

## ANGLIES PLUOŠTU SUSTIPRINTŲ GELŽBETONINIŲ SIJŲ SKAIČIAVIMAS PAGAL SUDĖTINIŲ STRYPŲ TEORIJĄ

**Mykolas Daugevičius**

*Doktorantas, Vilniaus Gedimino technikos universitetas*

*El. p. mykolas\_d@yahoo.com*

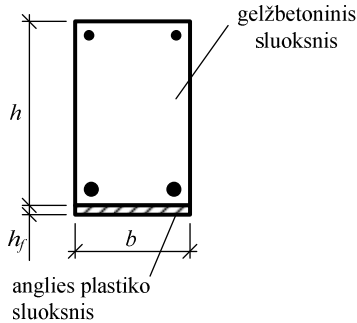
**Anotacija.** Nagrinėjamas gelžbetoninės sijos su anglies pluoštu statmenojų pjūvio skaičiavimas pagal sudėtinių strypų teoriją, kai sija apkrauta dviem sutelktosiomis jėgomis ir jos galai nėra užstandinti. Pirmajame skyriuje pateiktos lygtys sluoksniuotos sijos, susidedančios iš gelžbetoninio ir anglies plastiko sluoksnių. Antrajame skyriuje pateiktos formulės, pagal kurias skaičiuojamos šlyties jėgos ir lenkimo momento priklausomybės.

### **Įvadas**

Skaičiuojant anglies pluoštu sustiprintą gelžbetoninę siją pagal sudėtinių strypų teoriją (Ржаницын 1986) laikomasi prielaidos, kad standus ryšys tarp sluoksnių išilgai su sija yra panaikinamas ir vertinamas jungties tarp sluoksnių standumo koeficientas.

### **Sijos elementų bendrosios kanoninės lygtys**

Sijos skerspjūvis susideda iš dviejų sudėtinių strypų: betoninio ir anglies plastiko skerspjūvio. Kadangi betoninis skerspjūvis dar turi ir armatūrą, o anglies pluošte yra epoksidinės dervos (kliju), todėl kiekvieno skerspjūvio tamprumo modulį užrašome taip (1 pav.):



**1 pav.** Gelžbetoninės sijos su anglies plastiku skerspjūvis

$$\begin{aligned}
 E_{c,r} &= E_c V_c + E_s V_s; \\
 E_{f,r} &= E_f V_f + E_e V_e,
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

čia  $E_c$ ;  $E_s$ ;  $E_f$ ;  $E_e$  – betono, armatūros, anglies pluošto, epoksidinių klijų tamprumo moduliai;  $V_c$ ;  $V_s$ ;  $V_f$ ;  $V_e$  – kiekvienos medžiagos santykinis tūris. 1 pav. pateiktas sijos skerspjūvis, kur pavaizduoti atskiri sluoksniai. Kadangi tolesniems skaičiavimams reikės ašinių strypų standumų, tai (Fib bulletin 14 2001) rekomenduojama skerspjūvį redukuoti pagal medžiagų santykinius tūrius – tarp pasikeis kiekvieno strypo standumas. Anglies plastiko skaičiuotinės reikšmės turi būti padaugintos iš aplinkos poveikio koeficiento, bet tamprumo moduliui jos įtakos neturi (ACI 440.2R-02...).

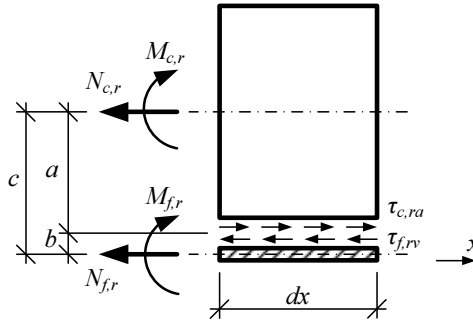
Bendras skerspjūvio standumas:

$$D = \Sigma E_i I_i = E_{c,r} I_{c,r} + E_{f,r} I_{f,r},
 \tag{2}$$

čia  $I_{c,r}$ ;  $I_{f,r}$  – redukuoti gelžbetoninio ir anglies plastiko skerspjūvių inercijos momentai.

