

Civil engineering Statybos inžinerija

INOVATYVAUS ŠAKOTINIO PLIENINIO VANTINIO PĖSČIŪJŲ TILTO LYGINAMOJI ANALIZĖ

Modestas STRAGYS*

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilnius, Lietuva

Gauta 2018 m. spalio 28 d.; priimta 2018 m. lapkričio 8 d.

Santrauka. Straipsnyje pateikiama inovatyvios plieninio vantinio pėsčiųjų tilto konstrukcijos apžvalga, kurioje pristatomi konstrukcijos privalumai ir trūkumai. Analizuojama inovatyvi plieninio vantinio pėsčiųjų tilto konstrukcija, kuri vėliau lyginama su analogiško 80 m tarpatramio vienpilonio pluoštinio vantinio tilto konstrukcija. Analizuojami naujos, inovatyvios sandaros vantinio tilto ir tradicinio pluoštinio tilto įrašų skirtumai, pateikiami analizės rezultatai, parodantys naujos konstrukcijos pranašumus prieš tradicinį vantinį tiltą. Straipsnyje pateikiami techninės ekonominės analizės rezultatai, apžvelgiami pagrindiniai naujos sandaros tilto kriterijai ir suformuojamos išvados.

Reikšminiai žodžiai: vantinis tiltas, netiesinė analizė, įtempių ir deformacijų būvis, techninis ekonominis efektyvumas, inovatyvi konstrukcija, preliminarus projektavimas.

Įvadas

Nuo Strömsundo tilto Švedijoje atidarymo 1955 metais vantiniai tiltai tapo populiariausia tiltų sistema, skirta dideliems tarpatramiams perdengti. Vantinio tilto koncepcija yra gana paprasta. Pagrindinė tokio tilto užduotis yra atlaikyti vertikalias apkrovas standumo sijoje. Lynai sukuria tarpines atramas joje, todėl galima perdengti labai didelius tarpatramius (Chen ir Duan, 1999).

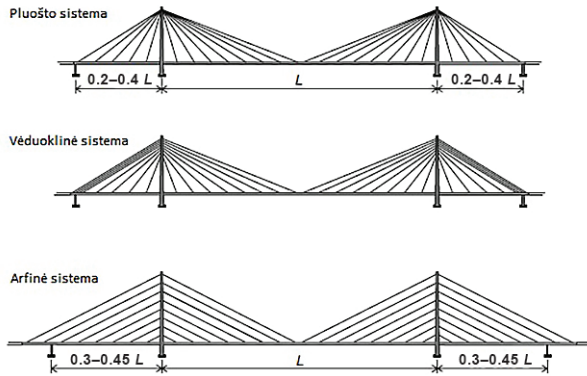
Įsigalėjus vantinių tiltų erai konstruktoriai ir architektai stengėsi rasti naujų formų ir įdomių konstrukcinių schemų. Didelis dėmesys buvo skiriamas tiltų estetikai ir priderinimui prie aplinkos. Buvo imtos tirti akiai malonios proporcijos, kurias pirmasis, dar 571–497 m. pr. Kr., pastebėjo graikų filosofas Pitagoras. Jis teigė, kad proporcijos tarp mažų sveikųjų skaičių (1:2, 2:3, 3:4, 4:3 ar 3:2) daro teigiamą efektą ilgiams. Tai galiojo tiek dailei, tiek muzikai, tiek visoms kitoms meno rūšims (Szabo, 1969).

Vantinių tiltų statyboje iki šiol buvo gerai žinomos trys konstrukcinės formos: pluoštinė arba spindulinė; arfinė bei vėduoklinė (1 paveikslas) (Podolny, 2011; Gimsing ir Georgakis, 2012). Šios trys gerai žinomos ir išanalizuotos sistemos užtikrindavo vantinių tiltų stabilumą pačiomis įvairiausiomis sąlygomis. Tačiau, kaip ir bet kurioje kitoje statybos rūšyje, tiltų statyboje didelę svarbą turi techninis

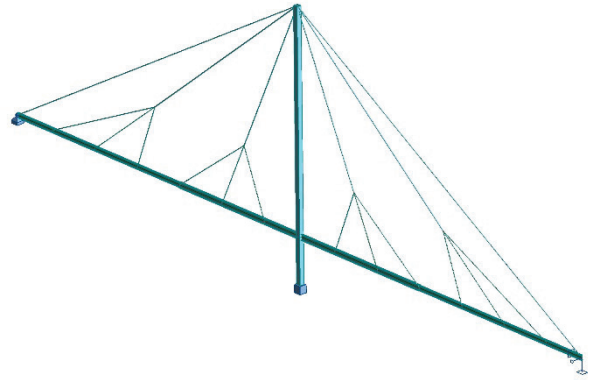
ekonominis efektyvumas. Norint sumažinti medžiagų kiekį yra taikomi įvairūs sprendimai.

