

[Aktualijos](#) | [Žalia statyba](#) | [Objektai. Technologijos. Verslo naujienos](#) | [Komentaras](#) | [SPRENDIMAI](#) | [Metų nominacijos](#) | [Pandemijos iššūkiai](#) | [Statybinė ir kelių technika](#) | [Architektūra. Interjeras](#) | [Aplinka](#) | [Infrastruktūra](#) | [Inžinerinės sistemos](#) | [Miestiečiai](#) | [Pramoninė statyba](#) | [NT projektai](#) | [Statybos inspekcija informuoja](#) | [Savivaldybėse](#) | [Universalus dizainas](#) | [Pramonės inžinerija](#) | [RESTA](#) | [Asmenybės](#) | [Diskusijos](#) | [Leidiniai](#) | [Statybininkų biblioteka](#) |

## Infrastruktūra

# Gelžbetonio tiltų ir viadukų defektai ir dinaminės elgsenos ypatumai

2021-03-18 07:18

Šiuo metu Lietuvoje yra eksploatuojama maždaug 4000 tiltų ir viadukų, kurių bendras ilgis siekia apie 93 km. Didžioji dauguma jų jungia automobilinius kelius ir tik maždaug 14% tiltų yra pastatytų geležinkelio transportui. Gelžbetonio tiltai sudaro maždaug 95% visų Lietuvos tiltų.



Nuotraukų koliažas

Skirtingai nei metalinių tiltų, gelžbetonio tiltų atsakas dinaminei, ciklinei, ilgalaikiai apkrovai, ar jų kombinacijoms, yra netiesinis ir yra žymiai sudėtingiau prognozuojamas. Tai lemia kompozitinė dviejų medžiagų – betono ir armatūrinio plieno – tarpusavio elgsena, kuri priklauso išskirtinai nuo kontaktinių (sukibties) įtempių šių medžiagų sąlyčio vietoje. Priklausomai nuo kontaktinio sluoksnio, kuris gali būti vos kelių mikronų storio, standumo, betonas ir armatūra gali perimti tiltą veikiančias apkrovas pilnai kartu, iš dalies ar abu atskirai. Visuomet pageidaujamas kuo didesnis tarpusavio sąveikos atsakas.

Tačiau ilgai eksploatuojant gelžbetonio tiltus, netamprus betono atsakas dėl atsivėrusių plyšių, trumpalaikių plastinių, ilgalaikių susitraukimo, valkšnumo ir vibro-valkšnumo deformacijų, lemia tiltų defektus. Idealiu atveju šių defektų atsiradimas turėtų būti prognozuojamas teoriškai projektavimo stadijoje ar valdomas *in situ*.

Visgi, daugelis minėtų veiksnių reikalauja sudėtingų matematiškai teorinių modelių kūrimo ir taikymo, todėl daugeliu atvejų taikomi apytiksliai analitiniai metodai. Tai lemia prognozavimo paklaidas. Medžiagų savybių ir apkrovų kaita eksploatuojant konstrukcijas yra didelė, todėl tokioms sąlygoms esant, fizinių-mechaninių parametų neapibrėžtis yra taip pat didelė, tad daugiausiai defektų ir pažeidimų aptinkama po ilgalaikio gelžbetoninių tiltų eksploatavimo.

Šiuo metu didžiausią susirūpinimą kelia svarbiausiose Lietuvos magistralėse 1968–1983 m. statyti įtemptojo gelžbetonio rėminiai – dėžinio skerspjūvio viadukai. Tokie viadukai buvo statyti pusiausvyros principu. Surenkami

## Naujienlaiškio prenumerata

 El. paštas\* 
 Įmonėms ir specialistams

 Namų bendrijoms ir savivaldybėms


## Minimos įmonės

Kauno technologijos universitetas (KTU),

» Straipsniai

Vilniaus Gedimino technikos universitetas (Vilnius Tech),

» Straipsniai

Kelių ir transporto tyrimo institutas, VŠĮ

» Straipsniai

 **FONDIA**  
We law your business.

gelžbetonio blokai tarpusavyje jungti epoksidiniais klijais. Pagal esamą pažaidų būklę tenka konstatuoti, kad šių viadukų būkle buvo susirūpinta gana vėliai, kuomet 1995 m., pradėjus statinius eksploatuojamų konstrukcijų bandymus, nustatyta, kad kai kurių viadukų būklė yra priešavarinė.

Nuo tada yra pradėti reguliariai stebėti visi viadukai. Todėl du kartus per metus stebimos viadukų perdangų lygmens altitudės niveliuojant, tikrinamas naujų normalinės, išilginės ir įstrižos krypties plyšių dėžinio profilio sijose atsivėrimas ar jų tolimesnis vystymasis. Gelžbetoninių tiltų defektus ir jų atsiradimo priežastis tyrė prof. Z. Kamaičis (1995, 2000, 2002, 2006), doc. V. Jokubaitis (2002, 2005).

Reikia pabrėžti, kad drastiškai padidėjusiems šiandienos transporto srautams, eksploatuojamų tiltų ir viadukų stebėjimai yra itin svarbūs šaliai ekonominiu mastu, norint tinkamai įvertinti eksploatuojamų konstrukcijų nusidėvėjimo laipsnį bei parenkant teisingus jų stiprinimo sprendimus.



