Kvalifikacijos atestatas

KELIO STATINIŲ TECHNINĖS BŪKLĖS VERTINIMO IR KATEGORIJOS PAGAL KĖLĄ NUSTATYMO TYRIMAI
Tiltas kelyje Vilnius–Stasylos 35+970 km

Tyrimų ataskaita

Užsakovas: AB LTG Infra

Vykdytojas:

Vilnius, 2021

Ataskaitą paruošė

TURINYS

ĮVADAS 5
1. BENDRI DUOMENYS APIE TILTĄ. TYRIMŲ METODIKA 7
1.1. Tilto istorija. Bendri duomenys apie tiltą 7
1.2. Tilto techninės būklės apžiūra ir metodika. Taikyti prietaisai 7
1.3. Tilto konstrukcijų modeliavimas 13
1.4. Analizėje taikyti apkrovų modeliai 13
1.5. Tilto laikomosios galios įvertinimo metodika 15
1.6. Tilto eksploatacinių parametrų patikra 18
2. TILTO TECHNINIAI RODIKLIAI IR SUTARTINIAI ŽYMENYS 20
3. TILTO DETALIOJI APŽIŪRA IR JOS REZULTATAI 27
3.1. Pakloto elementai 27
3.2. Gelžbetoninė perdanga 30
3.3. Atraminiai guoliai 34
3.4. Atramos 36
3.5. Kūgiai ir laiptai 38
3.6. Tilto perdangos niveliacija 38
3.7. Perdangos ir atramų betono tyrimų analizė 39
3.8. Tilto konstrukcijų techninės apžiūros išvados 40
4. TILTO STATINIAI IR DINAMINIAI PATIKRINAMIEJI BANDYMAI 44
4.1. Statiniai bandymai 44
4.1.1. Bandymų apkrova ir jos išdėstymas 44
4.1.2. Matavimo įrangos išdėstymas 46
4.1.3. Statinių bandymų rezultatai 47
4.1.4. Eksperimentinių ir teorinių rezultatų sugretinimas 53
4.1.5. Statinių bandymų išvados 55
4.2. Dinaminiai bandymai 56
4.2.1. Žadinamoji apkrova 56
4.2.2. Matavimo įrangos išdėstymas 56
4.2.3. Perdangos laisvieji ir priverstiniai virpesiai 58
4.2.4. Dinaminiai poslinkiai ir dinamiškumo koeficientai 64
4.2.5. Eksperimentinių ir teorinių rezultatų sugretinimas 69
4.2.6. Dinaminių bandymų išvados 73

5. TILTO KONSTRUKCIJŲ ATITIKIMO NORMATYVINIŲ DOKUMENTŲ REIKALAVIMAMS VERTINIMAS 75
5.1. Laikomosios galios normaliniame ir įstrižajame pjūviuose skaičiavimai 75
5.2. Eksploatacinių parametrų įvertinimas 79
5.3. Vertinimo išvados 79
6. TILTO TECHNINĖS BŪKLĖS ĮVERTINIMO APIBENDRINANČIOS IŠVADOS IR REKOMENDACIJOS BŪKLEI PAGERINTI 81
LITERATŪRA 87
Priedas 1. Tyrimų techninė užduotis ir Lietuvos geležinkelio keliuose eksploatuojamų riedmenų duomenys 88
Priedas 2. Tilto kortelė 99
Priedas 3. Viaduko brėžiniai 101
Priedas 4. Tilto geležinkelio kelyje Vilnius–Stasylos 35+970 km defektų ir pažaidų žiniaraštis ... 105
Priedas 5. Tilto geležinkelio kelyje Vilnius–Stasylos 35+970 km remonto/ rekonstrukcijos projektavimo techninės sąlygos 106

ĮVADAS

Darbas atliktas pagal Vilniaus Gedimino technikos universiteto Statybos fakulteto Taikomosios statinių, konstrukcijų ir medžiagų laboratorijos ir AB „Lietuvos geležinkeliai“ 2020 m. gegužės mėn. 7 d. sutartį Nr. SUT(LG)-200 (VGTU Nr. 20818), kuri pagal 2020 m. gegužės mėn. 8 d. trišalį susitarimą Nr. SUTP(LG)-628 perduota AB „Lietuvos geležinkelių infrastruktūra“ (sutarties Nr. SUT(LGI)-592). Darbe atlikti geležinkelio kelyje *Vilnius–Stasylos 35+970 km esančio gelžbetoninio tilto* techninės būklės ir kategorijos pagal kėlą nustatymo tyrimai. Ataskaitoje pateikiami tilto laikančiųjų konstrukcijų ir elementų techninės būklės vertinimas. Tyrimų metu atlikti patikrinamieji statiniai ir dinaminiai bandymai, laikančiųjų konstrukcijų analizė bei patikrintas jų atitikimas esminiams statinio reikalavimams. Tilto tyrimai atlikti penkiais etapais.

Pirmajame etape statinys apžiūrėtas vizualiai (pirminė apžiūra), nustatyta bendra jo techninė būklė, atlikti instrumentiniai konstrukcinių elementų matavimai, sudarytos konstrukcijų ir elementų schemos, jų sutartiniai žymėjimai bei parengta detali techninės būklės vertinimo programa.

Antrajame etape detaliai apžiūrėtos ir tyrinėtos tilto laikančiosios konstrukcijos ir jų atskiri elementai bei mazgai, atlikti reikalingi matavimai. Nustatytos statinių konstrukcijų ir elementų pažaidos ir defektai, analizuotos jų atsiradimo priežastys.

Trečiajame etape atlikti statiniai ir dinaminiai tilto perdangos patikrinamieji bandymai, siekiant nustatyti tilto laikančiųjų konstrukcijų ir jų elementų tikrąją elgseną. Gauti duomenys panaudoti kalibruojant tolimesniuose etapuose sukurtus skaitinius tilto konstrukcijų baigtinių elementų modelius.

Ketvirtajame etape sudarytas skaitinis tilto konstrukcijų baigtinių elementų modelis, kuris vėliau pritaikytas laikančiųjų konstrukcijų laikomosios galios ir standumo įvertinimui, taikant LST EN 1991-2:2004 normose reglamentuojamus geležinkelio tiltų apkrovų modelius. Šiame etape papildomai įvertinta statinio perdangos laikomoji galia Lietuvos geležinkelio keliuose eksploatuojamų riedmenų bei tilto statybos metu Lietuvoje galiojusių tiltų konstrukcijų projektavimo normų СНиП 2.05.03-84 apkrovų modelių poveikiui. Skaičiavimuose įvertinti ankstesniuose etapuose gauti rezultatai ir nustatytos pažaidos.

Penktajame etape analizuoti gauti duomenys, atlikti reikalingi skaičiavimai, palygintas gautų parametrų atitikimas teoriniams skaičiavimams, įvertintas tilto perdangos atitikimas STR 2.05.05:2005, LST EN 1991-2 ir LST EN 1990 reglamentuojamiems ribinių būvių reikalavimams, pateiktos išvados ir rekomendacijos dėl tilto techninės būklės ir tolimesnės eksploatacijos. Tyrimai atlikti 2020 m. gegužės mėn. – 2021 m. gegužės mėn. vadovaujantis užsakovo pateikta technine užduotimi (žr. 1 priedą).

Atliekant statinio tyrimus ir vertinant jo būklę, labai svarbi pradinė informacija, kuri gaunama vykdant detaliąją statinio apžiūrą ir konstrukcijų būklės vertinimą. Šio tilto laikančiųjų konstrukcijų projektinė dokumentacija nėra išlikusi, o tai ženkliai apsunkina statinių tyrimus. Perdangų ir atramų gelžbetoninių elementų tikslių armavimo schemų nustatyti neardančiuoju būdu nėra galimybės. Atliekant tyrimus vadovautasi Vilnius TECH specialistų ilgamete patirtimi bei panašių statinių projektiniais duomenimis. Tilto būklės vertinimui sudaryta individuali statinių apžiūros bei analizės programa. Tyrimai atlikti remiantis *STR 1.03.01:2016 „Statybiniai tyrimai. Statinio avarija“* ir *STR 1.04.04:2017* „*Statinio projektavimas, projekto ekspertizė*“. Statiniams ir dinaminiams bandymams adaptuotos taisyklės *ST 188710638.10:2005 „Automobilių kelių tiltų bandymai“.*

Ataskaitoje pateikti pagrindiniai tilto duomenys, detaliosios apžiūros ir patikrinamųjų bandymų rezultatai, tilto perdangų laikomosios galios bei eksploatacinio ribinių būvių reikalavimų įvertinimas, veikiant LST EN geležinkelio apkrovų modeliams, sudarytos išvados ir rekomendacijos dėl tolimesnės eksploatacijos bei intervencinių priemonių.

1. BENDRI DUOMENYS APIE TILTĄ. TYRIMŲ METODIKA

1.1. Tilto istorija. Bendri duomenys apie tiltą

Nagrinėjamas statinys yra tarptautinio ruožo Vilniaus–Stasylos–Lyda–Baranovičiai–Lvovas dalis. Linija nutiesta 1884 m. ir vadinosi Polesės geležinkeliu (kartais Pagirio), kuris Vilniaus geležinkelio stotyje kirtosi su istoriniu Sankt Peterburgo–Varšuvos geležinkeliu. Šiuo metu statinys priklauso geležinkelio ruožui Vilnius–Stasylos ir yra 35+970 km ir kerta Višinčios upę. Nagrinėjamame ruože vyksta pakankami intensyvus krovinių traukinių eismas. Keleivinių traukinių eismas šiuo metu nevykdomas. Ant tilto įrengta viena 1520 mm pločio geležinkelio vėžė. Šiuo metu leidžiamas krovininių traukinių greitis tiltu – 80 km/h.

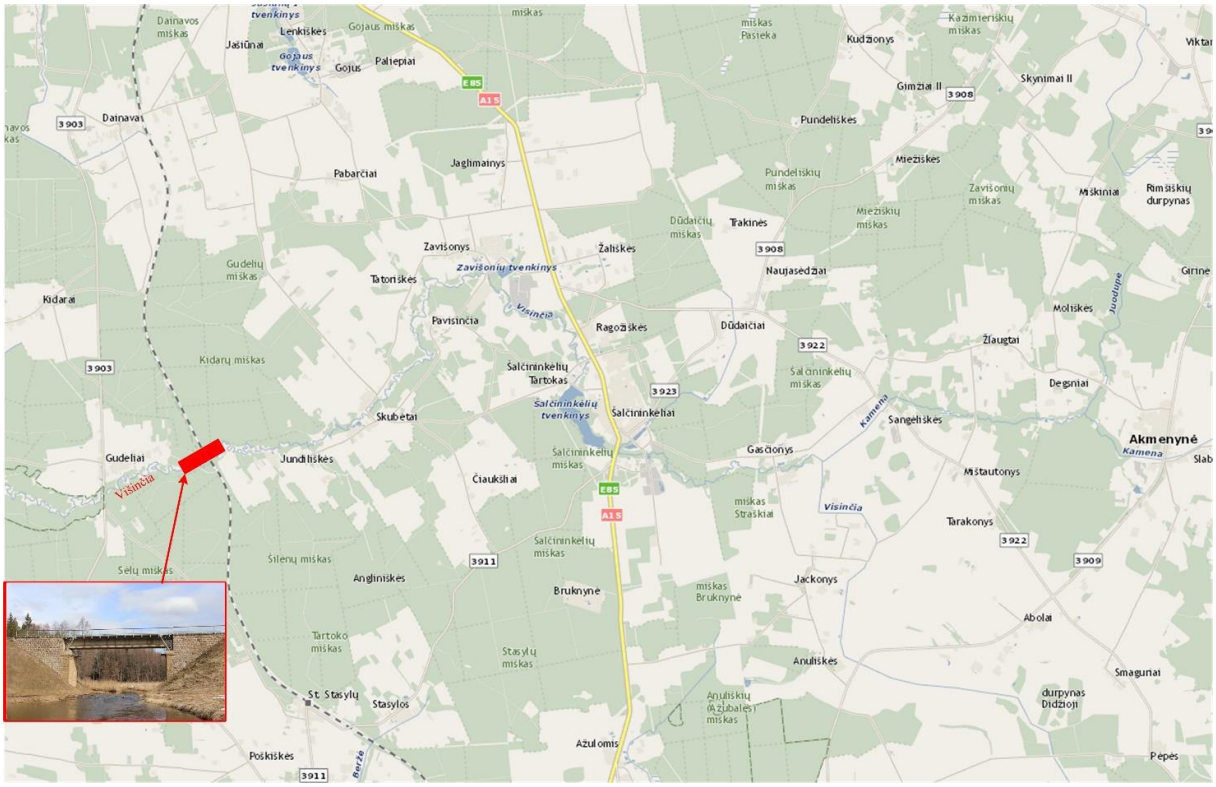
Tikslūs tilto statybos metai nėra žinomi. Detali tilto projektinė informacija nėra išlikusi. AB „Lietuvos geležinkeliai“ pateiktoje tilto kortelėje (žr. 2 priedas) nurodyta [1], kad akmens mūro tilto atramos pastatytos 1884 m. Tai sutampa su Polesės geležinkelio linijos statybos darbų pabaiga. Dabartinė įtemptojo gelžbetonio sijinė perdanga įrengta 1993 m. vietoje iki tol eksploatuotos plieninės perdangos. Šio tilto rekonstrukcijos laikotarpis sutampa su kito statinio šiame ruože (Vilnius-Stasylos 1+970 km) statybos metais. Pastarojo statinio panašius tyrimus VilniusTECH ekspertų grupė atliko 2020 m. [2]. Tilto statybos rangovas ir rekonstrukcijos projekto rengėjas nėra žinomas. Atsižvelgiant į tilto rekonstrukcijos metus, įtemptojo gelžbetonio perdangos konstrukcijos suprojektuotos pagal СНиП 2.05.03-84 projektavimo normas [3] C14 apkrovai. Tilto vieta Lietuvos geležinkelio linijų schemoje pateikta 1.1 pav., o vietovės plane – 1.2 pav. Pagrindinės tilto konstrukcijos ir elementai bei pagrindiniai rodikliai apibendrinti 2 skyriuje.

