

# EVALUATION OF TRANSVERSAL FORCE INFLUENCE IN LAYERS OF REINFORCED CONCRETE WITH SURVIVAL MOULDS

R. Bistrickaitė & R. Žilinskas

To cite this article: R. Bistrickaitė & R. Žilinskas (2001) EVALUATION OF TRANSVERSAL FORCE INFLUENCE IN LAYERS OF REINFORCED CONCRETE WITH SURVIVAL MOULDS, Statyba, 7:1, 10-14, DOI: [10.1080/13921525.2001.10531692](https://doi.org/10.1080/13921525.2001.10531692)

To link to this article: <https://doi.org/10.1080/13921525.2001.10531692>



Published online: 30 Jul 2012.



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



Article views: 47

---

## SLUOKSNIUOTŲJŲ GELŽBETONINIŲ KONSTRUKCIJŲ SU LIKTINIAIS KLOJINIAIS STIPRUMO SKERSINIŲ JĖGŲ ATŽVILGIU ĮVERTINIMAS

R. Bistrickaitė, R. Žilinskas

*Kauno technologijos universitetas*

### 1. Įvadas

Lenkiamos sluoksniuotosios gelžbetoninės perdangų plokštės turi horizontaliąją betonavimo siūlę. Tuo jos iš esmės skiriasi nuo monolitinių konstrukcijų. Pradinėje apkrautos sluoksniuotosios plokštės lenkimo stadijoje kontakto zonoje tangentiniai įtempimai yra nedideli, todėl jos galėtų būti skaičiuojamos kaip monolitinės [1]. Kai veikia didelės skersinės jėgos, horizontaliąją sujungimo siūlę gali kirsti įstrižieji plyšiai. Jie sudalija plokštę į keletą gniuždomųjų spyrių. Kontakto plokštumoje tarp surenkamosios ir monolitinės plokštės dalių (horizontaliojoje siūlėje) veikia dideli vidiniai šlyties įtempimai. Juos būtina įvertinti, parenkant atitinkamo stiprio skersinius strypyno strypus. Dėl tos priežasties lenkiamos sluoksniuotosios gelžbetoninės perdangos skersinė jėga skaičiuojama kitaip negu monolitinės perdangos. Šiame straipsnyje pateikiamas bandymas analitiniu būdu išsiaiškinti ir įvertinti surenkamosios monolitinės (sluoksniuotosios) plokštės būvį, apkrovus ją skersine jėga, ir pasiūlyti, kaip turi būti skaičiuojama ir armuojama skersinių jėgų veikiamą sluoksniuotoji plokštė.

### 2. Skaičiavimo skersinių jėgų atžvilgiu bendrieji principai

Sluoksniuotųjų perdangų plokščių projektavimas ir skaičiavimas pateiktas vokiečių projektavimo normose DIN 1045 [2]. Jose geriausiai atsispindi šių konstrukcijų projektavimo principai. Tačiau Europos projektavimo normose EC 2 [3] taikomas kitoks sluoksniuotųjų plokščių skaičiavimo metodas. Čia, remiantis menamos santvaros statinio darbo analogija, nagrinėjamos trys sąlygos:

- jeigu  $V_{sd} \leq V_{Rd,c}$  – pagal skaičiavimą skersinė armatūra nereikalinga, parenkama konstrukcinė skersinė armatūra;

- jeigu  $V_{sd} \geq V_{Rd,c}$  – skersinė armatūra parenkama taip, kad atitiktų sąlygą  $V_{sd,w} \leq V_{Rd,y}$ ;

- jeigu  $V_{sd} \geq V_{Rd,max}$  – sąlyga neleidžiama, reikia didinti skerspjūvį arba betono stiprį.

$V_{Rd,c}$  – skersinės jėgos ribinė reikšmė, kurią konstrukcija atlaiko be skersinės armatūros;  $V_{Rd,y}$  – atlaikomos skersinės jėgos skaičiuojamoji reikšmė, kuri apribojama pagal skersinės armatūros skaičiuojamąją takumo ribą;  $V_{Rd,max}$  – atlaikomos skersinės jėgos skaičiuojamoji reikšmė, kuri apribojama pagal gniuždomųjų strypų stiprumą (maksimali atlaikoma skersinė jėga);  $V_{Rd,w}$  – skersinė jėga, kurią atlaiko skersinė armatūra.