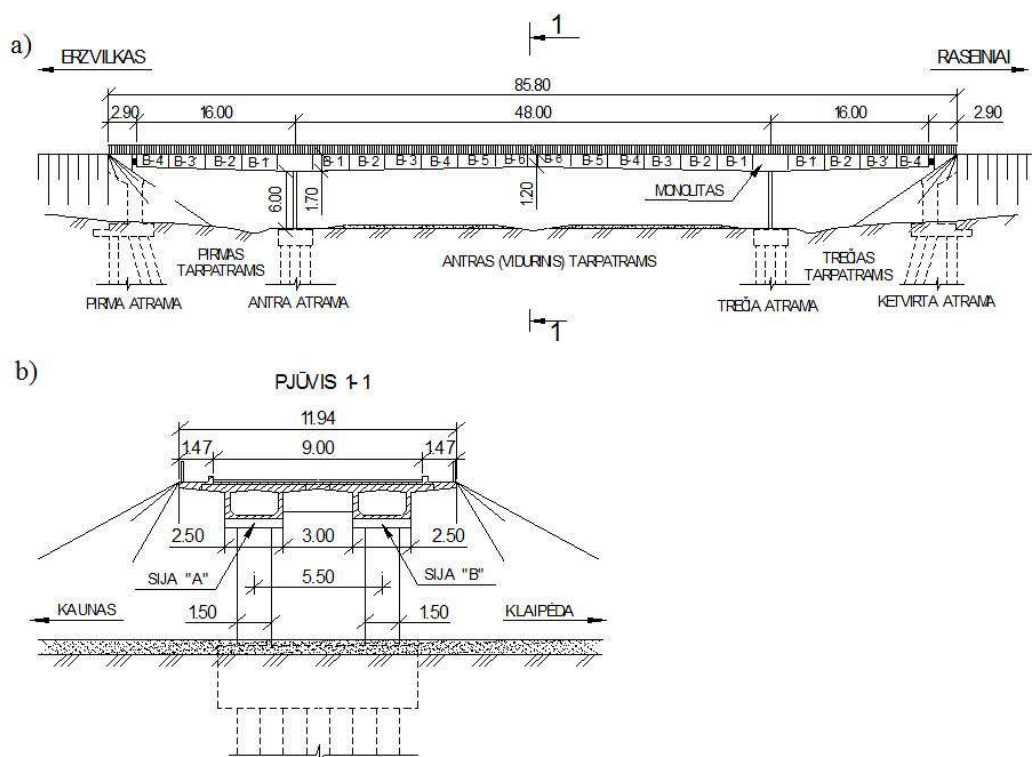
Iš kairės: R. Balevičius, S. Zadlauskas ir M. Augonis

Dažniausiai pasitaikanti gelžbetonio viadukų konstrukcinė schema parodyta (1.1. pav.). Skačiuojamoji schema – trijų angų, šešis kartus statškai neišsprendžiamas rėmas su lankstais kraštinėse atramos. Vienoje kraštinėje atramoje įrengtas paslankus lankstas, kitoje – nepaslankus. Rėmo sijos apačios aukštis kinta pagal kvadratinę parabolę ir ties atrama yra 170 cm aukščio, o angos viduryje – 120 cm. Skersiniame viaduko pjūvyje yra dvi dėžinio profilio sijos, tarpusavyje sujungtos monolitine gelžbetonine plokšte ir skersinėmis sijomis (diafragmomis) ties atramomis ir angos viduryje. Rėmo sijos sudarytos iš skirtingų ilgių segmentų (16–19 tonų svorio), sumontuotų pakabinamuoju būdu. Atramos suprojektuotos liaunos, kad nuo suvaržytų temperatūrinių, susitraukimo deformacijų jose nesivystytų dideli lenkimo momentai. Rėmo sijos (rygeliai) armuotos iš anksto įtemptais vielapluoščiais (gniužtę vidutiniškai sudaro 24 aukšto stiprumo 5 mm skersmens vielos). Viduriniojo tarpatriamo viduriniame pjūvyje „A“ ir „B“ sijų atramos būna maždaug 1,5 karto daugiau vienpluoščių gniužčių nei tarpatriamiose.

2012–2015 metais tirti įtemptojo gelžbetonio viadukai turėjo tokius defektus:

- kiauiri deformaciniai pjūviai virš paslankių ir nepaslankių viaduko lankstų (žr. 1.2 pav.),
- nelygi, banguota, nusidėvėjusi važiuojamoji kelio danga (žr. 1.3 pav.),
- kiauiri šaltilčių deformaciniai pjūviai, neįrengta arba netinkamai įrengta vandens surinkimo ir nuvedimo sistema nuo viaduko,
- netinkamai įrengta (nesandari) hidroizoliacija ant perdangos sijų viršaus, montavimo metu nesandariai įrengtos blokų sandūros (žr. 1.4 pav.),
- pažeisti korozijos, o keliuose viadukuose ir nutrūkę sijų apatiniai vielapluoščiai (žr. 1.5 pav.),
- iš lauko ir iš vidaus pusės įstrižais plyšiais supleišėjusios sijų blokų sienutės (žr. 1.6 – 1.7 pav.),
- normaliniais plyšiais iš lauko pusės ir įstrižais plyšiais supleišėję viadukų viduriniojo tarpatriamo blokai.

Dėžiniuose įtemptojo gelžbetonio viadukuose itin dažnai atsiranda įstrižieji plyšiai. Jų atsiradimo priežastys ir nesandarių blokų sandūrų įtaka pleišėjimui buvo plačiai nagrinėta prof. Z. Kamaičio 1996, 2008 metais.



1.1 pav. a) išilginis pjūvis, b) skersinis pjūvis (metrais)

Galima teigti, kad normalinių plyšių atsiradimui įtemptojo gelžbetonio tiltų perdangos viduriniame pjūvyje didžiausią įtaką turi vielapluoščių korozija ir dinaminės apkrovos, kurios yra padidėjusios dėl pasikeitusių sunkiasvorių transporto



priemonių srautų, kelio dangų defektų (išmuštos duobės, dangų įdubimai ir kt.). Augant transporto priemonės važiavimo per tiltą greičiui, didėja tilto dinaminis įlinkis. Kelio dangos nelygumai, priklausomai nuo jų dydžio, taip pat ženkliai prisideda prie dinaminio tilto poslinkio augimo.

Būtina pažymėti, kad paminėtų defektų vystymuisi ypač svarbus yra aplinkos poveikis. Atsivėrus kad ir nedideliems plyšiams, agresyvi aplinka ilginiui pradeda veikti ne tik apsauginį betono sluoksnį, bet ir pasiekia armatūros strypus, todėl tiltų ar viadukų liktinis atsparis gana ženkliai pradeda mažėti. Mažėjimą taip pat lemia ciklinių apkrovų poveikis, dėl kurio pažeistų skerspjūvių sluoksniuose pradeda kauptis plastinės deformacijos.

Detaliau išnagrinėsime keletą svarbių defektų atsiradimo aspektų.

Tirti tiltai ir viadukai projektuoti pagal tuometines projektavimo normas (CH 200-62, 1962; CH 200-67, 1967), atsižvelgiant į du projektinių apkrovų tipus: H-30 ir HK-80. Projektinę H-30 apkrovą sudarė dviuose eismo juostuose išdėstytos dvi automobilių voros ir žmonių minios apkrova ant viaduko šalitiličių, o projektinė HK-80 apkrova – ratinė keturių ašių automobilinė apkrova, kurios kiekvienos ašies svoris – 20 t.

