



PERDANGŲ SU LIKTINIAIS GELŽBETONINIAIS KLOJINIAIS EFEKTYVUMO KONSTRUKCINIAI IR TECHNOLOGINIAI VEIKSNIAI

Gediminas Marčiukaitis¹, Rėda Bistrickaitė²

¹Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lietuva

²Kauno technologijos universitetas, Studentų g. 48, LT-51367 Kaunas, Lietuva

El. paštas: ¹gelz@st.vtu.lt; ²reda.bictrickaite@ktu.lt

Įteikta 2005-03-04; priimta 2005-06-15

Santrauka. Straipsnyje nagrinėjami klausimai, susiję su vieno iš pagrindinių pastato elementų – gelžbetoninių perdangų tobulinimu. Nagrinėjami konstrukciniai ir technologiniai veiksniai, nuo kurių priklauso naujo tipo perdangų – perdangų su liktiniais gelžbetoniniais klojiniais pranašumai. Pateikiamos jų racionalios schemas, gamybos ir montavimo būdai. Remiantis savo ir kitų autorių tyrimais, nurodomi tokių konstrukcijų skaičiavimo ir projektavimo esminiai ypatumai, kuriuos būtina įvertinti, norint gauti ne tik ekonomišką, bet ir patikimą standžiąją konstrukciją. Pateikiamas įvairių konstrukcinių tipų perdangų ekonominis lyginimas.

Raktažodžiai: betonas, gelžbetonis, armatūros strypynai, liktiniai klojiniai, kontakto zona, technologija, ekonominis efektyvumas.

STRUCTURAL-TECHNOLOGICAL FACTORS OF EFFICIENCY OF FLOORS WITH PERMANENT REINFORCED CONCRETE FORMWORK

Gediminas Marčiukaitis¹, Rėda Bistrickaitė²

Vilnius Gediminas Technical University, Saulėtekio al. 11, LT-2040 Vilnius, Lithuania

²Kaunas University of Technology, Studentų g. 48, LT-51367 Kaunas, Lithuania

E-mail: ¹gelz@st.vtu.lt; ²reda.bictrickaite@ktu.lt

Received 4 March 2005; accepted 15 June 2005

Abstract. Problems associated with the development of reinforced concrete floors, the main element of a building, are considered in this article. Structural and technological factors effecting the advantages of floors with permanent formwork being the modern type of such structures are investigated. Rational diagrams, ways of manufacture and erection of these structures are presented. Essential peculiarities for design and analyses of such structures based on the investigations performed by the author and other investigators are indicated. This shall be taken into account for obtaining not only economical, but a reliable and rigid structure as well. Economical comparison of various types of floors is presented.

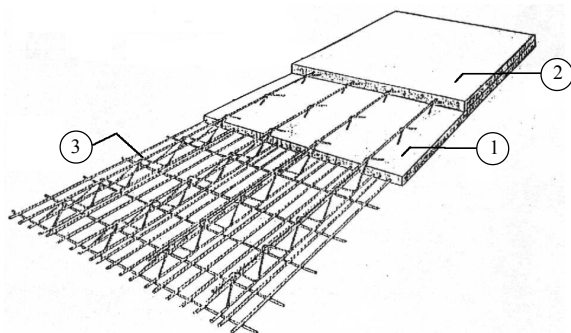
Keywords: concrete, reinforced concrete, reinforcement cages, permanent formwork, contact zone, technology, economical.

1. Įvadas

Lietuvoje įsigalėjus rinkos ekonomikai, esmingai pasikeitė ir statybos šakos struktūra. Jos pažanga grindžiama operatyvia statybos darbų ir konstrukcijų gamybos technologijos kaita. Dominuoja tendencija dalį konstrukcijų gamybos operacijų perkelti į statybos aikšteles, kuriose yra visos būtinos gamybos priemonės. Kita vertus, padidėjo įvairių tipų konstrukcijų, elementų, detalių ir medžiagų pasiūla, skatinanti konkurenciją, techninę bei ekonominę statybos rinkos plėtrą.

Pastaraisiais metais Europoje plinta modernios, ekonomiškios ir technologiškos surenkamosios monolitinės perdangos, tarp jų ir perdangos su liktiniais gelžbetoniniais klojiniais. Surenkamųjų monolitinių perdangų techninis ir ekonominis pranašumas akivaizdus, jei pasirenkamas sparčios ir racionalios statybos prioritetas. Tokių konstrukcijų efektyvumas padidėja, kai trūksta kvalifikuotų statybos darbininkų, o statybos darbų kiekiai dideli, arba kai pageidaujama pastatų tūrio bei plano rodiklių įvairovės.

Naudojamų surenkamųjų gelžbetoninių konstrukcijų matmenys turi būti itin tikslūs, montuotojų kvalifikacija – aukšta, o transporto ir darbo sąnaudos yra didelės. Surenkamoji monolitinė perdanga jungia surenkamųjų ir monolitinių konstrukcijų pranašumus: įrengimo spartą ir didelį darbo našumą, konstrukcinį patikimumą ir eksploatacinių savybių prognozuojamumą, technologinių, architektūrinių ir konstrukcinių sprendimų lankstumą. Šios ir kitos aplinkybės lėmė, kad Vakarų šalyse pradėtos plačiai gaminti ir naudoti surenkamosios monolitinės gelžbetoninės perdangos. Racionalios konstrukcijos, pastato paskirčiai ir architektūriniam sprendimui adaptuotos, technologiškai taisyklingai sukonstruotos surenkamųjų monolitinių perdangų sistemos nesukelia techninio pobūdžio sunkumų, todėl didėjančioje statybos rinkoje jų perspektyvos yra geros. Prak-



1 pav. Surenkamoji monolitinė perdanga su liktiniais gelžbetoniniais klojiniais: 1 – surenkamasis gelžbetoninis liktinis klojinys, 2 – monolitinio gelžbetonio sluoksnis, 3 – jungiamasis strypynas

Fig 1. Precast cast-in-situ concrete floors with permanent formwork: 1 – precast reinforced concrete permanent formwork; 2 – cast-in-situ layer; 3 – connectional reinforcement structure

tiškai jos tinka visur, kur naudojamas gelžbetonis. Gelžbetoninė plokštė su liktiniais klojiniais yra kompozitiniams medžiagoms ir konstrukcijoms keliamus reikalavimus atitinkanti konstrukcija: čia du su skirtingomis savybėmis sluoksniai, sujungti į monolitą, išdėstyti pagal savo paskirtį, geriau išnaudojamos jų konstrukcinės ir technologinės savybės. Tai atitinka šio amžiaus technikos ypatumo prioritetus.