1.2. Tilto techninės būklės apžiūra ir metodika. Taikyti prietaisai

Tyrimų metu atlikti instrumentiniai tilto konstrukcijų ir jų elementų matavimai, detalioji apžiūra bei patikrinamieji statiniai ir dinaminiai bandymai. Statinio perdangų, atramų bei kitų elementų (pakloto, atraminių guolių ir kt.) būklė buvo vertinta vizualiai bei atliekant pažaidų lygio matavimus. Apžiūrų metu nustatyti šie tilto parametrai: svarbiausieji geometriniai matmenys (perdangos aukštis, plotis, ilgis, atramų aukštis ir ilgis, skaldos balasto storis ir t. t.), perdangų betono gniuždomasis stipris. Geometriniai tilto matmenys nustatyti naudojant ruletę ir lazerinį matuoklį. Perdangų deformuota schema atlikta geodeziniais matavimaiss, kurie detaliau aptarti šiame poskyryje Kai kurie geometrinių parametrų matmenys nustatyti iš turimų tipinių sprendimų. Gauti matavimų rezultatai panaudoti sudarant tilto brėžinius bei kuriant tilto skaitinius modelius, kurie vėliau panaudoti vertinant tilto laikomosios galios ir eksploatacinių parametrų atitikimą Lietuvoje galiojančių normatyvinių dokumentų reikalavimams. Tilto konstrukcijos apžiūrėtos vizualiai naudojantis ant kraštinių atramų įrengtomis apžiūros aikštelėmis. Sunkiai prieinamos vietos apžiūrėtos naudojant optines priemones.



1.1 pav. Tilto vieta Lietuvos geležinkelio linijų schemoje



1.2 pav. Tilto vieta vietovės plane

Tilto perdangos ir atramų (monolitinių rygelių) betono gniuždomasi stiprumas nustatytas neardančiuoju metodu, taikant Schmidt plaktuką (1.3 pav.). Kiekvienoje perdangos sijoje ir atramoje buvo atliekama nemažiau kaip po 20 matavimų. Atšokimo duomenų imtis vėliau apdorota statistiškai, įvertinus rezultatų sklaidą, prietaiso paklaidą bei rezultatų patikimumą. Prieš kiekvieną matavimą, prietaisas buvo kalibruotas panaudojant etaloninį kalibravimo priekalą. Reikia pažymėti, kad neardantys betono stiprio nustatymo metodai yra labai apytiksliai, kadangi atšokimo rezultatus gali lemti daug veiksnių. Tačiau šiuose tyrimuose vadovautasi tik neardančiaisiais metodais gautais rezultatais, kadangi vizualinės apžiūros metu perdangos sijose betono esminių struktūrinių defektų nepastebėta. Kadangi tilto konstrukcijoms panaudoti tipiniai elementai, betono klasė gali būti priimta ir pagal tipinių projektų duomenis. Ardantieji metodai visuomet reikalauja tam tikro dydžio bandinių išgręžimo. Šiam statinių pastarosios intervencinės priemonės nėra reikalingos. Būtina pabrėžti, kad skirtinguose ruožuose išmatuotos atšokimo reikšmės apytikriai sutapo. Tai rodo, kad betono mechaninių sklaida skirtingose perdangos sijose ir atramose yra panaši. Betono gniuždomojo stiprio tyrimų rezultatai detaliau aprašyti 3.7 poskyryje. Išorinių mechaninių poveikių sukeltų plyšių tilto laikančiose gelžbetoninės konstrukcijose nepastebėta.



1.3 pav. Betono stiprio nustatymas neardančiuoju būdu

Perdangos profilio identifikavimui atlikti geodeziniai matavimai. Niveliavimas atliktas pagrindinių sijų apatinių lentynų lygyje siekiant nustatyti pagrindinių sijų įlinkius/išlinkius neveikiant laikinos apkrovos poveikiui. Matavimai atlikti sąlyginėje koordinačių ir aukščių sistemose Sokkia nivelyru ir ištraukiama geodezine matuokle, matavimų paklaida ±2 mm.

Detaliųjų apžiūrų metu nustatyti šių tilto elementų defektai ir pažaidos:

pakloto elementų

a) geležinkelio kelio (bėgių, pabėgių, mazgų, jungiamųjų elementų (varžtų)), šalitilčių pakloto plieninių ir gelžbetoniniai elementų, atitvarinių šalitilčių elementų mechaninės pažaidos, deformacijos (įlinkiai, sėdimai, posūkiai); b) geležinkelio kelio padėtis tilto ašies atžvilgiu; c) kiti defektai ir pažaidos;

perdangų, atramų, atraminių guolių, apžiūros aikštelių, kūgių ir laiptų

a) hidroizoliacijos būklė (pratakos, baltos dėmės, stalaktitai ir t. t.); b) normaliniai, įstrižieji ir kt. plyšiai; c) apsauginio sluoksnio defektai, nuoskylos; d) armatūros korozija; e) betono kokybė (blogas sutankinimas, sudūlėję paviršiai ir t. t.); f) elementų deformacijos (įlinkiai, sėdimai, posūkiai); g) elementų mechaninės pažaidos; h) plieninių elementų korozija; i) plieninių elementų mazgų ir jungiamųjų elementų (varžtų) būklė; j) lietaus nuvedimo sistemos būklė ir funkcionalumas; k) kiti defektai ir pažaidos.

Po instrumentinių matavimų ir detaliųjų apžiūrų atlikti tilto patikrinamieji statiniai ir dinaminiai bandymai. Tiltų bandymas yra vienas iš tiesioginių būdų statinio būklei vertinti. Tyrimų metu gauta svarbi papildoma informacija tilto teorinių kompiuterinių modelių kalibravimui. Tiltų bandymai yra patikimas būdas tilto techninei būklei vertinti, nes bandymo rezultatai parodo tikrąją statinio elgseną, veikiant statinei ar dinaminei apkrovai. Bandymais įvertinami faktoriai, į kuriuos nei projektuojant, nei statant tiltą neįmanoma atsižvelgti (bėgių kelio ir balasto įtaka perdangos elgsenai, nedideli įrąžų ekscentricitetai, atraminių guolių elementų glemžimas, sandūrų ir jungčių pasiduodamumas, erdvinis elementų darbas ir pan.). Kita vertus, bandymų metu eksperimentiškai nustatytos pagrindinės tilto eksploatacinės charakteristikos bei patikrintas jų atitikimas LST EN standartų [4, 5] reikalavimams.

Tyrimų grupės duomenimis šiam tiltui natūriniai badymai atlikti pirmą kartą. Bandymų metu buvo sprendžiami šie uždaviniai:

a) sudaryta individuali tilto bandymų programa;

b) organizuoti tilto statiniai ir dinaminiai bandymai;

c) nustatytos svarbiausios tilto eksploatacinės charakteristikos veikiant statiniai ir dinaminei eksploatacinei apkrovai;

d) įvertinta tilto perdangų laikysena pagal bandymo rezultatus;

e) pateiktos išvados ir rekomendacijos dėl tilto eksploatacinių parametrų bei jų atitikimo standartų LST EN [4, 5] reikalavimams.

Statiniai bandymai atlikti 2021 m. kovo mėn. 26 d., o dinaminiai bandymai – 2021 m. kovo mėn. Kadangi Lietuvoje iki šiol nėra geležinkelio tiltų bandymus reglamentuojančių norminių dokumentų, šiam tiltui specialiai sudarytą individuali bandymų programa. Tilto bandymams adaptuotos taisyklės ST 188710638.10:2005 [6].

Statinių ir dinaminių poveikių efektų išaiškinimui bandymo metu tiltas apkrautas šilumvežio TEM TMH, kurio suminė apkrova ~126 t, o ašies apkrova 21 t. Statinio bandymo metu šilumvežis ant tilto perdangos pastatytas maksimalioms įrąžoms (lenkimo momentams) ir/arba įlinkiams perdangų charakteringuose pjūviuose gauti.

Dinaminių poveikių efektų išaiškinimui bandymo metu tilto elementai sužadinti šilumvežio apkrova, skirtingomis atsitiktinėmis eksploatacinėmis apkrovomis, pravažiavusiomis tiltu. Dinaminių poveikių sukeltų efektų analizei tilto konstrukcijos papildomai išbandytos smūgine apkrova, kuri sukelta žmogui šokant ant geležinkelio kelio konstrukcijos virš tilto skirtingose padėtyse skersine tilto linkme. Pastarieji tyrimai padėjo eksperimentiškai identifikuoti tilto perdangos savųjų svyravimų formas bei jų parametrus – dažnius, svyravimo slopimo koeficientus.

Statinio bandymo metu poslinkiai matuoti perdangos sijų atraminiuose pjūviuose, ketvirčiuose ir viduriniuose pjūviuose (iš viso 10 taškų po 5 kiekvienai sijai). Poslinkiams matuoti panaudoti 0,001 mm tikslumo, 25 mm eigos skaitmeniniai įlinkiomačiai. Skaitmeninių įlinkiomačių signalas perduodamas į imtuvą, kuris jį apdoroja (1.4 pav.). Apdoroti duomenys perduodami kompiuteriui, kuriame vaizduojami matuojamos konstrukcijos poslinkiai.

Poslinkiai matuoti visuose perdangos apkrovimo etapuose nuo šilumvežio užvažiavimo ant tilto iki pilno nuvažiavimo. Kiekvienoje apkrovimo padėtyje matuotos trys perdangos poslinkių reikšmės: a) poslinkiai iš karto po perdangos apkrovimo; b) poslinkiai, išlaikius apkrovą ant perdangos; c) poslinkiai, nukrovus perdangą. Tokie matavimai leido nustatyti ne tik tampriuosius poslinkius, bet ir poslinkius atsiradusius apkrovą išlaikant ant tilto. Nukrovus perdangą nustatyti liekamieji įlinkiai. Statinio bandymo metu taip pat stebėta bendra tilto laikysena.

Dinaminiams matavimams naudota Brüel & Kjær LAN XI dinaminių tyrimų sistema (1.5 a pav.). Pagreičiams ir dinaminiams poslinkiams matuoti naudoti pjezokeraminiai žemo dažnio seismininiai keitikliai. Matavimo metu gauti signalai apdoroti taikant Brüel & Kjær programinę įrangą. Triukšmų pašalinimui naudotas signalų filtravimas, laikantis šaltinyje [4] pateiktų rekomendacijų, pagal kuriuos būtina atsižvelgti į dažnius iki didesniojo iš: a) 30 Hz, b) nagrinėjamojo elemento pagrindinės virpesių formos dažnio, padauginto iš 1,5; c) elemento trečiosios virpesių formos dažnio. Sąstatų važiavimo metu taip pat stebėta perdangos ir atraminių guolių laikysena.

