

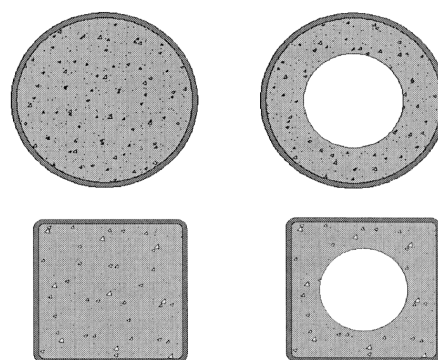
EFEKTYVIOS PLIENO BETONO KONSTRUKCIJOS IR JŲ TAIKYMO GALIMYBĖS

A. K. Kvedaras, A. Šapalas

1. Įvadas

Daugelį dešimtmečių Lietuvoje įvairios paskirties statiniams buvo išskirtinai naudojamos tik gelžbetoninės konstrukcijos. Gelžbetoninėms konstrukcijoms gaminti pastatyta daug specializuotų gamyklų, gaminančių tipinius konstrukcinius elementus. Platus gaminamų konstrukcinių elementų asortimentas leido naudoti surenkamąsias gelžbetonines konstrukcijas įvairios paskirties statiniams. Tiek paprastos, tiek įtemtojo gelžbetonio konstrukcijos plačiai naudojamos gyvenamiesiems, pramonės ir žemės ūkio paskirties pastatams. Surenkamosios gelžbetoninės konstrukcijos buvo plačiai taikomos ir dėl valstybinės statybos politikos prioritetų. Lietuvoje yra pastatyta daug inžineriniu požiūriu įdomių statinių iš surenkamojo gelžbetonio. Šiuo metu į statybos verslą aktyviai veržiasi naujos monolitinio gelžbetonio gamybos technologijos. Plačiai naudojamos naujos, patogios, lengvai transformuojamos klojinių, betono mišinio gamybos ir transportavimo sistemos. Šios technologinės priemonės leidžia greitai ir kokybiškai atlikti laikančiųjų konstrukcijų gamybos darbus. Toks gelžbetonio konstrukcijų dominavimas stabdė metalinių ir medinių konstrukcijų naudojimą. Kartais gelžbetoninės konstrukcijos buvo naudojamos objektuose, kuriuose plieno ar medžio konstrukcijos turėjo neabejotinų privalumų. Šiuo metu plieno konstrukcijos paplitusios gerokai plačiau. Tačiau jos vis dėlto dažniau naudojamos specifinės paskirties arba komplikuotos erdvinės sandaros pastatams. Tiek plieno, tiek gelžbetoninės konstrukcijos turi savų privalumų ir trūkumų. Šie trūkumai gali būti sėkmingai pašalinti plonasieni plieno kevalą ir betono šerdį jungiant į vientisą kompozitinį skerspjūvį. Betoninė kompozitinių elementų šerdis gali būti pilnavidurė arba tuščiaavidurė.

1 pav. pavaizduotų skerspjūvių kompozitiniai elementai gali būti jungiami į sudėtingas plokščiąsias ar erdvinės konstrukcijas. Elementai gali būti jungiami įprastinėmis plieno konstrukcijoms gaminti ir montuoti naudojamomis virintinėmis arba varžtinėmis jungtimis.