2. Surenkamųjų monolitinių perdangų konstrukciniai ypatumai ir rinkos diferenciacija

Surenkamųjų monolitinių perdangų konstrukciją sudaro surenkamieji elementai ir monolitinio betono sluoksnis, jungiantis visus elementus į vientisą sistemą. Šios perdangos, atsižvelgiant į konstrukcines ypatybes ir technologinius sprendimus, santykiškai klasifikuojamos į penkias grupes [1, 2]. Pagal paskirtį tokios perdangos skirstomos į konstrukcijas, naudojamas privatiems gyvenamiesiems namams ir nedideliems verslo objektams statyboje ir konstrukcijoms, skirtoms daugiaaukščiams, didelio ploto pastatams statyti.

Dažniausiai surenkamąją monolitinę perdangą, naudojamą didelių objektų statyboje, sudaro 40–60 mm storio liktinis gelžbetoninis klojinys – plokštė, ant kurios statybos vietoje betonuojama kita – monolitinė plokštė. Tokia perdanga armuota standartiniais virintais armatūros tinklais ir jungiamuoju erdviniu strypynu (1 pav.). Jos gaminamos patalpų matmenų dydžio, montuojamos „nuo ratų“, vėliau užbetonuojamos monolitiniu betono sluoksniu.

Tinklai bei strypyno armatūra apatinėje perdangos strypyno juostoje perima tempimo jėgas, strypyno vertikalusis tinklelis – šlyties jėgas surenkamosios plokštės ir monolitinio sluoksnio kontakto zonoje, o jo viršutinė juosta prisideda prie monolitinio betono gniuždomojo sluoksnio darbo. Sukibimą padidina specialiai sušiurkštinta plokštės ir monolitinio sluoksnio kontakto zona. Sumontuota perdanga tampa naujo tipo vientisa konstrukcija, kuri skaičiuojama kaip ištisinio skerspjūvio lenkiamasis elementas. Jo labai svarbi jungiamojo armatūros strypyno reikšmė [2, 3]. Esminis tokio tipo perdangos bruožas – surenkamoji plokštė tampa ir laikinuoju klojinu. Savo konstrukciniu sprendimu ji yra panaši į dabar vis plačiau naudojamas perdangos plokštes iš profiliuoto plieninio lakšto ir betono. Tačiau priešgaisrinės saugos požiūriu daugeliu atveju pirmosios yra gerokai pranašesnės ir ekonomiškesnės.

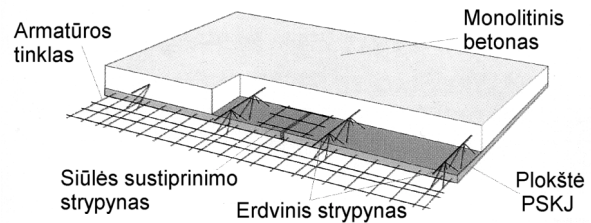
Nedidelių objektų statyboje naudojamoms perdangoms būdinga, kad liktiniai klojiniai jose formuojami iš smulkių keraminių, betoninių ar kitokių elementų. Technologiniu požiūriu tokia konstrukcija pirmiausia padeda atsisakyti kėlimo įrengimų, kuria papildomas darbo vietas arba statyboje realizuoja principą „pasidaryk pats“. Tačiau šių surenkamųjų monolitinių perdangų diegimas susijęs su daugeliu kitų ekonominių ir technologinių veiksnių, pavyzdžiui, mi-

nėtų elementų gamybos organizavimu, statybų sektoriaus fragmentavimusi ir statybinių medžiagų gamybos bei rinkos sektorių plėtote. Lietuvoje šie procesai tik prasidėjo, todėl tikėtis sparčios surenkamųjų monolitinių perdangų konstrukcinių sprendimų sklaidos šiame statybos sektoriuje tikėtis negalime.

Žinoma, Lietuvos statybų skirstymas į masinės (industrialinės) ir individualios statybos sektorius yra gana sąlygiškas. Pavyzdžiui, Vokietijoje, kaimyninėje Lenkijoje ir kitose didelėse šalyse sukurtos perdangų konstrukcijos, skirtos „tarpiniam“ sektoriui – ir individualių namų kvartalų statybai, ir vidutinio dydžio masinės statybos objektams. Lietuvoje šią perdangų konstrukciją dėl palyginti mažos tokių objektų statybos rinkos įdiegti sunku. Pavyzdžiui, pastaruoju metu pradėta diegti nauja surenkamųjų monolitinių plokščių modifikacija, pagaminta iš nedegaus polistireninio putplasčio (EPS) plokščių, sutvirtintų dviem 8 mm plieniniais profilineis elementais [4]. Tokia EPS plokštė (liktinis klojinys) yra save laikanti konstrukcija. Paremta plokštė užbetonuojama 50 mm storio gelžbetoniniu sluoksniu, suformuojant ir standinančiąsias briaunas. Išskirtinė šių plokščių savybė – gera šilumos ir garso izoliacija.