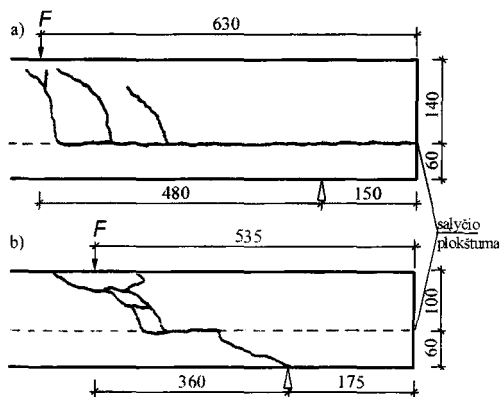
Didėjant skersinei jėgai, jos sukeltų vidinių jėgų epiūra transformuojasi [4]. Be to, sluoksniuotosios plokštės įlinkiai gali būti žymiai didesni, palyginti su monolitine, veikiant vienodoms apkrovoms.

### 3. Skaičiuojamosios skersinės jėgos atraminės schemas

Tangentinių įtempimų pobūdis priklauso nuo to, tiesiogiai ar netiesiogiai atremta plokštė. Skaičiuojamųjų skersinių jėgų negalima pakankamai tiksliai įvertinti unifikotu būdu.

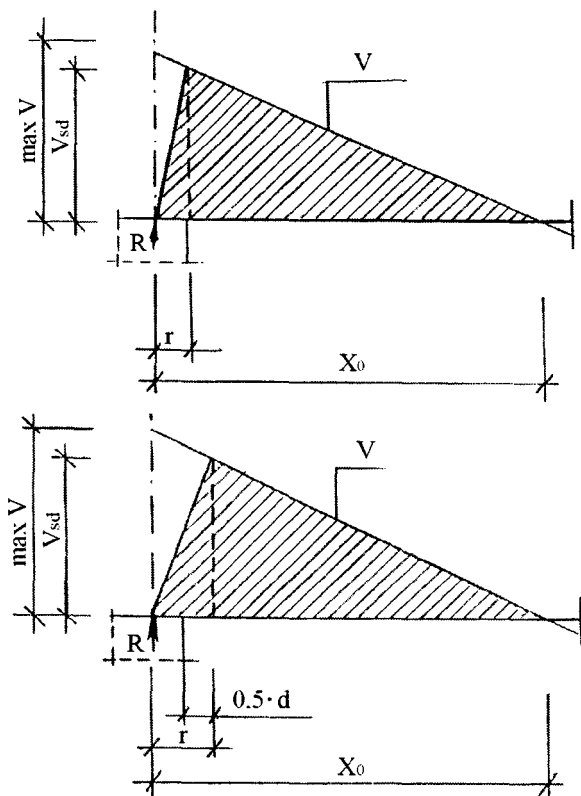
1 pav. pateikiama dvisluoksnių plokščių skersinių plyšių atsivėrimo schema [1] priklausomai nuo atraminių ir koncentruotųjų jėgų pridėjimo vietos santykio (jėga pridėta 3-d atstumu nuo atramos, kur  $d$  – naudingasis aukštis).

Iš 1 pav. matyti, kad dėl skersinių jėgų poveikio atsivėrę plyšiai a) ir b) atveju labai skiriasi, nors atstumas iki koncentruotosios jėgos  $F$  pridėjimo vietos priklauso nuo konstrukcijos naudingąjo aukščio pakito tik 12 cm (nuo 48 cm iki 36 cm). Darome išvadą, kad ryškus šlyties deformacijų atsiradimas yra glaudžiai susijęs su palyginti nedideliais skersinių jėgų pridėjimo vietos pokyčiais ir todėl negali būti vertinamas griežtai diskretiškai.