Veikiant lenkimo momentui sijos sluoksnių horizontalioje jungtyje atsiranda šlyties įtempiai  $\tau$ . Kadangi jungtis tarp anglies plastiko ir betono buvo standi, tai sistema statiškai neišsprendžiama. Ji spren-

džiama jėgų metodu imant, kad pagrindiniai nežinomieji yra šlyties įtempiai  $\tau_{c,ra}$  ir  $\tau_{f,rv}$  (2 pav.).



2 pav. Sijos padalijimas į strypus

Taigi pagal jėgų metodą panaikinus jungtį tarp sluoksnių pridedamos vienetinės šlyties jėgos (2 pav.), todėl galioja sąlyga, kad vienetinių jėgų ir išorinės apkrovos sukeltas poslinkis tarp sluoksnių turi būti lygus nuliui, ir jėgų metodo kanoninė lygtis atrodys taip:

$$\delta T_c + \delta T_f + \Delta_p = 0, \quad (3)$$

čia  $\delta T_c$ ;  $\delta T_f$  – vienetinių jėgų sukelti poslinkiai atpalaiduoto ryšio kryptimi;  $\Delta_p$  – poslinkis atpalaiduoto ryšio kryptimi pagal tikrąją apkrovą.

Pagal superpozicijos principą bendras sistemos lenkimo momentas:

$$M = M_i + M_i^T, \quad (4)$$

čia  $M_i = M_{c,r}$ , t. y. gelžbetoniniame skerspjūvyje išorinės apkrovos sukeltas lenkimo momentas, neįvertinus šlyties jėgų.  $M_i^T = -T_c \cdot a - T_f \cdot b$  – šlyties jėgų sukeltas lenkimo momentas.

Taigi bendras lenkimo momentas dabar atrodys taip:

$$M = M_{c,r} - T_c \cdot a - T_f \cdot b. \quad (5)$$

Kadangi  $T_c = T_f$ , tai  $M = M_{c,r} - T_k \cdot c$ ; čia  $c = a + b$ .

Lenkimo momento veikiama sija išsikreivina ir atskirų strypų kreivis esant mažiems įlinkiams beveik vienodas, t. y.:

$$\rho_i = -\frac{M_i}{E_i I_i}. \quad (6)$$

Kadangi sija lenkiama, tai papildomai atsiranda ir išilginės deformacijos  $\varepsilon$ . Gelžbetoninio skerspjuvio apatinės deformacijos ir anglies plastiko viršutinės deformacijos (ties sluoksnių horizontalia jungtimi):

$$\varepsilon_{c,a} = \varepsilon_{c,m} - \rho \cdot b; \quad (7)$$

$$\varepsilon_{f,v} = \varepsilon_{f,m} + \rho \cdot a, \quad (8)$$

čia  $\varepsilon_{c,m} = \frac{N_c}{E_{c,r} A_{c,r}}$ ;  $\varepsilon_{f,m} = \frac{N_f}{E_{f,r} A_{f,r}}$  – gelžbetoninio ir anglies plastiko sudėtinio strypo išilginės deformacijos.

Anglies plastiko sluoksnis yra labai plonas (1–1,5 mm). Jis bus kaip membrana, todėl (8) formulės antrasis narys lygus nuliui. Sluoksnių deformacijos:

$$\varepsilon_{c,a} = \frac{N_c}{E_{c,r} A_{c,r}} - \frac{M_{c,r}}{E_{c,r} I_{c,r}} \cdot b; \quad (9)$$

$$\varepsilon_{f,v} = \frac{N_f}{E_{f,r} A_{f,r}}. \quad (10)$$

Anksčiau buvo laikytasi sąlygos, kad poslinkiai tarp sluoksnių turi būti lygūs nuliui, tai reiškia, kad  $u = u_{c,a} - u_{f,v} = 0$ , o kadangi

$$u' = \varepsilon = \frac{du}{dx} = 0, \text{ tai:}$$

$$u' = \varepsilon_{c,a} - \varepsilon_{f,v} = 0; \quad (11)$$

$$u' = \frac{N_{c,r}}{E_{c,r}A_{c,r}} - \frac{M_{c,r}}{E_{c,r}I_{c,r}} \cdot b - \frac{N_{f,r}}{E_{f,r}A_{f,r}}. \quad (12)$$