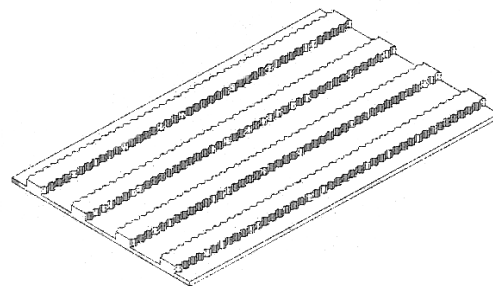
Tokio tipo surenkamosios monolitinės perdangos pavyzdys – Lenkijoje paplitusi „JS“ sistema, sudaryta iš skirtingo pločio (nuo 400 iki 620 mm) bei ilgio (iki 9,60 m) polistireninio putplasčio kiaurymėtuju plokščių, kurios montuojamos ant laikinų statramsčių ir vėliau, sustačius armatūros strypynus, užpilamos betono mišiniu. Šiai sistemai būdinga, kad polistireninio putplasčio sluoksnio aukštis gali būti skirtingas – nuo 155 iki 270 mm (jis keičiamas specialiais antdėklais). Deja, Lietuvoje ši sistema nepaplitę dėl įvairių priežasčių – statybininkų nepasitikėjimo, santykinio brangumo, priešgaisrinės saugos specialistų abejonių ir t. t. Be to, sistemos kūrėjai ir platintojai parengtoje metodinėje medžiagoje akcentuoja, kad ši perdangos konstrukcija tinkamiausia pastatuose su neapšildomu rūsiu ar neapšildoma pastoge, o tokie pastatai Lietuvoje statomi rečiau. Antra vertus, kai ši ir kitos surenkamųjų monolitinių perdangų sistemos mėgintos diegti mūsų šalies privačių namų statybose, čia dar nebuvo paplitę pažangūs betonavimo darbų metodai (nenaudoti betono siurbliai, trūko modernių klojinių, teleskopinių statramsčių sistemų ir kt.).

Mūsų šalies statybose mėgintos įdiegti ir kitos panašios perdangos, tačiau joms buvo būdingi ne itin geri techniniai ir eksploataciniai rodikliai. Pavyzdžiui, inž. J. Kraterski adaptuotoje sistemoje PSKJ naudojamos gana siauros (1,2–2,4 m pločio), 2,4–7,2 m ilgio plokštės (2 pav.). Jos neuždengia visos patalpos ir todėl gali būti vertinamos kaip patobulinta surenkamųjų plokščių atmaina. Įprastines gelžbetonines plokštes jos primena ne tik tokiu pat montavimo būdu (su patalpos lubas dalijančiomis siūlėmis), bet ir aukščiu (su monolitinio betono sluoksniu) – 120, 160, 180, 220 mm.



2 pav. Perdanga iš PSKJ sistemos plokščių

Fig 2. Floor of PSKJ system slabs



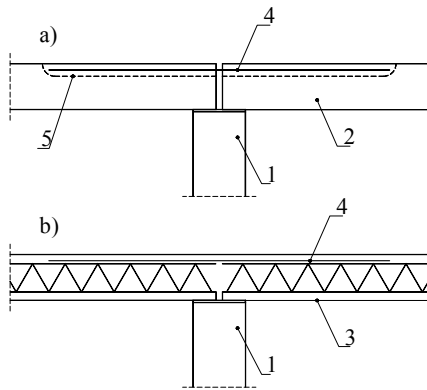
3 pav. Surenkamųjų monolitinių perdangų liktiniai klojiniai su standumo briaunomis

Fig 3. Permanent reinforced concrete formwork with rigid ribs

Todėl Lietuvos sąlygomis efektyviausiomis surenkamosiomis monolitinėmis konstrukcijomis reikia laikyti konstrukcijas iš gelžbetoninių liktinių klojinių ir statybos aikštelėje išliejamo monolitinio betono. Vakarų Europoje šiuo metu pradėti diegti naujos konstrukcijos liktiniai klojiniai [5]. Šios konstrukcijos liktiniams klojiniams būdinga, kad dalis ar visi jų strypynai su skersine armatūra užbetonuojami gamybos metu, išilgai plokštės suformuojant standumo briaunas (3 pav.).

Tokios konstrukcijos liktinius perdangų klojinius su standumo briaunomis galima vertinti kaip kitą monolitinių surenkamųjų perdangos plokščių etapą. Jų įdiegimas leistų pakeisti konstrukcines pastatų schemas ir statybos darbų technologiją. Pavyzdžiui, montuojant perdangą, nereikėtų laikinų statramsčių, nes tokių klojinių įlinkis labai mažas, o standumas betonuojant viršutinį sluoksnį yra pakankamas. Be to, jais perdengiamos didesnio tarpatramio angos. Antra vertus, tokie liktiniai klojiniai ir monolitinio betono sluoksnis virš jų skaičiuojant laikomas vientisa plokšte, nes padidintas specifinės formos betoninių ilginių plotas užtikrina gerą šių betono sluoksnių sukibimą ne vien išilgine, bet ir skersine kryptimis.

Monolitinio betono sluoksniu tokiose plokštėse galima pripildyti tik tarpus tarp standumo briaunų arba virš liktinio klojinio suformuoti vientisą monolitinio betono sluoksnį (kai virš atramų reikia sumontuoti tempiamąją viršutinę ar-



4 pav. Standžiojo plokščių galų ties atrama jungimo schemas: a – surenkamųjų, b – su liktiniais klojiniais. 1 – atrama; 2 – surenkamoji gelžbetoninė plokštė; 3 – liktiniai klojiniai; 4 – viršutinė armatūra; 5 – daužoma betono zona

Fig 4. The scheme of rigid connection over support: a – precast slabs; b – slab with permanent formwork; 1 – support; 2 – precast concrete slab; 3 – permanent formwork; 4 – top reinforcement; 5 – destruction zone

