

ANALYSIS OF BEHAVIOUR OF COMPOSITE ELEMENTS WITH PROFILED STEEL SHEET

G. Marčiukaitis , J. Valivonis & MSc-Engr. A. Vaškevičius

To cite this article: G. Marčiukaitis , J. Valivonis & MSc-Engr. A. Vaškevičius (2012) ANALYSIS OF BEHAVIOUR OF COMPOSITE ELEMENTS WITH PROFILED STEEL SHEET, *Statyba*, 7:6, 425-432, DOI: [10.1080/13921525.2012.10531768](https://doi.org/10.1080/13921525.2012.10531768)

To link to this article: <https://doi.org/10.1080/13921525.2012.10531768>



Published online: 30 Jul 2012.



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



Article views: 94

LENKIAMŪJŲ KOMPOZITINIŲ ELEMENTŲ, ARMUOTŲ PROFILIUOTAIS METALO LAKŠTAIS, DARBO ANALIZĖ

G. Marčiukaitis, J. Valivonis, A. Vaškevičius

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

1. Įvadas

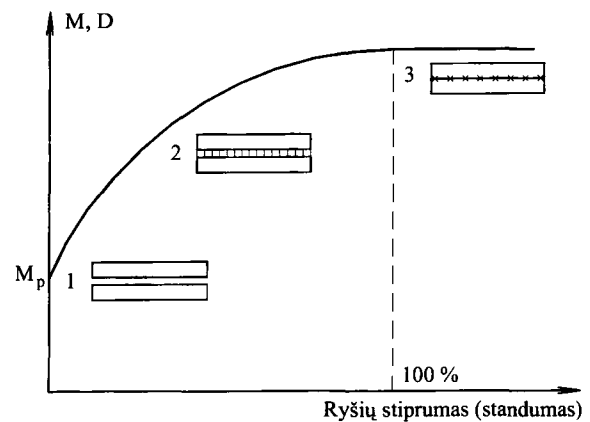
Daugelyje šiuolaikinės technikos, taip pat ir statybos sričių efektyviausios konstrukcijos yra kompozitinės. Optimaliai parenkant ir išdėstant kompozitines konstrukcijas sudarančius komponentus, jos atitinka daugiau eksploatacinių reikalavimų, negu konstrukcija, sudaryta iš vieno komponento. Tačiau kompozitinių konstrukcijų darbas, veikiant apkrovai, skiriasi nuo vienalyčių konstrukcijų darbo. Taip yra ne tik dėl skirtingų atskirų komponentų – sluoksnių fizikinių-mechaninių savybių, bet ir dėl sluoksnių bendro darbo užtikrinimo lygio.

Dabartiniu metu statyboje vis plačiau naudojamos kompozitinės monolitinės plieno-betono perdangos, jas armuojant profiliuotais metaliniais lakštais. Tokie lakštai betonuojant konstrukcijas naudojami kaip liktiniai klojiniai, o, eksploatacijos metu veikiant apkrovai, dirba kaip išorinė armatūra. Naudojant profiliuotus lakštus betono sluoksnio ir lakštų bendras darbas būna geresnis, efektyviau išnaudojamas tokios plokštės aukštis.

Bendrą sluoksnių darbą veikiant apkrovai galima pasiekti neleidžiant įvykti betono sluoksnio ir lakštų pasislinkimui kontakto plokštumoje. Adhezinis ir trinties sukibimas tarp betono ir metalo ne visuomet garantuoja, kad pasislinkimas neįvyks. Todėl ieškoma įvairių būdų kontakto tarp betono ir metalinių lakštų stiprumui ir standumui užtikrinti. Dažnai profiliuotų lakštų skardoje statmenai briaunoms daromi įvairios formos nelygumai (briaunelės), kurie padidina mechaninį atsparumą prasklydimui. Atramų zonoje gali būti įrengiami specialūs inkarai.

Kaip pavaizduota 1 paveiksle, tokių konstrukcijų stiprumas bei standumas priklauso nuo ryšio tarp sluoksnių stiprumo ir standumo.

Kai ryšių tarp sluoksnių nėra, jie dirba atskirai arba dirba tik profiliuotas metalo lakštas (1 pav. 1 taš-

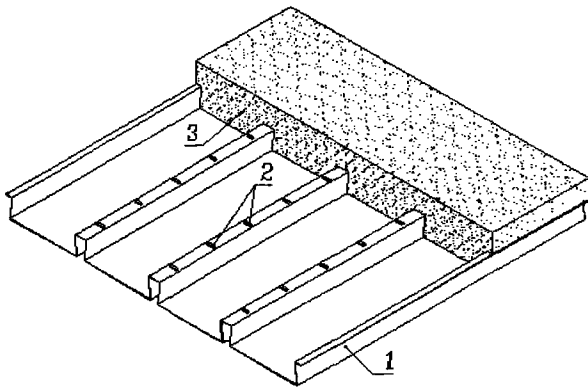


1 pav. Ryšių tarp sluoksnių stiprumo (standumo) įtaka konstrukcijos darbui veikiant apkrovai: M, D – konstrukcijos stiprumas ir standumas; 1 – kai ryšių nėra; 2 – ryšiai pasiduodantys; 3 – ryšiai standūs ir stiprūs

Fig 1. Influence of strength (stiffness) of connections between the layers on structure behaviour under the load: M, D – strength and stiffness of the structure; 1 – without connections; 2 – yielding connections; 3 – stiff and strong connections

kas). Didinant ryšio standumą bendras konstrukcijos stiprumas ir standumas taip pat didėja (1 pav. 2 kreivė). 2 kreivės ruože (tarp 1 ir 3 taškų) konstrukcija suirs dėl šlyties įtempimų sluoksnių kontakto plokštumoje. Kai ryšiai yra pakankamai standūs ir stiprūs (3 taškas ir toliau), konstrukcija suirs įstrižame arba statmename pjūvyje. Vadinasi, sluoksniuotosios konstrukcijos nuo vienasluoksnių skiriasi ir tuo, kad projektuojant pirmąsias reikia apskaičiuoti ne dviejų, o trijų pjūvių: įstrižojo, vertikalojo ir horizontalojo (sluoksnių kontakto plokštumoje) stiprumą.