Iki 2018 metų buvo įgyvendinta begalė išskirtinių vantinių tiltų projektų, tokių kaip Alamillo tiltas Ispanijoje (Palmisano, Vitone ir Mininni, 2018), kurio pagrindinis aspektas – estetinė išvaizda, Newport City pėsčiųjų tiltas Anglijoje (Fullerton, 2007; Ibell, 2007), kurio pagrindinis išskirtinumas – naujos sandaros pilonai, Media City pėsčiųjų tiltas Anglijoje, kurio išskirtinumas – nesimetrinis vantų išdėstymas (Curran ir Thompson, 2010), Margaret Hunt Hill tiltas JAV (Smith, 2012), išsiskiriantis savo pilono forma bei lynų išdėstymu, ar savo nestandartiniais dizaino sprendimais akį patraukiantis Yamuna tiltas Indijoje. Išskirtiniai konstrukciniai sprendimai priimami ir dėl neįprastų sąlygų. Vienas toks išskirtinis tiltas pastatytas per Reino upę netoli Düsselendorfo oro uosto Vokietijoje. Reikalingi 110 metrų aukščio pilonai čia nebuvo galimi dėl oro eismo saugumo reikalavimų. Tam, kad būtų galima išvengti labai neekonomiško lynų išdėstymo, kai kampas tarp lyno ir standumo sijos yra itin mažas, pilonai buvo padalinti į dvi V forma išdėstytas kojas, kurios tarpusavyje sujungtos papildomu elementu, perduodančiu jėgas tarp lynų (Svensson, 2012).

*Autorius susirašinėti. El. paštas modestas.stragys@vgtu.lt



1 paveikslas. Vantinių tiltų schemas
Figure 1. Schemes of cable-stayed bridges



2 paveikslas. Šakotinis vantinis tiltas
Figure 2. Branched cable-stayed bridge

Šiuo metu pateikti naują tilto formą, kuri būtų tinkama tiek estetiniu požiūriu, tiek savo funkcionalumu, yra vis sudėtingiau. Inžinieriai pradeda ieškoti ne tik naujų standumo sijos konfigūracijų, pilonų formų ar vantų išdėstymo schemų, bet ir bando sujungti kelias tiltų sistemas, medžiagas, vantus keičia tinklais, o standumo sijas įvairiai išdėsto erdvėje. Nuolat siekiama sukurti konstrukciją, kuri galėtų perdengti vis didesnius tarpatramius, užtikrinti kuo mažesnes plieno sąnaudas, pasiekti efektyvesnę įrąžų valdymą esant tokiam pačiam ar net mažesniai lynų kiekiui, ir kuri būtų dar lengvesnė, dar patvaresnė, o kartu – estetiškai graži. Nuo paties pirmojo Strömsundo vantinio tilto, kurio tarpatramis siekė vos 182 metrus, iki didžiausio pasaulyje tarpatramio, siekiančio 1104 metrus, Vladivostoko vantinio tilto (Pedro ir Reis, 2015) yra nuolat siekiama rasti būdų, kurie leistų sukurti neįtikėtinai lengvas ir tvirtas konstrukcijas. Vantinis tiltas – tai meno ir inžinerijos mišinys, kuriame turi atsispindėti originalumas, praktiškumas bei funkcionalumas.

Šiame straipsnyje bus aptariama nauja inovatyvi vantinių tiltų konstrukcija. Ši konstrukcija bus lyginama su standartiniu vantiniu pluoštiniu tiltu, taip pat aptariamas tokios konstrukcijos ekonominis efektyvumas.

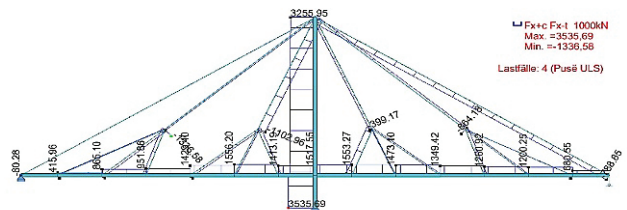
1. Naujos šakotinės vantinės konstrukcijos pristatymas

Vienas iš būdų sumažinti plieno sąnaudas – nauja, inovatyvi konstrukcinė forma, kuri užtikrina plieno sąnaudų sumažėjimą iki 25 % ir daugiau. Tai yra šakotinis vantinis tiltas (2 paveikslas). Tokiai konstrukcijai reikalingas apie 20 % mažesnis plieno kiekis vantams bei standumo sijai ir apie 40 % mažesnis plieno kiekis pilonams montuoti. Aki vaizdūs rezultatai pasiekiami dėl itin efektyvaus asimetriinių apkrovų sukeltamų įrąžų suvaldymo tilto elementuose.

Šakotinis vantinis tiltas išsiskiria šiais pagrindiniais aspektais:

1. Architektūrinis estetinis požiūris. Tai yra visiškai nauja, niekur nenaudota sistema, kuri turi išskirtinę vizualinę savybę – keliais lygiais išsišakojančius vantus.