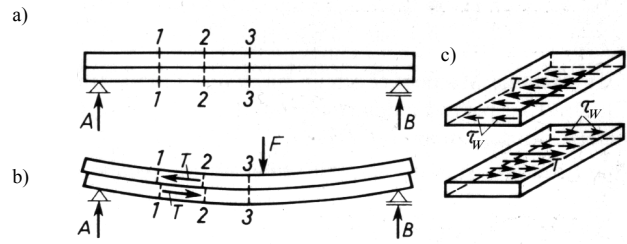
matūrą, 4 pav.). Tokias plokštes galima skaičiuoti skerspjūvių redukavimo metodu arba pasinaudojus mūsų pasiūlymais [6], leidžiančiais įvertinti faktines abiejų sluoksnių medžiagų savybes. Tačiau svarbus reikalavimas – užtikrinti horizontaliojo pjūvio stiprumą. Mūsų atlikta analizė parodė, kad plokštės su liktiniais klojiniais ir armatūros strypynais ir plokštės su išilginėmis standumo briaunomis turi didelį esminį pranašumą prieš surenkamąsias gelžbetonines plokštes ir tuo, kad lengvai technologiškai ir konstrukciškai galima padaryti nekarpytą statiskai nesprenžiamą sistemą abiem pastato linkmėmis. Be to, sutaupoma 15–20 % armatūros, nereikia išpjauti arba išdaužyti surenkamųjų plokščių galų viršutinės dalies iki 1,5 m ilgio, norint reikiamai įdėti viršutinę ties atramomis armatūrą (4 pav.) ir užtikrinti sujungiamų plokščių bendrą statinį darbą.

3. Gamybos technologinių veiksnių įtaka konstrukcinei savybėms

Plokštės su liktiniais gelžbetoniniais klojiniais vertinamos kaip sluoksniuotosios konstrukcijos, sudarytos iš įvairaus stiprumo ir standumo sluoksnių. Jų bendras darbas priklauso nuo ryšių tarp sluoksnių ir jų pasislinkimo, kurį sukelia šlyties įtempiai, vienas kito atžvilgiu. Todėl bendro sluoksnių darbo esmė ta, kad kai du ar daugiau sluoksnių yra sujungti kontaktiniame sluoksnyje, ši jungtis perima šlyties įrašas.

Kai sluoksniuotosios sijos ir plokštės nuo apkrovos linksta, jų sluoksniai pasislenka vienas kito atžvilgiu ir jose susidaro šlyties įtempiai τ_{pr} (5 pav.).

Bendrą tokios konstrukcijos standumą, jeigu patys sluoksniai yra standūs, apibrėžia sluoksnių tarpusavio są-



5 pav. Lenkiamas sluoksniuotasis elementas: a) neapkrauto lenkiamo sluoksniuotojo elemento schema; b) poslinkis ir išilginė šlyties jėga T sluoksnių kontakto plokštumoje skersinių jėgų atžvilgiu; c) horizontalieji išilginiai šlyties įtempiai τ_{pr} sluoksnių kontakto zonoje

Fig 5. Bending layered member: a – scheme before bending; b – slip and longitudinal shear force T in contact area; c – horizontal longitudinal shear stresses τ_{pr} in contact zone

veika ir ryšių standumas. Daugelyje laikančiųjų sluoksniuotųjų plokščių tipų turi būti garantuotas šlyties stiprumas. Jeigu ryšius tarp išorinių sluoksnių atstoja vidiniai mažesnio standumo sluoksniai, sukibę su išoriniais, tai bus dalinio ryšių standumo atvejis. Kaip žinoma, vienalyčių konstrukcijų irtis dažniausiai įvyksta dviejuose pjūviuose: nuo skersinės jėgos ir lenkimo momento. Sluoksniuotosiose konstrukcijose atsiranda trečiojo pjūvio irtis – nuo šlyties tarp sluoksnių arba per silpnesniąjį vidurinį sluoksnį. Visiškas sujungimas šlyties stiprumui užtikrinti yra tuomet, kai ribinis būvis (ribinė apkrova) apibrėžiamas maksimaliu normalinio pjūvio stiprumu.

Pagal sluoksniuotųjų konstrukcijų skaičiavimo metodiką sluoksniuotųjų statybinių konstrukcijų sluoksnių sąlytis svarbus jų laikomajai galiai. Gelžbetoninėse konstrukcijose tokios sąlyčio zonos susidaro ir tada, kai betonuojama etapais, su pertraukomis, įrengiant technologines siūles. Tačiau surenkamąjį gelžbetoninį elementą jungiant su monolitinio betono sluoksniu, kontakto zona tampa pagrindiniu veiksniu, užtikrinančiu didžiausią laikomąją galią. Sluoksniuotųjų konstrukcijų skaičiavimas ir konstravimas priklauso nuo daugelio veiksnių, tarp jų ir nuo kontakto paviršiaus šiurkštumo [7, 8]. Daugelyje literatūros šaltinių nurodoma, kad kontakto zonos paviršius yra specialiai paruošiamas – daromas dantytas ar jame padaromi trikampio (stačiakampio) formos iškyšos ir grioveliai bei įrengiami sprauskeliai [9–11]. Šiems elementams įrengti didelių technologinių pakeitimų esamose gelžbetonio pramonės gamybinėse linijose nereikia.

Daugelio sluoksniuotųjų konstrukcijų kontakto zoną stengiamasi matematiškai aprašyti atsižvelgiant į kontakto paviršiaus formą ir monolitinio betono stiprumą. Bet nagrinėjant surenkamąją monolitinę perdangą su gelžbetoniniais liktiniais klojiniais, kontakto zonos paviršiaus standumo matematiškai formalizuoti kol kas neįmanoma.