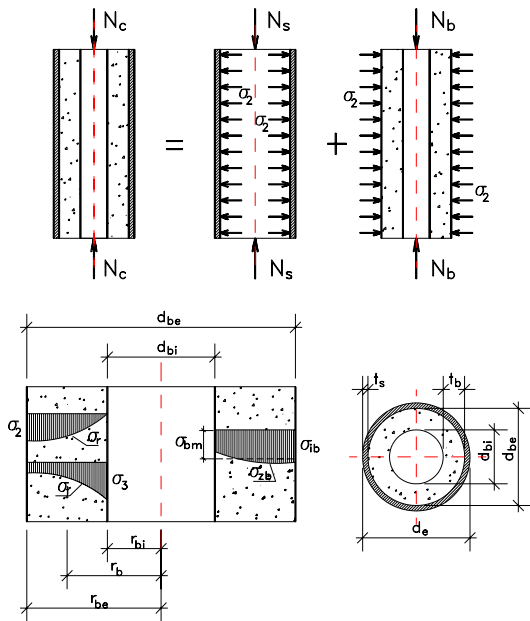
1 pav. Kompozitinių skerspjūvių formos

Fig 1. Shapes of composite sections

Kompozitinių plieno betono elementų elgseną lemia sudėtinga apkrovos veikiamo elemento betoninės šerdies ir išorinio kevalo sąveika [1, 2]. Veikianti apkrova ir betono šerdyje, ir plieno kevale sukelia sudėtingą įtempių būvį. Jis gali būti iliustruojamas 2 pav. pateikiama schema.

Žiedinės betono šerdies įtempių būvis yra daug sudėtingesnis nei pilnavidurės. Kai yra vienodos plieno ir betono išilginės deformacijos, dėl skirtingų medžiagų skersinių deformacijų koeficientų didumų sąlyčio paviršiuje veikia radialiniai įtempiai. Jie sukelia plieno kevalo tempimą apspaudžiant betono šerdį. Ribiniam įtempių būviui nustatyti gali būti sėkmingai taikoma mažų tampriųjų plastinių deformacijų teorija [2]. Dėl šio sudėtingo įtempių būvio padidėja betono šerdies laikomoji galia. Plieno kevalo ir betoninės šerdies sąveika užtikrina plonasienio kevalo vietinį pastovumą. Tai leidžia kompozitinių konstrukcijų gamyboje naudoti plonasienius plieno vamzdžius.

Atlikti eksperimentiniai ir skaičiuojamieji tyrimai patvirtino, kad kompozitinio elemento efektyvumas priklauso nuo plieno takumo ribos R_y , betono stiprio R_b ir betono bei plieno skerspjūvio plotų santykio $\mu_r = A_s/A_b$.



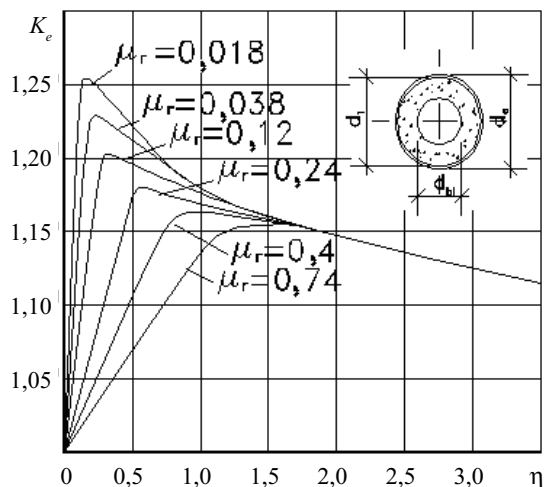
2 pav. Principinė žiedinio skerspjūvio kompozitinio elemento su išoriniu plieno kevalu betono šerdies įtempių pasiskirstymo schema

Fig 2. Principled sketch of distribution of concrete core stresses in section of hollow composite element with external steel shell

Bendra šių charakteristikų įtaka skerspjūvio efektyvumui gali būti išreikšta rodikliu:

$$\eta = \mu_r \frac{R_y}{R_b} \quad (1)$$

Kompozitinio elemento efektyvumo rodiklio K_e priklausomybė nuo rodiklio η ir santykio μ_r pateikta 3 pav.



3 pav. Kompozitinio elemento efektyvumo kreivės

Fig 3. Curves of effectiveness of composite element

Kreivės rodo, kad didžiausias kompozitinis efektas pasiekiamas esant santykinai mažam plieno skerspjūvio plotui.

