inc}(t)+N_m(t). \tag{30}$$

Šios įrąžos bus:

$$N_{inc}(t)=\sigma_{inc}(t)A_{inc}=\sigma_{inc}(t)V_{inc},$$

$$N_m(t)=\sigma_m(t)A_m=\sigma_m(t)V_m. \tag{31}$$

Iš šios sąlygos galima gauti:

$$\sigma_m(t)=\frac{N_m(t)}{A_m};\quad \sigma_{inc}(t)=\frac{N_{inc}(t)}{A_{inc}}. \tag{32}$$

Remiantis (8) ir (16) sąlygomis ir įvertinus deformacijas įtempių atsiradimo metu, bendrosios bet kurio komponento deformacijos bus nustatomos lygtimi, analogiška betono valkšnumo lygčiai [7, 16]:

$$\varepsilon_i(t,t_0)=\frac{\sigma_i(t_0)}{E_i(t_0)}[1+\varphi_i(t,t_0)]. \tag{33}$$

Įtempių reikšmes iš (33) sąlygos įrašę į (34), gauname:

$$\varepsilon_m(t,t_0)=\frac{N_m(t,t_0)}{A_m E_m(t_0)}[1+\varphi_m(t,t_0)] \quad \text{ir}$$

$$\varepsilon_{inc}(t,t_0)=\frac{N_{inc}(t,t_0)}{A_{inc}E_{inc}(t_0)}[1+\varphi_{inc}(t,t_0)]. \tag{34}$$

Kadangi galioja (26) sąlyga, tai:

$$\frac{N_m(t,t_0)}{A_m E_m(t_0)}[1+\varphi_m(t,t_0)] = \\ =\frac{N_{inc}(t,t_0)}{A_{inc}E_{inc}(t_0)}[1+\varphi_{inc}(t,t_0)]. \tag{35}$$

Iš (35) lygties galima gauti bet kurio komponento įtempių atstojamąją. Vadinasi,

$$N_m(t,t_0)= \\ =N_{inc}(t,t_0)\frac{A_m E_m(t_0)[1+\varphi_{inc}(t,t_0)]}{A_{inc}E_{inc}(t_0)[1+\varphi_m(t,t_0)]} \tag{36}$$

ir

$$N_{inc}(t,t_0)= \\ =N_m(t,t_0)\frac{A_{inc}E_{inc}(t_0)[1+\varphi_m(t,t_0)]}{A_m E_m(t_0)[1+\varphi_{inc}(t,t_0)]}. \tag{37}$$

(37) lygties dešinės pusės trupmeninę dalį pažymėję η, ją užrašome taip:

$$N_{inc}(t,\ t_0)=\eta N_m(t,\ t_0). \tag{38}$$

Šią $N_{inc}(t,\ t_0)$ reikšmę įrašę į (30) lygtį gauname:

$$N_c=N_m(t,\ t_0)+\eta N_m(t,\ t_0)=N_m(t,\ t_0)(1+\eta). \tag{39}$$

Iš (39) ir (38) lygčių galima gauti formules įrąžoms ir įtempiams komponentuose apskaičiuoti bet kuriuo t laiku:

$$N_m(t,t_0)=\frac{N_c}{1+\eta},\quad N_{inc}(t,t_0)=\frac{\eta N_c}{1+\eta},\qquad (40)$$

$$\sigma_m(t,t_0)=\frac{N_c}{(1+\eta)A_m},\quad \sigma_{inc}(t,t_0)=\frac{\eta N_c}{(1+\eta)A_{inc}}.\ (41)$$

Įtempių kitimas parodytas lentelėje, kurioje išanalizuotas sluoksniuotas elementas, centriškai apkrautas jėga N=75 kN. Išoriniai sluoksniai (1) iš sunkiojo betono (storis 3 cm), vidinis sluoksnis - putų betono (storis 10 cm). Kiti duomenys pateikti lentelėje.

Kaip matyti, įtempiai stipresniajame sluoksnyje didėja, o silpnajame termoizoliaciniame mažėja. Kaip rodo šie duomenys, didžiausias įtempių pokytis būna pirmosiomis 100 dienomis. Tai būdinga betono tipo medžiagoms, esant linijiniam valkšnumui.