Detali informacija apie įrangos išdėstymą, bandymų rezultatus ir jų sugretinimas su normatyvinių dokumentų reikalavimais pateiktas 4 ir 5 skyriuose.



1.4 pav. Statiniams įlinkiams matuoti naudoti skaitmeniniai įlinkiomačiai (viršuje) ir jų sąsaja su kompiuteriu (apačioje)



1.5 pav. Brüel & Kjær dinaminių svyravimų matavimo sistema (kairėje) ir pjezokeraminiai žemo dažnio keitikliai vertikaliems ir horizontaliems svyravimams matuoti (dešinėje)

1.3. Tilto konstrukcijų modeliavimas

Atlikus tilto konstrukcijų detaliąją apžiūrą, atliktas tilto konstrukcijų skaitinis modeliavimas. Statinių ir dinaminių parametrų identifikavimui sukurtas trimatis baigtinių elementų modelis, taikant SolidWorks kompiuterinį paketą. Vertinant konstrukcijų elgseną labai svarbu tiksliai įvertinti konstrukcijų nuosavą svorį bei standumą. Tilto masė nustatyta pagal tipinių projektų duomenis. Tuo kelio elementų įtaka perdangos globaliam standumui priimtas koreguojant balasto ir kelio konstrukcijos tamprumo modulį. Būtina pažymėti, kad tokiu būdu integruotai įvertinta perdangos ir kelio elementų (balasto, bėgių, turėklų ir kt.) sąveikos, pažaidų ir kt. parametrų įtaka perdangos deformacijoms.

Žinant perdangos masę bei dažnį galima nustatyti perdangos integruotą standumą, atitinkantį statinių ir dinaminių tyrimų rezultatus. Tokiu būdu sukalibruoti modeliai buvo taikyti eksploatacinių parametrų (įlinkių ir svyravimų) tyrimui. Baigtinių elementų modeliai bei modeliavimo rezultatai apibendrinti 4 ir 5 skyriuose.

Perdangos sijų įrąžos apskaičiuotos klasikiniais medžiagų mechanikos principais, taikant 1.4 poskyryje aprašytus analizėje taikytus apkrovų modelius.

1.4. Analizėje taikyti apkrovų modeliai

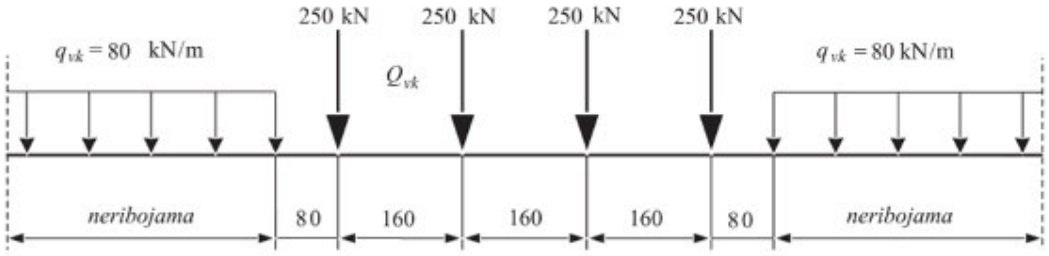
Šiame darbe nagrinėtas LST EN [4] normose reglamentuojamų apkrovų modelių poveikis nagrinėjam statiniu. Žemiau pateikiama trumpa informacija apie skaičiavimuose taikytas apkrovas.

Nuolatinė apkrova

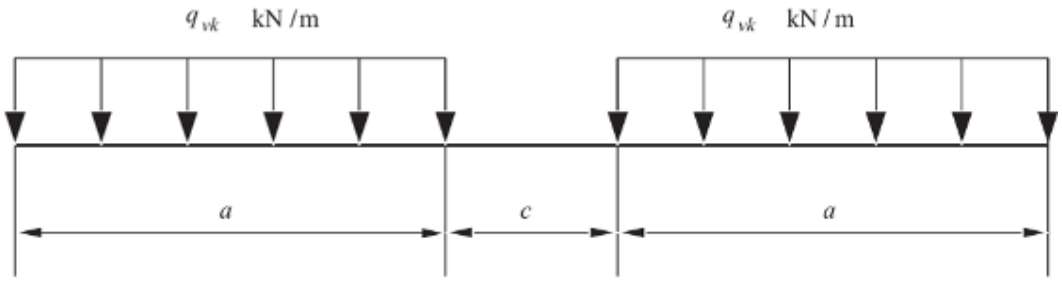
Perdangos konstrukcijų nuosavojo svorio, kelio pakloto ir apžiūros takų apkrova priimta pagal tipinių sprendimų duomenis. Skaičiavimuose priimtas nuolatinės apkrovos patikimumo koeficientas γ_f=1,35.

Laikinoji apkrova

Skaičiavimuose, taikant LST-EN [4] apkrovų modelius, įvertinti LM71 ir SW/2 modeliai. LM71 modelio apkrovų išdėstymas ir jų charakteristinės reikšmės pateiktos 1.6 pav. Šios reikšmės turi būti padaugintos iš koeficiento α, nusakančio eismo intensyvumo nukrypimą nuo normalaus ir nurodomo nacionalinio taikymo dokumente. Lietuvoje galiojančiame dokumente [4] reglamentuojama reikšmė α=1,0. SW/2 reprezentuoja sunkiąsias apkrovas. SW/2 modelio schema pateikta 1.7 pav., o parametrų reikšmės q_{vk}=150 kN/m, a=25 m, c=7 m. LM71 ir SW/2 modeliai išdėstomi ant tilto nepalankiausioje skaičiuojamajai įrąžai padėtyje.



1.6 pav. Geležinkelio apkrovų modelis LM71



1.7 pav. Geležinkelio apkrovų modelis SW/2

Taikant LM71 modelį, būtina įvertinti galimą vertikaliųjų apkrovų ekscentricitetą, tariant, kad apkrova į skirtingus bėgius gali skirtis 1,25. Skaičiavimuose įvertintas dinaminis apkrovos koefcientas (LM71 apkrovai) apskaičiuotas pagal tokią išraišką:

$$\Phi_3 = \frac{2{,}16}{\sqrt{L_\Phi} - 0{,}2} + 0{,}73, \qquad 1 \le \Phi_3 \le 2 \tag{1.1}$$

kur L_Φ – apkrovimo zonos ilgis.

Skaičiavimuose priimti tokie skaičiuojamieji ilgiai, dinaminiai koeficientai ir ekscentricitetai [4] L_Φ=18,0 m, Φ_3=1,264, e=0,089. Analizėje priimti tokie apkrovos patikimumo koeficientai: LM71 modeliui – γ_f=1,45, SW/2 modeliui – γ_f=1,20.

Skaičiuojant perdangos sijų įrąžas įvertintas SNiP [3] normose reglamentuotas C14 apkrovos modelis. Šis modelis taikytas projektuojant tiltą. Modelio apkrovos parametrai vienai perdangos sijai: *skaičiuojant lenkimo momentus* – q_{C14}=93 kN/m, 1+μ=1,263, γ_f=1,246; *skaičiuojant skersines jėgas* – q_{C14}=106,35 kN/m, 1+μ=1,263, γ_f=1,246. Dinaminis koeficientas apskaičiuotas pagal tokią išraišką:

$$1 + \mu = \frac{10}{20 + L} \ge 1{,}15 \tag{1.2}$$

kur L – apkrovimos zonos ilgis, priimtas lygus skaičiuojamajam sijos ilgiui L_0=18,0 m.

Darbo užsakovas papildomai pateikė Lietuvos geležinkelio linijose naudojamų geležinkelio riedmenų parametrus. Darbe patikrintas šių riedmenų poveikis tilto perdangoms, taikant LST EN 1991-2 normose [4] pateiktas realių traukinių poveikių įvertinimo tiltų perdangoms

nuostatas. Realaus traukinio sukelti dinaminių poveikių efektai turi būti mažesni už LM71 modelio sukeltus efektus:

$$(1+\varphi)S_{real\ train} \leq \Phi_3 S_{LM71} \quad (1.3)$$

kur (1+φ) – realaus traukinio dinaminis koeficientas; $S_{real\ train}$ – realaus traukinio sukelto poveikio efektas (lenkimo momentas, skersinė jėga ir pan.); Φ_3 – LST EN standarte [4] reglamentuojamų apkrovos modelių dinaminis koeficientas, apskaičiuojamas pagal (1.1) išraišką; S_{LM71} – LM71 apkrovos modelio sukeliami poveikių efektai.

1.5. Tilto laikomosios galios įvertinimo metodika

Naudojamo tilto keliamoji galia nustatyta trimis etapais:

I etapas. Analizuojamas projektas ir kita tilto dokumentacija (apžiūrų, tyrimų, bandymų), tiltas apžiūrimas, surandami ir apmatuojami visi defektai ir pažaidos, patikslinami geometriniai matmenys, medžiagų savybės.

II etapas. Naudojantis surinkta informacija apie tilto ir jo elementų techninę būklę, patikrinama tilto sauga pagal normatyvus, kurie galiojo projektuojant ar statant tiltą.

III etapas. Tikrinamas tilto saugos atitikimas dabartiniams galiojantiems standartų reikalavimams.

Eksploatuojamų tiltų elementų keliamosios ir laikomosios galių patikra atliekama dalinių koeficientų metodu saugos ribiniam būviui, taikomais projektuojant naujas konstrukcijas.

Tilto elemento pavojingojo pjūvio atsparumas turi tenkinti sąlygą:

$$R_d \geq S_d, \quad (1.4)$$

čia R_d ir S_d – pjūvio atsparumo ir poveikių efekto skaičiuotinės reikšmės.

Sąlyga (1.4) įtempimų būviui *j*:

$$R_{dj} \geq S_{Gj} + S_{Qj} \quad , \quad (1.5)$$

čia S_{Gj} ir S_{Qj} – nuolatinės ir laikinosios (geležinkelio eismo) apkrovos efektai.

Elemento saugos patikrai gali būti naudojami įverčiai:

stiprumo

$$k_{Rj} = \frac{R_{dj}}{S_{Gj}+S_{Qj}}, \quad (1.6)$$

keliamosios galios

$$k_{Qj} = \frac{R_{dj}-S_{Gj}}{S_{Qj}}, \quad (1.7)$$

leistinos laikinosios statinės apkrovos (kNm)

$$k_{Qk} = \frac{R_{dj}-S_{Gj}}{\varepsilon_j \gamma_Q (1+\mu) A_j}, \quad (1.8)$$

čia ε_j – laikinosios apkrovos pasiskirstymo tarp pagrindinių sijų įtempimų būviui j (M ar V) koeficientas (LST EN standarte [4] vertikalios apkrovos ekscentriškumas įvertinamas didinant vieno bėgio apkrovimą koeficientu 1÷1,25); γ_Q – laikinosios apkrovos dalinis patikimumo koeficientas; $1+\mu$ – laikinosios apkrovos dinamiškumo koeficientas; A_j – perdangos pavojingojo pjūvio apkrovos efekto j infliuentės plotas.

Leistinos dinaminės apkrovos didumas apskaičiuojamas pagal (1.8), dešinės lygties pusės vardiklyje nepriimant dinamiškumo koeficiento $1+\varphi$. Šis įvertis naudotas tik perdangos atitikimo pagal SNiP [3] apkrovos modelius vertinimui, nes buvos sukurtas būtent šios sistemos projektavimo normoms.

Turint leistiną laikinosios apkrovos intensyvumą k_{Qk}, apskaičiuotą pagal SNiP [3] metodiką ir naudojant tilto projektavimo metu galiojusias normatyvinių dokumentų rekomendacijas [7], palyginimui galima nustatyti tilto perdangos klasę apkrovai CK:

$$K = \frac{\Psi k_{Qk}}{k_n}, \tag{1.9}$$

čia Ψ – tiltų perdangų gelžbetoninių ir plieninių pagrindinių sijų klasifikacijos rezultatų suvienodinimo koeficientas [7]; k_n – etaloninės apkrovos intensyvumas [7].

Šiame darbe tyrinėto tilto karpytos perdangos tikrinamos lenkimui (didžiausiam lenkimo momentui M) ir kirpimui (didžiausiai skersinei jėgai V).