Esant standžiai kontaktui, konstrukcija skaičiuojama kaip vientisa, atitinkamai įvertinant skirtingas plokštę sudarančių medžiagų fizikines ir mechanines savybes. Esant riboto standumo kontaktui, konstrukcija apskaičiuojama bandant įvertinti paslankumą tarp sluoksnių [12–14]. Tačiau sąvokos *standi kontakto zona* arba *riboto standumo kontaktas* yra statiškai kol kas neapibrėžtos. Lieka neaišku, ar lenkiama plokštė pirma suirs dėl gniuždomosios zonos deformacijų, ar dėl šlyties deformacijų ir sluoksnių atskyrimo kontakto zonoje. Remiantis mūsų tyrimais [15], šis klausimas gali būti išspręstas vertikaliu strypynu, kuris perimtų dalį tangentių ir normalių įtempių. Šį strypyną panaudoti liktinių klojinių gamyboje nesudėtinga.

Kontakto zonos šiurkštumo parametrai iš esmės lemia santykį tarp šioje zonoje vykstančių tamprųjų ir liekamųjų deformacijų dominantės. Pagal įvairių projektavimo normų siūlomą modelį [3, 16], poslinkis kontakto zonoje dėl tangentių įtempių priklauso nuo šių veiksnių: sluoksnių sankibumo, betono paviršiaus šiurkštumo, įvertinant normaliąją jėgą kontakto zonoje ir armatūros, atlaikančios tangentių įtempius. Siekdamas įvertinti kontakto zonos įtaką ir remdamasis tuo, kad šlyties deformacijos yra kontakto zonoje (x) ir šiurkštumo zonos srityje (y), susidarančių tangentių įtempių kompleksinė funkcija $[\psi_{xy} = \varphi(\tau_{xy})]$, išreiškianti horizontaliąsias deformacijas [17, 18], susideda iš trijų narių ir užrašoma taip:

$$\psi_w = \varphi(\tau_w) = \varphi(\tau_{adh} + \tau_{sw} + \tau_{frw}), \quad (1)$$

čia τ_{adh} – sluoksnių sankibumo įtempių dydis ir sritis įvertinant paviršiaus šiurkštumo įtaką (čia integruotas paviršiaus šiurkštumo rodiklis) ir santykį tarp vertikaliųjų (v) ir horizontaliųjų (w) deformacijų kontakto zonoje; τ_{sw} – tangentiniai įtempiai armatūroje; τ_{frw} – tangentiniai įtempiai betone, įvertinant normaliąją jėgą kontakto zonoje.

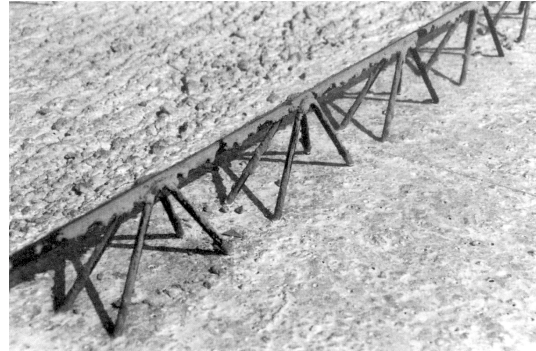
Kita vertus, mūsų [19, 20] ir kitų autorių [21, 22] tyrimai rodo, kad ir esant adheziniam ryšiui galimas iki 0,1–0,2 mm praslydimas. Tačiau praktiškai adhezinių ryšių sunku atskirti nuo mechaninio, susidariusio dėl paviršių porų, kapiliarų bei kitų struktūros defektų.

Naujoje DIN 1045-1 redakcijoje [3] šlyties įtempių poveikis dvisluoksnėms perdangų plokštėms įvertinamas kaip ir vienasluoksnėse monolitinėse plokštėse, tačiau reikalaujama įvertinti ir liktinių klojinių kontakto paviršiaus šiurkštumą. Jeigu normaliniai įtempiai kontakto plokštumoje neįvertinami, tai kontakto zonos stiprumas šlyčiai bus:

$$V'_{Rd,ct} = 0,042 \cdot \beta_{ct} \cdot f_{ck}^{1/3}, \quad (2)$$

čia β_{ct} – liktinių klojinių viršutinio paviršiaus šiurkštumą įvertinantis koeficientas; f_{ck} – betono gniuždomasis stipris, N/mm².

Liktinių klojinių paviršiaus šiurkštumą dažniausiai įvertina jų gamintojai, geriausiai išmanantys technologinius



6 pav. Skirtingo šiurkštumo liktinių klojinių paviršius ir įprastinis armavimo strypynas

Fig 6. Roughness of surface permanent formwork and simple reinforcement element

veiksnius, lemiančius šį rodiklį. Šiuos veiksnius valdyti gelžbetonio įmonėse nesudėtinga. Liktinių klojinių paviršiaus šiurkštumo įvertinimo kriterijus parinkti nėra sudėtinga. Tai rodo ir kai kurių šalių normatyviniai dokumentai [3].

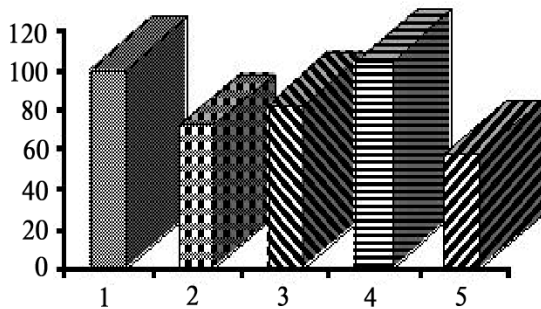
Visi tokių liktinių klojinių skaičiavimai, susiję su jų kontakto zonos šiurkštumo įvertinimu, turi būti atliekami laikantis prielaidos, kad klojinių paviršius bus glotnus ($\beta_{ct}=1,4$), nors iš tikro liktinių klojinių paviršiaus šiurkštumas gali būti skirtingas (6 pav.). Toks reikalavimas padidina projektavimo atsargos koeficientą, bet padidėja reikalavimai gaminių kokybei siekiant išvengti ginčų statybos aikštelėje dėl subjektyvaus liktinių klojinių paviršiaus įvertinimo. Be to, kaip rodo praktika, net lygaus paviršiaus liktiniuose klojiniuose patikimą jų ir monolitinio betono sukibimą užtikrina armatūros strypynai. Kol liktiniai klojiniai dar nesumontuoti, jie drauge su kitais strypynais atlaiko montavimo ir transportavimo apkrovas.