Įvairių metalinių lakštų profilių formų analizė rodo [1], kad vienas iš efektyviausių profilių yra lakštai su kregždės uodegos formos bangomis (2 pav.).



2 pav. Kompozitinės plokštės su metaliniu profiliuotu kregždės uodegos formos bangomis schema: 1 – lakštas; 2 – bangos inkarinės briaunelės; 3 – betono sluoksnis

Fig 2. Diagram of composite slab with “swallow tail” shape wave steel profile: 1 – sheet; 2 – anchoring ribs in the wave; 3 – concrete layer

Bangos forma, be kitų veiksnių, didinančių sukibimą su betono sluoksniu, padidina trinties jėgą, veikiant apkrovai.

Tačiau šio tipo kompozitinių plokščių darbas veikiant apkrovai nei teoriškai, nei eksperimentais nėra gerai išanalizuotas. Galiojančios projektavimo normos ir kiti pasiūlymai [2–6] neduoda vieningos statmenų ir horizontaliųjų pjūvių stiprio skaičiavimo metodikos. Nepakankamai yra duomenų apie horizontaliųjų pjūvių ties kontakto plokštumą darbą ir stiprumo skaičiavimą. Kontakto zonoje, ypač virš bangų ties inkarinėmis briaunelėmis, susidaro sudėtingas įtempimų būvis, atsiranda vertikaliosios ir horizontaliosios skėlimo jėgos, kurios turi įtakos horizontaliųjų pjūvių darbui ir įrašų pasiskirstymui. Šlyties įtempimų pasiskirstymas kontakto plokštumoje ir jų dydis taip pat turi esminės įtakos plokščių darbui veikiant apkrovai. Daugybė įvairių veiksnių, turinčių įtakos šiems parametrams, teoriškai sunkiai įvertinami. Todėl nėra ir tikslaus horizontaliojo pjūvio stiprumo skaičiavimo metodo. Be to, nėra pakankamai eksperimentinių duomenų apie tokių konstrukcijų įvairių pjūvių įtempimų deformacijų būvius ir jų įtaką suirimo pobūdžiui.

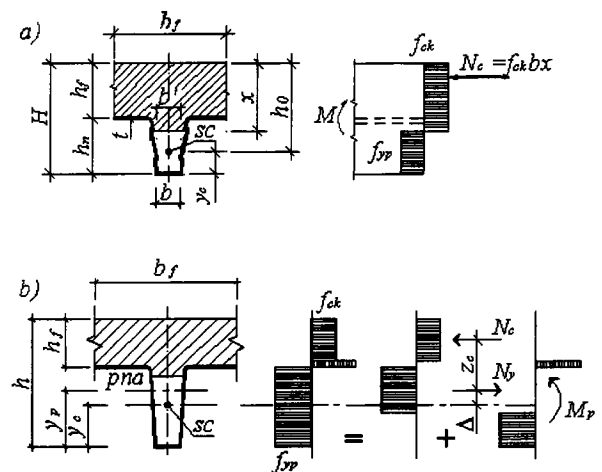
2. Kompozitinių elementų su profiliuotais lakštais stiprumo apskaičiavimo metodų analizė

Kaip buvo nurodyta, esant visiškam sukibimui tarp sluoksnių, gali būti tikrinamas tik vertikaliojo pjūvio

stiprumas. Tačiau šalyje galiojančios projektavimo normos [2, 3] nurodo skirtingus skaičiavimo metodus. Jei gu laikysime, kad lenkiamojame konstrukcijoje neutralioji ašis eina skerspjūvio briauna (neviršija lakšto aukščio), tai skerspjūvio skaičiuojamosios schemas (3 pav. a, b) ir pagrindinės lygtys yra skirtingos. Pagal normas (rekomendacijas) [2] vertikaliojo pjūvio laikomoji galia apskaičiuojama formule:

$$M_u = f_{ck} \cdot S_c + f_{yp} [S'_p + t(x - h_f)^2 + t(h - x)^2 + S''_p], \quad (1)$$

čia S_c , S'_p , S''_p – gniuždomojo betono, profiliuoto lapo viršutinės ir apatinės lentynų statiniai momentai neutraliosios ašies atžvilgiu.



