



## GELŽBETONINIŲ PLOKŠČIŲ PRASPAUDŽIAMOJO STIPRIO SKAIČIAVIMO PAGAL PROJEKTAVIMO NORMAS ANALIZĖ

Povilas Vainiūnas

*Gelžbetoninių ir mūrinių konstrukcijų katedra, Vilniaus Gedimino technikos universitetas,  
Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lietuva  
El. paštas povva@st.vtu.lt*

*Įteikta 2006-03-10; priimta 2006-06-15*

**Santrauka.** Straipsnyje analizuojama, kaip skaičiuoti gelžbetoninių perdangos plokščių praspaudžiamąjį stiprį pagal kai kurių šalių projektavimo normas. Sulyginami eksperimentiniai ir teoriniai rezultatai. Eksperimentiniais ir teoriniais tyrimais patvirtinta praspaudžiamosios plokštės priklausomybė nuo tempiamojoje zonoje esančios išilginės armatūros kiekio. Daugiau armuojant tempiamąją zoną, praspaudžiamosios plokštės šoninio paviršiaus kampas mažėja, pavojingasis pjūvis tolsta nuo kolonos krašto, ilgėja kritinis perimetras bei didėja plokštės praspaudžiamasis stipris.

**Reikšminiai žodžiai:** gelžbetoninė perdangos plokštė, praspaudžiamoji piramidė, piramidės šoninio paviršiaus posvyrio kampas, praspaudžiamasis stipris, kritinis perimetras.

## THE ANALYSIS OF CALCULATION OF PUNCHING STRENGTH OF RC SLABS ACCORDING TO THE DESIGN CODES

Povilas Vainiūnas

*Department of Reinforced Concrete and Masonry Structures, Vilnius Gediminas Technical University,  
Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lithuania.  
E-mail: povva@st.vtu.lt*

*Received 10 March 2006; accepted 15 June 2006*

**Abstract.** The article analyses the calculation of punching strength of RC slabs according to the design codes of various countries. The comparison of experimental and theoretical results is presented. Both experimental and theoretical research confirmed the dependence of punching strength on the longitudinal reinforcement ratio in the tensile zone. While the reinforcement ratio of the tensile zone is higher, the angle of punching pyramid sidewall is less, the critical section is far away from the edge of the column, the critical perimeter is longer and thus the punching strength of the slab is greater.

**Keywords:** RC floor slab, punching pyramid, angle of punching pyramid sidewall, punching strength, critical perimeter.

### 1. Įvadas

Lietuvoje atkūrus nepriklausomybę bene ilgiausiai galiojo buvusios Sovietų Sąjungos statinių konstrukcijų projektavimo normos ir taisyklės SNIIP. Taip įvyko todėl, kad Lietuvai orientuojantis į Europos Sąjungą buvo nuspręsta nacionalines statinių konstrukcijų projektavimo normas rengti analogiškų Europos normų – Eurokodų, o ne galio-

jančių sovietinių normų ir taisyklių pagrindu. Tačiau parengtų ir patvirtintų Eurokodų dar nebuvo, todėl ir nacionalinių normų rengimas strigo.

1974 m. CEB (Europos betono komiteto) iniciatyva buvo suorganizuotas bendras posėdis kartu su kitomis septyniomis Europos bei tarptautinėmis statybos mokslo ir technikos visuomeninėmis organizacijomis (FIP, ECCS, CIB, RILEM, IABSE, JCSS, ISSMFE). Jame buvo pritarta idė-

jai parengti bendras visų rūšių statybinių konstrukcijų projektavimo normas (standartus) visoms Europos bendrijos valstybėms narėms. Tačiau darbas vyko labai lėtai, nes minėtos organizacijos negalėjo iš savo biudžeto skirti tinkamo finansavimo.

1989 m. pabaigoje Europos komitetas pavedė Eurokodus rengti ir tobulinti Europos normavimo komitetui (CEN). 1990 m. gegužę CEN įkūrė naują Technikos komitetą 250 (TC-250), kuriam ir buvo suteiktas mandatas parengti visų rūšių konstrukcijų projektavimo praktinius kodus (normas). Įkūrus TC-250, prasidėjo intensyvus Eurokodų rengimo etapas.

Po 2000 m. buvo pradėta skelbti kai kurių Eurokodo dalių galutinius variantus, o vėliau ir patvirtintas dalis.

Tad tik 2001–2002 m. buvo galima pradėti rengti kai kurias nacionalinių normų dalis. Pirmosios dalys, įteisintos kaip statybos techniniai reglamentai (STR), buvo patvirtintos 2003 m. Nors šiuose reglamentuose dar yra nemažai sovietinių normų nuostatų, vis dėlto jų pagrindą sudaro Eurokodai.

Planuojama, kad patvirtinti ir paskelbti Eurokodai visoje Europos Sąjungoje išgalios 2010–2012 metais. Šiuo pereinamoju laikotarpiu rekomenduojama Eurokodus perimti su nacionaliniais priedais, t. y. remiantis sava patirtimi taikyti nacionalines nuostatas, rodiklius ar jų vertes.