Sluoksnių ašinės jėgos lygios:

$$N_{c,r} = N_{c,rp} - T_{c,ra}; \quad (13)$$

$$N_{f,r} = N_{f,rp} - T_{f,rv}, \quad (14)$$

čia  $N_{c,rp}$ ;  $N_{f,rp}$  – išorinės apkrovos sukeltos ašinės jėgos neįvertinus šlyties jėgų;  $T_{c,ra}$ ;  $T_{f,rv}$  – šlyties jėgos.

Deformacijų skirtumo formulė atrodys taip:

$$u' = \frac{N_{c,rp}}{E_{c,r}A_{c,r}} - \frac{T_{c,ra}}{E_{c,r}A_{c,r}} - \frac{M_{c,r}}{E_{c,r}I_{c,r}} \cdot b - \frac{N_{f,rp}}{E_{f,r}A_{f,r}} + \frac{T_{f,rv}}{E_{f,r}A_{f,r}} - \frac{T_k \cdot c}{E_{c,r}A_{c,r}} \cdot c. \quad (15)$$

### Šlyties jėgų ir lenkiamosios galios skaičiavimas

Sijos sluoksnių jungtis yra kitokio standumo, todėl (3) dešinioji pusė prilyginama  $u_k = \tau_k / \xi_k$ ; čia  $\tau_k$  – jungties šlyties įtempiai,  $\xi_k$  – jungties standumo koeficientas. Jeigu standumas  $\xi_k$  bus begalinis, tai kontakto poslinkis bus lygus nuliui. Kai sluoksniai tarpusavyje suklijuoti, jungties standumo koeficientas:

$$\xi_k = \frac{b \cdot G_k}{c}, \quad (16)$$

čia  $G_k$  – sluoksnių jungties šlyties modulis.

Apskaičiavus šlyties modulį, nustatomos šlyties jėgos iš A. R. Ržanicyno išvestų formulių. Atraminėje zonoje (nuo atramos

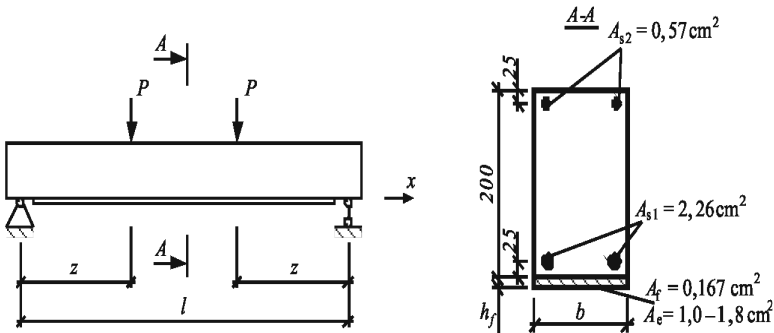
iki pirmosios jėgos pridėjimo vietos) šlyties jėga gali būti apskaičiuota:

$$T_z = \frac{P \cdot c}{\gamma(E_{c,r} \cdot I_{c,r})} \left[ \frac{ch\lambda \left( \frac{l}{2} - z \right)}{\lambda \cdot ch(\lambda l/2)} sh\lambda x - x \right]. \quad (17)$$