Perdangos saugos patikra pagal normas galiojusias tilto statybos metu. Naudojantis buvusios TSRS tiltų projektavimo normomis (SNiP 2.05.03–84 [4] toliau sąlygiškai vadinsime SNiP), kuriomis vadovaujantis suprojektuoti visi šiame darbe tyrinėjami tiltai, sąlyga (1.5) karpytos perdangos viduriniojo pjūvio skaičiuotinam lenkimo momentui užrašoma taip:

$$M_{d.\max} \geq \left[g_s n_g + g_b n_b + q_{ekv} \varepsilon_M n_q \left(1+\mu\right) \right] A_M \tag{1.10}$$

čia g_s, g_b ir q_{ekv} – perdangos, balasto ir laikinosios C14 apkrovų intensyvumas (kN/m); n_g, n_b ir n_q (γ_f) – perdangos, balasto ir laikinosios apkrovos perkrovimo (apkrovos patikimumo) koeficientai; A_M – karpytos perdangos viduriniojo pjūvio lenkimo momento infliuentės plotas; $1+\mu$ – laikinosios apkrovos dinamiškumo koeficientas. Normose priimamos tokios parametrų reikšmės:

Perdangos atraminio pjūvio skaičiuotina skersinė jėga:

$$V_{d.\max} \geq \left[g_s n_s + g_b n_b + q_{ekv} \varepsilon_V n_q \left(1+\mu\right) \right] A_V , \tag{1.11}$$

čia A_V – perdangos atraminio pjūvio skersinės jėgos infliuentės plotas.

Laikinosios apkrovos dalis tenkanti pavojingajai sijai (dviejų sijų surenkama perdanga) $\varepsilon_M = 0{,}5+(e_1+e_2)/2r$, čia r – vėžės plotis.

Tilto perdangų saugos patikra pagal STR 2.05.05:2005 [8]. Tilto perdangos viduriniojo pjūvio skaičiuotinas lenkimo momentas:

$$M_{d.\max} \geq \left(\Sigma G_j \gamma_G + q_{vk} \varepsilon_M \gamma_Q \Phi_3\right) A_M . \tag{1.12}$$

Tilto perdangos atraminio pjūvio skaičiuotina skersinė jėga:

$$V_{d.\max} \geq \left(\Sigma G_i \gamma_G + q_{vk} \varepsilon_V \gamma_Q \Phi_3\right) A_V , \tag{1.13}$$

čia G_i – nuolatinė apkrova i; q_{vk} – laikinoji apkrova; γ_G ir γ_Q – nuolatinės ir laikinosios apkrovų daliniai koeficientai.

Lenkiamųjų tėjinio ir dvitėjinio skerspjūvio elementų, gniuždomojoje zonoje turintys lentyną, kai $\xi_{\text{eff}} = \frac{x_{\text{eff}}}{d} \leq \xi_{\text{lim}}$, atlaikomasis lenkimo momentas M_{Rd} apskaičiuotas pagal STR 2.05.05:2005 [8] atsižvelgiant į neutraliosios ašies padėtį. Jeigu neutralioji ašis yra lentynoje, t. y. galioja nelygybė

$$f_{\text{yd}} A_{\text{s1}} \leq f_{\text{cd}} b_{\text{eff}} h_{\text{f}} + f_{\text{scd}} A_{\text{s2}} , \tag{1.14}$$

Tuomet elementą apskaičiuojame kaip b_{eff} pločio stačiakampio skerspjūvio elementai:

$$M_{\text{Ed}} \leq f_{\text{cd}} \cdot b_{eff} \cdot x_{\text{eff}} \left(d - 0{,}5 x_{\text{eff}}\right) + f_{\text{scd}} \cdot A_{\text{s2}} \left(d - a_2\right) , \tag{1.15}$$

Gniuždomosios zonos aukštis x_{eff} apskaičiuojamas taip:

$$f_{yd} A_{s1} - f_{scd} A_{s2} = f_{cd} \cdot b \cdot x_{eff} . \tag{1.16}$$

Jeigu neutralioji ašis yra sienelėje, t. y. negalioja (1.14) nelygybė, elementas apskaičiuojamas nagrinėjant sąlygą:

$$M_{\text{Ed}} \leq f_{\text{cd}} \cdot b_{\text{w}} \cdot x_{\text{eff}} \left(d - 0{,}5 x_{\text{eff}}\right) + f_{\text{cd}} \left(b_{\text{eff}} - b_{\text{w}}\right) h_{\text{f}} \left(d - 0{,}5 h_{\text{f}}\right) + f_{\text{scd}} A_{\text{s2}} \left(d - a_2\right) . \tag{1.17}$$

Gniuždomosios zonos aukštis apskaičiuojamas nagrinėjant lygtį

$$f_{\text{yd}} \cdot A_{\text{s1}} - f_{\text{scd}} A_{\text{s2}} = f_{\text{cd}} \cdot b_{\text{w}} \cdot x_{\text{eff}} + f_{\text{cd}} \left(b_{\text{eff}} - b_{\text{w}}\right) h_{\text{f}} . \tag{1.18}$$

Aukščiau pateiktose išraiškose gniuždomojo betono skaičiuotinis stipris apskaičiuojamas taip:

$$f_{\text{cd}} = \alpha \cdot \alpha_{\text{cc}} \cdot f_{\text{ck}} / \gamma_{\text{c}} , \tag{1.19}$$

kur koeficientai $\alpha = 0{,}9$ ir $\alpha_{cc}=1$, f_{ck} – charakteristinis betono gniuždomasis stipris; γ_c – medžiagos patikimumo koeficientas gelžbetoninėms konstrukcijoms priimamas – 1,5.

Elementų su skersine armatūra skaičiuotinis atsparumas skersinėms jėgoms skersinės armatūros, kertančios įstrižąjį pjūvį, atžvilgiu apskaičiuojamas pagal formulę:

$$V_{Rd,sy} = V_{Rd,c} + V_{Rd,sw} + V_{Rd,s,inc} \tag{1.20}$$

Skersinė jėga $V_{Rd,c}$, kurią atlaiko betonas, apskaičiuojamas pagal formulę

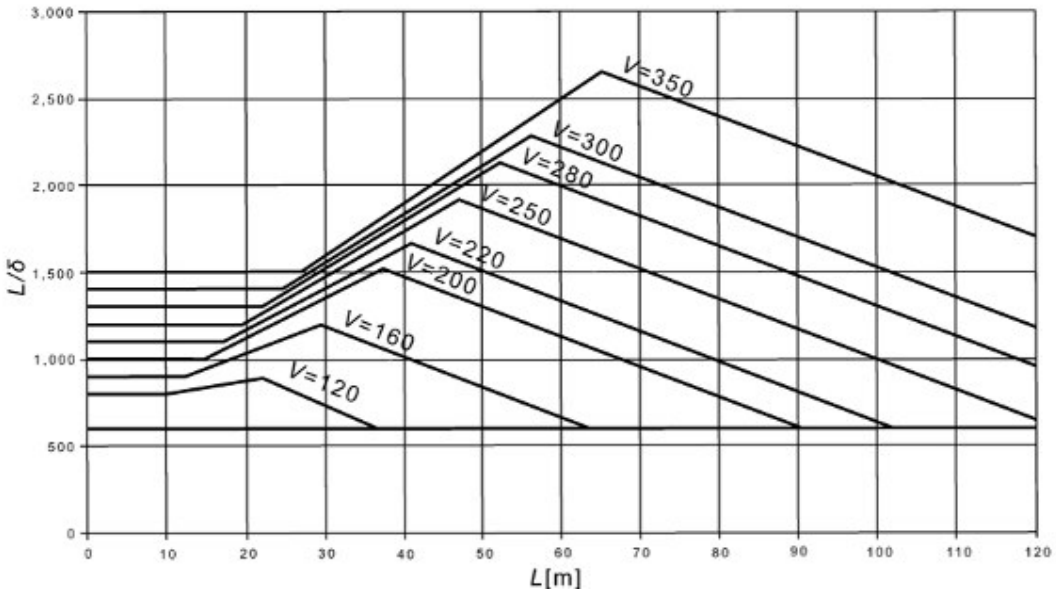
$$V_{\mathrm{Rd,c}} = \frac{\varphi_{\mathrm{c2}}(1+\varphi_{\mathrm{n}})f_{\mathrm{ctd}}bd^2}{c} \geq \varphi_{\mathrm{c3}}(1+\varphi_{\mathrm{n}})f_{\mathrm{ctd}}bd \tag{1.21}$$

Skersinės jėgos $V_{Rd,sw}$ ir $V_{Rd,s,inc}$ nustatomos pagal jėgas, veikiančias atitinkamai sankabose ir atlankose, kertančiose įstrižąjį pjūvį, kurio projekcija į elemento išilginę ašį yra c_0. Projekcijos c_0 į elemento išilginę ašį ilgis nustatomas iš $V_{\mathrm{Rd,sw}}$ išraiškos pagal (1.20) formulę minimumo, (1.21) formulėje vietoje c įrašius c_0. Gautoji c_0 reikšmė imama ne didesnė kaip $2d$ ir ne didesnė kaip c, taip pat ne mažesnė kaip d, jeigu $c > d$, kur d – naudingasis skerspjūvio aukštis perdangos atraminiame pjūvyje.

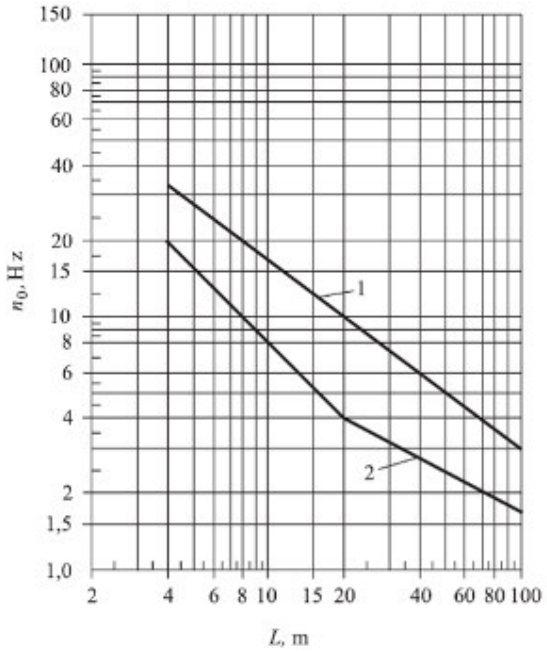
1.6. Tilto eksploatacinių parametrų patikra

Darbe atliktas perdangos įlinkių, savųjų vertikaliųjų ir horizontaliųjų svyravimų dažnių bei svyravimų slopimo koeficiento sugretinimas su LST EN normose [4, 5] reglamentuojamais reikalavimais geležinkelio tiltams. STR dokumentų sistemoje šie reikalavimai tiltams nereglamentuoti.

Standarte [4] reglamentuojamos santykinių įlinkių reikšmės pateikiamos 1.8 pav. Santykiniai įlinkiai ribojami keleivių komforto sumetimais. Darbe priimtas projektinis greitis iki 160 km/h. Vadovaujantis LST EN [4, 5] darbe priimta ribinio įlinkio reikšmė sudarė L/880=18000/880=20,5 mm.



1.8 pav. Santykinių įlinkių ribojimas geležinkelio tiltams



1.9 pav. Geležinkelio tiltų savųjų svyravimų pirmos formos dažnių viršutinė (1) ir apatinė (2) ribos

Lietuvos standartas [4] reglamentuoja tiltų perdangų viršutinę ir apatinę savųjų virpesių n_0 dažnių ribas (1.9 pav.), atsižvelgiant į perdangos tarpatramį L. Šios ribos apskaičiuojamos pagal tokias formules:

viršutinė riba $f_0 = 94{,}76L^{-0{,}748}$ (1.23)

apatinė riba $f_0 = 23{,}58L^{-0{,}592}$ (1.24)

Jei pirmasis savųjų virpesių dažnis patenka į nurodytas ribas, o traukinių greitis v < 200 km/h, tilto perdangų dinaminė analizė nebūtina, o dinaminis poveikis gali būti įvertintas, taikant dinaminį koeficientą (1.1 išraiška).

Standarte [5] reglamentuojama, kad horizontalių skersinių virpesių pirmosios formos dažnis turi būti nemažesnis kaip f_{h0}=1,2 Hz.