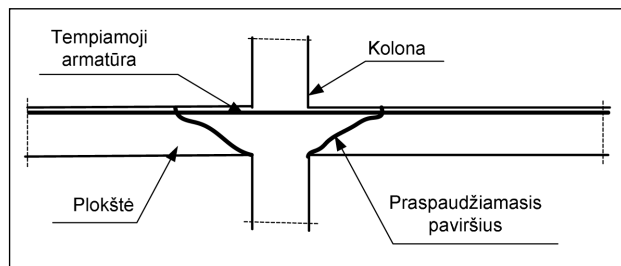
Šiame straipsnyje, remiantis sava patirtimi, aptariamos kai kurios nuostatos ir rodiklių vertės, įteisintos STR, skirtingos nei patvirtintos Eurokode.

## 2. Gelžbetoninės plokštės sandūros su kolona irtis

Daugelyje pasaulio šalių jau prieš daug metų, o Lietuvoje paskutinį dešimtmetį plačiai statomi daugiaaukščiai gelžbetoniniai monolitiniai pastatai. Šių pastatų laikančiųjų konstrukcijų išskirtinumas, palyginti su kitų daugiaaukščių pastatų konstrukcijomis, yra tas, kad juose monolitinės gelžbetoninės perdangų plokštės yra besijės. Naudojant perstatomuosius klojinčius, tokių pastatų statyba vyksta sparčiai, statyti naudojami nesudėtingi klojiniai, perdangų viršus ir apačia – lubos yra plokščios. Tad ir lubų apdaila paprasta.

Tokių gelžbetoninių perdangų trūkumas – dėl didelių praspaudimo jėgų, veikiančių kolonų sandūrų su plokšte zonose, būtinas didelis perdangos plokštės storis, o kartu ir visos gelžbetoninės monolitinės plokštės storis.

Konstruktiniu požiūriu gelžbetoninių monolitinių besijų plokščių silpniausia vieta yra plokštės apie koloną zona. Perdangos su kolona sandūroje veikia ne tik didelės skersinės jėgos, bet ir dideli lenkimo momentai. Šioje zonoje dėl didelių neigiamų lenkimo momentų plokštės viršutinė – tempiamoji zona suplešėja, t. y. susidaro normalinių plyšių. Visame plokštės plote veikiančios apkrovos susitelkia ir į koloną ir perduodamos labai nedideliame plote. Savo ruožtu kolonoje sukurta reakcija, veikdama plokštę kaip



1 pav. Plokštės praspaudimo schema

Fig 1. Slab punching scheme

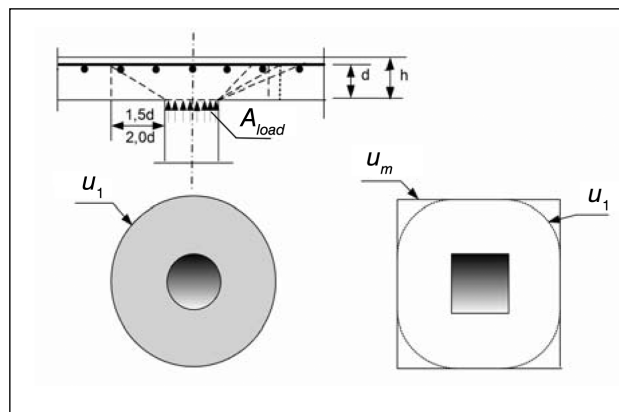
skersinė jėga, sukelia įstrižuosius plyšius artimoje kolonai plokštės zonoje. Normaliniai ir įstrižieji plyšiai pažeidžia plokštės betono monoliškumą ir sumažina jo pasipriešinimą kerpančiosioms skersinėms jėgoms. Jei plokštės storis bus nepakankamas ar apkrovos per didelės, plokštė ties kolona bus praspauda išplėsiama iš plokštės nupjautos piramidės formos betono gabalą (1 pav.).

## 3. Plokštės be skersinės armatūros praspaudžiamąjo stiprio skaičiavimas

Principinė gelžbetoninės plokštės (elemento) praspaudimo skaičiuotinė schema parodyta 2 pav. Vietinė sutelktoji jėga nuo kolonų į plokštę ar pamatą perduodama per sąlygiškai mažą plotelį  $A_{load}$ . Praspaudžiamosios piramidės šoninis paviršius paprastai sutampa su vienu iš įstrižųjų plyšių. Šiame plyšyje, kuris susidaro visose praspaudžiamosios piramidės plokštumose, kaip silpniausiame plokštės pjūvyje ir įvyksta plokštės praspaudimas.

Plokštės, veikiamos vienodai išskirstyta apkrova, praspaudžiamasis stipris apskaičiuojamas pavojingajame pjūvyje.

Atlikta didelės dalies pasaulio šalių projektavimo normų analizė [1–8] rodo, kad praspaudimo skaičiuotinė schema visose normose yra panaši. Tačiau skaičiavimo metodai labai skiriasi.