Žinant įtempius ir pasinaudojus (33) sąlyga, galima apskaičiuoti bendrąsias ir valkšnumo deformacijas. Tačiau dar negalima nustatyti tokios kompozitinės medžiagos pagrindinių valkšnumo parametrų: valkšnumo koeficiento ir valkšnumo mato.

Jeigu laikytume, kad kompozitą veikia tam tikri ekvivalentiniai $\sigma_c(\xi)$ įtempiai, tai analogiškai (30) ir (31) lygtims galima užrašyti:

$$\sigma_c(\xi)=\sigma_{inc}(t,t_0)V_{inc}+\sigma_m(t,t_0)V_m.\qquad (43)$$

Įvertinę tai, kad $\sigma_i(t,t_0)=\varepsilon_i(t,t_0)\frac{E_i(t_0)}{\varphi_i(t,t_0)}$ ir šią reikšmę įrašę į (43) lygtį, gauname:

$$\varepsilon_c(t,t_0)\frac{E_c(t_0)}{\varphi_c(t,t_0)}=\varepsilon_{inc}(t,t_0)\frac{E_{inc}(t_0)}{\varphi_{inc}(t,t_0)}V_{inc}+$$
$$+\varepsilon_m(t,t_0)\frac{E_m(t_0)}{\varphi_m(t,t_0)}V_m,\qquad (44)$$

čia $E_c(t_0)$ - kompozito tamprumo modulis.

Kadangi galioja (26) sąlyga, tai iš (44) lygties, atlikę atitinkamus pertvarkymus, gauname formulę kompozito valkšnumo koeficientui apskaičiuoti:

$$\varphi_c(t,t_0)=\frac{E_c(t_0)\varphi_{inc}(t,t_0)\varphi_m(t,t_0)}{\varphi_m(t,t_0)E_{inc}(t_0)V_{inc}+\varphi_{inc}(t,t_0)E_m(t_0)V_m}.\qquad (45)$$

Tokio tipo kompozitinės medžiagos tamprumo modulį galima nustatyti pagal 4 pav. schemą ir bendrąsias pusiausvyros sąlygas. Nesunkiai įrodoma, kad šiuo atveju gali būti pritaikytas "mišinio" dėsnis. Vadinasi:

$$\sigma_c=\sigma_{inc}V_{inc}+\sigma_m V_m.\qquad (46)$$

Pasinaudojus Huko dėsniu galima užrašyti:

$$\varepsilon_c E_c=\varepsilon_{inc}E_{inc}V_{inc}+\varepsilon_m E_m V_m.\qquad (47)$$

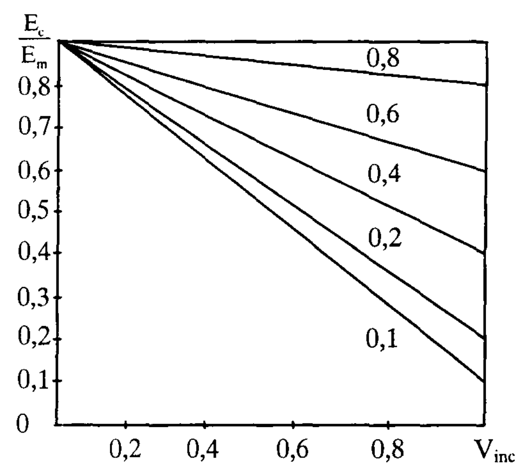
Kadangi ir šiuo atveju galioja (26) sąlyga, tai iš (47) lygties, panašiai kaip gauta (45) formulė, gauname:

$$E_c=E_c(t_0)=E_{inc}V_{inc}+E_mV_m.\qquad (48)$$

Kadangi $V_{inc}+V_m=1$, tai:

$$E_c=E_{inc}V_{inc}+E_m(1-V_{inc}).\qquad (49)$$

(45) ir (49) formulių analizė rodo, kad, kaip ir vienalytės medžiagos, taip ir kompozito valkšnumo koeficientas priklauso nuo jo tamprumo (deformacijų) modulio, kuris priklauso nuo silpnesniojo sluoksnio santykinio tūrio ir abiejų sluoksnių modulių santykio (5 pav.). Atitinkamai parenkant šiuos veiksnius galima reguliuoti dirbinio ne tik deformacijų modulį, bet ir atitinkamus valkšnumo parametrus.