LST EN standartas [4] reglamentuoja kritinę (žemutinės ribos) virpesių slopimo reikšmę, kuri įprastojo ir įtemptojo gelžbetonio tiltams yra $\varsigma \geq 1$ %. Reikia pažymėti, kad ankstesni tyrimai parodė, kad Lietuvos standartas dažnai duoda konservatyvias (atsargias) virpesių slopumo parametrų reikšmes.

Tilto eksploatacinių parametrų atitikimas LST EN standartų [4, 5] reikalavimams pateikiamas 4 ir 5 skyriuose. Darbe aprašyti tilto tyrimai atlikti remiantis standartų STR 1.03.01:2016 [9] ir STR 1.04.04:2017 [10] reikalavimais.

2. TILTO TECHNINIAI RODIKLIAI IR SUTARTINIAI ŽYMENYS

Kadangi tilto laikančiųjų konstrukcijų brėžiniai neišlikę, prieš techninę apžiūrą buvo atlikti pagrindinių statinio konstrukcijų ir jų elementų geometriniai matavimai bei sudaryti preliminarūs architektūrinės dalies brėžiniai ir schemos. Dalis geometrinių duomenų paimta iš tipinių projektų. Kita dalis (trūkstami arba patikslinti duomenys) nustatyti atliktų tyrimų metu. Tilto bendri vaizdai pateikti 2.1 ir 2.2 pav., o brėžiniai (fasadas, planas ir pjūviai) 3 priede.

Tiltas pastatytas per Višinčios upę trapstotyje tarp Jašiūnų ir Stasylų geležinkelio stočių. Tilto konstrukcinę schemą sudaro vienas tarpatramis perdengtas įtemptojo gelžbetonio dviatramėmis dvitėjinio skerspjūvio sijomis. Tiltu nutiestas vienkelis 1520 mm pločio geležinkelis (2.2 pav.) ant gelžbetoninių pabėgių ir ~210 mm storio skaldos balasto sluoksnio bei du ~0,57 m pločio šalitilčiai su gelžbetoniniu paklotu kiekvienoje tilto pusėje. Tilto perdangos formulė – 1×18,0 m, o bendras perdangos ilgis (be ramtų) – 18,7 m. Perdangos plotis – 4,22 m, o bendras tilto plotis su šalitilčiais – 5,35 m. Tilto atramos masyvios iš natūralių skaldytų akmenų mūro su gelžbetoniniu rygeliu atramų viršutinėje dalyje. Pamatų konstrukcija nėra žinoma. Projektinė dokumentacija apie juos neišlikusi. Tilto apžiūroms ant tarpinių atramų įrengtos apžiūros aikštelės, o techninių darbuotojų saugai užtikrinti jose įrengi apsauginiai 1,1 m aukščio plieniniai atitvarai. Ant apžiūros aikštelių patenkama per šalitilčiuose įrengtus liūkus. Apžiūros įrenginiai po perdangomis nenumatyti. Išlikę tik prie perdangų sijų pritvirtinti perdangos apžiūros tako pakloto plieniniai laikikliai. Tilto kūgiai abiejuose statinio pusėse natūraliai apaugę žolia. Stasylų stoties pusėje įrengti tarnybiniai laiptai abjuose kelio pylimo šlaituose, tuo tarpu Jašiūnų stoties pusėje tik vienoje.



2.1 pav. Bendras tilto vaizdas



2.2 pav. Tilto vaizdas Stasylų st. kryptimi

Pagrindiniai tilto techniniai rodikliai:

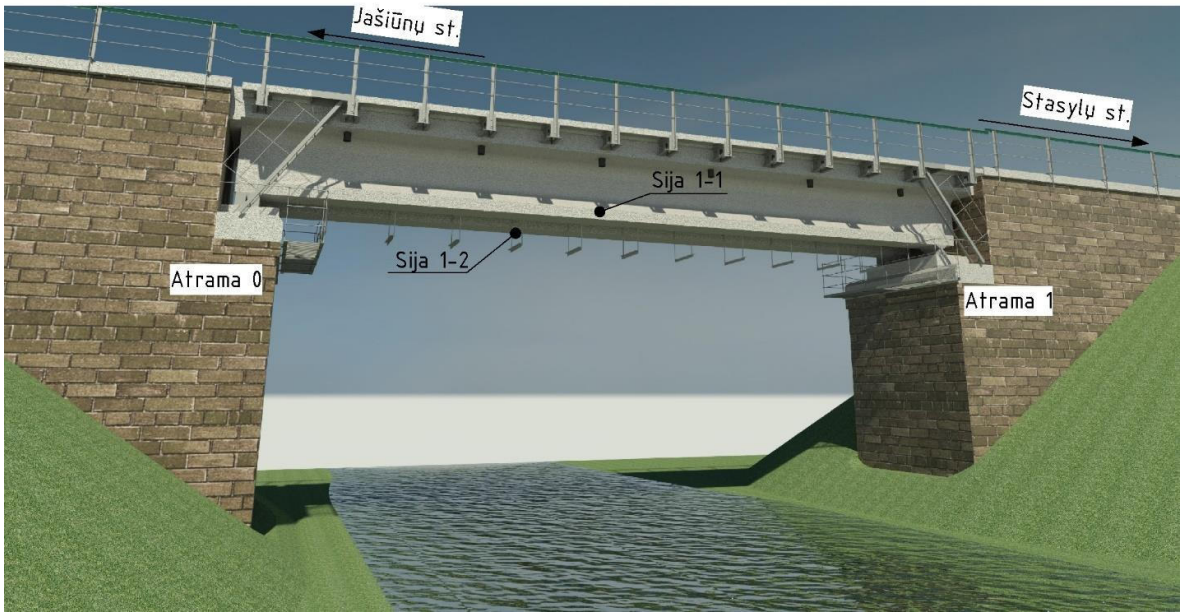
Statybos metai:	*1993 m.*
Projektavimo normos:	*CHuП 2.05.03-84*
Projektinė apkrova:	*CK14*
Priklausomybė kultūros paveldui:	*nepriklauso*
Tipas:	*įtemptojo gelžbetonio sijinis karpytas*
Ilgis (be ramtų):	*18,7 m*
Ilgis (su ramtais)	*36,62 m*
Perdangos sijų skaičiuotinis ilgis*:*	*18,0 m*
Perdangos formulė:	*1×18,0 m*
Perdangos plotis	*4,22 m*
Plotis su šalitilčiais:	*5,36 m*
Aukštis (nuo žemės paviršiaus iki bėgio galvutės):	~9,30 *m*
Atstumas tarp sijų ašių skersine kryptimi:	*1,84 m*
Sijų aukštis (nevertinant balastą laikančių gembių):	*1,58 m*
Sijų aukštis (įvertinus balastą laikančias gembes):	*1,93 m*
Atramų aukštis (iki atraminių guolių pagalvės):	~6,74 *m*

Važiuojamoji dalis: *vienkelis 1520 mm pločio iš bėgių UIC 60 padėtų ant gelžbetoninių pabėgių*

Šalitilčiai:	*plieniniai su gležbetoninių plokščių paklotu*
Turėklai:	*metaliniai h= 1,10 m*

Deformaciniai pjūviai:	*nėra*
Atraminiai guoliai:	*nepaslankūs išgaubti briaunuoti*
	paslankūs balansyriniai
Ramtai:	*natūralių akmenų mūro su gelžbetoniniais monolitiniais rygeliais*
Taurai:	*nėra*
Kūgiai:	*natūraliai apaugę žole*
Šlaitiniai laiptai:	*vieni ties atrama 0 ir dveji ties atrama 1*

Tilto elementų detalus žymėjimas pateiktas tilto brėžiniuose 3 priede. Tilto perdangos principinė schema ir pagrindiniai žymėjimai pateikti 2.3 pav. Atramos numeruojamos pradedant nuo kraštinės atramos (ramto) Jašiūnų st. krypties pusėje. Ši atrama žymima *atrama 0*. Atitinkamai, Stasylų st. krypties pusėje esantis ramtas žymimas *atrama 1*. Perdangos sijos žymimos *sija 1-1* ir *sija 1-2*. *Sija 1-1* yra Višinčios upės žemupio pusėje, tuo tarpu *sija 1-2* – aukštupio pusėje.



2.3 pav. Tilto perdangos sijų ir atramų žymėjimas

Tilto perdanga sukomponuota iš įtemptojo gelžbetonio surenkamųjų sijų pagamintų pagal tipinį projektą 3.501-91. Perdangos tarpatramyje skersiniame pjūvyje išdėstyta po 2 pagrindines sijas, kurios tarpusavyje sujungtos 240 mm vidutinio storio diafragmomis ties atramomis. Sijų bendras vaizdas pateiktas 2.4 pav., o pagrindiniai matmenys 3 priede. Atstumas tarp sijų ašių – 1,84 m. Sijų aukštis be balastą laikančių gembių – 1,58 m, o jas įvertinus svyruoja 1,93 m. Sijų sienučių plotis vidurinėje dalyje – 260 mm, kurios išplatėja iki 820 mm atraminėse dalyse. Pagal tipinių projektų duomenis sijoms panaudotas M400 markės (atitinka B30 klasę pagal SNiP 2.05.03-84 [3]) betonas, kurio f_{ck}=22 MPa, o E_{cm}=32,5 GPa. Perdangos sijos armuotos B-II klasės iš anksto įtemptosios

armatūros vielapluoščiais, kurie suformuoti iš 24∅5 mm skersmens vielų, kurių charakteristinė takumo sąlyginė riba yra f_{pk}=1335 MPa, o tamprumo modulis – E_p=196 GPa [3]. Tyrimuose priimtas tempiamosios iš anksto įtemptosios armatūros plotas sudarė A_p=65,8 cm^2 (14 vielapluoščių 24∅5 mm), redukuotas apsauginis sluoksnis $a_{p1,red}$=130 mm. Viršutinėje zonoje sija papildomai armuota 2 vielapluoščiais 24∅5 mm, kurių bendras plotas A_p=9,42 cm^2. Viršutinės armatūros gniuždomojoje zonoje apsauginio sluoksnio storis – $a_{p2,red}$=80 mm. Įstrižajame pjūvyje ruože ties atrama (sienutės storis 820 mm) skerspjūvis armuotas 4∅14 mm AII klasės skersinės armatūros strypais (A_s=6,16 cm^2), kurių žingsnis s=100 mm. Atraminėje zonoje, kurioje sienutė susiaurėja iki 260 mm armatūros kiekis sumažintas iki 2∅14 mm (A_s=3,08 cm^2). AII klasės armatūros rodikliai: f_{yk}=295 MPa, E_s=206 GPa [3]. Perdangos sijų viršutinėse konsolėse įrengtos ∅160 mm kiaurymės vandens nuvedimo šulinėliams. Viršutinės konsolės yra su nuolydžiu vandens nubėgimui bei gamyklose įrengtais išlyginamuoju, hidroizoliaciniu bei apsauginiu sluoksniais. Sijos tarpusavyje sujungtos diafragmomis jas sumonolitinant statybos aikštelėje, o tarpas tarp sijų perdengtas plieniniu lakštu. Prie perdangos sijų pritvirtinta iš plieninių strypų sudaryta konstrukcija tilto apžiūrai (2.4 pav. dešinėje). Tačiau apžiūros tako paklotas neįrengtas.