Atlikti trumpalaikiai ir ilgalaikiai kompozitinių elementų tyrimai [3, 4] patvirtino didelį kompozitinio skerspjūvio efektyvumą, patikimumą bei projektavimo prielaidų [2, 5] teisingumą. Tai leido pradėti naudoti kompozitines konstrukcijas realiuose statybos objektuose.

2. Kompozitinių plieno betono konstrukcijų naudojimas pramonės pastatuose

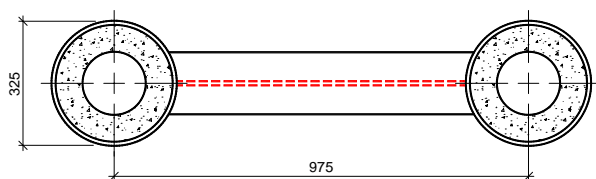
Projektavimo ir diegimo darbai patvirtino, kad, kompozitinės konstrukcijos gali būti sėkmingai naudojamos įvairios paskirties pramonės pastatuose [6–8].

Vienos pirmųjų buvo diegiamos spragotosios kompozitinės kolonos rajoninėje katilinėje. Kolonų aukštis siekė 18 m. Jų skerspjūvį sudarė žiedinio kompozitinio skerspjūvio šakos, tarpusavyje sujungtos dėžinio skerspjūvio plieno skersiniais. Skerspjūvio išorinio plieno kevalo skersmuo buvo lygus 219 mm, o jo sienelės storis – 3,5 ir 4,5 mm. Vidinio centrifuguoto betono žiedo sienelės storis svyravo nuo 40 iki 50 mm. Kompozitinės kolonos pakeitė pradiniam projekte numatytas gelžbetonines spragotąsias kolonas. Naujo tipo kolonų įdiegimas šiame objekte leido sutaupyti apie 70 % betono ir 20 % plieno, palyginti su pradiniu projektu.

Kompozitinės spragotosios kolonos buvo panaudotos ir statant Petrašiūnų dolomitinės skaldos gamyklą (4 ir 5 pav.). Jos buvo suprojektuotos skaldos trupinimo cechui. Pradiniam projekte numatytos spragotosios gelžbetoninės kolonos turėjo būti montuojamos masyviuose paaukštintuose monolitiniuose pamatuose. Netechnologiški, masyvūs pamatai buvo naudojami dėl nepakankamo tipinių gelžbetoninių kolonų ilgio.

Kompozitinių spragotųjų pakopinių kolonų ilgis siekė 22,8 m. Jų šakų betoninės šerdys buvo suformuotos 325 mm skersmens ir 5 mm storio plieno vamzdžiuose. Bendras apatinės kolonos dalies skerspjūvio vaizdas parodytas 4 pav. Kaip matyti, kolonos šakos tarpusavyje buvo sujungtos įvirintais dvitėjais intarpais.

Naudojamos kompozitinės kolonos leido supaprastinti



4 pav. Kompozitinės spragotosios kolonos skerspjūvis

Fig 4. Cross-section of composite lattice column



5 pav. Petrašiūnų dolomitinės skaldos gamyklos kompozitinių kolonų montavimas

Fig 5. Erection of composite columns for Petrašiūnai dolomite quarry

pamatus. Juos įrengiant sutaupyta daugiau nei 50 % betono ir plieno. Kolonų gamybai reikalingo betono sąnaudos sumažėjo 80 %, o plieno – 50 %.

Tokios konstrukcijos buvo diegiamos pirmą kartą, todėl laikomoji kolonų galia patikrinta atliekant natūrinį eksperimentą. Universiteto laboratorijoje atlikti tyrimai patvirtino pakankamą kolonų laikomąją galią ir plastiškios suirties pobūdį.

3. Kompozitinių konstrukcijų taikymas administracinės paskirties pastate

Atliekant universalios paskirties daugiaaukščio pastato Justiniškėse ekspertizę, rangovui buvo pasiūlyta perprojektuoti laikinąsias konstrukcijas, sutaupant pastato statybai skirtas lėšas.