3 pav. Lenkiamųjų betono-metalo kompozitinių elementų skaičiuojamosios schemas: a – pagal rekomendacijas [2]; b – pagal [3]

Fig 3. Diagram for calculation of composite concrete steel flexural members: a – in accordance with recommendations [2]; b – in accordance with [3]

Skaičiavimo schemų (3 pav.) palyginimas rodo, kad pagal [3] įtempimų diagramas sudaro dvi dalys: dalis, kurią perima profiliuotas lakštas, ir dalis, kurią perima gniuždomoji betono zona. Vadinasi, konstrukcijos laikomoji galia yra:

$$M_u = M_p + N_c \cdot z_c, \quad (2)$$

$N_c z_c$ – momentas, kurį perima gniuždomosios zonos betonas, t. y.:

$$N_c = 0,85 f_{ck} h_f \cdot b_f, \quad (3)$$

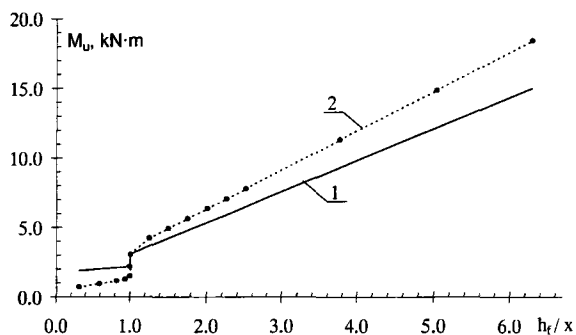
M_p – dalis momento, kurį perima metalinis lakštas.

Šis momentas yra lygus sumažintam plastiniam momentui. Jis apskaičiuojamas pagal tokią formulę:

$$M_p = k \cdot M_{pl} \left(1 - \frac{N_c}{A_p f_{yp}} \right), \quad (4)$$

čia k – koeficientas, įvertinantis įtempimų pasiskirstymą tempiamojoje zonoje. Jo reikšmes skirtingi autoriai siūlo skirtingas: pagal [3] $k=1,25$, o pagal [7] $k=1,18$. Panašiai skaičiavimo lygtys gaunamos ir kai neutralioji ašis eina virš lakšto.

Skaitmeniniam metodų palyginimui buvo apskaičiuoti vertikaliųjų pjūvių atlaikymo momentai kompozitinėms plokštėms, kurių metalinių lakštų storis 1,0 mm, betonas B15 klasės, su įvairiais betono sluoksnio storiais. Lakštų profilio forma ir metalo stiprumas buvo vienodi. Kaip rodo skaičiavimo rezultatai, pavaizduoti 4 paveiksle, skirtingi skaičiavimo metodai duoda skirtingas jų reikšmes, t. y. jos skiriasi 1,4–2,9 karto. Ypač didelis skirtumas būna, kai neutralioji ašis eina lakšto profilyje. Šiuo atveju euronormos [3] duoda mažesnes reikšmes negu [2], o, kai neutralioji ašis eina betono sluoksnyje, atvirkščiai, pagal [3] apskaičiuota laikomoji galia yra didesnė negu apskaičiuota pagal [2].



4 pav. Vertikaliajo pjūvio stiprumų, apskaičiuotų skirtingais metodais, palyginimas: 1 – pagal [2]; 2 – pagal [3]

Fig 4. Comparison of normal section strength calculated according to different methods: 1 – according to [2]; 2 – according to [3]

Tai galima paaiškinti tuo, kad esant storesniam betono sluoksniui geriau panaudojama lakšto laikomoji galia ir jo plastinės deformacijos.

Analizė rodo, kad vertikaliajo pjūvio stiprumo apskaičiavimo pagal [3] principus galima taikyti įvertinant ir horizontaliojo pjūvio stiprumą. Tam naudojama (2) lygtis, kurioje jėgų petys z apskaičiuojamas taip:

$$z = h - 0,5h_f - y_p + (y_p - y) \frac{N_c}{A_p f_{yp}}, \quad (5)$$

N_c – gniuždomosios zonos įtempimų atstojamoji.

Šiuo atveju jėga N_c apskaičiuojama pagal (3), tik h_f keičiama į x :

$$x = \frac{N_c}{b_f 0,85 f_{cm}} \leq h_c. \quad (6)$$

Taip pat skaičiuojant vidinių jėgų petį z (5) formulėje h_f keičiama į x .

Antra vertus, kaip rodo tyrimai [7], išilginė jėga lakšte ir atitinkamai betone, siekiant išvengti irimo kontakto zonoje, turi atitikti sąlygą:

$$N_c = N_y = N_t,$$

N_t – jėga, atlaikanti šlyties įrašą kontakto zonoje.

Kontakto zonos stiprumas, užtikrinantis sluoksnių bendrą darbą, priklauso nuo daugelio veiksnių. Euronormos [3] bet kokio konstrukcinio sprendimo kontakto stiprumui nustatyti siūlo kai kuriuos parametrus patikrinti eksperimentais, kadangi kitokių duomenų beveik nėra.

Remiantis bendrąja šlyties įrašų tarp sluoksnių pagal ilgį pasiskirstymo teorija [1, 3, 5, 6], lenkiamojo elemento (nuo atramos), kuriame gali įvykti suirimas, ilgis apskaičiuojamas taip:

$$L_u = \frac{N_t}{b \tau_{u,mid}} = \frac{N_c}{b \tau_{u,mid}}, \quad (7)$$

b – kontakto plokštumos plotis; $\tau_{u,mid}$ – vidutiniai šlyties įtempimai.

Šlyties įtempimai gali būti apskaičiuoti pagal [3] siūlomą formulę:

$$\tau_{u,mid} = \frac{\eta N_c}{b(L_s + L_0)}, \quad (8)$$

L_0 – konstrukcijos galo už atramos ilgis; L_s – atstumas nuo atramos iki jėgos pridėjimo vietos; η – koeficientas, įvertinantis kontakto stiprumo įtaką elemento stiprumui lenkiant.