2.4 pav. Dvitėjinio skerspjūvio perdangos sijų bendras vaizdas

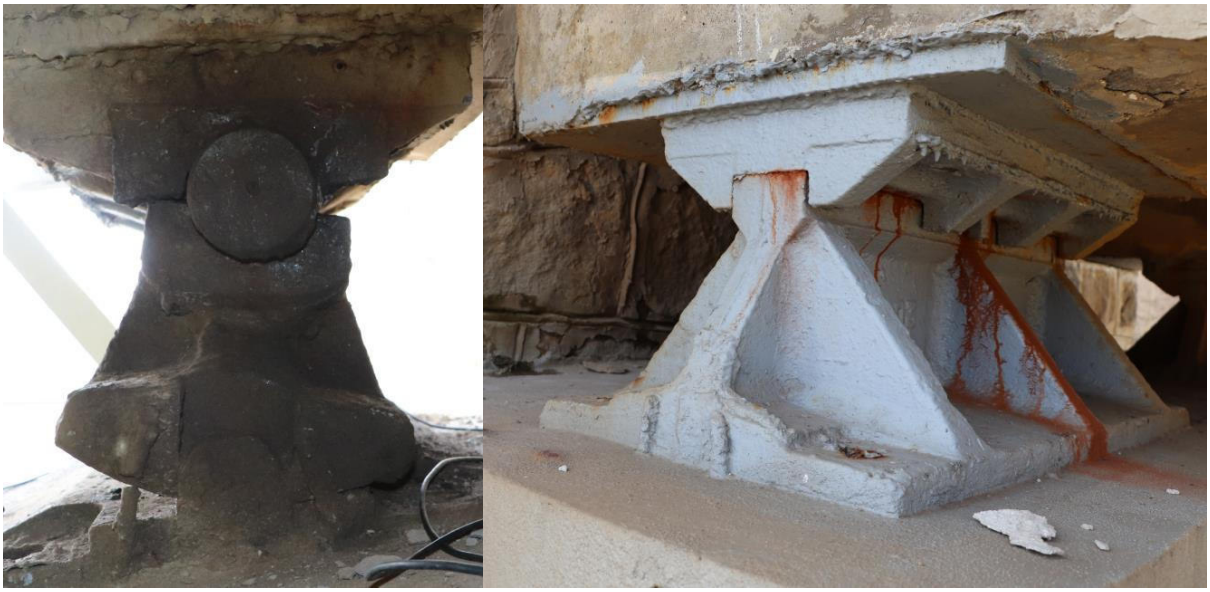
Ramtų konstrukcijos – natūralių akmenų mūras su gelžbetoniniu rygeliu. Raimtai sudaryti iš gelžbetoninės galvenos, priekinių atraminių sienų, atkalčių (galinių atraminių sienų) bei šoninių sparnų sulaikančių pylimo bei prietilčių gruntą (2.5 pav.). Ant galvenos įrengtos atraminės aikštelės atraminiams guoliams atremti. Galvena įrengta su skersiniu nuolydžiu vandens nutekėjimui. Ramtuose ties galvenomis įrengtos apžiūros aikštelės iš plieninių armatūros strypų. Ant aikštelių patenkama pro žemupio pusėje šalitilčiuose įrengtus liukus ir kopėčias. Prižiūrinčio personalo saugai užtikrinti aikštelės atitvertos 1,10 m plieniniais atitvarais. Istorinė informacija apie ramtų medžiagų charakteristikas neišlikusi. Tilto kortelėje pažymima, kad atramos įrengtos 1884 m. Tai sutampa su Polesės geležinkelio linijos statybos laikotarpiu. Tyrimų metu ramtų galvenų betono stipris nustatytas neardančiais metodais (žr. 3.7 poskyrį).



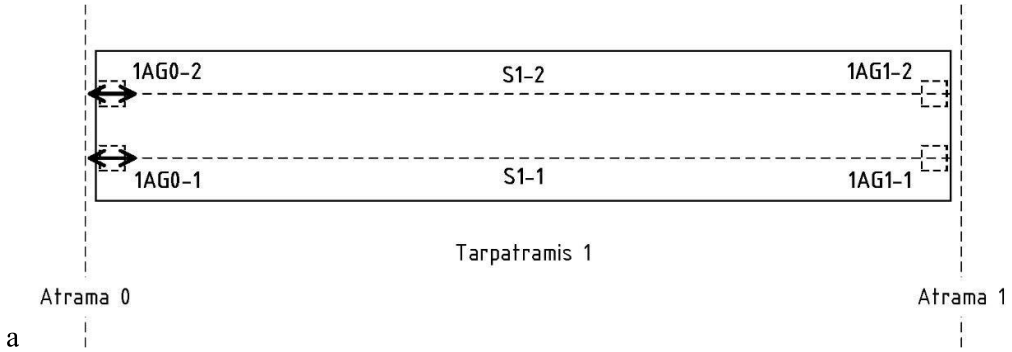
2.5 pav. Kraštinės atramos bendras vaizdas

Pamatų konstrukcija nėra žinoma. Informacija nepateikta ir tilto kortelėje.

Perdangos sijos į atramas remiasi per nepaslankius išgaubtuosius bei paslankius balansyrinius atraminius guolius. Guolių konstrukcija parinkta pagal tipinį projektą 3.501.1-129, o bendras vaizdas pateiktas 2.6 pav. Balansyriniai atraminiai guoliai nuo atmosferos poveikių papildomai apsaugoti plieniniais lakštais. Balansyrinį guolį sudaro dvi laisvai susiliečiančios plokštės. Apatinė plokštė – briaunuota su balansyru viršutinėje dalyje. Viršutinėje plokštėje įrengtas speciali įduba apatinės plokštės atrėmimui. Plokščių padėtis užfiksuota inkariniais varžtais. Plokščių vertikalių ir horizontalių elementų storiai yra apytikriai vienodi. Tyrimuose priimta atraminių guolių išdėstymo schema ir žymėjimas pateikti 2.7 pav.



2.6 pav. Tilto perdangoms atremti naudotų atraminių guolių tipai: paslankus balansyrinis (kairėje), nepaslankus išgaubtas briaunuotas (dešinėje)



a

2.7 pav. Atraminių guolių išdėstymo schema ir žymėjimas

Tilte deformaciniai pjūviai neįrengti. Deformacinių pjūvių vietose tarpai perdengti plieniniais lakštais.

Tilto paklotą sudaro 2,7 m ilgio įtemtojo gelžbetonio pabėgiai, ant kurių pritvirtinti UIC 60 markės plieniniai bėgiai. Atstumas tarp bėgių 1520 mm. Ant tilto geležinkelio vėžėje bėgių sandūros neįrengtos.

Šalia važiuojamosios dalies iš abiejų jos pusių įrengti šalitilčiai, kurių plotis ~0,57 m. Šalitilčio paklotas iš tipinių 545 mm pločio ir 140 mm aukščio 2T formos gelžbetoninių plokščių. Plokščių ilgis skirtingas. Ties atramomis šalitilčio plokščių ilgis 1,69 m (viso 4 vnt.), o likusioje dalyje 1,43 m (viso 20 vnt.). Bendras gelžbetoninių plokščių kiekis – 24 vnt. Šalitiltis įrengtas ant plieninių konsolių inkariniais varžtais pritvirtintų prie sijų šoninių paviršių. Šalitilčiuose įrengti plieniniai 1,10 m aukščio turėklai, kurie sukomponuoti iš plieninių kampuočių bei plieninių strypų. Saugos aikštelės aptarnaujančio personalo saugai traukinio judėjimo metu neįrengtos. Bendras tilto pakloto vaizdas matomas 2.2 pav.

Vanduo nuo tilto pašalinamas įrengus ∅160 mm skersmens vandens nuvedimo šulinėlius tilto išorinėse dalyse. Atmosferos vanduo nesurenkamas ir šulinėliais patenka į aplinką (2.8 pav.). Vidinėje perdangos dalyje tarp gretimų sijų lietaus nuvedimo sistema neįrengta (2.8 pav.).



2.8 pav. Lietaus vandens nuvedimas nuo tilto

Ties ramtais užlipimui/nulipimui ant/nuo kelio pylimo įrengti gelžbetoniniai laiptai (2.9 pav.). Prietilčio kūgiai papildomai nesutvirtinti, apaugę žole.



2.9 pav. Šlaitiniai laiptai (kairėje) ir kūgiai (dešinėje)

3. TILTO DETALIOJI APŽIŪRA IR JOS REZULTATAI

Atlikus tilto pirminę apžiūrą ir inžinerinius matavimus atlikta detali statinio konstrukcijų ir elementų apžiūra. Toliau šiame skyriuje apibendrinti tiriamo tilto detalios apžiūros rezultatai bei pateikiamos išvados dėl užfiksuotų defektų galimo poveikio statinio konstrukcijų saugai ir ilgaamžiškumui. Rezultatai pateikiami atskirai kiekvienai statinio konstrukcijai: paklotui, perdangos sijoms, atraminiams guoliams, atramoms ir kitiems su tiltu susijusiems elementams. Rekomendacijos dėl tilto elementų būklės pagerinimo apibendrintos 3.8 poskyryje.

3.1. Pakloto elementai

Nors paklotas nėra konstrukcinis elementas ir nekelia pavojaus konstrukcijų saugos požiūriu, tačiau jis svarbus elementas saugios eksploatacijos prasme. Tiltu nuolat važiuoja prekiniai traukiniai, o techniniais šalitilčiais vaikšto tiltą prižiūrintis, todėl pakloto elementų būklė turi būti nuolat stebima ir kontroliuojama. Geležinkelio kelio elementai (pabėgiai ir bėgiai) tyrimų metu buvo neblogos būklės, tačiau kai kuriose lokaliose vietose pastebėti defektai. Gelžbetoninių pabėgių lokaliose zonose (apie 10%) pastebėtos nuoskėlos (3.1 pav. kairėje), juose yra plyšių (apie 70 % pabėgių, 3.1 pav. dešinėje).



3.1 pav. Pabėgių struktūriniai defektai: nuoskėlos (kairėje) ir plyšiai (dešinėje)

Bėgių būklė gera. Juose bei juo tvirtinimo vietose ties pabėgiais esminių pažaidų neužfiksuota. Kai kuriose lokaliose zonose (sijos S1-1 pusėje ties atrama 0) trūksta balasto (3.2 pav. kairėje). Dėl nuolatinio drėkinimo ir temperatūrinių svyravimų pažeisti balastą laikančių gembių betono paviršiai, jie suaižėję, sudūlėję ir supleišėję (3.2 pav. dešinėje).

Šalitilčių būklė patenkinama. Šalitilčius laikančiose metalinėse gembėse esminių defektų nerasta. Tačiau dėl nuolatinio drėkinimo jų elementai, įskaitant ir jungiamuosius elementus (~90 %) sukorodavę (3.3 pav. kairėje), vietomis atšokęs apdailinis sluoksnis. Kai kuriose vietose gembių tvirtinimo prie perdangos jungtys be veržlių. Kai kuriose zonose gembių elementai privirinti prie varžtų (3.3 pav. dešinėje).

Dėl temperatūrinių ir drėgminių ciklinių poveikių sudūlėję ir šalitilčių gelžbetoninių pakloto plokščių paviršiai. Kai kuriose plokštėse (apie 20%) yra nuoskėlų ir plyšių (3.4 pav.). Kai kurios plokštės nėra tinkamai pritvirtintos prie gembių ir einant per tiltą juda. Reikėtų pažymėti, kad tilto šalitilčių pakloto danga yra morališkai pasenusi, jos remontas ekonominiu požiūriu nėra efektyvus. Ateityje atliekant tilto remontą/rekonstrukciją statinio savininkams derėtų pagalvoti apie ilgaamžiškesnės ir mažiau eksploatacinių išlaidų kainuojančios šalitilčių pakloto dangos įrengimą (pvz., cinkuoto plieno grotelės ir pan.).



3.2 pav. Trūksta balasto (kairėje), sueižėjęs ir supleišėjęs balastą laikančios gembės betonas (dešinėje)



3.3 pav. Šalitilčius laikančių plieninių gembių korozija (kairėje), trūksta veržlių, gembių elementai privirinti prie inkarinių varžtų (dešinėje)



3.3 pav. Gelžbetoninių šalitilčio plokščių defektai: sudūlėję viršutiniai paviršiai, plyšiai, nuoskėlos

Plieninių turėklų paviršiai nudažyti, tačiau prasidėjusi jų korozija (3.4 pav.). Kai kuriose lokaliose zonose deformuoti porankiai arba nesutampa gretimų elementų ašys (3.4 pav.). Turėklų konstrukcijos taip pat yra morališkai pasenusios. Būtina pabrėžti, kad pagal LST EN 1991-2 standartą [4] tiek šalitilčių paklotas, tiek turėklai turi atlaikyti reglamentuojamus mechaninius poveikius. Ateityje rengiant tilto remonto/rekonstrukcijos projektinius sprendinius į šiuos reikalavimus būtina atsižvelgti.



3.4 pav. Turėklų defektai: plieninių elementų korozija (viršuje), nesutampa gretimų elementų ašys (apačioje kairėje), deformuoti porankiai (apačioje dešinėje)



3.5 pav. Apžiūros aikštelių elementų korozija

Atramose 0 ir 1 įrengtų apžiūros aikštelių plieniniai elementai nežymiai sukorodavę (3.5 pav.). Reikia pabrėžti, kad apžiūros aikštelės nėra patikimai įrengtos. Kaip ir turėklai, pagal LST EN 1991-

2 standartą [4] geležinkelio tiltų apžiūrai naudojamos aikštelės turi atlaikyti reglamentuojamus mechaninius poveikius. Ateityje rengiant tilto remonto/rekonstrukcijos projektinius sprendinius į šiuos reikalavimus būtina atsižvelgti.