Tačiau šiandienos transporto srautai yra padidėję. Akivaizdu, kad projektuotų anuomet ir eksploatuojamų dabar tiltų ir viadukų konstrukcijos yra veikiamos perkrovų. Sunkiasvorių automobilių (miškovežiai, vilkikai ir kt.) srautai yra daug didesni ir augimas stebimas pastaruosius 20 metų, augant pervežimų skaičiui ne tik Lietuvoje, bet ir kaimyninėse šalyse. Atsiradę tiltų ir viadukų defektai rodo, kad apkrovų patikimumo (perkrovų) koeficientai, taikyti tuometinėse projektavimo normose apkrovoms ir medžiagų fiziniams-mechaniniams rodikliams susidariusios situacijos jau negelbsti.



Iš kairės: 1.2 pav. Kiauri viadukų deformaciniai pjūviai virš pirmos atramos; 1.3 pav. Nelygi, banguota, nusidėvėjusi kelio danga



Iš kairės: 1.4 pav. Nesandari blokų sandūra; 1.5 pav. Viadukuose koroduoja vielapluoščiai, dalis jų nutrūkė



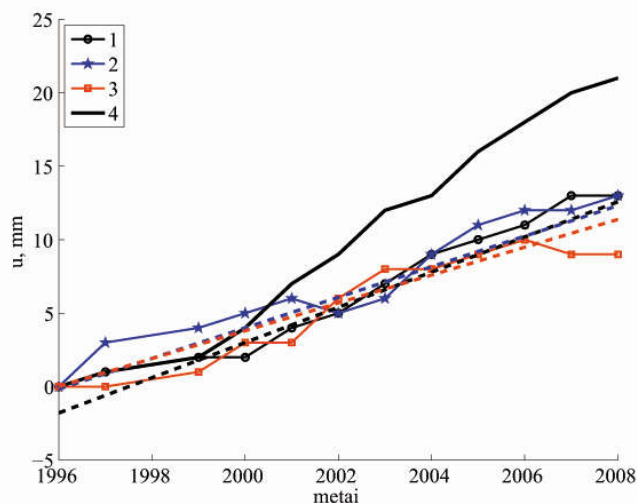
Iš kairės: 1.6 pav. Atsivėrę įstrižieji plyšiai; 1.7 pav. Sijų sienutėse atsivėrę įstrižieji plyšiai

Tai turi lemiamos įtakos tiltų ir viadukų konstrukcijų tarnavimo trukmei. Padidėję transporto srautai lemia įlinkių didėjimą, o netaisomos kelių dangos iššaukia papildomą įlinkių dinaminės komponentės didėjimą, lemia laikinųjų elementų vibracijas. Vibracijos prisideda prie neprognozuojamo naujų plyšių vystymosi, o tai, savo ruožtu, ilgina elementų standumą.

Lietuvoje nuo 1995 m. iki 2021 m. įtemptojo gelžbetonio rėminių, dėžinio skerspjūvio viadukų plyšių pločių ir įlinkių monitoringą kasmet atliko VŠĮ „Kelių ir transporto tyrimo instituto“ Tiltų tyrimų skyriaus darbuotojai. Remiantis daugiau nei 26 metus trukusių viadukų stebėjimo duomenimis, galima įvertinti viadukų įlinkių kitimo kreives per stebėjimo laikotarpį, priklausomai nuo kiekvienu viaduku pravažiuojančių sunkiasvorių transporto priemonių srautų per parą (1.8 pav.).



Nors šiuo metu Pareizgupio viadukas jau yra perstatytas, atsisakant gelžbetoninių sijų, tačiau jo įlinkio kaita nuo viaduko stebėsenos pradžios rodo, kad šis viadukas buvo vienas intensyviausiai apkrautų iki jo rekonstrukcijos. Jo įlinkių didėjimo greitis, kaip matome iš 1.8 pav., yra beveik dvigubai didesnis nei kitų, tirtų tokio tipo viadukų.



Kairėje:

1.8 pav. Viadukų įlinkių nuo jų savojo svorio kitimo kreivės per stebėjimo laikotarpį:

1) Rumšiškių,  
2) Dauparų,  
3) Gargždų ir  
4) Pareizgupio viadukai.  
Brūkšninės linijomis parodyta 1–3 viadukų įlinkių augimo aproksimacija tiesinėmis funkcijomis, parenkant jas mažiausių kvadratų metodu ( $R^2 = 0,94-0,97$ )

Iš 1.8 pav. matyti, kad viadukų įlinkiai iš esmės monotoniškai didėja (brūkšninės linijos) juos eksploatuojant, todėl analizuojant viadukų būklę ar projektuojant naujus, į tai ypač svarbu atsižvelgti. Srautų augimo tendencijos, ekstrapoliuojant jų

masą į ateitį, taip pat turi būti vertinamos ir projektuojant, ir rengiant stiprinimo projektus.

Pagal tiltų (viadukų) įlinkių stebėsenos statistinius rezultatus galima prognozuoti likusią laiko resurso dalį juos eksploatuoti. Jeigu tam tikrą tilto eksploatacinį laikotarpį nebuvo atliekamas tilto įlinkių monitoringas, o po šio periodo buvo pradėta periodinė tilto įlinkių kaitos stebėseną (žr. 1.8 pav.) ir yra žinomi šių įlinkių prieaugių kaitos per laiką statistiniai įverčiai nuo stebėsenos pradžios, tuomet taip pat galima prognozuoti laikotarpį, per kurį tiltas (viadukas) netenkins tinkamumo ribinio būvio reikalavimų su norimu patikimumu.

Tarkime, kad tilto (viaduko) įlinkio prieaugių pagal tinkamumo ribinį būvį atsarga, praėjus laikotarpiui  $\Delta t_z$  nuo pasirinkto laiko momento, yra atsitiktinis dydis  $Z(\Delta t_z) \in N(\mu_z(\Delta t_z), \sigma_z^2(\Delta t_z))$ , kur  $\mu_z(\Delta t_z)$  ir  $\sigma_z^2(\Delta t_z)$  yra šio prieaugių atsargos realizacijų vidurkis ir vidutinis standartinis nuokrypis, esant  $\Delta t_z$ . Tuomet atsargą galime išreikšti dviejų atsitiktinių dydžių skirtumo funkcija  $Z(\Delta t_z) = \Delta U_{crit} - \Delta U(\Delta t_z)$ , kur tiltų įlinkių prieaugių atsitiktinio dydžio  $\Delta U(\Delta t_z) \in N(\mu_{\Delta U}(\Delta t_z), \sigma_{\Delta U}^2(\Delta t_z))$  realizacijų  $\Delta U(\Delta t_z)$  skirstinys, esant  $\Delta t_z$ , o  $\Delta U_{crit} \in N(\mu_{\Delta U_{crit}}, \sigma_{\Delta U_{crit}}^2)$  yra tiltų (viadukų) įlinkių *kritinių* prieaugių skirstinys, dėl kurio realizacijų  $\Delta U_{crit}$  tiltas (viadukas) netenkins tinkamumo ribinio būvio reikalavimų (pvz., įlinkis viršys jo ribinę reikšmę pagal projektavimo normas, ar kt.).