1 pav. Sluoksniuotųjų plokščių plyšių atsivėrimo priklausomai nuo atramos ir koncentruotosios jėgos  $F$  pridėjimo vietos schemas: a) didelės šlyties deformacijos kontakto zonoje; b) didelės tangentinės skersinės deformacijos

Fig 1. Schemes of crack openings in composition slabs depending on the interval between the support and a concentrated force: a) shear deformation in the contact zone; b) long plate shear deformations



2 pav. Skaičiuojamoji skersinė jėga  $V_{sd}$  esant tolygiai išskirstytai apkrovai  $q$ : a) esant netiesioginei atramai; b) esant tiesioginei atramai

Fig 2. Calculated shear force  $V_{sd}$  at uniformly distributed load  $q$ : a) indirect support; b) direct support

Jeigu perdanga neapkrauta koncentruotosiomis apkrovomis, tai skaičiuojamąsias skersines jėgas galima įvertinti pagal 2 pav. pateiktą jos padėties schemą. Pagal plokštės atramos pobūdį turi būti skaičiuojama skersinė jėga ( $V$ ), kuri bet kokių atveju yra mažesnė už skaičiuojamąją jėgą atramos linijoje ( $R$ ).

Jeigu plokštė remiama ne ant sijos viršaus (netiesioginis atramos atvejis), skersinė jėga prie atramos krašto prilyginama skaičiuojamajai skersinei jėgai (2 a pav.). Jeigu plokštė remiama ant sijos viršaus (tiesioginis atramos atvejis) arba remiama ant sienų, kaip skaičiuojamoji skersinė jėga  $V_{sd}$  imama teorinė jėga  $V$ , nutolusi nuo atramos  $0,5 \cdot d$  atstumu (2 b pav.).

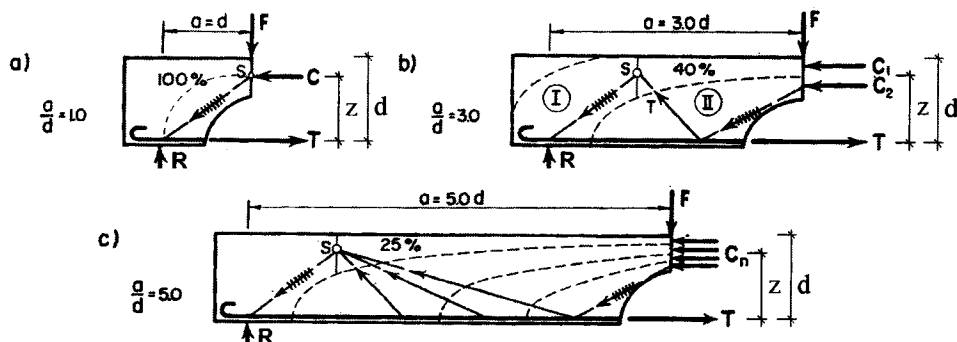
Skaičiuojant plokštę, galima taikyti vadinamųjų menamų vidinių arkų modelį [5]. Tuo siekiama atsakyti į klausimą: kur ir kaip turi būti naudojamas skersinis armavimas, kad plokštė būtų apsaugota nuo pavojingų šlyties deformacijų atraminėje dalyje.

#### 4. Menamų vidinių arkų modelio taikymas

Menamas vidinių arkų modelis remiasi įtempimų trajektorijų analize. Pagal atitinkamas įtempimų trajektorijas parenkama skersinė armatūra plokštės stiprumui skersinių jėgų atžvilgiu užtikrinti, o liktiniame klojinyje dedama pagrindinė tempiamoji armatūra. Siekdamas įrodyti menamų vidinių arkų modelio pagrįstumą, Kani [5] atliko nemažai bandymų su vienasluksnėmis sijomis, armuodamas jas atlenkais strypais, vertikaliomis ir pasvirusiomis sankabomis ir įrengdamas įtempimų vektorių trasose menamas atramas. Pagal Kani metodo analogiją tyrėme skersinės armatūros įtaką sluoksniuotųjų gelžbetoninių plokščių su liktiniais klojiniais stiprumui skersinių jėgų atžvilgiu.