2. Naujais konstrukciniais mazgais. Tokioje konstrukcijoje atsiranda naujų tipų jungčių. Kadangi lynai išsišakoja keliais lygiais, atsiranda lynų jungčių.
3. Ašinių jėgų pasiskirstymu standumo sijoje. Priešingai nei įprastu standartinio vantinio tilto variantu, kai ašinės jėgos tolygiai auga nuo standumo sijos krašto iki pilono, šakotinio tilto atveju galimas netolygus ašinių jėgų augimas (3 paveikslas). Taip atsitinka todėl, kad kai kurių lynų horizontali ašinės jėgos dedamoji yra nukreipta priešinga pilonui kryptimi. Taigi tam tikra standumo sijos atkarpa yra apgniuždoma iš dviejų pusių ir gniuždomoji jėga toje dalyje išauga.

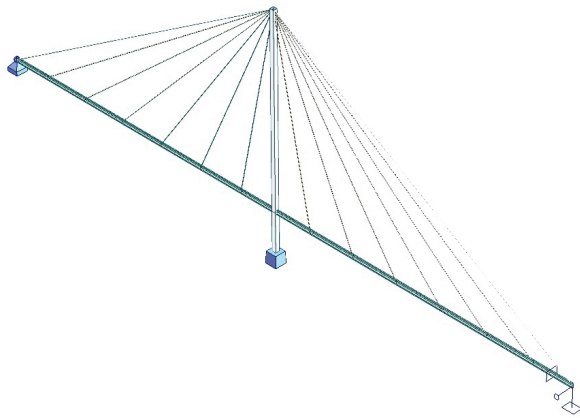


3 paveikslas. Ašinių jėgų pasiskirstymas standumo sijoje
Figure 3. Axial forces distribution in stiffening girder

4. Racionalių lenkimo momentų reguliavimu standumo sijoje, racionalumo parametru laikant vienodą lenkimo momentų pasiskirstymą per visą standumo sijos ilgį, t. y. $M_{\max} = M_{\min} = M_{\text{rac}}$. Įprastuose vantiniuose tiltuose racionalių lenkimo momentų diagrama užtikrinama dviem pagrindiniais būdais: lynų skerspjūvio ploto ir išankstinės įtempimo jėgos juose modeliavimu. Šakotinio tilto atveju atsiranda trečias itin svarbus aspektas – lynų mazgų koordinatės. Vieta, kurioje susijungia visi trys (arba daugiau) lynai, yra labai svarbi užtikrinant racionalius lenkimo momentus standumo sijoje.

2. Lyginamoji įrąžų analizė

Šakotinio vantinio tilto konstrukcijos efektyvumui ištirti atlikta lyginamoji analizė su tradiciniu vienpiloniu vantiniu tiltu (4 paveikslas). Analizės tikslas – nustatyti, ar



4 paveikslas. Tradicinis pluoštinis vantinis tiltas
Figure 4. Traditional fan cable-stayed bridge

tokių pačių parametrų šakotinis vantinis tiltas yra pranašesnis už tradicinį vantinį tiltą. Analizė atliekama tilto standumo sijoje pasiekus racionalius lenkimo momentus. Lenkimo momentams reguliuoti pasitelkiama išankstinio įtempimo jėga bei skirtingi lynų skerspjūvio plotai.

Analizuojami tiltai yra vienodo 80 metrų tarpatramio. Abiejų pylonų aukštis nuo standumo sijos yra 24 metrai. Šis aukštis parenkamas pagal principą, kad vantai su standumo sija turi sudaryti mažiausiai 30° kampą, nes priešingu atveju šie dirbs neefektyviai ir kurs dideles gniuždymo jėgas sijoje. Pylonų aukštis turėtų būti apie 0,2–0,25 perdangiamo tarpatramio ilgio (Davias, 2009; Lietuvos standartizacijos departamentas, 2006). Tiltų standumo sijos plotis 4 metrai.

Tiltuose įvertinamos apkrovos – savasis konstrukcijų svoris bei laikinosios pėsčiųjų apkrovos. Naudojant šias apkrovas tiltai tikrinami pagal du derinius – simetrinį (kai pėsčiųjų apkrova veikia visame tilto tarpatramyje) ir asimetrinį (kai pėsčiųjų apkrova veikia tik vienoje tilto pusėje). Pėsčiųjų tilto kintamoji apkrova – tai pėsčiųjų eismo apkrova, apskaičiuota pagal LST EN 1991-2:2006 – 5.1.(2) (Lietuvos standartizacijos departamentas, 2006). Taikomas 4-asis apkrovų modelis – minios apkrova, kuri yra lygi $q_{k,f} = 5 \frac{kN}{m^2}$. Ši apkrova išskirstoma išilginėms sijoms ir sukuriami simetrinės ir asimetrinės apkrovos variantai.

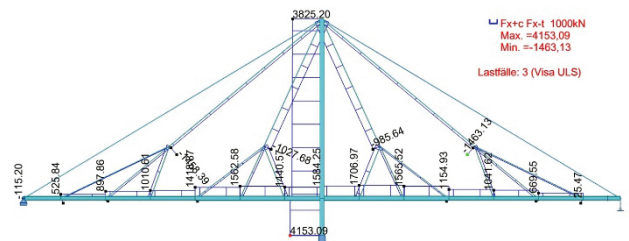
Įrašų tilto elementuose veikiant simetrinėms ir asimetrinėms apkrovoms palyginimas leidžia objektyviai įvertinti tiltų privalumus ir trūkumus, parodo, kurio tilto standumo sija efektyviau dirba veikiant kintamajai ar netolygiai apkrovai, padeda priimti konstrukcinius sprendimus. Šiuo atveju atlikta lenkimo momentų ir ašinių jėgų lyginamoji analizė parodo tikrąjį šakotinio vantinio tilto pranašumą prieš tradicinį pluoštinį vantinį tiltą.