Tuomet apskaičiuavę Cornell'io patikimumo indekso  $\beta(\Delta t_z) = \mu_z(\Delta t_z) / \sigma_z(\Delta t_z)$  reikšmę, tikimybę, kad tiltas netenkins tinkamumo ribinio būvio reikalavimų praėjus laikotarpiui  $\Delta t_z$ , yra lygi:

$$\alpha(Z(\Delta t_z) < 0) = 1 - \Phi(\beta(\Delta t_z)),$$

$$\sigma_z(\Delta t_z) = (\sigma_{\Delta U_{crit}}^2 + \sigma_{\Delta U}^2(\Delta t_z))^{0,5},$$

$$\mu_z(\Delta t_z) = \mu_{\Delta U_{crit}} - \mu_{\Delta U}(\Delta t_z).$$

Čia  $\Phi(\beta)$  yra Gauso-Laplaso funkcija.

Pasirinkus tikimybę  $\alpha(Z(\Delta t_z) < 0)$ , iš šios integralinės lygties, laikotarpio  $\Delta t_z$  rasti analitiškai neįmanoma, nes Gauso-Laplaso funkcija nėra analitiškai integruojama. Tačiau galima skaičiuoti tikimybę  $\alpha$  pasirinktiems laikotarpiams, kol jos reikšmė pasieks ribinę, reglamentuotą projektavimo normomis.

Tarkime, kad įlinkių prieaugių atsargos funkcijos kaita per laikotarpį  $\Delta t_z$  yra tiesinė. Tuomet tiltų įlinkių prieaugių greičių skirstinio  $\Delta \dot{U} \in N(\mu_{\Delta \dot{U}}, \sigma_{\Delta \dot{U}}^2)$  realizacijų reikšmės per stebėjimų laikotarpį  $\Delta \dot{U}(t_0) = \Delta \dot{U}(t_1) = const$  (1.8 pav.). Tuomet įlinkių prieaugių vidurkis ir vidutinis standartinis nuokrypis esant  $\Delta t_z$  yra lygūs:  $\mu_{\Delta U}(\Delta t_z) = \mu_{\Delta U}(0) + \mu_{\Delta \dot{U}} \Delta t_z$ ,  $\sigma_{\Delta U}(\Delta t_z) = \sigma_{\Delta U}(0) + \sigma_{\Delta \dot{U}} \Delta t_z$ , kur  $\mu_{\Delta U}(0)$  ir  $\sigma_{\Delta U}(0)$  yra šių dydžių pradinės reikšmės pagal paskutinį stebėjimą.

Pagal viadukų monitoringo rezultatus Rumšiškių, Dauparų ir Gargždų viadukai (1.8 pav.) buvo apkrauti panašiu transporto srautu (nuo 285 iki 332 automobilių/per parą), todėl tokio tipo eksploatuojamų perdangų patikimumui ir likusiam laiko resursui prognozuoti galima imti šių viadukų įlinkių prieaugių statistinius duomenis. Rumšiškių, Dauparų ir Gargždų viadukai pastatyti apie 1970–1976 m., tačiau stebėjimo rezultatai fiksuoti 1996–2008 m. laikotarpiu.

Brūkšninėmis linijomis parodyta, kad šių viadukų įlinkių prieaugių augimas per laiką gali būti pakankamai tiksliai ( $R^2 = 0.94-0.97$ ) aproksimuotas tiesinėmis funkcijomis, parenkant jų parametrus mažiausių kvadratų metodu pagal viadukų įlinkių matavimo rezultatus (1.8 pav.). Trijų viadukų įlinkio prieaugio vidutinis greitis pagal aproksimacijos rezultatus yra  $\mu_{\Delta U} = 1,062$  mm/metai, o jo vidutinis standartinis nuokrypis -  $\sigma_{\Delta U} = 0,127$  mm/metai (žr. 1.8 pav.). Pradinis trijų viadukų įlinkių prieaugių vidurkis imamas iš stebėjimo pabaigoje (2008 m.) nustatytų reikšmių ir yra lygus,  $\mu_{\Delta U} = 11,67$  mm, o vidutinis standartinis nuokrypis -  $\sigma_{\Delta U} = 2,31$  mm.

Įlinkių *kritinių* prieaugių vidutinė reikšmė, pasiekus kurią viadukai netenkina tinkamumo ribinio būvio reikalavimų, yra imama iš rekonstruotų viadukų (pvz., Pareizgupio viadukas ir kt.) statistinių stebėjimų duomenų ir yra maždaug lygi  $\mu_{\Delta U_{crit}} = 25$  mm, o  $\sigma_{\Delta U_{crit}} = 1,184$  mm. Ši reikšmė yra tik nuo viaduko savojo svorio, kuomet matuojamas neapkrauto viaduko įlinkis prieš pradendant stiprinimo ar rekonstrukcijos darbus.

Viadukų tikimybės pasiekti ribinį tinkamumo būvį ir jų patikimumo indeksai pateikti 1 lentelėje.

Eksplotacijos prognozavimo trukmės prieaugis nuo paskutinių stebėjimo	Tikimybė, kad įlinkis netenkins tinkamumo ribinio būvio	Patikimumo indeksas, $\beta$
---	---	------------------------------

1 lentelė.

momento, metai	reikalavimo	
2	$3,6 \cdot 10^{-5}$	3,97
5	0,00573	2,528
10	0,2360	0,719
15	0,7239	-0,595
20	0,9437	-1,586
20,3	0,95	-1,64
30	0,9986	-2,977

*Nagrinėjimų viadukų patekimo į ribinį būvį tikimybės ir patikimumo indeksas*

Skaičiavimai rodo (1 lentelė), kad nagrinėti viadukai netenkins tinkamumo ribinio būvio reikalavimų ribiniam įlinkiui po 20 metų, juos eksploatuojant esamomis sąlygomis. Kaip matome, daugiau nei 70% šių viadukų netenkins šio būvio reikalavimo jau maždaug po 15 metų.