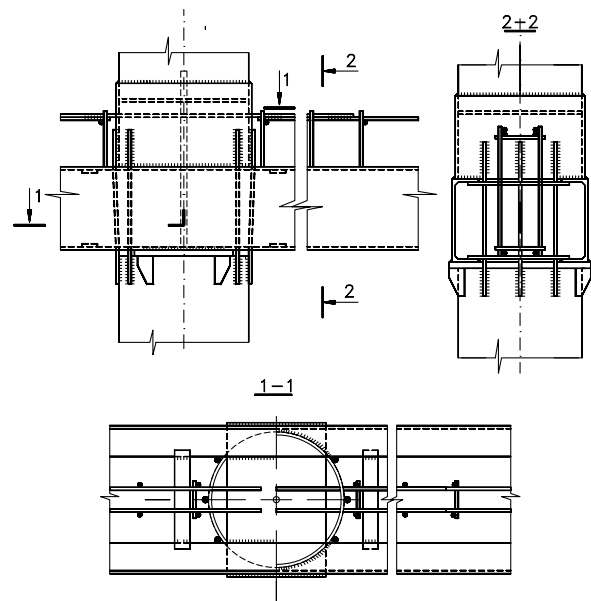
Projektuojant pastato Justiniškėse laikinųjų strypynų konstrukcijas, buvo taikytas surenkamųjų monolitinių kompozitinių ir gelžbetoninių konstrukcijų tarpusavio sąveikinio jungimo principas. Strypyno kolonoms panaudoti betonšerdziai kompozitiniai centrifuguoti elementai, rėmsijėms – du plieniniai lovinio skerspjūvio profiliai, montavimo metu pakloti kaip nekarpytos sijos, vėliau ertmę tarp jų užpildant betonu, perdangoms – gelžbetoninės tuštumėtosios plokštės. Skersine pastato kryptimi ryšiams numatyti monolitiniai gelžbetoniniai ruožai ir plieninės bei gelžbetoninės sijos.

Pastato strypyno kolonos yra centrifuguotieji betonšerdziai plieno vamzdiniai elementai. Išorinio plieninio vamzdžio skerspjūviai buvo $\text{Ø } 325 \times 4$; $\text{Ø } 426 \times 4$; $\text{Ø } 426 \times 6$ mm. Kolonų ilgis kito nuo 3400 iki 4500 mm, vidinis betoninės šerdies storis sudarė 30–50 mm. Skerspjūvių matmenis teko keisti atsižvelgiant į kolonų ilgį ir įrašas. Kolonų matmenų pakeitimas nesudarė jokių technologinių sunkumų, kadangi jų gamybai nereikia formų. Tokioms kolonoms nesudėtinga projektuoti jų galų mazgus, nes detalės paprastos. Dėl tokių aplinkybių labai sumažėjo betono sąnaudos ir kolonų masė, nors kolonų laikomoji galia liko nepakitusi.

Strypyno rėmsijėms buvo pritaikyti kompozitiniai skerspjūviai, sudaryti iš plieninių dviejų lovinių profilių, kurių lentynos nukreiptos viena į kitą, o į susidariusią ertmę įdedant erdvinius armatūros virbus ir užliejant ją betonu. Šie du plieniniai loviniai profiliai – sijos kaip daugiaatramės buvo skirtos perimti montuojamąsias apkrovas. Eksploatacijos metu kompozitinis rėmsijės skerspjūvis dirba kartu ir su renkamosiomis gelžbetoninėmis tuštumėtosiomis plokštėmis. Jas skaičiuojant galima atsižvelgti į jų ir kompozitinės rėmsijės sąveiką tuo sumažinant medžiagų sąnaudas.

Rėmsijų ir kompozitinių kolonų jungtys yra virintinės. Aukštesnioji kolona jungiama su rėmsije montuojamuoju žiedu. Principinė jungties schema pavaizduota 6 pav.