2 pav. Plokštės praspaudimo skaičiuotinė schema: pjūvis ir planas

Fig 2. Slab punching design scheme: cross-section and plan

Visų skaičiavimo metodų pagrindinis veiksnys, darantis įtaką plokštės praspaudžiamajam stipriui, yra plokštės naudingasis aukštis ir betono stipris, išreiškiamas gniuždomojo arba tempiamojo betono stipriu. Plokštės praspaudžiamajam stipriui įtakos turi ir kiti veiksniai: išilginės armatūros tempiamojoje zonoje kiekis, skersinės armatūros kiekis, praspaudžiamosios piramidės šoninio paviršiaus posvyrio kampas, lenkimo momento ir skersinės jėgos santykis, betono išankstinis apspaudimas, nesimetrišinė apkrova, atstumo tarp kolonų, santykis su plokštės storiumi, kolonos matmenų ir plokštės storio santykis ir kiti. Kai kuriose projektavimo normose dalis iš čia minėtų veiksnių yra įvertinama.

Skaičiavimo rezultatams labai didelę įtaką turi projektavimo normose taikomas teorinis praspaudžiamosios piramidės išorinio paviršiaus posvyrio kampas  $\theta$ . Europos normose EC2 [2] šis kampas imamas lygus  $26,6^\circ$ , Britų standarte BS8110 [4], Vokietijos DIN (1999) [5], neseniai patvirtintose Lietuvos normose STR2.05.05:2005 [1] –  $33,7^\circ$ , Amerikos ACI 318 [6], Kanados CSA [7], Australijos AS3600 bei buvusios Sovietų Sąjungos SNIIP [3] –  $45^\circ$ . Apskaičiuojant plokštės praspaudžiamąjį stiprį, remiantis EC2, AS3600, ACI318 normomis įvertinama išankstinio apspaudimo įtaka, o ACI318, BS8110 – lenkimo momento įtaka. Europos normos EC2 bei STR2.05.05:2005 be išankstinio apspaudimo įtakos dar įvertina ir išilginės tempiamosios zonos armatūros faktorius.

Toliau pateikiami praspaudžiamąjo stiprio skaičiavimo pagal tris metodikas pavyzdžiai:

Pagal Eurokodą EC2:

$$V_{Rd,c} = v_{Rd,c} \cdot d \cdot u_1, \quad (1)$$

$$v_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot k (100\rho_1 f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp} \geq (v_{\min} + k_1 \sigma_{cp}). \quad (2)$$

Pagal Lietuvos normas STR2.05.05:2005:

$$V_{Rd,c} = v_{Rd,c} \cdot d \cdot u_1, \quad (3)$$

$$v_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} \cdot k (100\rho_1 f_{ck})^{1/3} - 0,10 \sigma_{cp} \geq (0,4 f_{ctd} - 0,10 \sigma_{cp}), \quad (4)$$

čia  $f_{ck}$  ir  $f_{ctd}$  imti MPa;

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2,0, \quad d \text{ (mm)},$$

$$\rho_1 = \sqrt{\rho_{ly} \cdot \rho_{lz}} \leq 0,02,$$

čia  $\rho_{ly}$ ,  $\rho_{lz}$  – armavimo koeficientai, atitinkamai y ir z ašių linkmėmis;  $\rho_{ly}$  ir  $\rho_{lz}$  apskaičiuojama ruože, kurio plotis lygus kolonos pločiui, pridendant po  $3d$  į kiekvieną kolonos pusę.

$$\sigma_{cp} = (\sigma_{cy} + \sigma_{cz}) / 2,$$

čia  $\sigma_{cy}$ ,  $\sigma_{cz}$  – normaliniai įtempiai betone plokštės pavojingajame pjūvyje (pagal EC2 ženklas „+“ rašomas prieš gniuždymo, o pagal STR – prieš tempimo įtempius) atitinkamai y ir z ašių linkmėmis (MPa), gniuždymo atveju imamas minuso ženklas.

Patvirtintame Eurokodo EC2 variante  $C_{Rd,c}$  rekomenduojama imti  $\frac{0,18}{\gamma_c}$ ,  $v_{\min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$ , o  $k_1 = 0,10$ .

Nacionaliniuose dokumentuose, jei turima patikimų tyrimų, leidžiama imti ir kitas šių koeficientų reikšmes. Kol Lietuvoje dar neturime tokių tyrimų, projektavimo normose naudojami EC2 rekomenduojami dydžiai.