Pagal atliktą skaičiavimą galima pastebėti, kad analizės rezultatai gali būti tikslinami didinant įlinkių imtis, įtraukiant kuo daugiau atitinkamų savybių viadukų. Kaip matome, esant normaliesiems atsitiktinių dydžių skirstiniams, tikimybinio metodu nesudėtinga prognozuoti likutinę tilto eksploatavimo trukmę. Pagal tai galima planuoti rekonstrukcijai reikalingos resursus, imtis priemonių ribojant transporto srautus ir kt., tačiau tam būtina reguliari tiltų elgsenos stebėseną.

Stebimą įlinkių monotonišką augimą per laiką lemia ne tik padidėję transporto srautai, bet ir automobilių pakabų vibracijos bei mašinų judėjimo greičiai. Todėl prognozuojant tilto atsaką, būtina vertinti ir minėtus transporto priemonių parametrus. Tiltu ir ant jo važiuojančios transporto priemonės dinaminį atsaką galima aprašyti tokia dviejų dinaminų lygčių sistema:

$$\begin{aligned} \mu_1 u'' + u &= -\mu_0 w'' \sin \xi, \\ \mu_2 w'' + w &= u \sin \xi. \end{aligned}$$

Šioje sistemoje  $u = u_c(t)/u^0_c$  yra tilto įlinkio  $u_c(t)$  dinamiškumo koeficientas, rodantis, kiek kartų didėja tilto statinis įlinkis  $u^0_c = G_v/k_c$  (čia  $G_v$  - transporto priemonės svoris,  $k_c$  - tilto standumo konstanta). Transporto priemonės pakabos amortizatorių atstojamasis vertikalios krypties poslinkis  $w_v(t)$  yra taip pat išreikštas santykiniu dydžiu tilto statinio įlinkio atžvilgiu,  $w = w_v(t)/u^0_c$ . Šių nežinomųjų išvestinės  $u''$ ,  $w''$ ,  $u'$  ir  $w'$  dinamininėse lygtyse išreiškia pagreičius ir greičius bedimensinio laiko kintamojo  $\xi = \pi t/t_u$  atžvilgiu, kur  $t$  yra laikas, atskaitomas nuo mašinos užvažiavimo ant tilto momento iki laiko  $t_u = c/L$ , reikalingo jai pravažiuoti  $L$  ilgio tiltą pastoviu greičiu  $c$ . Koeficientai  $\mu$  išreiškia transporto priemonės priverstinio  $\theta = \pi c/L$ , savųjų svyravimų  $\omega_v$  dažnių santykius su tilto savųjų svyravimų dažniu  $\omega_c$ :  $\mu_1 = \theta^2/\omega_c^2$ ,  $\mu_2 = \theta^2/\omega_v^2$ ,  $\mu_0 = \theta^2 m_v/k_c$ . Tiltu efektyvioji masė  $m_c$  yra lygi pusei tilto masės, o  $m_v$  yra transporto priemonės masė.

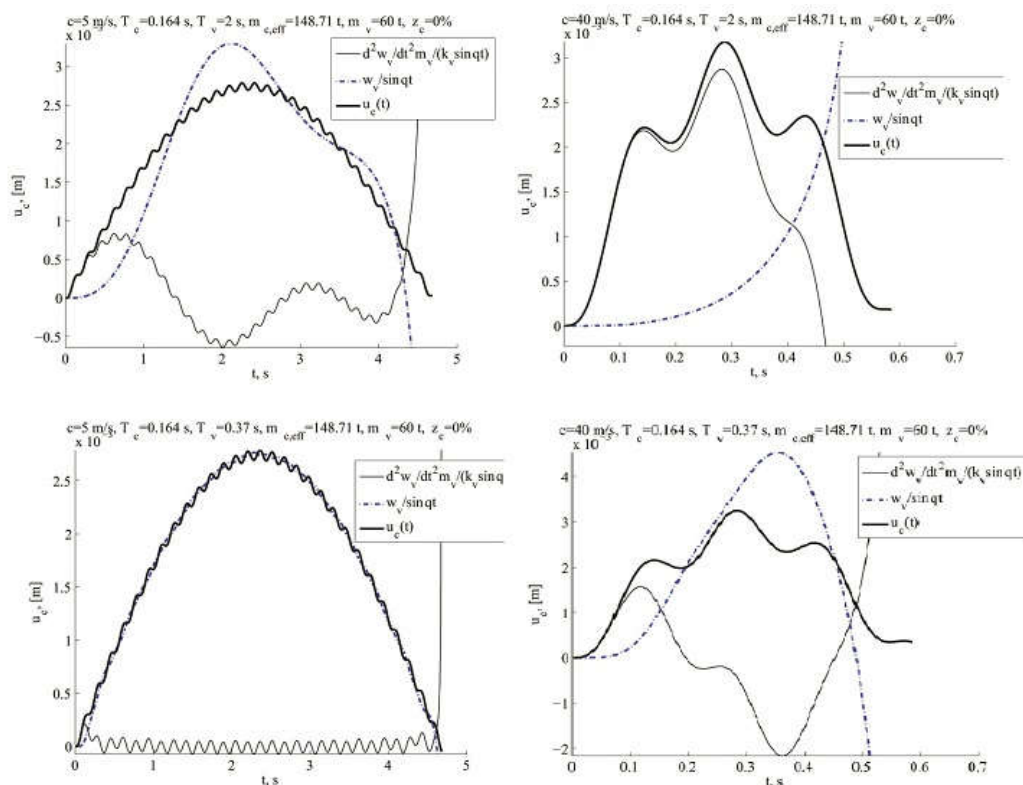
Gauti dinaminų lygčių sistemos sprendiniai rodo pakankamai sudėtingą tilto įlinkio atsaką į transporto priemonės pakabos keliamas vibracijas (1.9 pav.). Šiuo atveju, tilto įlinkio sprendinys  $-u_c(t) \sin \theta t = -m_v \ddot{w}_v(t)/k_v - w_v(t)$  susideda iš dviejų įlinkio komponentų, t.y., tilto įlinkio nuo transporto priemonės pakabos vertikaliųjų virpesių kilusios inercijos jėgos  $-m_v \ddot{w}_v(t)$  bei dinaminio pakabos poslinkio  $w_v(t)$  (žr., 1.9 pav.). Dinaminė analizė atlikta taikant gelžbetoninio tilto per Šušvės upę tyrimų duomenis. Pagal statinius bandymus, jo įlinkis, užvažiavus 25 t masės mašina, yra  $u^0_c = 2,74$  mm.