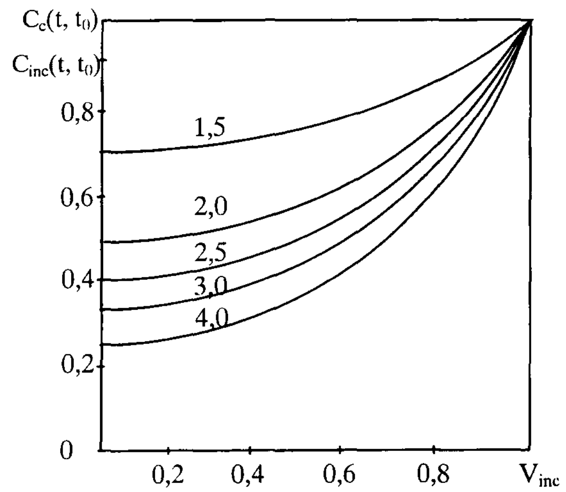
5 pav. Kompozito ir matricos (stipresniojo sluoksnio) deformacijų modulių (E_c/E_m) santykio priklausomybė nuo intarpų (šiltesniojo sluoksnio) tūrinio santykio V_{inc} ir sluoksnių modulių $\frac{E_{inc}}{E_m}$ santykio, kurį rodo skaičiai prie linijos

Fig 5. Variation of ratio of elasticity model of matrices (stronger layer) and that of composite (E_c/E_m) in relation to relative volume V_{inc} of inserts (warmer layer) and to modular ratio $\frac{E_{inc}}{E_m}$ of layers, which in indicated by numbers of the lines

Valkšnumo koeficiento nustatymas pagal (45) formulę labai supaprastina tokio tipo kompozitinių dirbinių visų valkšnumo parametrų ir deformacijų apskaičiavimą. Kompozitinio dirbinio, pateikto ankstesniame pavyzdyje, bendrosios ir valkšnumo deformacijos nustatytos pagal (16) lygtį, $\varphi_c(t,\ t_0)$ reikšmes apskaičiavus pagal (45) formulę, buvo palygintos su deformacijomis, nustatytomis pagal (7) lygtį, $\sigma(t, t_0)$ ir $\Delta\sigma(t, t_0)$ reikšmes apskaičiavus naudojantis (41) formule.

Apskaičiavimo rezultatų palyginimas parodė, kad $\varphi_c(t, t_0)$ skaičiuojant pagal (45) formulę, valkšnumo deformacijos buvo iki 1% didesnės, negu skaičiuojant pagal apskaičiuotus įtempius naudojantis (41) formule. Viena iš priežasčių - tam tikra deformacijų modulio nustatymo paklaida, kuri neturi praktinės reikšmės.

Tai rodo, kad sluoksniuotų kompozitinių dirbinių valkšnumo koeficientą galima apskaičiuoti darant tokias pat prielaidas, kaip ir skaičiuojant kitus jų deformatyvumo parametrus. Vadinasi, atsižvelgiant į tam tikras sąlygas, galima nustatyti kompozito su sluoksniais, išdėstytais lygiagrečiai įtempių krypties, valkšnumo matą. Pasinaudoję (43) lygtimi ir (8)-(9) sąlygomis galime parašyti:



6 pav. Kompozito valkšnumo ir silpnesnio sluoksnio (intarpų) valkšnumo matų santykio $\left[C_c(t,t_0) / C_{inc}(t,t_0) \right]$ priklausomybė nuo šio sluoksnio santykinio tūrio ir sluoksnių valkšnumo matų santykio $\left[C_{inc}(t,t_0) / C_m(t,t_0) \right]$, kurio reikšmės parodytos prie kreivių