Ant perdangos sijos įrengti plieniniai elementai perdangos apžiūros takams (2.4 pav.). Tyrimų grupės žiniomis šie takai tilto eksploatacijos metu nebuvo naudojami. Prasidėjusi šių elementų plieno korozija. Rekomenduojama šiuos elementus pašalinti ir esant poreikiui sumontuoti naujus atsižvelgiant į LST EN 1991-2 standarte [4] reglamentuojamus poveikius apžiūros takams.

Darbe atlikti tilto perdangos ašies ir geležinkelio kelio ašies matavimai. Kelio ašies ir tilto perdangos ašies nukrypimai matuoti ties kiekviena atrama ir tarpatramio viduryje. Būtina pabrėžti, kad dėl galimų perdangos gamybos ir montavimo nuokrypų bei apribotos prieigos prie perdangos sijų kelio paviršiaus lygyje, tikslus kelio ir perdangos ašių nustatymas yra komplikuotas. Matavimo rezultatai apibendrinti 3.1 lentelėje. Iš lentelės matyti, kad geležinkelio vėžė nėra simetriškai išdėstyta tilto išilginės ašies atžvilgiu. Iš pateiktos lentelės matyti, kad didžiausias kelio ašies pasislinkimas absoliutiniu dydžiu sudaro 18 mm. Šis nuokrypis išmatuotas atramoje 1. Šiame ruože kelio ašis pasislinkus link sijos S1-2. Mažiausiai ašis nukrypusi tarpatramio viduryje. Nuokrypis sudaro tik 5 mm link sijos S1-1. Apskaičiuoti vidutinis kelio ašies nuokrypis, kuris šiam tiltui yra 0 mm. Reikia pažymėti, kad pagal instrukcijoje [12] pateiktus reikalavimus geležinkelio kelio ant skaldos balasto ašis, kai geležinkelio kelias yra tiesėje, neturi nukrypti nuo tilto perdangos ašies daugiau kaip 50 mm. Gautos kelio ašies nukrypimo reikšmės yra leistinose ribose.

3.1 lentelė. Kelio ašies padėtis gelžbetoninės perdangos atžvilgiu

Matavimo vieta	**Kelio ašies ekscentricitetas, mm**			
	Išmatuotas	**Minimalus**	**Maksimalus**	**Vidutinis**
atrama 0	13	-18	13	0
vidurys	5			
atrama 1	-18			

Lentelėje ženklas "-" atitinka kelio ašies pasislinkimą link sijos S1-1, "+" link sijos S1-2

LST EN standarte [4] numatytas galimas kelio ašies nukrypimas. Tai įvertinama asimetrinių apkrovų modelio LM71 išdėstymų ant tilto, kai vienas bėgis apkraunamas 1,25 karto daugiau nei kitas. Esant 1520 mm geležinkelio vėžės pločiui toks apkrovos išdėstymas ant tilto lemia kelio ašies ekscentricitetą lygų 89 mm. Šiam tiltui kelio ašių nuokrypos yra mažesnės už priimtas LST EN standarte.

3.2. Gelžbetoninė perdanga

Gelžbetoninės perdangos pagrindinių sijų būklė yra gera. Kritinių pažaidų lemiančių jos laikančiųjų konstrukcijų būklės sumažėjimą nenustatyta. Tačiau visų perdangos sijose yra defektų, kurie blogina konstrukcijų ilgaamžiškumą bei mažina jų gyvavimo trukmę. Žemiau aprašyti defektai

būdingi kiekvieno tarpatramio perdangoms. Žemiau trumpai aprašyti nustatyti defektai, identifikuotos jų charakteringos vietos, pateikiamos juos charakterizuojančios nuotraukos, apibendrintos jų atsiradimo priežastys.

Vandens pratekėjimas

Vandens pratakos yra būdingas šio tipo tiltų defektas. Galima išskirti šias charakteringas pratakų vietas: perdangų ir šalitilčių sandūra, įrengti šulinėliai, neužpildytos kiaurymės šulinėliams, gelžbetoninių sijų sandūra išilgine tilto linkme, deformaciniai pjūviai ties atramomis. Charakteringi šio defekto pavyzdžiai pateikti 3.6 pav. Defektas aptiktas visuose tarpatramiuose. Esant atmosferos krituliams minėtuose ruožuose perdangų paviršiai nuolatos drėkinami. Dėl nuolatinio drėkinimo kai kuriose lokaliose vietose prasidėjusi betono korozija, paviršiai vietomis apsamanoję ir apkerpėję (žr. sekančio defekto aprašą). Ateityje remontuojant tiltą būtina atnaujinti perdangos hidroizoliaciją. Šaltinyje [13] nurodoma, kad hidroizoliacinio sluoksnio gyvavimo trukmė tiltams yra apie 15 metų. Tyrimų grupės duomenimis nuo tilto statybos pradžios ji nebuvo keista. Tikslinga įrengti šiuolaikinius vandens nuvedimo šulinėlius, nereikalingas ertmes užsandarinti. Būtina taip pat įrengti lietaus nuvedimo sistemą užtikrinant statinio atitikimą STR 2.01.01(3):1999 "Esminiai statinio reikalavimai. Higiena, sveikata, aplinkos apsauga" reikalavimams. Dėl sijų išorinių paviršių nuolatinio drėkinimo, rekomenduotina juos papildomai apsaugoti hidrofobiniais mišiniais. Detalesnės rekomendacijos pateiktos šio skyriaus pabaigoje.

Betono paviršių korozija, stalaktitai, apkerpėję ir apsamanoję paviršiai

Dėl nuolatinio drėkinimo ir filtravimosi per betoną lokaliose zonose betono paviršiai parudavę, apkerpėję ar sudūlėję. Charakteringos nuotraukos pateiktos 3.7 pav. Remonto metu, betono paviršius būtina nuvalyti bei impregnuoti hidrofobiniais mišiniais. Kaip jau minėta ankščiau, būtina atstatyti konstrukcijų hidroizoliaciją.

Per mažas apsauginis sluoksnis, matoma sukorodavusi paviršinė armatūra.

Technologinis defektas atsiradęs dėl nuokrypų sijų gamybos procese, neužtikrinant reikalavimų apsauginiam sluoksniui. Defektas nėra plačiai paplitęs, tačiau jį galima rasti kai kuriose lokaliose zonose. Charakteringos šio defekto nuotraukos pateiktos 3.8 pav. Remonto metus, lokalias zonas būtina nuvalyti, atsidengusią armatūrą apsaugoti koroziją stabdančiais inhibitoriais ir remontiniais mišiniais.

Plyšiai

Išorinių mechaninių poveikių galimai sukeltų normalinių ir įstrižųjų plyšių nepastebėta. Tačiau yra vertikalių ir horizontalių plyšių lokaliose zonose. Viena iš charakteringų zonų – ruožas ties atraminiu guoliu. Pastarieji plyšiai yra būdingi šio tipo konstrukcijoms. Šiose zonose nuo betono paviršiaus atskilusi atraminė plokštelė. Taip pat yra plyšių, kurie galėjo atsirasti dėl nuolatinio

drėkinimo atraminėse zonose (3.9 pav.). Remonto metu šias zonas būdina suremontuoti remontiniais mišiniais.

a) b)



c) d)



e) f)



3.6 pav. Perdangų paviršių nuolatinis drėkinimas: a) kraštiniai paviršiai ties šalitilčiais ties neįrengtais šulinėliais; b) per ertmes neįrengtiems šulinėliams ruožuose tarp sijų; c) ties sijų sandūra perdangos išilginėje ašyje; d) ties diafragmomis atramose; e) ir f) ties deformaciniais pjūviais



3.7 pav. Perdangų nuolatinio drėkinimo sukelti defektai: parudavę paviršiai, betono paviršių korozija ir stalaktitai



3.8 pav. Per mažas ar atskilęs armatūros apsauginis sluoksnis

Nekokybiškas diafragmų sujungimas

Charakteringas defektas. Diafragmų sujungimas kaip ir daugelyje šio tipo tiltų, nekokybiškas. Sandūros betonas porėtas, vietomis su kavernomis. Jas būtina suremontuoti arba įrengti iš naujo užtikrinant vandens nepralaidumą šiame ruože. Charakteringos nuotraukos pateiktos 3.10 pav.



3.9 pav. Lokalūs plyšiai ir nuoskėlos perdangų sijų atraminėse zonose



3.10 pav. Nekokybiškai įrengtos ir nuolat drėkinamos sijų diafragmos

Apibendrintos rekomendacijos dėl perdangų remonto pateiktos 3.8 poskyryje.

3.3. Atraminiai guoliai

Atlikus atraminių guolių apžiūras nustatyta, kad esminių pažaidų ir defektų, lemiančių nepaslankių atraminių guolių (1AG1-1 ir 1AG1-2, 27 pav.) laikomosios galios sumažėjimą nėra. Šie guoliai nudažyti, atraminės aikštelės nuvalytos nuo purvo. Tuo tarpu paslankių atraminių guolių (1AG0-1 ir 1AG0-2, 2.7 pav.) būklė nėra gera. Jie nukrypę nuo savo projektinės padėties. Sunku vertinti, kuriuo metu šie defektai atsirado: statybos ar eksploatacijos metu. Visuose guoliuose pastebėti charakteringi defektai trumpai aprašyti žemiau. Pateikiamos juos charakterizuojančios

nuotraukos, jų atsiradimo priežastys bei rekomendacijos dėl jų pašalinimo. Žemiau pateikti defektai blogina atraminių guolių funkcionalumą ir ilgaamžiškumą, o taip pat ir neužtikrina pačios perdangos atitikimo statiniai skaičiuotinei schemai.

Prasidėjusi plieno paviršių korozija

Dėl drėkinamų atraminių guolių paviršiuose prasidėjusi korozija (3.11 pav.). Korozija nėra pažengusi, tik pradinėje stadijoje. Tilto remonto metu šiuos paviršius būtina nuvalyti, sutepti, padengti koroziją stabdančiomis priemonėmis bei padengti šiuolaikinius reikalavimus atitinkančia apsaugine danga. Siekiant užtikrinti lokalių korozijos židinių atsiradimo, guolių ir perdangų bei guolių ir atramų sandūras galima papildomai hermetizuoti.



3.11 pav. Korozijos paveikti atraminių guolių paviršiai

Deformuotas paslankus atraminis guolis

Paslankūs atraminiai guoliai 1AG0-1 ir 1AG0-2 deformuoti. Apatinis balansyras pasislinkęs link atramos 0 atkaltės. Balansyras apatinėje dalyje papildomai sutvirtintas plieniniais strypais. Kai kurie iš jų nutrūkę. Šie guolių defektai pateikti 3.12 pav. Tikėtina, kad šie defektai atsiradę tilto statybos metu. Esama guolių būklė neužtikrina jų funkcionalumo. Atraminių guolių remontas yra komplikuotas, todėl tilto remonto/rekonstrukcijos metu juos rekomenduotina pakeisti naujais.



3.12 pav. Deformuoti paslankūs atraminiai guliai

Atraminiai guoliai nepritvirtinti inkariniais varžtais

Visi atraminiai guoliai nepritvirtinti inkariniais varžtais (3.13 pav.). Tikėtina, kad guolio elementai ir atraminė plokštė yra suvirinti, o apatinė plokštė inkaruota gelžbetoninėje atramoje.