Pagal Lietuvoje galiojusias buvusios Sovietų Sąjungos Statybos normas ir taisykles SNIIP

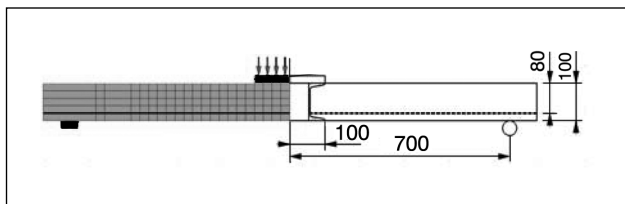
$$F = \alpha R_{bt} u_m h_0. \quad (5)$$

Iš šių formuliu matyti, kad apskaičiuojant praspaudžiamąjį stiprį pagal Eurokodus EC2 ir Lietuvos normas STR2.05.05:2005 įvertinama: betono stipris rodikliais  $g_c$  ir  $f_{ck}$ , išilginės armatūros kiekis tempiamojoje plokštės zonoje rodikliu  $\rho_1$ , išankstinis betono apspaudimas rodikliu  $\sigma_{cp}$  bei plokštės naudingąjo aukščio santykis su sąlygiškai standartiniu plokštės storiumi rodikliu  $k$ . Skirtumas tarp šių skaičiavimo metodų išryškėja tik skaičiuojant kritinio perimetro ilgį. Pagal Euronormas kritinis perimetras apskaičiuojamas  $2d$  atstumu nuo kolonos krašto, t. y. praspaudžiamosios piramidės išorinio paviršiaus posvyrio kampas imamas  $\theta = 26,6^\circ$ , o pagal Lietuvos normas – kritinis perimetras apskaičiuojamas  $1,5d$  atstumu nuo kolonos krašto. Mūsų atlikti preliminarūs tyrimai parodė, kad neturint pakankamai tikslų tyrimo duomenų, atsargos dėlei tikslinga atstumą iki kritinio perimetro imti mažesnę, t. y.  $1,5d$  ( $\theta = 33,7^\circ$ ). Be to, paminėtina, kad iki galutinio Euronormų varianto paskelbimo jose šis atstumas taip pat buvo  $1,5d$ .

Apskaičiuojant praspaudžiamąjį stiprį pagal sovietines normas SNIIP 2.03.01-84 įvertinamas tik betono tempiamasis stipris rodikliu  $R_{bt}$ , o kritinis perimetras apskaičiuojamas  $1d$  atstumu nuo kolonos krašto. Perimetrų  $u_1$  ir  $u_m$  skaičiuotinė schema parodyta 2 pav.

#### 4. Eksperimentiniai tyrimai

Per pastaruosius dešimt metų buvo atlikta didelis kiekis eksperimentinių ir teorinių tyrimų [9–12], tarp jų ir Lietuvos mokslininkų (VGTU) [13–19], siekiant išsiaiškinti svarbiausius veiksnius, darančius įtaką plokštės praspau-



3 pav. Plokštės skaičiuotinis pjūvis

Fig 3. Design cross-section of the slab

džiamajam stipriui, ir tai įvertinti šalies projektavimo normose.

VG TU Gelžbetoninių ir mūrinių konstrukcijų katedros mokslo laboratorijoje magistrantas P. Cimbaliukas [20], vadovaujamas P. Vainiūno, atliko gelžbetoninių perdangos plokščių modelių eksperimentinius tyrimus.

Eksperimente buvo naudotos vienodų matmenų plokštės: 140 × 140 × 10 cm, kurių skaičiuotinis pjūvis ir apkrovimo schema parodyta 3 paveiksle. Pagaminta ir išbandyta dvi serijos bandinių, iš viso devynios plokštės. Pirmosios serijos betonas C30/37 klasės, antrosios – C25/30 klasės.

Betono stiprumui nustatyti, betonuojant abiejų plokščių serijas, buvo gaminami kubeliai ir prizmės ir išbandomi po 7, 28 parų ir atitinkamos serijos bandymo metu.

Plokščių armavimas buvo nustatytas pagal pasirinktą armavimo koeficientą  $\rho$ . Norint iširti, kokią įtaką plokštės praspaudžiamajam stipriui turi išilginės tempiamosios zonos armatūros kiekis, buvo parinkti tokie armavimo koeficientai:  $\rho_1 = 0, \rho_1 = 0,4, \rho_1 = 0,5, \rho_1 = 1,0, \rho_1 = 2,0$ .

Plokščių deformacijoms matuoti buvo panaudoti elektrinės varžos 50 mm bazės vieliniai jutikliai. Matuojant tempiamosios zonos betono deformacijas, šiais jutikliais buvo nustatyta pirmąjį plyšį atitinkanti apkrova ir plyšio vieta.

Deformacijoms matuoti buvo klijuojama 40 jutiklių, o plokštės centro įlinkiui nustatyti naudotas mechaninis įlinkių matuoklis. Deformacijoms matuoti naudotas „ALMEMO“ aparatas.

Apkrova iš 500 kN galios hidraulinio domkrato į apykolonę buvo perduodama per plieninę plokštelę. Į atramą plokštė laisvai rėmėsi visu kontūru.

Apkrova buvo didinama pakopomis po 10 kN. Po kiekvienos apkrovimo pakopos buvo laukiama 3 min. Tuo metu buvo fiksuojami matavimo prietaisų rodmenys, plokštė apžiūrima, pažymimi atsiradę plyšiai. Plyšių pločiai matuojami mikroskopu (mikroskopo padalos vertė – 0,05 mm).

### 5. Eksperimentinių ir teorinių rezultatų lyginimas

Eksperimentiniai plokščių irties rezultatai ir jų lyginimas su teoriniais, apskaičiuotais imant charakteristinius betono stiprius, pateikta 1–4 lentelėse bei 4–7 pav.