Judant transporto priemonei nedideliu 5 m/s greičiu, gauname, kad tilto dinaminis įlinkis padidėja labai nedaug, t.y.  $u = 1,016$  karto nepriklausomai nuo pakabos savųjų svyravimo dažnio  $f_v$  (1.9 pav.). Tačiau įlinkio kaitos per laiką grafikas parodo, kad tilto sijas veikia gana nemažo dažnio vibracijos, kurias sukelia pakabos inercijos jėga. Šios jėgos sukelta tilto įlinkio komponentės amplitudė yra apie tris kartus didesnė, jei mašinos pakaba yra liauna ir turi ilgą svyravimų periodą, nei standžios pakabos atveju ( $f_v = 2,7$  Hz). Tačiau, kaip minėta, abiem pakabos standumo atvejais tilto įlinkio kitimas išlieka beveik tas pats, nes skiriasi pakabos dinaminio poslinkio  $w_v(t)$  kitimas ir jo amplitudė (1.9 pav.). Padidėjus pakabos savųjų svyravimų dažniui 5,4 karto (nuo 0,5 Hz iki 2,7 Hz), pakaba tampa standesnė 29,2 karto, tačiau tilto įlinkio dinaminio koeficiento reikšmė išlieka maždaug ta pati.

Transporto priemonių greičio ir srautų ribojimai paprastai taikomi remontuojant eksploatuojamus tiltus. Atlikta dinaminė analizė rodo, kad, važiuojant transporto priemonei nedideliu greičiu, tilto dinaminis įlinkis, iš esmės, lieka lygus statiniam įlinkiui, tačiau atsiranda tilto vibracijos, kurios lemia senų plyšių plitimą sijų skerspjūviuose ir sandūrose tarp jų.

Kuomet transporto priemonė juda per tiltą dideliu 40 m/s greičiu (1.9 pav.), dinaminis tilto atsakas pasikeičia iš esmės. Tiltu dinaminis įlinkis padidėja gana ženkliai ir priklauso nuo pakabos savųjų svyravimo dažnio (1.9 pav.). Standžios pakabos virpesiai didina tilto įlinkį (u padidėja 1.20 karto, esant  $f_v = 5,4$  Hz ir 1.15 karto, kai  $f_v = 0,5$  Hz). Įlinkio kaitos per laiką grafikas rodo, kad tiltas jau nėra veikiamas tokio dažnio vibracijų, kurias kėlė mažų greičiu judanti transporto priemonė.

Standžios pakabos atveju tilto įlinkį lemia maždaug vienodom proporcijom tiek dėl pakabos inercijos jėgos atsiradusi tilto įlinkio komponentė, tiek ir dinaminis pakabos poslinkis  $w_v$ . Pastarąjį, inercijos jėga mažina (1.9 pav.).



1.9 pav. Tiltų įlinkio  $u_c$  kaita, važiuojant transporto priemonėi skirtingais greičiais  $c$ , esant skirtingiems pakabos savųjų svyravimų dažniams  $f_v$ .

Liaunos pakabos atveju, kai transporto priemonė važiuoja dideliu greičiu, maksimalią tiltų įlinkio reikšmę lemia išskirtinai pakabos savųjų svyravimų sukelta inercijos jėga (žr. 1.9 pav.). Šiuo atveju įlinkio komponentė  $w_v(t)$  dėl ilgo liaunos pakabos svyravimų periodo  $T_v$ , ilgainiui yra labai maža ir pradeda augti, tik transporto priemonėi pasiekus tiltų tarpatramio vidurį. Jeigu mašina važiuotų dar didesniu greičiu, tiltų įlinkį lemė išskirtinai tik pakabos inercijos jėga, o įlinkis kitimą atitiktų pirmąją svyravimų formą su įlinkio reikšmės maksimumu per vidurį tarpatramio. Šiuo atveju, esant liaunai pakabai, kuomet  $k_c \gg k_v$  ir  $T_v \gg t_u$ , o transporto priemonė juda, kaip minėta, dideliu greičiu, tiltų įlinkio dinaminį koeficientą galima imti  $u_c \approx (1 - \mu_1^{0.5} \sin(0.5\pi/\mu_1^{0.5})) / (1 - \mu_1)$ .

Kartais kyla klausimas, kokia gali būti maksimali tiltų įlinkio dinaminio koeficiento reikšmė. Teoriškai maksimalus įlinkis galimas tik tiltų rezonanso atveju. Kadangi tiltų ilgis nėra begalinis, o laikas pravažiuoti tiltą  $t_u$  yra baigtinis, tad rezonanso atveju maksimalus tiltų įlinkis bus  $\max u_c(t) = u_c(t_u)$ . Teoriškai, kuomet transporto priemonės pakaba yra liauna, o  $k_c \gg k_v$ , rezonanso sąlyga yra  $\mu_1 \rightarrow 1$ . Tokiu atveju, tiltų savųjų svyravimų periodas yra lygus  $T_c = 2t_u$ , o maksimali galima tiltų dinaminio koeficiento reikšmė teoriškai yra lygi  $u_{\max} = \pi/2$ . Iš šių sąlygų galima nesunkiai rasti transporto priemonės maksimalų greitį, kuris lemė tiltų rezonansą. Gelžbetoniniams tiltams dėl didelio jų standumo, šis greitis yra labai didelis. Kai pakaba yra standi, tuomet  $\max u_c(t)$  paieška rezonansui galima tik skaitiniu keliu, tačiau rezultatai rodo, kad bus  $u_{\max} < \pi/2$ . Dėl energijos disipacijos dinaminio atsako metu, dinaminis tiltų įlinkio koeficientas mažėja. Kita vertus, energijos disipacija lemia, kad realiomis sąlygomis gelžbetonio tiltų rezonansas vyksta retai. Tačiau sąlyga  $\max u_c(t) = u_c(t_u)$  rodo, kad eilė mašinų išsidėsčiusių tam tikrais atstumais ir važiuodamos dideliais greičiais per tiltą gali lemti poveikius artimus rezonansams.