Didelį pasirinktos konstrukcinės schemos veiksmingumą liudija kolonų ir rėmsijų gamyboje sutaupytas plienas ir betonas. Kompozitinėms kolonomis plieno panaudota 50 %, o betono 80 % mažiau. Gaminant rėmsijes sutaupyta 49 % plieno ir 4 % betono.



6 pav. Kompozitinės kolonos ir rėmsijės jungtis

Fig 6. Column-beam connection

4. Kompozitinių konstrukcijų sistema nedidelio tarpatramio vienaaukščiams pastatams

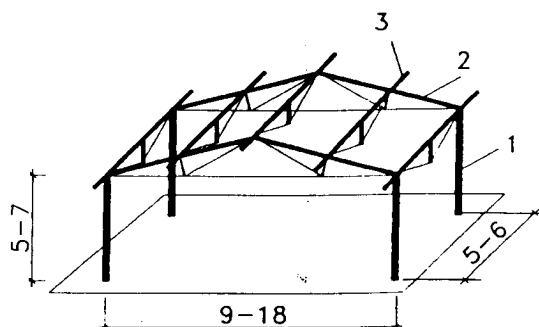
Viena iš kompozitinių konstrukcijų atpigimo galimybių – naudoti plonasieneis plazminiu būdu virinamus spiraline siūle vamzdžius. Vamzdžiai gaminami dviejų skersmenų – 219 ir 325 mm iš 1,5 mm storio plieno juostos. Jie naudojami slėginių vamzdynų elementams centrifugavimo būdu gaminti. Ta pati gamybos įranga buvo naudota kompozitinių žiedinio skerspjūvio elementų gamybai. Betoninio žiedo sienelės storis kito nuo 30 iki 40 mm.

Naudojant tokio skerspjūvio elementus ir buvo suprojektuotas pastatas, kurio tarpatramis galėjo būti nuo 9 iki 18 m, o naudingasis aukštis tarp 5 ir 7 m (7 pav.).

Pastato kolonų betono šerdis, turinti 40 mm storio sienelę, formuojama 325 mm skersmens vamzdyje. Kolona standžiai įbetonuojama į atitinkamai armuotą gręžtinio pamato viršutinę dalį. Kompozitinė santvara tvirtinama prie kolonos galvenos šarnyriškai varžtais. Santvaros ir ilginių kompozitinių viršutinių juostų skersmuo lygus 219 mm, o betono šerdies storis – 30 mm. Tempiamiesiems santvaros ir ilginio strypams naudoti armatūros strypai. Gniuždomieji elementai pagaminti iš kampuočių ir lovinių profilių.

Kadangi tokios konstrukcijos buvo projektuojamos ir gaminamos pirmą kartą, universiteto laboratorijoje iki surimo buvo išbandytos santvaros ir ilginiai. Bandymų rezultatai patvirtino pakankamą elementų ir jų jungčių laikomąją galią. Nors kompozitinių elementų kevalas tebuvo 1,5 mm storio, pusiau automatiškai suvirintos jungtys sėkmingai atlaikė veikiančias įrašas ir bandomos nesuiro.

Suprojektuota kompozitinių konstrukcijų sistema yra sėkmingai įdiegta keliuose žemės ūkio pastatuose.



7 pav. Mažo tarpatramio pastato iš kompozitinių konstrukcijų schema: 1 – kompozitinės kolonos; 2 – stogo santvara su kompozitine viršutine juosta; 3 – spragotiniai kompozitiniai ilginiai

Fig 7. Sketch of composite small-span building: 1 – composite columns; 2 – lattice rafter with composite top chord; 3 – lattice composite purlines

5. Išvados

1. Atlikti kompozitinių konstrukcijų eksperimentiniai tyrimai patvirtino taikomų projektavimo prielaidų teisingumą.
2. Kompozitinio skerspjūvio parametrų parinkimo ekonominį pagrįstumą galima nustatyti pagal rodiklio h didumą.
3. Kompozitinės kolonos pasiekia ribinį būvį ne stauga, o esant didelėms plastinėms deformacijoms.
4. Naudoti kompozitines konstrukcijas įvairios paskirties pastatuose yra ekonomiškai naudinga.
5. Kompozitinės konstrukcijos ypač efektyvios, kai naudojamos liaunoms spragotinėms konstrukcijoms.