Jei perdangos konstrukcijoje šlyties jėgos kontakto zonoje labai didelės, teigiama, kad liktinių klojinių paviršiaus šiurkštumas β_{ct} kontakto zonoje turi labai nedidelę įtaką. Tokiu atveju šiuos įtempius turi atlaikyti vien betono sluoksnių sukibimą užtikrinantys armatūros strypynai. Alternatyviu liktinių klojinių ir monolitinio betono sukibimo gerinimo būdu laikytinas kontakto zonos ploto didinimas [23].

Šis būdas technologiniu požiūriu sudėtingesnis, tačiau taip pat palyginti lengvai įgyvendinamas (sušiurkštinant liktinių klojinių paviršių arba statybos aikštelėje naudojant didelio slankumo ar susitankinančio betono mišinį).

4. Ekonominiai perdangų su liktiniais gelžbetoniniais klojiniais montavimo ir naudojimo aspektai

Vokietijos, Austrijos bei kitose Europos gelžbetonio įmonėse monolitinės surenkamosios perdangos plokštės su liktiniais klojiniais gaminamos dažniausiai tose pačiose li-



7 pav. Santykinė trijų aukštų gyvenamojo namo perdangų kaina procentais. Skaičiais pažymėta: 1 – monolitinė perdanga; 2 – surenkamoji monolitinė perdanga su liktiniais klojiniais; 3 – surenkamoji monolitinė perdanga su „Montaquik“ strypynais; 4 – perdanga iš įprastinių kiaurymėtujų plokščių su įtemptąja armatūra; 5 – perdanga iš surenkamųjų monolitinių plokščių su standumo briaunomis

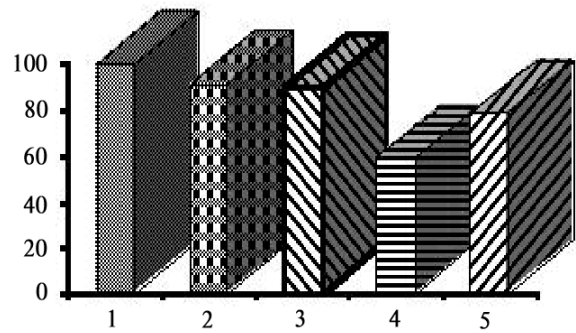
Fig 7. Relative cost (in percent) of a three-storey dwelling house: 1 – cast-in-situ floor; 2 – floor with permanent formwork; 3 – precast-in-situ floor with „Montaquik“ reinforcement; 4 – floor of precast prestressed concrete hollow slabs; 5 – floor of precast-in-situ slabs with rigid ribs

nijose, kaip ir kiaurymėtosios surenkamųjų perdangų bei sluoksnuotųjų sienų plokštės. Toks gamybinių linijų sutapdinimas racionalus ne tik technologiniu, bet ir ekonominiu požiūriu. Teigiama, kad palyginti nedideli tokių plokščių konstrukcijos patobulinimai, pavyzdžiui, liktinių klojinių su standumo briaunomis gamybos organizavimo jau esamose linijose išlaidos atsiperka, kai naujųjų plokščių pagaminama apie 20 tūkst. m² [20]. Preliminari analizė parodė, kad kainų bei sąnaudų struktūra panaši ir mūsų sąlygomis, nors nedidelės pataisos būtinos darbo užmokesčio struktūroje.

Tų pačių autorių pateikta ir dviejų skirtingų konstrukcijų surenkamųjų monolitinių plokščių su liktiniais klojiniais bei monolitinės ir iš įvairių plokščių surenkamųjų perdangų gamybos bei montavimo darbų kainų analizė. Šiai analizei [23] autoriai pasirinko trijų aukštų gyvenamąjį namą (matmenys 13×13 m, atstumas tarp perdangos atramų 5,54 m) ir trijų aukštų gamybinės paskirties pastatą (matmenys 37×20 m, perdengiamos angos plotis – 12 m).

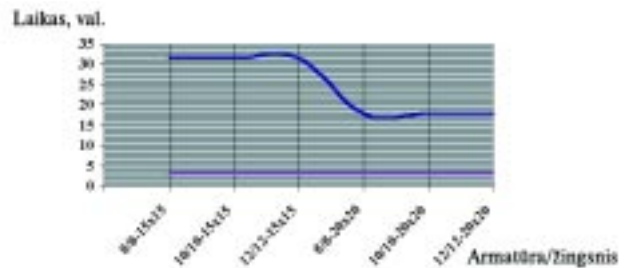
Kaip matyti iš 7 ir 8 paveikslų, gyvenamojo namo užsakovui pigiausiai kainuotų perdanga iš surenkamųjų monolitinių plokščių su standumo ilginiais. Ekonomiška tai, kad šios konstrukcijos perdangai nereikia laikinųjų statramsčių.

Gamybinės paskirties pastate dėl palyginti plačių angų pigiausia pasirodė perdanga iš įtemptai armuotų kiaurymėtujų gelžbetonio plokščių. Kita vertus, šiame pastate surenkamosios monolitinės perdangos, kaip ir gyvenamajame name, sumontuojamos sparčiausiai. Aišku, spartus montavimas, mažai rankų darbo reikalaujantis perdangos įrengimas labai patrauklus šalyje, kur toks darbas itin brangus.



8 pav. Santykinė trijų aukštų gamybinės paskirties pastato perdangų kaina procentais. Grafiko stulpelių žymėjimas toks pat kaip ir 7 pav.