Pagal apskaičiuotąjį L_u ilgį (7) formulė galima nustatyti, kuriame pjūvyje įvyks suirimas. Kai $L_z \geq L_u$, plokštė suirs vertikaliajame pjūvyje, nes kontakto tarp betono ir profiliuoto lakšto stiprumas yra didesnis už kontakto zonoje veikiančius tangentinius įtempimus.

Kai $L_z < L_u$, plokštė suirs horizontaliajame pjūvyje, nes kontakto tarp betono ir profiliuoto lakšto stiprumas yra mažesnis už kontakto zonoje veikiančius tangentinis įtempimus.

Koeficientą η [3] siūloma nustatyti eksperimentiniu būdu pagal nurodomą bandymo schemą. Tačiau šiuo atveju koeficientas neįvertina galimos konstrukcijos apkrovimo schemos, kuri gali keistis eksploatavimo metu, neįvertina plokštės skirstomosios armatūros ir daugelio kitų veiksnių.

3. Koeficiento η analitinis nustatymas

Kaip rodo atlikta analizė, koeficientas

$$\eta = \frac{N_t(z)}{N_c}, \quad (9)$$

N_c – gniuždymo įtempimų atstojamoji, kai suirimas įvyksta vertikaliajame pjūvyje; $N_t(z)$ – šlyties įtempimų atstojamoji nagrinėjamame pjūvyje.

Bendruoju atveju

$$N_t(z) = \int_0^{L_z} b \tau(z) dz. \quad (10)$$

Remiantis sudėtinių strypų teorija [8] ir mūsų tyrimais [9–11], $N_t(z)$ gali būti apskaičiuojama pagal tokią formulę:

$$N_t(z) = \frac{M(z) \cdot y_0}{\gamma(E_s I_s + E_c I_c)} k(z), \quad (11)$$

$M(z)$ – nagrinėjamame pjūvyje veikiantis lenkimo momentas; E_s, E_c, I_s, I_c – lakšto ir betono tamprumo moduliai ir skerspjūvių inercijos momentai; L_z – atstumas nuo atramos iki nagrinėjamo pjūvio; y_c – atstumas tarp sluoksnių svorio centrų; γ – koeficientas, įvertinantis sluoksnių standumus ir jų storius, apskaičiuojamas pagal tokią formulę:

$$\gamma = \frac{1}{E_s A_s} + \frac{1}{E_c A_c} + \frac{y_c^2}{E_s I_s + E_c I_c}, \quad (12)$$

$k(z)$ – koeficientas, charakterizuojantis sluoksnių bendrą kontakto standumą bei apkrovimo schemą. Be kitų veiksnių, jis priklauso ir nuo apkrovimo schemos [8]. Kai apkrova vienodai išskirstyta, tai

$$k(z) = 1 - \frac{2}{\lambda^2 z(l-z)} \left[1 - \frac{ch\lambda(0,5l-z)}{ch0,5\lambda l} \right]. \quad (13)$$

Kai apkrauta centruotomis apkrovomis ir $z \leq a$, tuomet

$$k(z) = 1 - \frac{l sh \lambda(l-a) sh \lambda z}{\lambda(l-a) z sh \lambda l}, \quad (14)$$

kai $z > a$,

$$k(z) = 1 - \frac{l sh \lambda \cdot a sh \lambda(l-z)}{\lambda a(l-z) sh \lambda l}, \quad (15)$$

l – skaičiuojamasis konstrukcijos ilgis; a – atstumas nuo atramos iki jėgos pridėjimo taško; sh ir ch – hiperboliniai sinusas ir kosinusas; λ – koeficientas, charakterizuojantis sluoksnių kontakto standumą, kuris priklauso nuo pačių sluoksnių standumo ir kontakto šlyties standumo. Jis apskaičiuojamas taip:

$$\lambda = \sqrt{\alpha \cdot \gamma}, \quad (16)$$

α – kontakto standumo koeficientas.

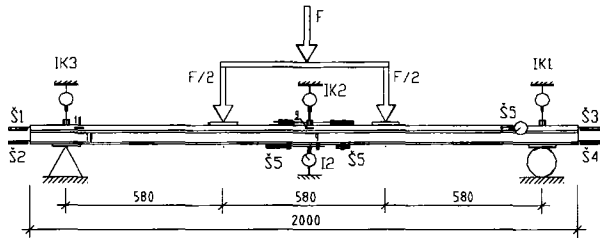
(13)–(15) formulių analizė rodo, kad koeficientas $k(z)$, charakterizuojantis sluoksnių kontakto standumo (stiprumo) įtaką šlyties įtempimų atstojamajai, labai priklauso nuo pačių sluoksnių standumo ir jų medžiagų deformacinių savybių.

Plokštės su išorine profiliuota armatūra kontakto standumo teorinė analizė parodė, kad, keičiantis viršutinio sluoksnio medžiagų tamprumo moduliui (E), keičiasi kontakto standumas. Nustatyta, kad didėjant viršutinio sluoksnio tamprumo moduliui jo įtaka kontakto standumui mažėja. Tai ypač pastebima, esant dideliame kontakto standumo koeficientui α . Mažėjant kontakto standumo koeficientui α betono tamprumo modulio (standumo) įtaka kontakto standumui labai sumažėja, praktiškai išnyksta. Tai lemia sluoksnių pasidavimas dėl trinties, adhezijos bei sprauselių įtakos sumažėjimo arba nebuvimo. Gerėjant kontakto sukibimui tamprumo modulio įtaka didėja. Ji sąlygiškai labiau didėja esant mažesniai medžiagų tamprumo moduliui, o kartu ir viršutinio sluoksnio standumui.