Ašinės jėgos yra itin svarbios pilonui ir lynams. Jos nulemia šių elementų parametrus. Standumo sijoje ašinės jėgos yra taip pat pavojingos, ypač vantinųjų tiltų atveju, kurių standumo sijos įprastai yra konstruojamos iš liaunų elementų, todėl juos stipriau veikia lenkimo ir gniuždymo jėgų pora.

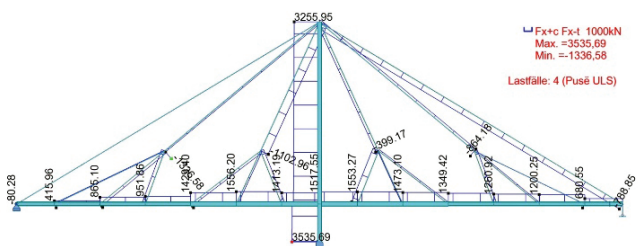
Esant simetrinės apkrovos atvejui, didžiausia ašinė jėga veikia šakotinio vantinio tilto piloną (5 paveikslas). Standumo sijoje ašinės jėgos kinta nevienodai, priklausomai nuo vantų išdėstymo toje dalyje. Pirmuose tilto tarpatramio ketvirčiuose, skaičiuojant nuo standumo sijos sankirtos su atotampiniu vantu, ašinės jėgos po truputį didėja, tačiau, priešingai nei įprasto simetrinio vantinio tilto atveju, didžiausių ašinių jėgų atsiranda ne prie pilono, o tose vietose, kur standumo sija yra apgniuždoma dviejų iš to paties lyno išsišakojančių lynų. Taip yra todėl, kad paskutinio išsišakojančiojo lyno horizontali jėgos dedamoji yra nukreipta į priešingą pilonui pusę, todėl ašinės jėgos standumo siją gniuždo iš abiejų pusių. Maksimali ašinė jėga standumo sijoje šiuo atveju yra 1706,97 kN. Vantuose ašinės jėgos kinta priklausomai tiek nuo juos veikiančio konstrukcijos svorio, tiek nuo vantų standumo, tiek nuo išankstinio įtempimo jėgos juose. Maksimali ašinė jėga vantuose siekia 1027,68 kN. Vantų skersmuo tokiai konstrukcijai parenkamas atkreipiant dėmesį į tai, kad vidurinio išsišakojimo poveikis konstrukcijai yra didžiausias, o kraštiniai lynai yra tik palaikantys.

Veikiant nesimetrinei apkrovai didžiausia ašinė jėga taip pat veikia piloną (6 paveikslas). Pačioje standumo sijoje ir vantuose ašinės gniuždymo jėgos pasiskirsto irgi taip pat, kaip ir simetrinės apkrovos atveju, t. y. didžiausia ašinės jėgos reikšmė standumo sijoje – 1556,20 kN nėra arčiausiai pilono. Didžiausia ašinė jėga vantuose veikia pirmo lygio lyną, esantį arčiausiai pilono, toje pusėje, kur yra pėsčiųjų apkrova. Vantą veikia 1071,35 kN jėga.

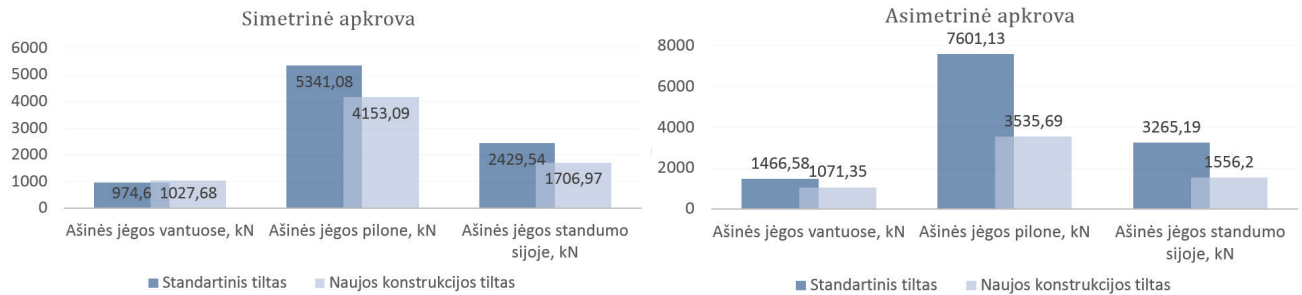
Ašinių jėgų lyginamosios analizės su standartiniu spinduliniu vantiniais tiltu rezultatai pateikiami 7 paveikslėlyje.