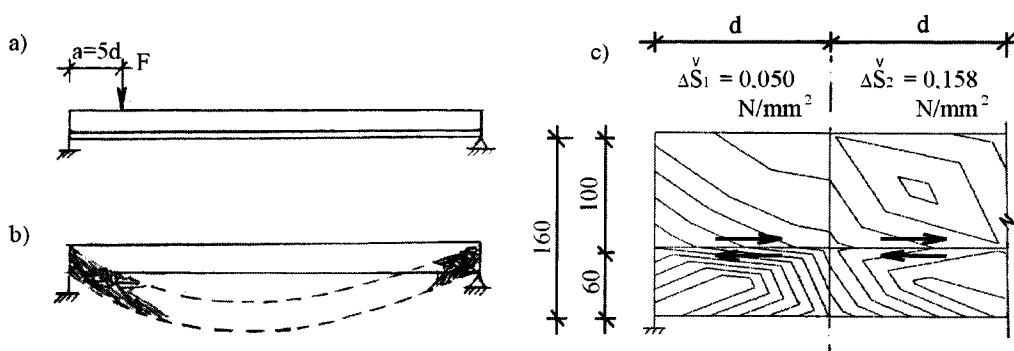
Įprastinė kirpimo stiprumo teorija pagrįsta tuo, kad limituojama kerpamoji jėga, tikintis, kad didesnius kirpimo įtempimus perims didesnė skersinė armatūra. Kadangi  $V=M/a$ , tai esant mažesniai kirpimo zonos ilgiui gaunama didesnė kerpamoji jėga  $V$ . Mūsų nagrinėjamu atveju kirpimo zonos ilgis yra lygus naudingajam aukščiui, t. y.  $a=d$ . Gniuždomoji jėga – dedamoji  $C$  perkeliama į tašką  $S$ , į jėgos  $F$  pridėjimo tašką atstumu  $z$  nuo jėgos  $T$  (3 pav.).

Analizuojant 3 pav. epiūras, matyti, kad, didėjant kirpimo zonos ilgiui  $a$  nuo  $a=1 \cdot d$  iki  $a=5 \cdot d$ , didėja gniuždomosios zonos, kurios atstojamoji  $C$  pasiskirsto į didesnę menamų arkų skaičių, aukštis. Nustatyta, kad tuo



3 pav. Įtempimų trajektorijos ir jėgų pridėjimo vietas ir kryptys menamų vidinių arkų schemeje: a) skersinės jėgos F ir atramos R peties dydis –  $1 \times d$ ; b) taip pat  $3 \times d$ ; c) taip pat  $5 \times d$

Fig 3. Stress trajectories and location of static forces and their directions in the scheme of imaginary internal arch supports: a) magnitude of distance between vertical force F and support R –  $1 \times d$ ; b) also  $3 \times d$ ; c) also  $5 \times d$



4 pav. Skersinėmis jėgomis apkrautos sluoksniuotosios plokštės kompiuterinio modeliavimo pavyzdys: a) apkrovimo schema; b) įlinkio ir teorinių jėgų koncentracijos schema; c) atraminio mazgo įtempimų izolinijos ir kerpamųjų jėgų kryptys

Fig 4. Computer modelling example of a layer slab loaded with transversal forces: a) loading scheme; b) scheme of deflection and concentration of theoretical forces; c) stress isolines of the support notch