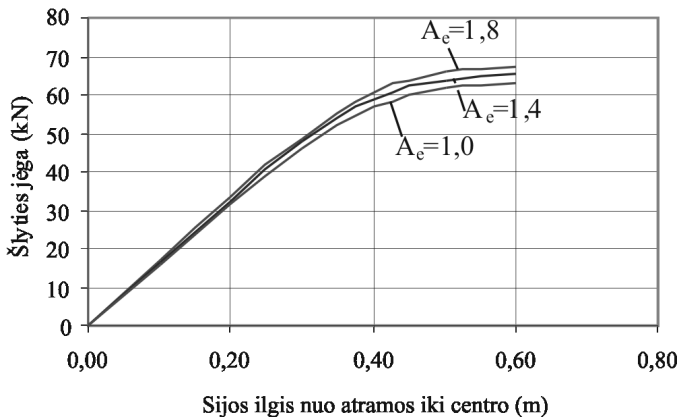
Tarpatramio vidurinėje dalyje (tarp jėgų pridėjimo vietų) šlyties jėga

$$T_v = \frac{P \cdot c}{\gamma(E_{c,r} \cdot I_{c,r})} \left[ \frac{sh(\lambda \cdot z) \cdot ch\lambda \left( \frac{l}{2} - x \right)}{\lambda \cdot ch(\lambda l/2)} - z \right]. \quad (18)$$

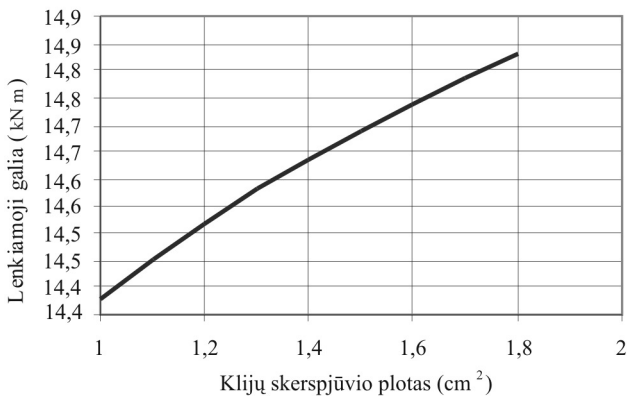
Šlyties jėga skaičiuojama kiekvieno ruožo atskirai, t. y. sijos ruože nuo atramos iki jėgos pridėjimo vietos ir atskirai iki vidurio (3 pav.). Pagal (4) apskaičiuojamas lenkimo momentas sijos viduryje, kai apkrova  $P = 50 \text{ kN}$ , rezultatai pateikiami 4 ir 5 pav.



3 pav. Gelžbetoninės sijos su anglies pluoštu skaičiuojamoji schema ir skerspjūvio pjūvis



4 pav. Šlyties jėgos kitimas išilgai su sija



5 pav. Lenkiamosios galios priklausomybė nuo plastiko skerspjūvio ploto

## Išvados

1. Esant didesniai epoksidinių klijų kiekiui, kontakto šlyties jėgos didėja ir atitinkamai didėja lenkiamojo elemento laikomoji galia.

2. Anglies plastiko skerspjūvį rekomenduojama redukuoti atsižvelgiant į medžiagų tūrio santykius, kadangi padidėjus epoksidinių klijų kiekiui padidėja skerspjūvis ir atitinkamai sumažėja ribiniai įtempiai esant pačiai ašinei jėgai.

## **Literatūra**

*ACI 440.2R-02. Guide for the design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening concrete structures.* ACI Committee 440.

*Fib bulletin 14.* 2001. *Externally bonded FRP reinforcement for RC structures.* Technical report. Federation internationale du beton (fib). 131 p.

Ржаницын, А. Р. 1986. *Составные стержни и пластинки.* Москва: Стройиздат. 314 с.

## **CALCULATION OF FERROCONCRETE BEAM REINFORCED WITH CARBON FIBER PLASTIC ACCORDING TO THE THEORY OF BUILT-UP BARS**

**M. Daugevičius**

### **Summary**

Calculation of bending moment capacity is investigated with the help of the theory of built-up bars for ferroconcrete beam reinforced with carbon fiber plastic. A Beam is loaded with two concentrated forces and beam ends are not stiffened. Governing equations for layered beam of ferroconcrete and carbon fiber plastic sections are presented in the first chapter. Calculation of shear forces and bending moment capacity is presented in the second chapter.