5 paveikslas. Ašinės jėgos veikiant simetrinei apkrovai
Figure 5. Axial forces distribution under symmetrical load



6 paveikslas. Ašinės jėgos veikiant asimetrinei apkrovai
Figure 6. Axial forces distribution under asymmetrical load



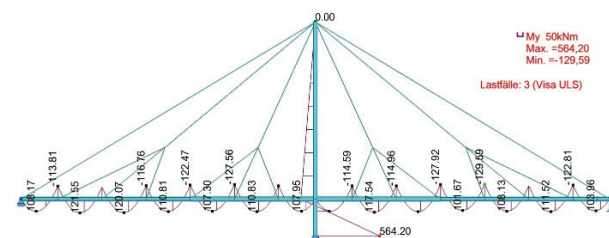
7 paveikslas. Ašinių jėgų lyginamosios analizės rezultatai
Figure 7. Comparison analysis results of axial forces

Simetrinės apkrovos atveju ašinė jėga vantuose vis tik yra didesnė šakotiniame tilte. Taip yra todėl, kad jiems tenkanti apkrova yra didesnė nei standartinio tilto vantomams. Tačiau dėl lynų kiekio ir svorio skirtumų ašinės jėgos pilone yra mažesnės būtent šakotinio tilto atveju. Standumo sijoje ašinės jėgos taip pat mažesnės šakotinio tilto atveju dėl jau minėto netolygaus jų pasiskirstymo standumo sijoje.

Tačiau patys iškalbingiausi rezultatai yra asimetrinės apkrovos atveju. Čia šakotinis tiltas yra dvigubai efektyvesnis už standartinį. Kai ašinių jėgų reikšmės lynuose tampa panašios, pilone ir standumo sijoje jos yra 50 % mažesnės šakotinio tilto atveju. Toks reiškinys yra labai didelis inovatyvios konstrukcijos privalumas, nes stipriai sumažina reikalingas plieno sąnaudas.

Lenkimo momentai vantiniuose tiltuose yra itin svarbūs standumo sijoje. Racionalus jų sureguliuojimas lemia stipriai mažėjančią standumo sijos skerspjūvį.

Lenkimo momentai simetrinės apkrovos veikiamoje standumo sijoje pasiskirsto pakankamai tolygiai (8 paveikslas). Didžiausia lenkimo momentų reikšmė standumo sijoje pasiekia 129,59 kNm, o mažiausia 101,67 kNm. Skirtumas tarp šių reikšmių – 22 %. Lenkimo momentai tokioje lynų sistema palaikomoje standumo sijoje nėra visiškai racionalūs, t. y. lygūs visame tilto tarpatramyje. Pagrindine to priežastimi tampa į tris dalis išsišakojantys lynai. Vidurinis lynas sistemoje dirba efektyviausiai, perima didžiąją apkrovos dalį, o kraštiniai lynai yra tik prilaikantys. Tokiu būdu pasiekti racionalius lenkimo momentus standumo sijoje tampa labai sudėtinga.



8 paveikslas. Lenkimo momentai veikiant simetrinei apkrovai
Figure 8. Bending moments under symmetrical load

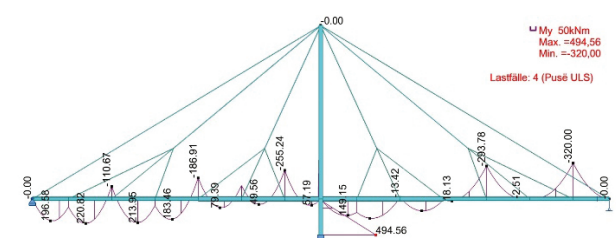
Lenkimo momentai standumo sijoje dėl veikiančios asimetrinės apkrovos skiriasi dešinėje ir kairėje tilto pusėje (9 paveikslas). Esant nesimetrinei apkrovai, akivaizdžiai matomas skirtumas tarp centrinio ir kraštinių išsišakojančių lynų poveikio konstrukcijai. Kairėje pusėje, kur yra pėsčiųjų apkrova, centrinis lynas atlieka didžiąją darbo dalį, o, sumažėjus apkrovai dešinėje pusėje, centrinis lynas veikia priešingai – leidžia standumo siją palaikyti kraštiniam lynams. Didžiausia lenkimo momento reikšmė standumo sijoje pasiekia 320 kNm.

Lyginamosios lenkimo momentų analizės su standartiniu spinduliniu vantiniu tiltu rezultatai pateikiami 10 paveikslėlyje.