4. Kompozitinių plokščių darbo eksperimentinis tyrimas

Buvo išbandytos keturios kompozitinės plokštės. Dviejų plokščių (P1, P2) skerspjūvio aukštis buvo 100 mm, o kitų dviejų (P3, P4) – 70 mm. Kompozitinių plokščių išorinė armatūra – 0,8 mm storio profiliuotas lakštas, jo vidutinis stiprumas – 317 MPa; lakšto vie-

nos bangos skerspjūvio plotas $A_p=2,52 \text{ cm}^2$. Betono stiprumas gniuždant – 35 MPa. Jo mišinio gamybai naudota žvyro skalda (5–20 mm), kvarcinis smėlis (0–5 mm) ir portlandcementis.

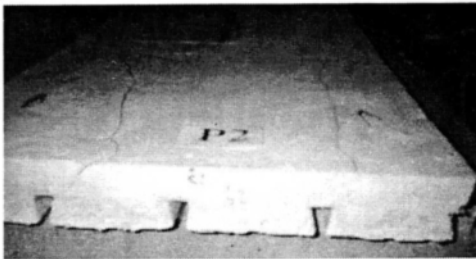


5 pav. Bandymo schema

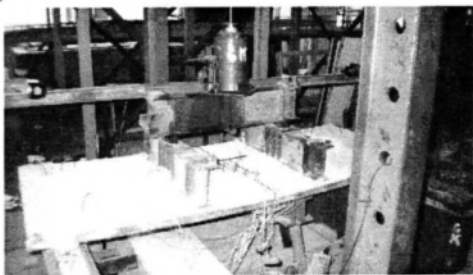
Fig 5. Test arrangement diagram

Bandinių bandymo schema parodyta 5 ir 6 paveiksluose. Kompozitinės plokštės buvo bandomos veikiant trumpalaikiai apkrovai. Apkrova buvo didinama pakopomis. Buvo matuojamos plokštės išilginės, skersinės (skersai išilginei ašiai) ir šlyties deformacijos. Betono išilginės deformacijos matuotos tarpatriamio viduryje plokštės viršuje virš profiliuoto lakšto bangos, o lakšto išilginės deformacijos tarp profiliuoto lakšto bangų.

a)



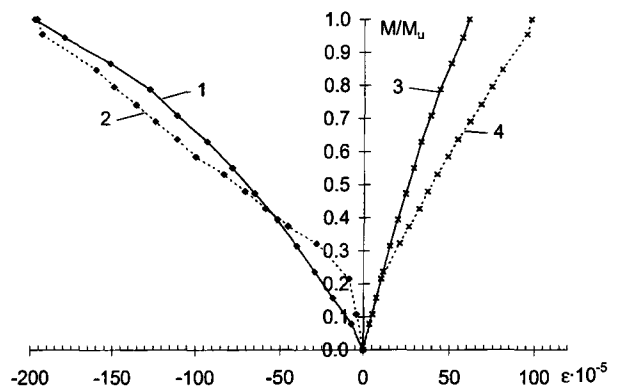
b)



6 pav. Plokštės bendras vaizdas po suirimo (a) ir bandymo metu (b)

Fig 6. General slab view after failure (a) and during the test (b)

Matuotos skersinės betono deformacijos plokštės viduryje virš profiliuoto lakšto bangos ir skersinės profiliuoto lakšto deformacijos ties plokštės banga ir tarp profiliuoto lakšto bangų (kur betono sluoksnio storis yra didžiausias).



7 pav. Išilginių deformacijų kitimas didėjant apkrovai. Kairėje grafiko pusėje tempimo deformacijos profiliuotame lakšte, dešinėje – gniuždymo deformacijos betone: 1, 3 – P1, P2 plokštės; 2, 4 – P3, P4 plokštės

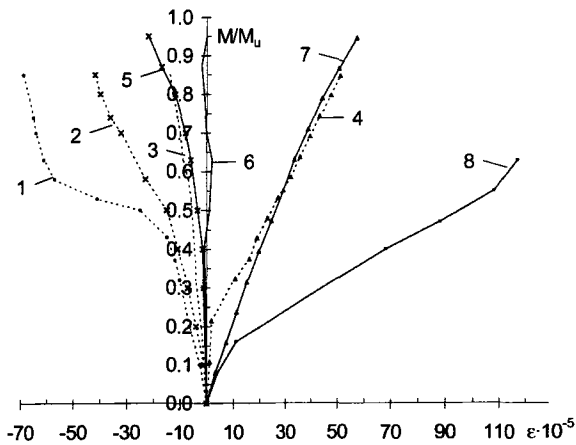
Fig 7. Variation of longitudinal deformations with the load increase. On the left side of the profile, tensile deformations in the profiled sheet, on the right side – compressive concrete deformations: 1, 3 – P1, P2 slabs; 2, 4 – P3, P4 slabs

Bandinyje nebuvo numatytos papildomos priemonės kontakto stipriui tarp lakšto ir betono padidinti. Kaip rodo 7 ir 8 paveiksluose pateiktų priklausomybių analizė, kai apkrova nedidelė, deformacijos plokštės apčioje ir viršuje yra panašios. Didėjant apkrovai, išilginės deformacijos profiliuotame lakšte didėja labiau negu betone.