atveju, kai  $a > 5 \cdot d$ , arkų kreivumas mažėja ir gniuždy-mo įtempimų trajektorijos artėja prie lygiagrečių linijų. Taigi, kai stačiakampio elemento atraminio galo ilgis yra didesnis už penkis naudinguosius aukščius, elemento irimo dėl skersinių jėgų tikimybė yra labai maža. Kani eksperimentais nustatyta [5], kad tuo atveju, kai  $a = 1 \cdot d$  (3 pav.), menamas gniuždomasis spyrys nukreiptas į atramą, skersinė armatūra teoriškai nereikalinga. Dia-pazonu  $a \geq 1 \cdot d$  iki  $a \leq 5 \cdot d$  svarbiausių tangentiųjų įtempimų polinkio kampas bei elemento stiprumas priklauso nuo naudingojo aukščio d ir atstumo tarp jėgų R bei F dydžio a. Taria-ma, kad menami vidiniai strypai susikerta taške S (3 pav.) kampu  $\alpha = f(n \cdot d)$ . Tuo tikslu buvo atliktas analitinis eksperimentas, apkraunant sluoksniuotąsias 16 ir 20 cm aukščio plokštės skersinėmis jėgomis, esant tokiems jėgos F pridėjimo atve-jams:  $a = 1 \cdot d$ ;  $a = 3 \cdot d$ ;  $a = 5 \cdot d$ .

## 5. Kompiuterinio modeliavimo rezultatai

Modeliuojant kompiuteriu buvo atlikta eksperimentinė analizė su įvairaus tipo plokštėmis, apkraunant jas įvairaus dydžio koncentruotomis jėgomis aprašytais trimis koncentruotosios jėgos pridėjimo atvejais:  $a = 1 \cdot d$ ;  $a = 3 \cdot d$ ;  $a = 5 \cdot d$ , ir kai plokštės aukštis  $h = 16$  ir  $h = 20$  cm.

4 pav. pateikta šių tyrimų grafinė iliustracija – atveju, kai F jėgos pridėjimo vieta  $a = 5 \cdot d$ , o  $h = 16$  cm.

Didžiausi tangentiniai įtempimai skaičiuojami nuo skaičiuojamosios skersinės jėgos:

$$\max \tau_{od} = \frac{V_{sd}}{b \cdot z} \quad (1)$$

Skerspjuvio šlyties įtempimų atlaikymui skaičiuoti imamos tangentiųjų įtempimų vertės kontakto zonoje, nors jos šioje zonoje ne visada būna didžiausios. Pa-vyzdžiui, skaičiuojant nekarpytąją plokštę virš atramos, dažnai didžiausi tangentiniai įtempimai susidaro ne tarp

Suvestiniai įtempimų izolinių skirtumai N/mm<sup>2</sup> kontakto plokštumoje

Summary differences N/mm<sup>2</sup> isolines of stresses in the contact plane

Plokštės aukštis h, cm	F jėgos pridėjimo vieta, cm	Horizontaliųjų šlyties įtempimų skirtumų vertės kontakto plokštumoje				
		a=1·d	a=2·d	a=3·d	a=4·d	a=5·d
16	12	0,178	0,128	0,015	–	–
16	36	0,070	0,134	0,106	0,082	0,061
16	60	0,050	0,158	0,248	0,158	0,128
20	16	0,104	0,120	0,051	–	–
20	48	0,102	0,154	0,038	0,028	0,022
20	80	0,088	0,115	0,170	0,057	0,057

**Pastaba.** Jėgų pasiskirstymo izolinių laukas padalytas į laukelius, kurių plotis lygus vienam naudingajam aukščiui. Kiekviename laukelyje nurodyta to laukelio šlyties įtempimų skirtumų vertė (svertinis vidurkis).

surenkamojo liktinio klojinio ir monolitinio betono sluoksnio, bet gniuždomojoje zonoje.

Manoma, kad tangentinių įtempimų reikšmė kontakto zonoje yra mažesnė kaip  $\max \tau_0$ , o jos atstumas nuo plokštės apatinės briaunos  $h=0,4 \cdot d$ . Ši mažesnė reikšmė gali būti naudojama skaičiavimams. Kai surenkamojo liktinio klojinio ir monolitinio betono sluoksnio betono stiprumo klasės yra vienodos, tangentinių įtempimų skaičiuojamasis dydis kontakto zonoje bus [6]:

$$\tau_{cd} = \frac{V_{sd}}{b \cdot z} \cdot \frac{h_1}{0,4 \cdot d}, \quad (2)$$

$V_{sd}$  – skaičiuojamoji skersinė jėga;  $h_1$  – surenkamojo liktinio klojinio storis;  $b$  – plokštės plotis;  $z$  – atstumas tarp vyraujančių vidinių jėgų atstojamųjų;  $d$  – plokštės naudingasis aukštis.