Lyginant eksperimentinius plokštės praspaudžiamuosius stiprius su teoriniais matyti, kad eksperimentiniai stipriai yra 1,11–1,35 karto didesni, nei apskaičiuoti pagal Eurokodą

**1 lentelė.** Pirmosios serijos plokščių praspaudžiamąjo stiprio eksperimentiniai ir teoriniai rezultatai

Table 1. Experimental and theoretical results of punching strength of 1<sup>st</sup> series slabs

$\rho$	0	0,4	0,5	1	2
VEXP	69,6	140	170	190	255
VSTR	62,0	108	116	138,2	163,4
VEC2	81,3	126	134	160	188
VSNiP	132	132	132	132	132

**2 lentelė.** Antrosios serijos plokščių praspaudžiamąjo stiprio eksperimentiniai ir teoriniai rezultatai

Table 2. Experimental and theoretical results of punching strength of 2<sup>nd</sup> series slabs

$\rho$	0	0,4	0,5	1
VEXP	79,2	150	160	180
VSTR	55,7	102	110	130
VEC2	74,3	119	127,4	151,2
VSNiP	118	118	118	118

**3 lentelė.** Pirmosios serijos plokščių santykiniai praspaudžiamieji stipriai

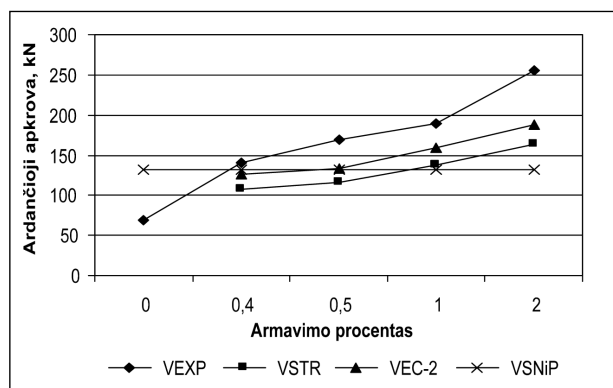
Table 3. Relative punching strength values of 1<sup>st</sup> series slabs

$\rho$	0	0,4	0,5	1	2
VEXP/VSTR	1,123	1,296	1,465	1,375	1,56
VEXP/VEC2	0,856	1,11	1,27	1,186	1,35
VEXP/VSNiP	0,53	1,061	1,29	1,44	1,932

**4 lentelė.** Antrosios serijos plokščių santykiniai praspaudžiamieji stipriai

Table 4. Relative punching strength values of 2<sup>nd</sup> series slabs

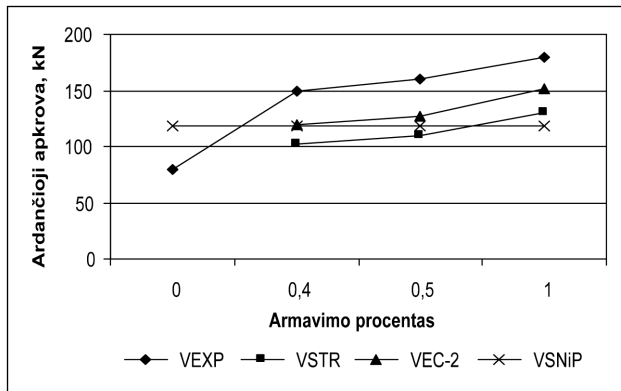
$\rho$	0	0,4	0,5	1
VEXP/VSTR	1,422	1,47	1,45	1,46
VEXP/VEC2	1,066	1,26	1,26	1,19
VEXP/VSNiP	0,671	1,271	1,356	1,525



4 pav. Pirmosios serijos plokščių praspaudžiamąjo stiprio eksperimentinių ir teorinių rezultatų lyginimas

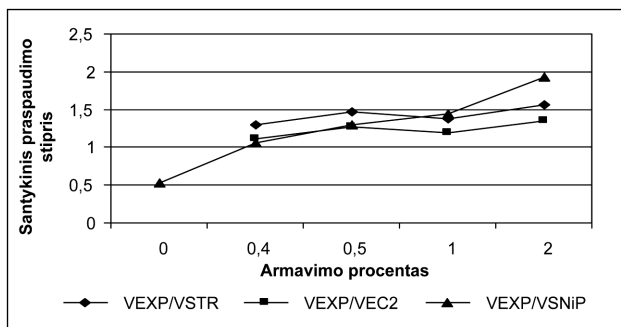
Fig 4. Comparison of the experimental and theoretical results of 1<sup>st</sup> series slabs

EC2, ir 1,296–1,56 karto didesni, nei apskaičiuoti pagal Lietuvos normų STR2.05.05:2005 metodiką. Atsižvelgiant į tai, kad plokštės praspaudimas įvyksta staiga, tikslinga, kad atsarga būtų didesnė. Kintant armavimo procentui nuo 0,4 % iki 2,0 %, eksperimentinis praspaudžiamasis stipris yra 1,061–1,932 karto didesnis, nei apskaičiuotas pagal SNiP 2.03.01-84 metodiką. Taigi ši metodika neparodo realaus plokštės stiprio didėjimo, didėjant tempiamosios zonos armavimo procentui.