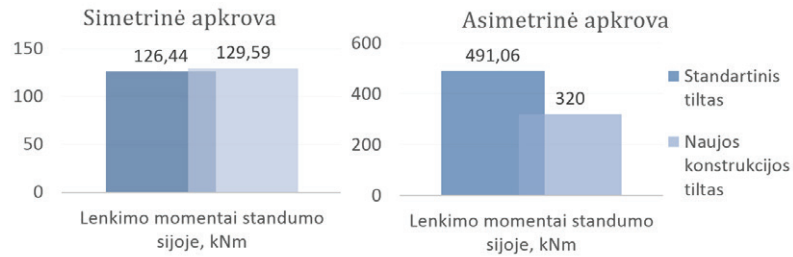
Simetrinės apkrovos atveju lenkimo momentai standumo sijoje yra panašūs abiem atvejais, tačiau asimetrinės apkrovos atveju rezultatai yra dar daug geresni šakotinio tilto standumo sijoje, t. y. net 35 % mažesni. Tokie rezultatai leidžia teigti, kad nauja inovatyvi konstrukcija yra pakankamai efektyvi ir leidžia standumo sijos elementus konstruoti liaunesnius bei lengvesnius. Šis lenkimo momentų pasiskirstymas yra labai svarbus aspektas ekonominio efektyvumo atžvilgiu.

Dar vienas svarbus rodiklis tiltų statyboje yra tinkamumo ribiniai būviai. Kad būtų galima lyginti, kuris tiltas yra efektyvesnis šiuo atžvilgiu, reikia lyginti poslinkius, atsirandančius tiltų elementuose nuo simetrinės ir asimetrinės apkrovos.

Šiuo atveju įlinkiai nuo simetrinės apkrovos abiejose tilto pusėse yra vienodi (11 paveikslas). Dėl standumo sijos atramos, leidžiančios vienam standumo sijos galui judėti x ašimi, atsiranda ir tam tikras poslinkis pilono viršūnėje. Šiuo atveju jis yra gana nežymus – vos 24 mm.



9 paveikslas. Lenkimo momentai veikiant asimetrinei apkrovai
Figure 9. Bending moments under asymmetrical load



10 paveikslas. Lenkimo momentų lyginamosios analizės rezultatai
Figure 10. Comparison analysis results of bending moments

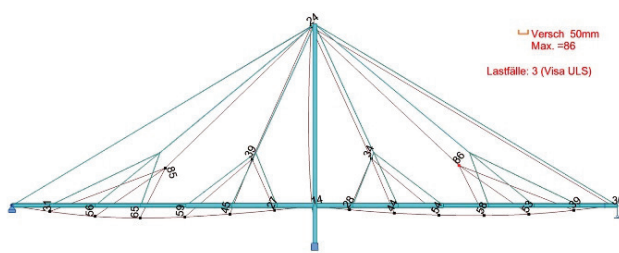
Standumo sijoje esantys įlinkiai neviršija tinkamumo naudoti ribinių būvių sąlygų, pagal kurias maksimalus leidžiamas įlinkis nagrinėjamo tilto standumo sijoje negali viršyti 160 mm, todėl ši tilto konstrukcija yra tinkama eksploatuoti.

Įlinkių nuo asimetrinės apkrovos atsiranda abiejose tilto pusėse, tačiau kairėje pusėje jie didesni 1,7 karto (12 paveikslas). Kadangi didelė apkrova veikia kairiąją tilto pusę, tai šioje pusėje standumo sija labiau išlinksta, o dešinioji pusė keliama į viršų. Pilonas šiuo atveju taip pat yra lenkiamas į kairę.

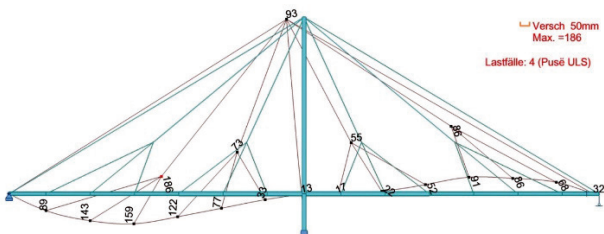
Veikiant asimetrinei apkrovai, didžiausias standumo sijos įlinkis yra 159 mm, o pilone – 93 mm.

Lyginamosios poslinkių analizės rezultatai pateikiami 1, 2, 3 ir 4 lentelėse.

Pateiktose lentelėse matoma, kad, veikiant simetrinei apkrovai, poslinkiai tiek tradicinio, tiek naujos konstrukcijos vantinių tiltų elementuose yra gana panašūs. Naujos konstrukcijos tilto elementuose poslinkiai yra tik vos keliais milimetrais mažesni, tačiau toks skirtumas sudaro tik apie 4 %.



11 paveikslas. Poslinkiai veikiant simetrinei apkrovai
Figure 11. Displacements under symmetrical load



12 paveikslas. Poslinkiai veikiant asimetrinei apkrovai
Figure 12. Displacements under asymmetrical load

1 lentelė. Poslinkių analizės rezultatai, veikiant simetrinei apkrovai tradicinio vantinio tilto standumo sijoje
Table 1. Traditional cable-stayed bridge displacements analysis results under symmetrical load

Elementas	Taško numeris	Horizontalus poslinkis [UX], mm	Vertikalus poslinkis [UZ], mm
Pilonas	17	-19	-15
Standumo sija	15	-34	0
	5	-6	-67

2 lentelė. Poslinkių analizės rezultatai, veikiant simetrinei apkrovai naujo tipo vantinio tilto standumo sijoje
Table 2. New form cable-stayed bridge displacements analysis results under symmetrical load