Tyrimais nustatytos šlyties įtempimų izolinių skirtumų vertės kontakto plokštumoje pateiktos lentelėje.

Nustatyta, kad, didėjant  $a$  dydžiui, atraminės zonos izolinių absoliutinės vertės kampinės atraminės dalies zonoje taip pat didėja. Didėja ir šlyties jėgų dydžiai, todėl vyksta horizontaliosios šlyties deformacijos, dėl kurių kontakto plokštumoje gali atsiskuokniuoti monolitinė plokštės dalis nuo liekamojo klojinio. Didžiausi horizontalieji šlyties įtempimai ir jų įtakos zonos plotis susidaro, jeigu koncentruotosios jėgos  $F$  pridėjimo atstumas nuo atramos  $a=(3-4) \cdot d$ . Toliau didinant jėgos  $F$  pridėjimo atstumą, horizontalieji šlyties įtempimai mažėja.

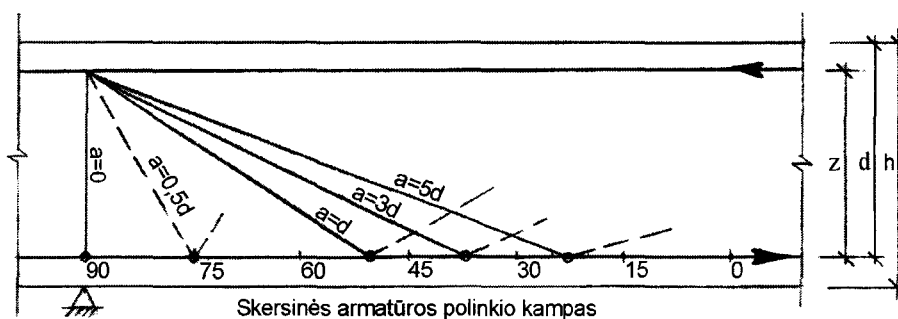
Lyginant kompiuterinio modeliavimo duomenis ir izolinių pasiskirstymus su 3 pav. pavaizduotomis vidaus įtempimų menamomis trajektorijomis, sudarytos skersinės armatūros strypų atraminėse zonose teoriškai racionalaus polinkio kampo, kuriam esant armatūra bus efektyviausia, diagramos (5 pav.).

Kompiuterinio ir analitinio tyrimo rezultatai parodė, kad tipinio skersinio strypyno, perimančio tangentinius įtempimus, polinkio kampas  $\alpha \approx 45^\circ$  reikšmingas tik tuo atveju, jeigu jėgų  $R$  ir  $F$  petys yra ne didesnis kaip  $a=1 \cdot d$ . Jėgos  $F$  atstumui didėjant iki  $a=5 \cdot d$ , optimalus atraminės dalies strypo polinkio kampas tampa  $a=20-25^\circ$ . Atraminės dalies atkarpoje  $a=2 \cdot d$  ir  $a=5 \cdot d$  skersinio strypo polinkio kampas tampa reikšmingas, kai atlaiko ne tik kerpamąsias jėgas, bet kartu neleidžia atraminėje zonoje atsiskuokniuoti plokštės monolitiniams sluoksniui.

## 6. Išvados

1. Lenkiamų sluoksnuotųjų plokščių skersinių jėgų sužadinti tangentiniai įtempimai keičia savo kryptis pagal vidinės santvaros gniuždomųjų sluoksnių menamas kreivumo trajektorijas.

2. Šlyties (horizontaliojo kirpimo) jėgos kontakto zonoje didėja, didėjant koncentruotosios jėgos pridėjimo vietos atstumui nuo atramos, bet ne daugiau kaip  $4-5 \cdot d$ . Atstumui didėjant, horizontalieji kirpimo įtempimai toliau nėra pavojingi.