*Reziumuojant pateiktą medžiagą, galima akcentuoti keletą išvadų:*

- Pagal atliktus Lietuvoje pastatytų įtemptojo gelžbetonio, dėžinio skerspjūvio tiltų tyrimus nustatyta, kad pagrindinės šių tiltų pažaidos yra nusidėvėję pakloto elementai, sijų sienutėse atsivėrę įstrižieji ir normaliniai plyšiai, bei dideli įlinkiai perdangos viduriuose ir pūviuose. Šių defektų atsiradimo priežastys yra įvairios, tačiau didelę įtaką tiltų pleišėjimui ir padidėjusiems įlinkiams turi suintensyvjėję sunkiasvorių transporto priemonių srautai, aplaidūs konstrukcijų eksploatavimas laiku netvarkant tiltų dangų;
- Vertinant dažniausiai pasitaikančius defektus reikia paminėti, kad nemažą jų galima išvengti ilgainiui imantis tam tikrų jų pašalinimo, ar net stiprinimo priemonių. Tačiau turi būti atliekamas reguliarus tokių tiltų stebėjimas, siekiant laiku šiuos defektus užfiksuoti. Kai kuriais atvejais tiltai, viadukai turi būti remontuojami kompleksiskai, įvertinus atskirų pažaidų poveikį, galbūt, ne tik stiprinant pažeistas korozijos vietas, tačiau ir išlyginant dangos nelygumus, ar griežtai ribojant transporto priemonių svorį ir jų srautus;
- Pateikti dinaminės analizės aspektai rodo, kad prognozuojant tiltų dinaminį atsaką, negali būti ignoruojamos transporto priemonių pakabų vibracijos, o tiltų ir transporto priemonės poveikis turi būti analizuojamas bendrai, atsižvelgiant į tiltų dangų nelygumus. Pastarasis efektas gali būti vertinamas modifikuojant pateiktą diferencialinių lygčių kraštines sąlygas;
- Esamų pažaidų atsiradimo analizė, tinkamas jų vystymosi prognozavimas yra ypač aktualūs ne tik naujų tiltų projektavimui, atsižvelgiant į padidėjusius šiandienos transporto srautus Lietuvoje, tačiau ir itin svarbūs šaliai ekonominiu mastu.

Autoriai –

M. Augonis, R. Balevičius, S. Zadlauskas,

Kauno technologijos universitetas, Vilniaus Gedimino technikos universitetas

ŽYMĖS Tiltas, Gelžbetoninės konstrukcijos, Viadukas, Betonas/betono gaminiai, Korozija

Patinka 24 Bendrinti

## Infrastruktūra



### Po technologinės pertraukos Klaipėdoje atnaujinta gatvių rekonstrukcija

2021-03-18 12:38

Įpusėjus kovui, po žiemos technologinės pertraukos Klaipėdoje atnaujinami gatvių rekonstrukcijos darbai. Šiais metais gatvėms atnaujinti ir prižiūrėti skiriama daugiau nei 26 mln. eurų.



### Nepriklausomas energijos tiekėjas „Inregnum“ nutraukia veiklą

2021-03-18 10:02

Įmonė „Inregnum“ informavo savo klientus, kad nuo šių metų balandžio 1 dienos nutraukia savo, kaip nepriklausomo elektros energijos ir gamtinių dujų tiekėjo, veiklą. Klientams energijos tiekimas nenutrūks ir bus užtikrintas tos pačios sąlygos.



### Šiais metais bus baigta didelė dalis darbų A1 kelyje, projektuojama Via Baltica

2021-03-15 13:17

Kovo 15 d. baigiasi technologinė pertrauka ir oficialiai, jei orų sąlygos tinkamos, prasideda kelių statybos darbų sezonas. Šiais metais pagal sutartis numatyta pabaigti didžiąją dalį darbų, vykdomų kelyje A1 Vilnius–Kaunas–Klaipėda, taip pat pradėti vykdyti kitus reikšmingus kelių plėtros ir prieži...



### Du trečdaliai GIPL dujotiekio išbandyti maksimalia apkrova

2021-03-04 09:40

Tiesiant Lietuvą ir Lenkiją sujungiantį GIPL dujotiekį, išbandyti 102 jau įrengtos naujosios dujų jungties kilometrai. Visas dujotiekio ilgis – 165 km. Atlikus hidraulinius bandymus, patvirtinta, kad vamzdynas išlaiko maksimalaus numatyto slėgio apkrovą. GIPL dujotiekio slėgis šioje atkarpoje siek...



### Kaune įrengta dar viena saugi požeminė geležinkelio kirtimo vieta

2021-03-02 10:38

Kaune ties Ugniakuro gatvę baigti požeminio tunelio pėstiesiems po geležinkeliu įrengimo darbai.



### Septyniuose prie geležinkelio esančiuose miestuose pastatys triukšmą slopinančias sieneses

2021-02-24 13:22

Lietuvos geležinkelio infrastruktūrą valdanti AB „LTG Infra“, įgyvendindama programą „Triukšmą mažinančių priemonių įrengimas geležinkeliuose“, šiemet net septynių miestų triukšmingiausiose vietose, pastatys naujas triukšmą slopinančias sieneses.



### Kelius ir šaligatvius siūlo tiesti iš padangų atliekų

2021-02-23 07:08

Išanalizavę Lietuvos ir kitų šalių padangų atliekų tvarkymo patirtį, ekspertai rekomenduoja šias atliekas panaudoti tiesiant kelius, šaligatvius, dviračių takus, o valstybei šiame sektoriuje formuoti paklausą. Jų rekomendacijos pateiktos pirmadienį visuomenei pristatant Aplinkos ministerijos užsakym...



### Šiemet keliams numatoma skirti 531,6 mln. eurų

2021-02-18 08:03

Šiemet Lietuvos kelių tinklui plėtoti ir saugaus eismo priemonėms diegti numatoma skirti 531,6 mln. eurų Kelių priežiūros ir plėtros programos (KPPP) lėšų. Tokią Susisiekimo ministerijos parengtą šios programos finansavimo sąmatą šiandien patvirtino Vyriausybė.



### Apie 38,5 tūkst. gyventojų nėra prisijungę prie centralizuotų nuotekų surinkimo sistemų

2021-02-12 10:04

Kaip įveikti vėlavimą įgyvendinant visus Miesto nuotekų valymo direktyvos reikalavimus ir iki 2023 m. ištaisyti šį pažeidimą, aplinkos viceministras Darius Kvedaravičius aptarė su savivaldybių ir jų kontroliuojamų įmonių, teikiančių nuotekų tvarkymo paslaugas, atstovais.