Elementas	Taško numeris	Horizontalus poslinkis [UX], mm	Vertikalus poslinkis [UZ], mm
Pilonas	17	-19	-14
Standumo sija	15	-30	0
	4	-3	-65

3 lentelė. Poslinkių analizės rezultatai, veikiant asimetrinei apkrovai tradicinio vantinio tilto standumo sijoje
Table 3. Traditional cable-stayed bridge displacements analysis results under asymmetrical load

Elementas	Taško numeris	Horizontalus poslinkis [UX], mm	Vertikalus poslinkis [UZ], mm
Pilonas	17	-79	-12
Standumo sija	15	-35	0
	3	-1	-129

4 lentelė. Poslinkių analizės rezultatai, veikiant asimetrinei apkrovai naujo tipo vantinio tilto standumo sijoje
Table 4. New form cable-stayed bridge displacements analysis results under asymmetrical load

Elementas	Taško numeris	Horizontalus poslinkis [UX], mm	Vertikalus poslinkis [UZ], mm
Pilonas	17	-93	-12
Standumo sija	15	-32	0
	3	-3	-159

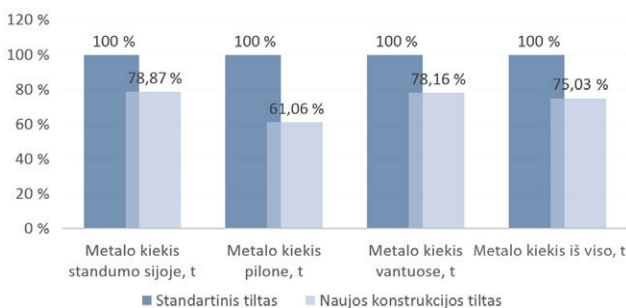
Lyginant standartinio ir naujos konstrukcijos vantinių tiltų elgseną, kai veikia asimetrinė apkrova, matomas šio pokytis, palyginti su simetrinės apkrovos variantu. Čia poslinkiai tiek pilone, tiek standumo sijoje yra didesni naujos konstrukcijos tilte. Pagrindinė to priežastis – lynų konfiguracija. Kai didžiąją darbo dalį atlieka vidurinis lynas, o kraštiniai yra tik palaikantys, pastarieji leidžia konstrukcijai daugiau pasislinkti. Tačiau, kaip ir simetrinės apkrovos atveju, horizontalus poslinkis yra mažesnis naujos konstrukcijos atveju. Tai parodo, kad tokio tipo lynų konfiguracija padeda suvaldyti visą konstrukciją.

Atlikus naujo tipo vantinio tilto įrašų bei poslinkių analizę ir palyginus gautus rezultatus su standartiniu spinduliniu vantiniu tiltu pastebėta, kad išsišakojantys lynai padeda tilto elementuose efektyviau suvaldyti įrašas, atsirandančias dėl nesimetrinės apkrovos. Lenkimo momentų reikšmės standumo sijoje esant nesimetrinei apkrovai yra 2,3 karto didesnės nei simetrinės apkrovos atveju. Lyginant su standartiniu tiltu šis rezultatas yra 36 % geresnis. Ašinės jėgos simetrinės apkrovos atveju yra 14 % didesnės nei asimetrinės apkrovos atveju. Šiuo rodikliu naujo tipo vantinis tiltas nuo standartinio atsilieka 9,5 %. Tiltas tenkina tiek saugos, tiek tinkamumo naudoti ribinių būvių sąlygas, o projektuojant svarbiausias dėmesys turi būti skiriamas ne tik asimetriniam apkrovų deriniui, bet ir naujoms lynų jungtims. Siekiant užtikrinti racionalius lenkimo momentus standumo sijoje svarbu yra ne tik lyno skerspjūvio plotas bei išankstinio įtempimo jėga, bet ir lynų išsišakojimo mazgo koordinatė.

3. Lyginamoji ekonominė analizė

Plieno sąnaudos yra vienas svarbiausių rodiklių projektuojant tilus. Šiuolaikinėje statyboje veiklos kaštai yra vienas svarbiausių aspektų, apribojančių projektuotojų minčių laisvę. Iš įrašų analizės galima teigti, kad nauja konstrukcija – tai ne tik nauja estetinė tilto išraiška, bet ir ekonomiškai efektyvi sistema. Plieno sąnaudų lyginamosios analizės rezultatai pateikiami 13 paveikslėlyje.

Paveikslėlyje matomas akivaizdus naujos, inovatyvios konstrukcijos pranašumas prieš tradicinį vienpilonį vantinį tiltą. Standumo sijai reikalingas plieno kiekis yra 21 % mažesnis. Reikalingas plieno kiekis pilone mažesnis 39 %, o vantuose 22 %. Visa tai lemia, kad bendras plieno poreikis tokio šakotinio tilto statybai yra net 25 % ma-



13 paveikslas. Plieno poreikio lyginamosios analizės rezultatai
Figure 13. Comparison analysis results of steel quantity

žesnis. Toks rezultatas pasiekiamas 80 metrų tarpatramio pėsčiųjų tilto atveju. Tai reiškia, kad didėjant tarpatramiui ir (arba) tilto paskirčiai plieno sutaupymas gali būti dar didesnis, nes ilgesnio tilto atveju standartiniu atveju reiktų dar daugiau lynų, galbūt atsirastų papildomų pilonų, o standumo sija būtų daug masyvesnė. Kadangi plieno kiekis yra taupomas kiekviename iš šių elementų, tai bendra medžiagų sutaupymo tendencija augant tilto matmenims taip pat akivaizdžiai kistų. Toks rezultatas yra svarbus tiltų statyboje, nes medžiagų kainą sumažina ketvirtadaliu ar net daugiau.