Fig 8. Relative cast (in percent) of three-storey industrial building. Marks of columns the same as in Fig 7



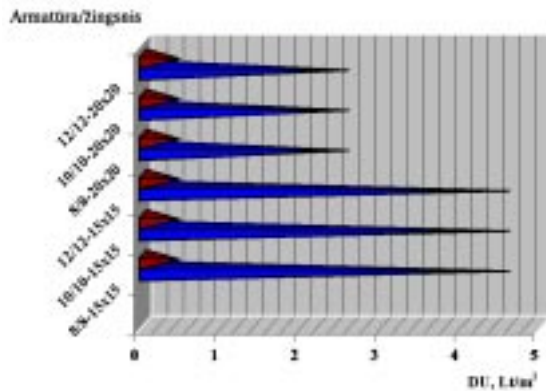
9 pav. Armavimo darbų trukmė, naudojant skirtingas armavimo technologijas: viršutinė linija – armavimas rišant armatūros strypus, apatinė linija – armavimas virintais standartiniais armatūros tinklais

Fig 9. Duration of reinforcement work using various reinforcement technology: top line – reinforcement by binding; lower line – reinforcement by welded standard reinforcement net

Tačiau ir Lietuvoje ankstesnė pastatų eksploatavimo pradžia jo savininkams lemia didesnę pelną, o rangovams – greitesnę į statybą investuotų lėšų atsiėmimą. Be to, reikia įvertinti ir konstrukcinius liktinių klojinių privalumus – palyginti nedidelę perdangos konstrukcijos aukštį ir masę, racionalų įtempimų pasiskirstymą jose, pastato stabilumą lemiančių perdangos membranų suformavimą.

Ekonominių skaičiavimų rezultatai keičiasi, kai pakeičiama konstrukcijų armavimo technologija. Minėtų perdangų tipų (išskyrus 4 tipą) kaina priklauso nuo armatūros strypų žingsnio, armuojamo ploto ir žmonių skaičiaus bei darbo užmokesčio, kuris kiekvienoje šalyje yra skirtingas.

Suskaičiavome armavimo darbų trukmę 1000 m² ploto perdangoje, kurioje panaudotos skirtingos armavimo technologijos, kai dirba 8 darbininkų brigada (9 pav.). Darbo užmokesčio sąnaudų skirtumas dėl padidėjusio darbo našumo parodytas 10 pav. Kaip matome iš pateiktų grafikų, perdangų armavimas virintais standartiniais armatūros tinklais, kai strypų žingsnis nedidelis, gerokai sumažina ar-



10 pav. Darbo užmokesčio (DU) sąnaudų skirtumas Lt/m₃ dėl padidėjusio darbo našumo: tamsesnis stulpelis – armavimas rišant armatūros strypus, šviesesnis stulpelis – armavimas virintais standartiniais armatūros tinklais

Fig 10. Dependence of the expenses of salary (DU) on work productivity: black column – reinforcement by binding separate bars; grey column – reinforcement by welded standard reinforcement net

mavimo darbų trukmę ir perdangos konstrukcijos kainą. Skaičiuojant nebuvo įvertinta klojinių kaina, dėl kurios kainų skirtumas būtų dar didesnis. Preliminarūs skaičiavimai ir analizė rodo, kad išankstinį klojinių darbo armatūros įtempimą (gaminant juos nepertraukiamu stendiniu būdu), pasiekama dar didesnio efektyvumo – atsiranda galimybė sutaupti betono, metalo ir perdengti didesnes angas.

5. Išvados

1. Perdangų plokštės su liktiniais klojiniais pasižymi konstrukcija, turinčia visus pagrindinius pranašumus, būdingus kompozitinėms konstrukcijoms, kurios laikomos šio amžiaus prioritetu: mažiau energoimlios, geriau išnaudojamos konstrukcinės ir technologinės medžiagų savybės, standesnės, patvaresnės ir ilgaamžiškesnės.

2. Išanalizuoti tokių konstrukcijų gamybos ir projektavimo ypatumai ir pateikti konstrukciniai ir technologiniai pasiūlymai leidžia sukurti plokštes, užtikrinančias didesnę horizontalaus pastato disko perdangos standumą, geriau į bendrą pastato darbą įtraukti visus elementus.

3. Konstrukcinių ir technologinių ypatumų analizė rodo, kad šio tipo perdangų statyba ir liktinių gelžbetoninių klojinių gamyba nereikalauja radikaliam pertvarkyti gelžbetonio įmonių technologijas, o viena iš tokios raidos sąlygų – įdiegti efektyvių armatūros strypynų gamybos technologijas.

4. Būtina diferencijuoti pastangas adaptuojant skirtingos paskirties (naudojimo srities) surenkamųjų monolitinų gelžbetoninių perdangų sistemas. Dėl akivaizdžių ekonominio ir technologinio pobūdžio pranašumų šalies sąlygomis gelžbetoninių perdangų su liktiniais klojiniais diegi-

mas sietinas su masinės statybos sektoriumi. Reikėtų skatinti didelio tūrio ir ploto pastatų statybai tinkamų konstrukcijų diegimą, o perdangų sistemų, tinkamų individualių gyvenamųjų namų statybai, diegimą reikėtų laikyti ne pagrindiniu uždaviniu.

5. Racionalaus pobūdžio ir todėl valdomi veiksniai – pastatų konstrukcinės bei architektūrinės ypatybės, statybininkų įvaldyta įranga, geri šių perdangų ekonominiai rodikliai bei naujausios gelžbetonio įmonėse ir statyboje įdiegtos technologijos – yra palankūs tokių konstrukcijų rezultatų skaidai.