### Paneigė mitą apie nepasiruošusius kelininkus – sniego valymo sparta priklauso nuo priemonių visumos

2021-02-11 09:28

Esant stipriam snygiui, vis dažniau visuomenėje pasigirsta, kad keliai valomi prastai, labai retai. Tačiau ar žinojote, kad sniego valymo, barstymo eiga ir sparta priklauso nuo kelio ar gatvės

reikšmės? Kuo kelias aukštesnės kategorijos, tuo priežiūros darbai vykdomi greičiau, reikalavimai atliekami...



### Vilnius pristato naują interaktyvų žemėlapi – kur palankiausia įsirengti saulės jėgaines

2021-02-05 13:05

Vilniaus savivaldybė kuria galimybes gyventojams ir verslui rinktis žalią energiją, pristatydama saulės energijos potencialą interaktyviame įrankyje. 3D.vilnius.lt paslaugų portale pateikiamas saulės energijos potencialas padės įsivertinti mieste esamas saulės spinduliuotės lygį ir galimybes įsireng...



### Nuovažos įrengimui būtinas kelio valdytojo leidimas

2021-02-04 15:44

Valstybinės reikšmės keliuose nuovažas gali įrengti savivaldybės, gyventojai, juridiniai asmenys savo lėšomis, tačiau tam turi turėti kelio valdytojo VĮ Lietuvos automobilių kelių direkcijos (toliau – Kelių direkcija) leidimą (sutikimą). Nuovažas taip pat gali rengti ir kelio valdytojas.



### Vilniaus kogeneracinėje jėgainėje pagaminta pirmoji elektros energija

2021-02-04 09:50

Vilniaus kogeneracinė jėgainė (VKJ) pasiekė dar vieną svarbų projekto etapą – sausio pabaigoje į Lietuvos elektros energijos perdavimo tinklą patiekė pirmąsias iš atliekų pagamintas elektros energijos kilovatvalandes.



### Sostinės Upės gatvėje montuojama 15 t teršalų gaudyklė iš Prancūzijos

2021-02-04 08:35

Vilniaus „Grinda“ vasario 10 d. pradės valymo įrenginių montavimo darbus Upės g. žaliwoje zonoje tarp „Forum Palace“ ir Edukologijos universiteto tilto.



### Susisiekimo ministerija: Savivaldybėms skiriamos lėšos kelių priežiūrai – per mažos, bus ieškoma būdų finansavimą didinti

2021-02-02 15:49

Susisiekimo ministerija ieškos būdų, kaip padidinti savivaldybėms skiriamą dalį kelių priežiūrai ir remontui Kelių priežiūros ir plėtros programoje. Vienas iš būdų – visoms savivaldybėms nukreipti vietinės reikšmės žvyrkeliams numatytas lėšas ir peržiūrėti lėšų skyrimo kriterijus. Šiuos klausimus

mi...



### Nuo šiol Vilniaus universitetas naudos elektrą tik iš atsinaujinančių šaltinių

2021-02-01 11:12

Vilniaus universitetas (VU) žengia istorinį žingsnį ir tampa viena pirmųjų didelių organizacijų Lietuvoje, savo veikloje naudosiančių tik žaliąją elektros energiją. Nuo vasario 1 d. VU pirs 100 proc. reikalingos elektros energijos, pagamintos iš atsinaujinančių energetikos šaltinių. Žaliąją elektro...



### Skelbiamas geležinkelio tilto per Nerį statybos darbų priežiūros konkursas

2021-01-29 11:02

Už projekto „Rail Baltica“ įgyvendinimą Lietuvoje atsakinga bendrovė „LTG Infra“ paskelbė konkursą ilgiausio Baltijos šalyse geležinkelio tilto per Nerį statybų priežiūros darbams. Jo metu bus išrinkta bendrovė, kuri atliks statybų techninę priežiūrą ir teiks Inžinieriaus paslaugas.



### Pritarta teisingesniai savivaldybių vietinės reikšmės kelių finansavimui

2021-01-27 16:00

Kelių priežiūros ir plėtros programos (KPPP) lėšos, skirtos vietinės reikšmės kelių infrastruktūrai gerinti, šiemet bus paskirstytos teisingiau, t. y. neišskirti kai kurių šalies savivaldybių. Susisiekimo ministerijos iniciatyva Vilniaus ir Trakų rajonų savivaldybėms numatoma KPPP programos lėšas sk...



### Saulės energijai gaminti saugomų teritorijų direkcijos „įdarbino“ ir pastatų stogus

2021-01-15 10:10

Saugomų teritorijų – nacionalinių ir regioninių parkų, rezervatų – direkcijų pastatuose, lankytojų centruose ir pagalbinesse patalpose naudojama iš saulės energijos pagaminta elektra. Saulės elektrinėms įsigyti ir įrengti Vyriausybės valstybinių parkų direkcijoms skyrė 511 tūkst. eurų.




### Bendrovėje „Lifosa“ pradėjo veikti 1 MW saulės jėgainė

2021-01-08 09:54

Kėdainiuose veikiančioje fosforo trąšų gamybos bendrovėje „Lifosa“ pastatyta 1 MW galios saulės jėgainė. Jos pagaminta elektros energija sudarys apie 6 proc. bendro įmonės papildomai įsigyjamo elektros energijos kiekio. Investicijos į šį projektą siekia beveik 668 tūkst. Eur.

[Statybunaujienos.lt](#) » [Infrastruktūra](#)



 [Aktualijos](#) | [Žalia statyba](#) | [Objektai](#). [Technologijos](#). [Verslo naujienos](#) | [Komentaras](#) | [SPRENDIMAI](#) | [Metų nominacijos](#) | [Pandemijos iššūkiai](#) | [Statybinė ir kelių technika](#) | [Architektūra](#). [Interjeras](#) | [Aplinka](#) | [Infrastruktūra](#) | [Inžinerinės sistemos](#) | [Miestiečiai](#) | [Pramoninė statyba](#) | [NT projektai](#) | [Statybos inspekcija informuoja](#) | [Savivaldybėse](#) | [Universalus dizainas](#) | [Pramonės inžinerija](#) | [RESTA](#) | [Asmenybės](#) | [Diskusijos](#) | [Leidiniai](#) | [Statybininkų biblioteka](#) |

Portalą leidžia VšĮ "Propagandos ministerija" © 2021

Portalo grafiką kūrė



| [www.julija.eu](http://www.julija.eu)