Fig 6. Variation of ratio of creep factors $\left[C_c(t,t_0) / C_{inc}(t,t_0) \right]$ of composite and that of the weaker layer in relation to the relative volume of this layer and to the ratio of creep factors $\left[C_{inc}(t,t_0) / C_m(t,t_0) \right]$ of layers, values of which are indicated at the curves

$$\frac{\varepsilon_c(t,t_0)}{C_c(t,t_0)} = \frac{\varepsilon_{inc}(t,t_0)}{C_{inc}(t,t_0)} V_{inc} + \frac{\varepsilon_m(t,t_0)}{C_m(t,t_0)} V_m . \qquad (50)$$

Kadangi deformacijos visuose sluoksniuose ir viso kompozito yra lygios ((26) sąlyga), tai pertvarkę (50) lygtį, gauname:

$$C_c(t,t_0) = \frac{C_{inc}(t,t_0) C_m(t,t_0)}{C_m(t,t_0) V_{inc} + C_{inc}(t,t_0) V_m} . \qquad (51)$$

(51) formulės ir 6 pav. pateiktų kreivių analizė rodo, kad šio tipo kompozito valkšnumo matas netiesiniai priklauso nuo sluoksnių santykinio tūrio ir sluoksnių tamprumo modulių santykio.

Atitinkamai parenkant sluoksnių medžiagų deformacines savybes ir jų santykinius tūrius galima gauti kompozitą su norimomis valkšnumo mato reikšmėmis ir su galimomis valkšnumo deformacijomis.

3 atvejis, kai vienas sluoksnis yra tamprumo stadijoje, o kitas - tampriai plastiškas. Įtempių persiskirstymo ir jų kitimo nustatymo formules galima gauti panašiai kaip ir antruoju atveju. Pavyzdžiui, nustatant deformacijas pagal (33) formulę, sluoksniui, kuris deformuojasi tampriai $\varphi_1(t, t_0)=0$. Atitinkamai pasikeičia ir įrąžų bei įtempių kitimo laikui bėgant nustatymo formulės (36)-(41).

5. Išvados

Sluoksniuotųjų statybinių kompozitų valkšnumas ir jo parametrų nustatymas priklauso nuo sluoksnių išsidėstymo įtempių veikimo krypties atžvilgiu. Kai sluoksniai išdėstyti skersai įrąžų veikimo krypties, kompozito valkšnumas ir jo parametrai priklauso nuo atskirų sluoksnių medžiagų valkšnumo parametrų ir jų santykinių tūrių. Atskirų sluoksnių ir viso kompozito valkšnumo deformacijos gali būti aprašomas naudojantis atskirų sluoksnių medžiagų valkšnumo deformacijų nustatymo lygtimis.

Kai sluoksniai išdėstyti išilgai įtempių veikimo krypties, vyksta jų persiskirstymas tarp sluoksnių. Sluoksnyje su didesniu deformacijų moduliu įtempiai didėja, su mažesniu - mažėja. Straipsnyje pasiūlyti metodai leidžia nustatyti sluoksniuotųjų kompozitų pagrindinius valkšnumo parametrus, žinant atskirų sluoksnių valkšnumo koeficientus arba valkšnumo matus, jų deformacijų modulius ir santykinius tūrius. Kai kompozitinis dirbinys yra pasiekęs reikiamą stiprumą (E(t)=const), įtempiai sukelia tik linijinį valkšnumą. Laikoma, kad Puasono koeficientai yra beveik vienodi. Tai dažniausi kompozitinių statybinių dirbinių naudojimo atvejai. Atitinkamai parenkant dirbinio atskirų sluoksnių storius, jų santykius ir medžiagų savybes galima gauti dirbinį arba kompozitinę medžiagą su iš anksto nustatytomis valkšnumo deformacijomis.