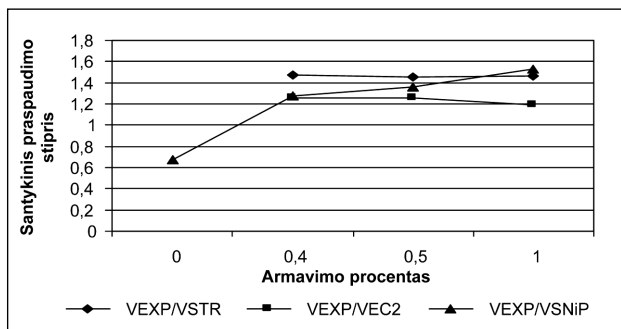
5 pav. Antrosios serijos plokščių praspaudžiamojo stiprio eksperimentinių ir teorinių rezultatų lyginimas

Fig 5. Comparison of the experimental and theoretical results of 2<sup>nd</sup> series slabs



6 pav. Pirmosios serijos plokščių santykinų praspaudžiamųjų stiprių lyginimas

Fig 6. Comparison of relative punching strength values of 1<sup>st</sup> series slabs



7 pav. Antrosios serijos plokščių santykinų praspaudžiamųjų stiprių lyginimas

Fig 7. Comparison of relative punching strength values of 2<sup>nd</sup> series slabs

Norint nustatyti plokštės betono praspaudžiamąjį stiprį, tyrimų metu buvo išbandytos dvi plokštės be armatūros tempiamosioje zonoje. Plokštės suiro, veikiamos apkrovos, lygios vos 53 %, palyginti su apkrova, apskaičiuota pagal SNiP 2.03.01-84 metodiką, nes dar nepasiekus praspaudžiamosios zonos stiprio, plokštė suiro kaip plokštė, paremta visu kontūru. Apskaičiuoti plokštės praspaudžiamąjį stiprį, esant  $\rho_1 = 0$  ir  $\sigma_{sp} = 0$ , pagal EC2 ir STR2.05.05:2005 metodikas tiesiogiai negalima. Šiuo atveju galima imti tik minimalias  $V_{Rd,c}$  reikšmes, kurios ir yra įrašytos 1–4 lentelėse.

Eksperimentiniai tyrimai parodė, kad didėjant plokštės tempiamosios zonos armavimo procentui mažėja praspaudžiamosios piramidės išorinio paviršiaus posvyrio kampas – nuo  $\approx 45^\circ$  iki  $30^\circ$ . Kartu, didėjant armavimo procentui, kritinis perimetras tolsta nuo kolonos krašto nuo  $\approx 1d$  iki  $2d$ . Pavojingajam pjūviui tolstant nuo kolonos krašto, ilgėja kritinis perimetras bei daugiausia dėl to padidėja plokštės praspaudžiamasis stipris.

## 6. Rezultatų vertinimas patikimumo aspektu

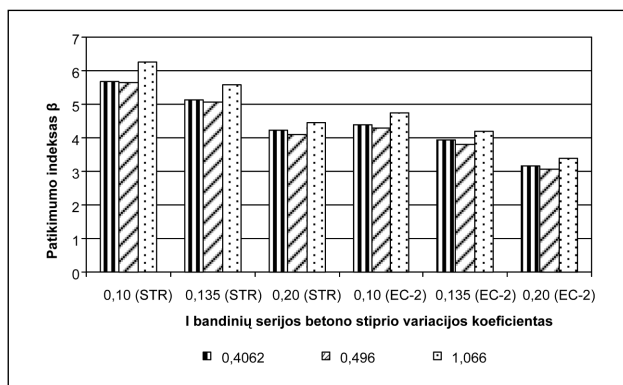
Gauti eksperimentiniai plokščių suirimo rezultatai palyginti su plokščių skaičiuotinais praspaudžiamaisiais stipriais. Palyginimas rodo, kad skaičiuotiniai praspaudžiamieji stipriai, apskaičiuoti taikant STR metodiką, yra 1,94–2,35, o apskaičiuoti, taikant EC2 metodiką, 1,78–2,03 karto mažesni nei eksperimentiniai.