Didėjant apkrovai didėja šlyties įtempiai kontakto tarp betono ir profiliuoto lakšto vietoje. Profiliuoto lakšto bangos viršuje esantys iškilimai (briaunelės) varžo praslydimą kontakto tarp betono ir profiliuoto lakšto vietoje. Sudėtingas betono įtempimų deformacijų būvis plokštėje pasireiškia ir profiliuoto lakšto kregždės uodegos formos bangos deformacijomis skersine kryptimi (8 pav.). Pasireiškus deformacijoms kontakto tarp betono ir profiliuoto lakšto zonoje pradeda labai didėti skersinės deformacijos. Tai galima paaiškinti tuo, kad susirus adhezijai, didesnę šlyties jėgą turi perimti lakšto briaunelės. Ties jomis prasideda betono glemžimas ir padidėja skersinės deformacijos.

Apkrovai pasiekus apie 0,9–0,95 nuo irimo apkrovas, pastebėta išilginių plyšių ties viršutinių lakšto briaunų briaunelėmis. Jie tęsiasi nuo plokštės galo iki jėgos pridėjimo pjūvio.

Be to, skersinių deformacijų analizė parodė, kad skirtingo storio plokštėse jų dydis ir kryptis yra skirtingi. P3 ir P4 plokštėse apačioje (lakšte) ir viršuje (betone) buvo tempimo deformacijos, tuo tarpu P1 ir P2 plokštėse apačioje (lakšte) buvo gniuždymo, o viršuje tempimo deformacijos. P1 ir P2 plokštėse virš lakšto esantis mažas betono sluoksnis (30 mm) nesugebėjo suvaržyti lakšto bangos skersinių poslinkių. Tai lėmė skersinės tempimo deformacijos apačioje ir viršuje. P3 ir P4 plokštėse, kuriose betono sluoksnio storis yra 50 mm, lakšto skersinės deformacijos buvo suvaržytos, todėl viršuje buvo tempimas, o apačioje gniuždymas.



8 pa. Skersinių deformacijų kitimas didėjant apkrovai: 1 – plokščių P3, P4 apačioje po banga; 2 – plokščių P3, P4 viršuje virš bangos; 3 – plokščių P3, P4 viršuje tarp bangų; 4 – plokščių P3, P4 apačioje tarp bangų; 5 – plokščių P1, P2 viršuje virš bangos; 6 – plokščių P1, P2 viršuje tarp bangų; 7 – plokščių P1, P2 apačioje tarp bangų; 8 – plokščių P1, P2 apačioje po banga

Fig 8. Variation of transverse slab deformations with load increase: 1 – below wave bottom of slabs P3, P4; 2 – on wave top of slabs P3, P4; 3 – above wave top of slabs P3, P4; 4 – behind wave after of slabs P3, P4; 5 – on wave top of slabs P1, P2; 6 – on wave top of slabs P1, P2; 7 – above wave bottom of slabs P1, P2; 8 – below wave bottom of slabs P1, P2

Nustatyta, kad skersinės tempimo deformacijos P3 ir P4 plokščių viršuje apie keturis kartus didesnės nei P1 ir P2 plokštėse. Betono skersinės deformacijos ties

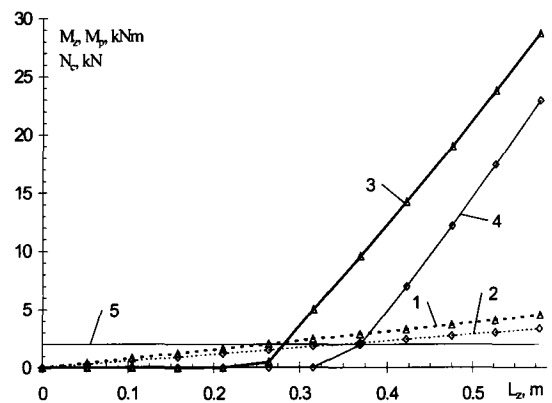
bangą ir tarp bangų P1, P2 ir P3, P4 plokštėse skiriasi atitinkamai 4 ir 3,1 karto.

Bandytų plokščių suirimas įvyko horizontaliajame pjūvyje. Suirimo metu betone atsivėrė išilginiai plyšiai bei buvo užfiksuotas didelis (apie 4–5 mm) horizontalusis lakšto poslinkis. Suirimo pobūdžio analizė parodė, kad didelės įtakos tokių konstrukcijų suirimui turi profilio bangos forma bei betono sluoksnio deformacinės savybės ir stiprumas skersine kryptimi. Tai rodo, kad tokiose plokštėse reikia padidinti betono sluoksnio stiprumą skėlimui ties bangų skersinėmis briaunelėmis.

5. Eksperimentinių ir teorinių stiprumo rezultatų palyginimas

Taikant literatūros šaltiniuose pateiktas skaičiavimo metodikas [3, 4, 12] ir nustatytas suirimo apkrovas bei jo pobūdį, buvo apskaičiuoti vidutiniai šlyties įtempimai ir atlikta teorinė analizė.

Nagrinėti tangentinių įtempimų pasiskirstymai plokštėse P1 ir P4 nuo atramos iki jėgos pridėjimo vietos. Pagal eksperimento metu užfiksuotą plokštės P1 (15,58 kN) ir P4 (11,54 kN) suirimo jėgą apskaičiuotos plokščių šlyties įtempimų vidutinės reikšmės atitinkamai $\tau_{u, P1} = 226,21$ kPa, $\tau_{u, P4} = 189,54$ kPa. Jos gautos į (8) formulę įrašius eksperimentinę plokštės suirimo jėgą ir išmatuotą atstumą nuo atramos iki atsivėrusio plyšio plokštės gniuždomojoje zonoje (betone).