Literatūra

1. A. W. Hendry. Structural Masonry. Macmillan Education Lt.d., 1990. 282. p.
2. C. T. Grim. Strength an Related Properties of Brick Masonry // Journal of the Structural Division, vol. 101, No. ST1, 1975, p. 117-232.
3. Каменные и армокаменные конструкции. СНиП II–22–81. М.: Стройиздат. 64 с.
4. Пособие по проектированию каменных и армокаменных конструкций. М.: Стройиздат. 152 с.
5. А. Р. Ржаницын. Теория ползучести. М.: Стройиздат, 1968. 413 с.
6. И. Е. Прокопович. Основы прикладной линейной теории ползучести. Киев: Выща школа, 1978. 142 с.
7. И. Е. Прокопович. Прикладная теория ползучести. М.: Стройиздат, 1980. 240 с.
8. И. И. Улицкий. Теория и расчёт железобетонных конструкций с учётом длительных процессов. Киев: Будивельник, 1967. 346 с.
9. В. М. Бондаренко, С. В. Бондаренко. Инженерные методы нелинейной теории железобетона. М.: Стройиздат, 1982. 287 с.
10. Г. Марчюкайтис, Э. Дулинскас. Напряженно–деформированное состояние преднапряженных железобетонных конструкций при теплообработке. Вильнюс, 1975. 121 с.
11. Г. Марчюкайтис. Исследование физико–механических свойств бетона и железобетона, пропитанных полимерами, и учёт их особенностей при расчёте конструкций: Дис....габил. д–ра. Вильнюс–Москва, 1979. 407 с.
12. Z. P. Bazant. Prediction of Concrete Creep Effects Using Age-Adjusted Effective Modules Method.// ACI Journal, vol. 69, No. 4, 1972, p. 212-217.
13. R. Gilbert. Time Effects in Concrete Structures. Amsterdam. Elsevier Science Publishers B.V., 1988. 284 p.
14. I. Cypinas. Geometrically non-linear Analysis of Reinforced Concrete Frame Structures with Account of Creep and Cracking in Tension Zone // Building Construction, Nr. 4(8). Vilnius: Technika, 1996, p. 11-20.
15. British Standards Institution. Eurocode 2: Design of Concrete Structures - Part I. General Rules and rules of Buildings, London, 1922, DD ENV 1922-1-1:1992.
16. Concrete Structures Euro-Design Handbook. Edit. by Eibl J., Berlin, Erkstand Sohn, 1995. 754 p.

Įteikta 1998 02 19

DETERMINATION OF CREEP PARAMETERS IN LAYERS OF BUILDING COMPOSITES

G. Marčiukaitis

S u m m a r y

Various composite building products consisting of layers of different physical-mechanical properties being tied rigidly together are manufactured and used in construction. In many cases such products curve, become flaky, crack and their thermo-insulating capability suffers. It occurs because deformation properties are not adjusted, different layers of such products deform differently under the load. And the deformation effects the behaviour of the whole structure. A correct adjustment of deformations can be achieved with allowance for creep of different layers and of the whole composite. Determination of creep parameters - creep coefficient and specific creep - depends on the orientation of layers in respect of the direction of force action. When layers are situated transverselly in respect of the direction of action of forces (stresses), creep parameters of composite depend on creep parameters of materials of separate layers and on relative volumes of these layers. Creep deformations of a composite can be described by equations describing creep of individual layers. Appropriate equations and formulas ((17)-(25)) are presented for determining such deformations.

When layers are parallel to the direction of stresses, redistribution of these stresses between layers takes place. Compression stresses increase in a layer with higher modulus of deformation and decrease in that with lower modules. Proposed equations (37)-(42) enable to determine redistribution of stresses between layers, the main creep parameters of composite, their modulus of deformations and creep deformations themselves when strength of a composite product is reached, $E(t_0)=E(t)=const$ and stresses produce linear creep. Such loading of a composite product is the most common in practice. Presented formulas ((46), (52)) and diagrams show that it is possible to design a composite building product or material with creep parameters given in advance by means of appropriate distribution of product layers, selecting ratios between layers and properties of materials.

Gediminas MARČIUKAITIS. Professor, Doctor Habil. Dept of Reinforced Concrete Structures. Vilnius Gediminas Technical University (VGTU), Saulėtekio al. 11, LT-2040 Vilnius, Lithuania.

A graduate of Civil Engineering Faculty of Kaunas Polytechnic Institute in 1957. Ph D degree in 1963. Research visit to the University of Illinois in 1969. Doctor Habil thesis in 1980 at Moscow Civil Engineering Institute. Professor since 1982. Author and co-author of 4 monographs, 2 text-books and more than 250 scientific articles. Research interests: mechanics of reinforced concrete, masonry and layered structures, new composite materials, structures and investigation and renovation of buildings.