Plokščių laikomosios galios patikimumo indeksai  $\beta$  pateikti 5 lentelėje ir 8 pav. Patikimumo indeksai buvo apskaičiuoti imant tris betono stiprio variacijos koeficientus: 0,10, 0,135 ir 0,20. Iš šių rezultatų matyti, kad kai betono stiprio variacijos koeficientas 0,10 ir 0,135, suprojektuotų pagal STR ir EC2 plokščių patikimumo indeksas yra didesnis už normose [21, 22] reglamentuojamą minimalų  $\beta = 3,8$ . Jei betono stiprio variacijos koeficientas būtų 0,20, o tai labai realu betonuojant monolitines perdangų plokštes statybos aikštelėje, tik plokščių, suprojektuotų pagal STR, patikimumo indeksas dar būtų didesnis už minimalų. Plokštės,

5 lentelė. Patikimumo indekso  $\beta$  priklausomybė nuo betono stiprio variacijos koeficiento

Table 5. Dependence of reliability index  $\beta$  on the variance coefficient of concrete strength

Betono stiprio variacijos koeficientas	$\rho$ (%)		
	0,4062	0,496	1,066
0,10 (STR)	5,68	5,63	6,26
0,135 (STR)	5,13	5,05	5,57
0,20 (STR)	4,21	4,1	4,46
0,10 (EC2)	4,39	4,29	4,75
0,135 (EC2)	3,92	3,81	4,2
0,20 (EC2)	3,16	3,05	3,38



8 pav. Patikimumo indekso  $\beta$  priklausomybė nuo betono stiprio variacijos koeficiento

Fig 8. Dependence of reliability index  $\beta$  on the variance coefficient of concrete strength

suprojektuotas pagal EC2, gali neatitikti minimalaus konstrukcijos patikimumo reikalavimų.

Lietuvoje dauguma daugiaaukščių pastatų statomi su monolitiniemis gelžbetoninėmis perdangų plokštėmis, betonuojamomis statybos aikštelėje ir dažnai vis dar nepakankamai aukšta darbo kultūra. Šiuo atveju tokias konstrukcijas būtina projektuoti su didesne nei EC2 praspaudžiamą stiprio atsarga. Tai ir leidžia mūsų pasiūlyta ir STR įteisinta projektavimo metodika.

## 7. Išvados

Eksperimentiniais tyrimais nustatyta, kad didėjant plokštės tempiamosios zonos armavimo procentui, plokštės praspaudžiamasis stipris didėja. Armavimo procentui kintant nuo 0,4 % iki 2,0 %, praspaudžiamasis stipris padidėjo nuo 140 kN iki 255 kN, t. y. 1,82 karto.

Apskaičiavus praspaudžiamąjį stiprį pagal Eurokodų EC2 ir Lietuvos normų STR2.05.05:2005 metodikas, gauti analogiški rezultatai. Pirmuoju atveju praspaudžiamasis stipris padidėjo 1,513, antruoju – 1,492 karto. O praspaudžiamasis stipris, apskaičiuotas pagal SNiP 2.03.01-84 metodiką, nepriklauso nuo armavimo procento – yra nekintamas.

Eksperimentiniai tyrimai parodė, kad didėjant plokštės tempiamosios zonos armavimo procentui mažėja praspaudžiamosios piramidės išorinio paviršiaus posvyrio kampas – nuo  $\approx 45^\circ$  iki  $30^\circ$ . Mažėjant posvyrio kampui, pavojingasis pjūvis tolsta nuo kolonos krašto nuo  $\approx 1d$  iki  $2d$ . Pavojingajam pjūviui tostant nuo kolonos krašto, ilgėja kritinis perimetras ir daugiausia dėl to didėja plokštės praspaudžiamasis stipris.

Eksperimentinių plokštės praspaudžiamųjų stiprių lyginimas su teoriniais parodė, kad eksperimentiniai stipriai yra 1,11–1,35 karto didesni nei apskaičiuoti pagal Euroko-

dus EC2, ir 1,296–1,56 karto didesni, nei apskaičiuoti pagal Lietuvos normų STR2.05.05:2005 metodiką. Atsižvelgiant į tai, kad plokštė praspaudžiama staiga, tikslinga, kad atsarga būtų didesnė.

Kintant armavimo procentui nuo 0,4 % iki 2,0 %, eksperimentinis praspaudžiamasis stipris yra 1,061–1,932 karto didesnis nei apskaičiuotasis pagal SNiP 2.03.01-84 metodiką. Taigi ši metodika neparodo realaus plokštės stiprio didėjimo, didėjant tempiamosios zonos armavimo procentui.

Patikimumo indeksas  $\beta$  priklauso nuo betono stiprio variacijos koeficiento ir skaičiuotinio praspaudžiamąjo stiprio  $V_{Rd,c}$ . Apskaičiuojant  $V_{Rd,c}$  pagal STR metodiką, patikimumo indeksas nebūna mažesnis nei leistinasis, net kai betono stiprio variacijos koeficientas yra 0,20. Apskaičiuojant  $V_{Rd,c}$  pagal EC2 metodiką, kai betono stiprio variacijos koeficientas lygus 0,2, monolitinės gelžbetoninės plokštės laikomoji galia gali neatitikti minimalių konstrukcijos patikimumo reikalavimų.