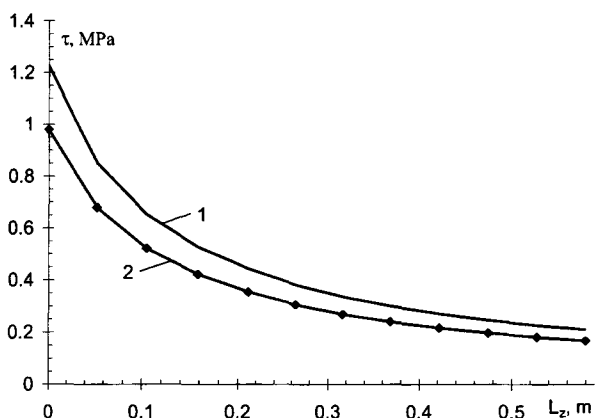


9 pav. M_x ir N_c priklausomybės kintant atstumui nuo atramos: 1 – M_z (P1), 2 – M_z (P4), 3 – N_c (P1), 4 – N_c (P4), 5 – M_p

Fig 9. M_x and N_c relationships with distance from support: 1 – M_z (P1), 2 – M_z (P4), 3 – N_c (P1), 4 – N_c (P4), 5 – M_p

Pagal eksperimentines suirimo jėgas nustatyta momento kitimo priklausomybė ruože nuo atramos iki jėgos pridėjimo vietos. Pagal momento reikšmę kiekviename pjūvyje z , nutolusiame atstumu $L_z(0 \leq L_z \leq L_u)$ (6 pav.), gautos gniuždymo įtempimų atstojamosios (8 pav.) ir šlyties įtempimų (9 pav.) priklausomybės. Gniuždymo įtempimų atstojamosios reikšmė pjūvyje z skaičiuojama pagal formulę (8) iteracijos būdu; profiliuoto lakšto atlaikymo momentas M_p žinomas.

Dydžių M_z ir N_c priklausomybių kintant atstumui L_z (9 pav.) analizė rodo, kad skaičiuojant plokštės su išorine profiliuota armatūra statmenojai pjūvio stipri betono stipris gniuždamas neįvertinamas, gniuždymo įtempimų betone atstojamoji jėga N_c lygi 0, kol lenkimo momento M_z reikšmė mažesnė už profiliuoto lakšto atlaikymo lenkimo momentą M_p . Kai lenkimo momento reikšmė pasiekia profiliuoto lakšto atlaikymo lenkimo momento reikšmę, betono gniuždymo įtempimų atstojamoji N_c (9 pav.) sparčiai didėja.



10 pav. Šlyties įtempimų priklausomybė kintant atstumui nuo atramos: 1 – P1; 2 – P2 plokštės

Fig 10. Relationship of shear stress and distance from support: 1 – P1; 2 – P2 slab

Pagal (8) formulę apskaičiuojamos šlyties įtempimų reikšmės z pjūviuose, L_z atstumu nutolusiuose nuo atramos $L_z(0 \leq L_z \leq L_u)$. Gniuždymo įtempimų atstojamosios reikšmės imamos iš anksčiau pateiktų skaičiavimų (šlyties įtempiai skaičiuojami tuose pačiuose pjūviuose), koeficiento η reikšmės imamos pastovios ir lygios ribinei reikšmei – vienetai.

Kaip matyti iš skaičiavimo rezultatų (10 pav.), didžiausi šlyties įtempimai yra zonoje virš atramos ir mažėja jėgos pridėjimo vietos link. Šlyties įtempimai pa-

siskirstę netiesiškai ir atitinka bendruosius mechanikos dėsnius.

Taikant aptartas skaičiavimo metodikas buvo apskaičiuotas eksperimentinių viena linkme dirbančių plokščių horizontaliųjų pjūvių stiprumas.

Taikant sudėtinių strypų teoriją skaičiavimai atlikti laikant, kad kontakto standumo koeficientas $\alpha = 10^7$.

Eksperimentinių ir teorinių skaičiavimo rezultatų palyginimas parodė, kad skaičiuojant pagal EC4 rekomendacijas būtina turėti eksperimentinių tyrimų rezultatus, kuriais remiantis taikomas pataisos koeficientas.

Šiuo atveju gaunamos teorinių skaičiavimų reikšmės lygios eksperimentinėms.

Projektuojant konstrukcijas eksperimentais nustatyti η koeficientą daugeliu atveju yra sudėtinga. Tam tikslui galima taikyti sudėtinių strypų teoriją. Šiems skaičiavimams atlikti būtinas koeficientas β . Teoriniai ir eksperimentiniai tyrimai parodė, kad šis koeficientas artimas 10. Tikslesniam jo apskaičiavimui reikia papildomų eksperimentinių tyrimų.

6. Išvados

Kompozitinių plokščių su profiliuotais lakštais eksperimentiniai tyrimai parodė, kad pavojingiausi pjūviai yra normaliniai ir horizontalūs, esantys kontakto plokštumoje. Suirimo pobūdžiui įtakos turi lakštų bangų forma.

Normalinio pjūvio skaičiavimo metodikų teorinė analizė parodė, kad kai skaičiavimo rezultatai atliekami taikant skirtingas metodikas, jie skiriasi 1,4–2,9.