Literatūra

1. Kenji Sakino, Hiroyuki Nakahara, Shosuke Morino, and Isao Nishiyama. Behavior of Centrally Loaded Concrete-Filled Steel-Tube Short Columns. *Journal of Structural Engineering*, ASCE. Vol 130, No 2, January 2004, p. 180–188
2. Kvedaras, A. Metalo konstrukcijos iš betonu užlietų vamzdžių. Vilnius, 1985. 99 p.
3. Kvedaras, A.; Šapalas, A. Improved Ductility of Loaded Concrete-Filled Members. In: IABSE symposium (San Francisco 1995) Extending the Lifespan of Structures. Zurich, Switzerland, IABSE. 1995, p. 1369–1374.
4. Kvedaras, K. and Kudzyz, A. Structural Safety of Hollow Concrete-Filled Circular Steel Members. In: Proceedings of XL 2003. Respons of Structures to Extreme Loading. Toronto: Elsevier, 2003. 8 p. (CD-ROM).
5. Kvedaras, A.K.; Šapalas, A.; Valiūnas, B. Review about Development, Research and Realization of Hollow Composite Structures in Lithuania. In: Steel-Concrete Composite Structures. Proceedings of fourth international ASCCS conference. Košice, 1994.
6. Kvedaras, A.; Šapalas, A. Efficiency of Composite Structural Systems. In: Report of the 15th congress „Design of Buildings with account of Economics, Environment and Energy“, held in Copenhagen, Jun 16–20, 1996. Zürich: IABSE-AIPG-IVBH, 1996, p. 1201–1202.
7. Kvedaras, A. K.; Šapalas, A. Efficient Mixed Space Structural Systems in Lithuania. In: Proceedings of Nordic Steel Construction Conference 98. (Bergen, Norway, Sept., 14–16, 1998). Vol 1. Codes and design methods. Oslo: Norsk. Stalforbund, 1998, p. 477–488.
8. Kvedaras, A. K.; Mykolaitis, D.; Šapalas, A. Projects of Hollow Concrete Filled Steel Tubular Structures. In: Reports of the 7th INTL seminar „Tubular Structures VII“, held in Miskolc, Hungary, 28–30 Aug 1996, proceedings. Rotherdam: A.A.BALCEMA Publishers, p. 341–348.

EFFECTIVE STEEL CONCRETE STRUCTURES AND POSSIBILITIES OF THEIR APPLICATION

A. K. Kvedaras, A. Šapalas

S u m m a r y

Application of effective building structures may induce a big economic effect in the current Lithuanian building industry. The level of strength utilization of components and materials is one of the indexes of the effectiveness of a structure. Composite steel concrete structures are composed of materials with very different mechanical properties. A brittle high-strength centrifugal concrete core and an elastic-plastic external shell successfully complement each other. Long-lasting investigations in Vilnius Gediminas Technical University create a good possibility to implement such structures into real buildings. The main samples of application of composite steel concrete structures are presented in this paper.

Audronis Kazimieras Kvedaras. Doctor Habil, Professor, Department of Steel and Timber Structures, Vilnius Gediminas Technical University (Lithuania).

Research interests: Composite steel concrete structures, stability and reliability of steel and composite structures.

Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius-40, Lithuania. E-mail: Audronis-Kazimieras.Kvedaras@st.vtu.lt

Antanas Šapalas. Doctor, Assoc Prof, Department of Steel and Timber Structures, Vilnius Gediminas Technical University (Lithuania).

Research interests: Composite steel concrete structures, behaviour of steel towers and masts, fire resistance of building structures.

Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius-40, Lithuania. E-mail: antanas.shapalas@st.vtu.lt