## Literatūra

1. STR 2.05.05:2005. *Betoninių ir gelžbetoninių konstrukcijų projektavimas*. Vilnius, 2005.
2. Eurocode 2: *Design of concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings*. 36 B-1050 Brussels, 2004.
3. SNiP 2.03.01-84 *Concrete and Reinforced Concrete Structures* (Бетонные и железобетонные конструкции). Moscow: STIP Gosstroja SSSR, 79. 1985 (rusų k.).
4. BS 8110 (1985) *Structural Use of Concrete, Part 1: Code of Practice for Design and Construction*. British Standards Institution. London, 1985.
5. E DIN 1045-1 (1999) *Concrete and Reinforced Concrete Design Code* (Tragwerke aus Beton und Stahlbeton und Spannbeton, Teil 1: Bemessung und Konstruktion), 1999 (vokiečių k.).
6. ACI Committee 318: *Building Code Requirements for Reinforced Concrete*. Detroit. American Concrete institute, 1995.
7. Canadian Standards Association, *Code for the design of concrete structures and buildings*. CSA Standard CAN3- A23.3-M84, Rexdale, Ont., 1984.
8. CEB-FIP Model Code 1990. Thomas Telford Ltd. London, 1993.
9. Hallgren, M.; Kinnunen, K.; Nylander, B. Punching Shear Tests on Column Footings. In: *Nordic concrete research*, Publication No 21, Oslo 1998, p. 1–22.
10. Harajli, M.H.; Maalouf, D. & Khatib, H. Effect of fibers on the punching shear strength of slab-column connections. *Cement & Concrete Composites*, 17, 1995, p. 161–170.
11. Uwe Albrecht. Design of flat slabs for punching – European and North American practices. *Cement & Concrete Composites*, 24, 2002, p. 531–538.
12. Theodorakopoulos, D. D.; Swamy, R. N. Ultimate punching shear strength analysis of slab-column connections. *Cement & Concrete Composites*, 24, 2002, p. 509–521.
13. Vainūnas, P.; Popovas, V.; Jarmolajev, A. Punching shear

- behaviour analysis of RC flat floor slab-to-column connection. *Journal of Civil Engineering and Management*, Vol VIII, No 2, 2002, p. 77–82.
14. Vainiūnas, P.; Popovas, V.; Jarmolajev, A. Non-linear 3D modeling of RC slab punching shear failure. *Journal of Civil Engineering and Management*, Vol X, No 4, 2004, p. 311–316.
  15. Šalna, R.; Marčiukaitis, G.; Vainiūnas, P. Estimation of factors influencing the punching shear strength of RC floor slabs. *Journal of Civil Engineering and Management*, Vol X, Supplement 2, 2004, p. 137–142.
  16. Vainiūnas, P.; Popovas, V.; Jarmolajev, A. Stress-strain analysis of beamless floor slab-to-column joint. In: *Theoretical foundations of civil engineering – X Polish-Ukrainian Transaction*. Warsaw, June 2002, Vol II, p. 877–886.
  17. Vainiūnas, P.; Popovas, V.; Jarmolajev, A. Non linear FEM analysis of RC floor slab-to-column joint connection. In: *Theoretical foundations of civil engineering. Polish-Ukrainian transactions*. No 12 Vol II, 2004, p. 527–538.
  18. Vainiūnas, P.; Popovas, V.; Jarmolajev, A. 3D numerical simulation of punching shear behavior of slab-column connection. In: *Selected papers The 8<sup>th</sup> International conference “Modern building materials, structures and techniques”*. Edited by E. K. Zavadskas, P. Vainiūnas and F. M. Mazzolani. Vilnius: Technika, 2004, p. 668–673.
  19. Šalna, R.; Marčiukaitis, G.; Vainiūnas, P. Analysis of beamless reinforced concrete ceilings resistance to punching shear. In: *Selected papers The 8<sup>th</sup> International conference “Modern building materials, structures and techniques”*. Edited by E. K. Zavadskas, P. Vainiūnas and F. M. Mazzolani. Vilnius: Technika, 2004, p. 615–619.
  20. Cimbaliuk, P. *Nesijinių perdangų apykolonio zonos įtempimų būvio modeliavimas ir analizė*. Magistratūros baigiamasis darbas. Vadovas prof. dr. P. Vainiūnas. VGTU, Statybos fakultetas, Gelžbetoninių ir mūrinių konstrukcijų katedra. Vilnius, 2003. 56 p.
  21. *EN 1990: 2002 E. Eurocode – Basis of structural design*. Brussels, 2002. 87 p.
  22. *ISO 2394:1998 E. General principles on reliability for structures*. 1998. 73 p.

**Povilas VAINIŪNAS**. Doctor, Associate Professor. Dean of Civil Engineering Faculty at Vilnius Gediminas Technical University (VGTU), Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lithuania. E-mail: povva@stvtu.lt

PhD (1970) from Kaunas Polytechnical Institute (presently Kaunas University of Technology). Chairman of national group of International Association for Bridge and Structural Engineering (IABSE). Former vice-president (1992-95) and board member (since 1995) of Association of European Civil Engineering Faculties (AECEF). Chairman of scientific committee of biennial intern, conference “Modern building materials, structures and techniques” held at VGTU, Lithuania. Author and co-author of over 60 research papers. Research interests: mechanics of reinforced concrete, theory of durability and reliability, design of buildings, development of territory planning and building code systems of Lithuania and real estate assessment.