Išvados

Atlikus išsamią naujos, inovatyvios vantinių plieninių pėsčiųjų tiltų konstrukcijos analizę, buvo padarytos išvados:

1. Šakotinė vantinė konstrukcija padeda daug efektyviau suvaldyti įrašas, ypač esant asimetrinės apkrovos atveju. Lyginamoji dviejų tiltų analizė parodė, kad inovatyvios konstrukcijos vantinio tilto elementuose įrašos suvaldomos daug efektyviau nei standartinio tilto atveju. Skirtumas tarp maksimalaus lenkimo momento standumo sijoje, kai ji apkraunama simetrine ir asimetrine apkrova, yra 60 %, o analogiško tarpatramio standartinio spindulinio vantinio tilto net 74 %. Toks įrašų pasiskirstymas lemia, kad inovatyvios konstrukcijos vantiniuose tiltuose reikalinga apie 22 % mažiau lyno tam pačiam tarpatramiui perdengti. Atsižvelgiant į aukštas lynų kainas šis rodiklis yra vienas iš pačių svarbiausių. Bendros plieno sąnaudos sumažėja 25 %.
2. Šakotinei vantinei konstrukcijai reikalingas plieno kiekis, lyginant su tradiciniu vantiniu 80 metrų ilgio tiltu, yra net 25 % mažesnis. Šakotinės konstrukcijos techniniai ekonominiai rodikliai rodo, kad ši konstrukcija yra itin efektyvi medžiagų taupymo atžvilgiu. Kadangi tai nauja ir gana sudėtinga konstrukcija, jos statybai ir projektavimui būtų reikalingi didesni kaštai ir laiko sąnaudos, tačiau 25 ir daugiau procentų sutaupomos medžiagos atperka šias sąnaudas.

Literatūra

- Chen, W. F., & Duan, L. (1999). *Bridge engineering handbook*. Washington, D.C.: CRC Press.
- Curran, P., & Thompson, S. (2010). *Media City Footbridge, Salford Quays*. In IABSE Symposium Report (pp. 64-71). Venice. <https://doi.org/10.2749/222137810796024024>
- Davias, C. S. W. (2009). *A critical analysis of Bandra-Worli Cable stayed bridge, Mumbai*. Paper presented at the Proceedings of Bridge Engineering 2 Conference 2009. Bath, UK: University of Bath.
- Fullerton, A. C. (2007). *Newport city footbridge for the bridge engineering 2 conference*. Paper presented at the Newport City Footbridge Bridge Engineering 2 Conference 2007. Bath, UK: University of Bath.
- Gimsing, N. J., & Georgakis, C. T. (2012). *Cable supported bridges*. John Wiley & Sons, Inc.
- Ibell, T. (2007). *A critical analysis of Santiago Calatrava's puente del millo, Seville*. In *Proceedings of the Annual Bridge Engineering 2 Conference*. Bath, UK: University of Bath.

- Lietuvos standartizacijos departamentas. (2006). *Eurokodas 1. Poveikiai konstrukcijoms. 2 dalis. Tiltų eismo apkrovos* (LST EN 1991-2: 2006). Retrieved from <https://lsd.lt/index.php?359542207>
- Palmisano, F., Vitone, A., & Mininni, V. A. (2018). *Shape and structure in conceptual design of bridges*. Italy.
- Pedro, J. J. O., & Reis, A. J. (2015). Composite cable-stayed bridges: state of the art. *Bridge Engineering*, 169(BE1), 13-38.
- Podolny, W. (2011). *Cable-suspended bridges. Structural steel designer's handbook*. New York City.
- Smith, D. (2012). A Signature bridge brightens up downtown Dallas. *American Infrastructure Magazine*, 44.
- Svensson, H. (2012). *Cable-stayed bridges: 40 years of experience worldwide*. John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/9783433601044>
- Szabo, I. (1969). *Anfänge der griechischen Mathematik*. Verlag: Oldenbourg. <https://doi.org/10.1515/9783486819861>

COMPARATIVE ANALYSIS OF INNOVATIVE BRANCHED STEEL CABLE-STAYED PEDESTRIAN BRIDGE

M. Stragys

Abstract

Innovative steel cable-stayed pedestrian bridge design review is provided. The design advantages and disadvantages are presented. Innovative steel cable-stayed pedestrian bridge construction comparative analysis with similar 80 m span cable-stayed bridge construction and an overview of the main criteria are provided. Conclusions of analysis are formed.

Keywords: cable-stayed bridge, nonlinear analysis, stress and strain, economical efficiency, innovative construction, preliminary design.