Horizontaliųjų pjūvių stiprumui apskaičiuoti pagal euronormas [3] būtina turėti kontrolinių bandinių bandymo rezultatus. Mūsų pasiūlyta horizontaliojo pjūvio stiprumo skaičiavimo metodika pagrįsta sudėtinių strypų teorija. Šio metodo teorinė analizė leido nustatyti betono tamprumo modulio įtaką kontakto standumui.

Eksperimentinių ir teorinių tyrimų rezultatų analizė parodė, kad pasiūlyta metodika leidžia apskaičiuoti horizontaliojo pjūvio stiprumą be ikiprojektinių kontrolinių bandymų.

Literatūra

1. M. Crisinel. Composite Slabs // IABSE Reports. Vol 61. Brussels, 1990, p. 69–87.
2. Рекомендации по проектированию монолитных железобетонных конструкций со стальным профилированным

настилом / НИИЖБ Госстроя СССР, ЦНИИПромзданий Госстроя СССР. Москва: Стройиздат, 1987. 40 с.

3. Eurocode 4. Design of Composite Steel and Concrete Structures. Part 1-1: General rules and rules of Buildings. Brussels, 1994. 180 p.
4. Ф. Е. Клименко. Сталобетонные конструкции с внешним полосовым армированием. Киев: Будивельник, 1984. 85 с.
5. J. W. Stark, J. W. Brekelmans. Plastic Design of Continuous Composite Slabs // Structural Engineering International, Vol 6, No 1, Zurich, 1996, p. 47–53.
6. Y. C. Wang. Deflection of Steel Concrete Composite Beams with Partial Shear Interaction // Journals of Structural Engineering. October, 1998, p. 1159–1168.
7. J. W. B. Stark. General Method of Design Composite Construction // IABSE Reports, Vol 61, Brussels, 1990, p. 7–38.
8. А. Р. Ржаницын. Составные стержни и пластинки. М.: Стройиздат, 1986. 316 с.
9. J. Valivonis. Lenkiamųjų gelžbetoninių elementų su išoriniu armavimu pleišetumo skaičiavimas // 4-osios tarptautinės konferencijos „Naujos statybinės medžiagos, konstrukcijos ir technologijos“, įvykusios Vilniuje 1995 m. gegužės 10–13 d., straipsniai. III tomas. Vilnius: Technika, 1995, p. 114–118.
10. G. Marčiukaitis, J. Valivonis. Šlyties tarp sluoksnių įtaka lenkiamų gelžbetoninių sluoksniuotųjų konstrukcijų supleišėjimui // Statyba ir architektūra. Kaunas: Technologija, 1996, p. 132–136.
11. J. Valivonis, G. Marčiukaitis, A. Vaškevičius. Kompozitinių elementų su profiliuotais metaliniais lakštais būvio su apkrova ypatumai // Statybinės konstrukcijos: kūrimas ir stiprinimas. Konferencijos, įvykusios Vilniuje 1999 m. gruodžio 3 d., pranešimų medžiaga. Vilnius: Technika, 1999, p. 17–26.
12. M. R. Salari, E. Spacone, P. B. Shing, D. M. Frangopol. Nonlinear Analysis of Composite Beams with Deformable Shear Connectors // Journal of Structural Engineering, October, 1998, p. 1148–1158.

Įteikta 2001 06 04

ANALYSIS OF BEHAVIOUR OF COMPOSITE ELEMENTS WITH PROFILED STEEL SHEET

G. Marčiukaitis, J. Valivonis, A. Vaškevičius

Summary

Joint action at the interface of concrete and profiled steel sheet layers of composite structures can be achieved in various ways. In most cases different types of roughness (embossments) are made inside sheet waves, which increase mechanical bond between concrete and sheets. Behaviour of such structures and particularly of the section at the interface of the layers is not fully investigated. The analysis performed has indicated that calculation methods proposed by various authors give different results. Theoretical and performed experimental investigations have shown that behaviour of interface zone is affected by concrete layer thickness, its deformation modulus, distribution of transverse and longitudinal deformations in concrete layers.

On the basis of the theory of composite bars, a method for strength calculation of such structures was proposed; it gives opportunity to evaluate more accurately the behaviour of interface zone and other factors affecting the joint action of the structures under the load.

.....
Gediminas MARČIUKAITIS. Professor, Doctor Habil. Head of Dept of Reinforced Concrete and Masonry Structures. Vilnius Gediminas Technical University (VGTU), Saulėtekio al. 11, LT-2040 Vilnius, Lithuania. E-mail: gelz@st.vtu.lt

PhD (1963). Research visit to the University of Illinois (1969). Author and co-author of 5 monographs, 3 text-books and about 300 scientific articles. Research interests: mechanics of reinforced concrete, masonry and layered structures, new composite materials, investigation and renovation of buildings.

.....
Juozas VALIVONIS. Doctor, Associate Professor. Dept of Reinforced Concrete and Masonry Structures. Vilnius Gediminas Technical University (VGTU), Saulėtekio al. 11, LT-2040 Vilnius, Lithuania. E-mail: gelz@st.vtu.lt

Doctor (1986). Author of over 50 publications, 2 patented investigations. Research interests: theory of reinforced concrete behaviour, composite structures, reinforced concrete bridges.

.....
Andrius VAŠKEVIČIUS. MSc (Engr). Vilnius Gediminas Technical University (VGTU), Dept of Reinforced Concrete and Masonry Structures. Saulėtekio al. 11, LT-2040 Vilnius, Lithuania. E-mail: andrius@centras.lt

A graduate of VGTU. MSc (1999). PhD student.