Literatūra

1. Marčiukaitis, G. Calculation of layered structures from small-size members (Sluoksniuotųjų konstrukcijų iš mažagabaričių dirbinių skaičiavimas). Vilnius: Technika, 1994. 61 p. (in Lithuanian).
2. Marčiukaitis, G. Problems of criteria and development of layered building structures. In: Transactions in Buildings design. Vilnius: Technika, 1999, p. 5–11 (in Lithuanian).
3. DIN 1045-1: 2001-07 bearing structures of concrete, reinforced concrete and prestressed reinforced concrete (DIN 1045-1: 2001-07 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton). Part 1. Calculations and structures. Beuth press, Berlin, 2001 (in German).
4. The structures of floors from hollow ceramics members for dwelling houses. Technical solution and recommendation for construction (Gyvenamųjų namų perdangų iš padidinto tuštumingo keraminių blokelių konstrukcijos. Techniniai sprendimai ir rekomendacijos įrengimui). Kaunas: Architektūros ir statybos institutas, 1994. 17 p.
5. Rojek, R.; Keller, T. Web – bonded floor slabs (Stegverbundplatten des Kompetenzzentrums der Fachhochschule Augsburg). Scientific report in competence centre of Augsburg high school, 2003 (in German).
6. Marčiukaitis, G. About calculation of strength and cracking bending multilayered structures with different concrete of layers. In: Transactions in Buildings Structures (Statybinės konstrukcijos), No 20. Vilnius: Technika, 1995, p. 85–94 (in Lithuanian).
7. Rac, G. A.; Prasad, B. K. B. Influence of the roughness of aggregate surface on the interface bond strength. *Cement and Concrete Research*, 2002, Vol 32, No 2, p. 253–257.
8. Bentz, D. P. Simulation studies of the effects of mineral admixtures on the cement paste – aggregate interfacial zone. *ACI Material Journal*, 1991, Vol 88, p. 518–529.
9. Sungatulin, J. G. Experimentally – theoretical bases of calculation shear strength of contact between concrete and reinforced concrete layers. In: Transactions in precast and cast-in-situ reinforced concrete structures (Сборные и сборно-монолитные железобетонные конструкции. Межвузовский сборник трудов), No 1. Kazan – Leningrad, 1975, p. 90–145 (in Russian).
10. Ruth, J. Distribution of stress in contact plate. *Build of concrete and reinforced concrete* 89 (1994), edition 10, p. 275–279 and edition 11, p. 309–311 (in German).
11. Schäfer, H. G.; Schmidt – Kehle, W. Shear design and composite action in precast slabs and beams subsequently com-

- pleted by in- situ concrete. *Build of concrete and reinforced concrete* 90 (1995), edition 2, p. 49–53 (in German).
12. Marčiukaitis, G.; Valivonis, J. Influence of shear between layers on cracking of reinforced concrete composite structures of bending. In: Paper of conference „Building and architecture“ (Konferencijos „Statyba ir architektūra“ pranešimai). Kaunas: Technologija, 1996, p. 132–137 (in Lithuanian).
 13. Marčiukaitis, G.; Popovas, V. Estimation of multilayered wall slenderness depending on behaviour of flexible ties. *Statyba* (Civil Engineering), V t., No 1. Vilnius: Technika, 1999, p. 3–10 (in Lithuanian).
 14. Reza Salari, M.; Esritov Spacone; Bendsdon Shing, P.; Dan Frangopol, M. Nonlinear Analysis of Composite Beams with Deformable Shear Connectors. *Journal of Structural Engineering*. October 1998, p. 1148–1158.
 15. Bistrickaitė, R. Evaluation of surface roughness and vertical shear reinforcement in contact zone of reinforced concrete structures with permanent formwork. *Statyba* (Civil Engineering), VI t., No 5. Vilnius: Technika, 2000, p. 322–328 (in Lithuanian).
 16. EN 1994-1-1: 2004. Design of composite steel and concrete structures. Brussels, 2004. 118 p.
 17. Ackermann, G.; Gatzsch, R. Test result of stress distributions in reinforced contact plate between precast element and cast concrete. *Build of concrete and reinforced concrete* 89 (1994), edition 5, p. 145–148 (in German).
 18. Avak, Ralf. Build of concrete and reinforced concrete in examples. DIN 1045 and Eurocode (Stahlbetonbau in Beispielen: DIN 1045 und europäische Normung). Düsseldorf: Werner press. Part 1. Calculation of bearing structures. – 4, the new edition. 2004. 381 p. (in German).
 19. Marčiukaitis, G.; Juknevičius, L. Influence of internal layer cracks of flexural tree layer concrete members. *Journal of Civil Engineering and Management* (Statyba), Vol 8, No 3. Vilnius: Technika, 2002, p. 153–158.
 20. Marčiukaitis, G.; Jonaitis, B.; Valivonis, J. Influence of vertical precompression force on strength of contact between concrete and external profiled reinforcement. In: The 8th International Conference. Modern building Materials, structures and techniques. Selected papers. May 19–21 2004. Vilnius, 2004, p. 565–569.
 21. Jefferson, A. D. Plastic damage model for interfaces in cementation materials. *Journal Engineering Mechanics*, Vol 124, No 7, 1998, p. 775–782.
 22. Tschegg, E. K.; Rotter, H. M.; Bourgund, H.; Jussel, P. Fracture mechanical behavior of aggregate cement matrix interfaces. *Journal of Materials in Civil Engineering*, Vol 7, No 4, 1995, p. 1993–2003.
 23. Rojek, R.; Keller, T. Innovative precast concrete floors in multiple – storey buildings Web – bonded floor slabs (Innovative Fertigteile für Hochbaudecken: Stegverbundplatten). In: Concrete precasting plant and technology 2004, edition 6, p. 34–43 (in German).

Rėda BISTRICKAITĖ. Lector. Department of Building Structures. Kaunas University of Technology (KTU).

Master of Science in KTU (1995). Doctoral student in KTU (1995–2000) and PhD (KTU) – 2000. Author and co-author of 6 articles and 1 monograph. Research interests: research of concrete and reinforced concrete structures.

Gediminas MARČIUKAITIS. Professor, Doctor Habil. Department of Reinforced Concrete and Masonry Structures. Vilnius Gediminas Technical University (VGTU).

PhD (1963), doctor Habil (1980). Author and co-author of 7 monographs, 5 text-books and about 300 scientific articles. Research interests: mechanics of reinforced concrete, masonry and layered structures, new composite materials, structures and investigation and renovation of buildings.