5 pav. Skersinių strypų, optimaliai atlaikančių tangentinius įtempimus, teoriškai racionalus polinkio kampas atraminėje zonoje

Fig 5. Leaning angle in the support zone of transversal bars with optimal successive shears

3. Didėjant koncentruotosios jėgos pridėjimo atstumui, tangentinių įtempimų polinkio kampas mažėja. Kai koncentruotosios jėgos pridėjimo atstumas yra nuo  $a=0,5 \cdot d$  iki  $a=2 \cdot d$ , armatūra efektyviausiai dirbs, kai teoriškai racionalus polinkio kampas  $\alpha \approx 40^\circ$ , o intervalu  $a=3-5 \cdot d$ , – kai teoriškai racionalus polinkio kampas  $\alpha \approx 30^\circ$ . Atstumui didėjant toliau, polinkio kampas staugiai artėja prie nulio.

#### Literatūra

1. H. G. Schäfer, W. Schmidt-Kehle. Schubdeckung und Fugenverbund bei nachträglich durch Ortbeton ergänzten Fertigteilplatten und Fertigteilbalken // Beton- und Stahlbetonbau 90, Heft 2, 1995. S. 49–53.
2. DIN 1045. Beton und Stahlbeton. Ausgabe Juli, 1988. 96 S.
3. DIN V ENV 1992-1-1. Eurocode 2, Planung von Stahlbeton und Spannbetontragwerken. Ausgabe Juni, 1992. 312 S.
4. R. Avak. Stahlbetonbau in Beispielen: DIN 1045 und europäische Normung / Ralf Avak. Düsseldorf: Werner. Teil 1. Baustoffe, Grundlagen, Bemessung von Stabtragwerken. 2., neubearb. u. erw. Aufl. 1994. 354 S.
5. G. N. J. Kani. A Rational Theory for the Function of Web Reinforcement // ACI Journal, March 1969, S. 185–197.
6. H. Land. Teilfertigdecken. Besondere Punkte der Schnittgrößenermittlung, Bemessung und Konstruktion // Betonwerk + Fertigteil – Technik, Heft 5/1994, S. 93–95 und Heft 6/1994, S. 108–118.

Įteikta 2000 09 04

#### EVALUATION OF TRANSVERSAL FORCE INFLUENCE IN LAYERS OF REINFORCED CONCRETE WITH SURVIVAL MOULDS

R. Bistrickaitė, R. Žilinskas

#### Summary

Bending composite reinforced concrete slabs have horizontal concreting joints and this is their main difference from monolithic constructions. During initial bending stage of loaded composition slab compression and shear stresses appear, therefore they should be treated as monolithic ones. Nevertheless, with the augmentation of deflection the influence of transversal forces increases.

Depending on the distance between concentrated force and support force, corresponding shear stresses are caused in the contact zone of the layered slab. Vector trajectories of those stresses correspond to the curve of compression layers in imaginary internal arches. The distance between the support and shear force, and the number of repetitive static heights ( $a=1...2...5d$ ) of the slab have been evaluated, some cases have been observed and noted when forces influencing the detachment of monolithic and precast slab are the greatest ones.

It has been noticed that the augmentation of distance between the support and vertical force causes the decrease of leaning angle of successive shear stresses in reinforcement bars.

.....  
**Rėda BISTRICKAITĖ**. PhD student. Dept of Building Structures. Kaunas University of Technology (KTU), Studentų g. 48, LT-3031 Kaunas, Lithuania.

E-mail: romualdas.zilinskas@saf.ktu.lt

A graduate of KTU (1995). Doctoral studies at KTU (1995–2000). Author of 4 publications. Research interests: reinforced concrete structures, peculiarities of layered structures.

.....  
**Romualdas ŽILINSKAS**. Doctor, Associate Professor. Head of Dept of Building Structures. Kaunas University of Technology (KTU), Studentų g. 48, LT-3031 Kaunas, Lithuania. E-mail: romualdas.zilinskas@saf.ktu.lt

A graduate of KTU (1963, civil engineer). Doctor (1970). Author and co-author of 38 papers, 1 monograph. Research interests: reinforced concrete structures, thermal renovation of buildings.