3.13 pav. Atraminių guoliai prie atramos nepritvirtinti inkariniais varžtais, tikėtina privirinti prie pagrindo plokštės

3.4. Atramos

Abiejų ramtų būklė panaši ir nėra bloga. Atramos remontuotos. Tačiau ramtuose yra nemažai tokio tipo konstrukcijoms būdingų defektų. Atkalčių (priekinės sienos), šoninių sparnų bei rygelių paviršiai drėkinami vandeniu, vietomis parudavę gelžbetoninių elementų (rygelio) paviršiai. Lokaliose zonose matomi išplauti mūro skiedinio cementinio akmens elementai. Kai kuriuose elementuose yra plyšių. Gretimi elementai sandūrose atitrūkę vienas nuo kito. Atraminiams guoliams atremti skirtos atraminės aikštelės pažeistos lokaliose zonose, vietomis nutrupėjęs betonas. Atramos 0 atkaltėje išklupęs mūras. Tai ilgalaikės eksploatacijos pasekmė, kadangi išklupusiame elemente plyšiai nenustatyti. Už ramtų sienų įrengti balastą laikantys gelžbetoniniai blokai deformuoti ir atskilę nuo atraminių sienų sparnų. Atramų paviršiaus defektus sukelia temperatūriniai-drėgminiai poveikiai dėl nuolatinio drėkinimo, užšalimo bei atšilimo ciklų. Vietomis yra technologinių defektų atsiradusių statybos ir ilgalaikės eksploatacijos metu. Ramtų tipiniai defektai apibendrintai pateikti 3.14 pav. Rekomendacijos dėl intervencinių priemonių atramų būklei pagerinti pateiktos 3.8 poskyryje.



3.14 pav. Ramtų charakteringi defektai



3.14 pav. tęsinys. Ramtų charakteringi defektai

3.5. Kūgiai ir laiptai

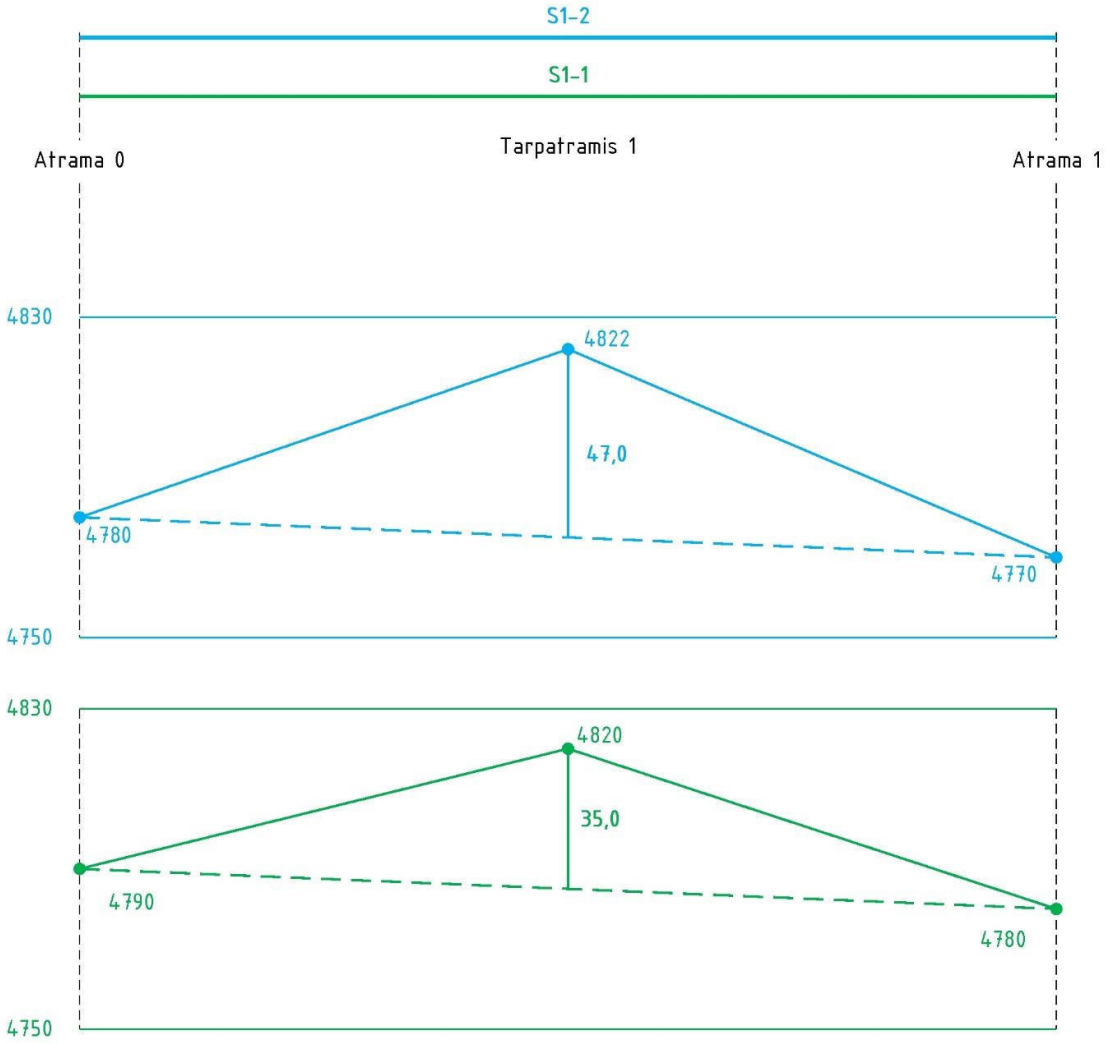
Kūgių būklė gera. Tilto prieigos ties kelio pylimais prižiūrėtos ir tvarkingos. Šlaitiniai laiptai be turėklų, pakopų paviršiai vietomis sudūlėję, apsamanoję dėl ciklinių drėgminių ir temperatūrinių procesų. Pasitaiko deformuotų pakopų bei nuoskėlų jose. Charakteringi defektai pateikti 3.15 pav. Remontuojant/rekonstruojant tiltą, šlaitinius laiptus rekomenduojama atnaujinti, įrengiant naujas pakopas ir turėklus.



3.15 pav. Šlaitinių laiptų defektai

3.6. Tilto perdangos niveliacija

Tilto perdangos išilginiai profiliai niveliuojant pakloto viršuje pateikti 3.16 pav. Niveliavimo metodika detaliau aptarta 1.2 poskyryje. Iš 3.16 pav. matyti, kad abi sijos nuo nuolatinės apkrovos turi išlinkius. Jų reikšmės yra panašios. Didžiausias išlinkis nustatytas sijoje S1-2 sudarė 47 mm. Sijos S1-1 išlinkis sudarė 35 mm. Išlinkiais atsiradę dėl sijų išankstinio įtempimo. Nežymus skirtumas galėjo susiformuoti dėl skirtingų sijų amžiaus apkrovimo metu (sijos galimai pagamintos skirtingu laikotarpiu). Skirtingas išlinkių reikšmes galimai lemia ir skirtingas balasto storis bei, atitinkamai, skirtinga nuolatinė apkrova. Bet kokiu atveju, išlinkių reikšmės nėra esminiai skirtingos, o skirtumų priežastis tiksliai identifikuoti yra sudėtinga.



3.16 pav. Perdangos santykinės altitudės niveliuojant sijų viršutinių lentynų

3.7. Perdangos ir atramų betono tyrimų analizė

Perdangos sijų ir atramų betono gniuždomojo stiprio reikšmės nustatytos neardančiuoju būdu pagal atšokimą Schmidt plaktuku. Bandymų metodika detaliau aptarta 1.2 poskyryje. Stipris nustatytas pagal prietaiso koreliacines kreives įvertinant galimą rezultatų sklaidą ir patikimumą. Neardančiuoju metodu nustatytos perdangos sijų betono cilindrinio gniuždomojo stiprio charakteristinės reikšmės (su 95% patikimumu). Cilindrinio stiprio charaktersitinės reikšmės f_{ck} visoms sijoms kinta ribose nuo 33,9 MPa iki 37,7 MPa. Pagal gautus rezultatus galima teigti, kad skirtingų tarpatramių stiprių reikšmės kinta sąlyginai nedidelėse ribose, todėl gautus rezultatus galima laikyti patikimais. Tolimesnėje analizėje visoms sijoms gautos atšokimo reikšmės sudėtos į bendrą masyvą. Apdorojus šiuos duomenis gautas tilto perdangos sijų betoną reprezentuojanti apibendrinta gniuždomojo stiprio reikšmė f_{ck}=35 MPa. Priėmus minimalią betono stiprio reikšmę gautume, kad sijų betonas apytikriai atitinka C30/37 klasę (f_{ck}=30 MPa) pagal LST EN 206. Pagal tipinių projektų duomenis perdangos pagrindinėms sijoms panaudotas betonas, kurio f_{ck}=22,5 MPa. Neardančiais

metodais nustatyta klasė yra aukštesnė. Reikia pažymėti, kad neardančiais metodais gaunamos gniuždomojo stiprio reikšmės nėra patikimos. Tačiau dėl gausaus sijų armavimo, panaudoti ardančių metodų nėra galimybės. Atsargos dėlei vertinant sijų laikomąją galią (žr. 5 skyrių) skaičiavimuose priimtos tipiniuose projektuose pateiktos sijų betono caharketristikos.

Taikant tuos pačius principus, nustatytas ir tilto atramų rygelių gniuždomojo stiprio klasės. Atramų betono gniuždomojo stiprio charakteristinių reikšmių sklaida yra platesnėse ribose nei perdangos sijų ir kinta nuo 20,8 MPa iki 29,8 MPa. Apibendrinus neardančiuoju metodu nustatytas stiprio reikšmes, atramų betoną galima priskirti C20/25 (f_{ck}=20 MPa) klasei pagal LST EN 206. Projektinė atramų elementų betono klasė nėra žinoma. Kiti betono struktūriniai tyrimai neatlikti (pvz., karbonizacijos (nušarminimo)), kadangi išoriniai požymiai (pvz., armatūros korozijos žymės betone ir pan.) bylojantys apie galimus betono struktūrinius pakitimus tyrimų metu neidentifikuoti.

3.8. Tilto konstrukcijų techninės apžiūros išvados

Apibendrinus tilto techninės apžiūros rezultatus galima suformuluoti šias išvadas:

1. Geležinkelio kelio ir šalitilčių pakloto elementai (danga ir turėklai) tyrimų metu buvo neblogos būklės, tačiau kai kuriose lokaliose vietose pastebėti šie defektai:
   - gelžbetoninių pabėgių lokaliose zonose (apie 10%) yra nuoskėlų, juose yra plyšių (apie 70 % pabėgių);
   - ant perdangos lokaliose zonose (sijos S1-1 pusėje ties atrama 0) trūksta balasto;
   - šalitilčius laikančiose metalinėse gembėse esminių defektų nerasta; tačiau dėl nuolatinio drėkinimo jų elementai (apie 90 %) sukorodavę; vietomis atšokęs apdailinis sluoksnis;
   - dėl tų pačių priežasčių šalitilčių visų pakloto plokščių paviršiai padūlėję, yra nuoskėlų ir plyšių (apie 20%);
   - kai kurios šalitilčių plokštės nėra tinkamai pritvirtintos prie gembių ir einant per tiltą juda (apie 10%);
   - kai kuriose vietose plieninių gembių tvirtinimo prie perdangos jungtys be veržlių. Kai kuriose zonose gembių elementai privirinti prie varžtų;
   - plieninių turėklų paviršiai nudažyti, tačiau prasidėjusi jų korozija tiek strypiniuose elementuose;
   - kai kuriuose ruožuose deformuoti turėklų porankiai, nesutampa kai kurių elementų ašys.
   - apžiūros aikštelių atramose 0 ir 1 plieniniai elementai nežymiai sukorodavę;
2. Geležinkelio vėžė nėra simetriška tilto išilginės ašies atžvilgiu. Didžiausias kelio ašies pasislinkimas sudaro 18 mm (ties atrama 1, į sijos 1-2 pusę). Mažiausiai ašis nukrypusi

tarpatramio viduryje. Nuokrypis sudaro 5 mm link sijos S1-1. Pagal kelio statinių priežiūros instrukcijos 147/K reikalavimus tiesėje esančio geležinkelio kelio ant skaldos balasto ašis neturi nukrypti nuo tilto perdangos ašies daugiau kaip 50 mm. Gautos kelio ašies nukrypimo reikšmės yra leistinose ribose.

3. Gelžbetoninės perdangos konstrukcijų būklė yra gera. Nors kritinių pažaidų nenustatyta, konstrukcijose yra defektų, kurie blogina konstrukcijų ilgaamžiškumą bei mažina jų gyvavimo trukmę.
4. Vandens pratakos yra būdingas šio tipo tiltų defektas. Galima išskirti šias charakteringas pratakų vietas: perdangų ir šalitilčių sandūra, įrengti šulinėliai, neužpildytos kiaurymės šulinėliams, gelžbetoninių sijų sandūra išilgine tilto linkme, deformaciniai pjūviai ties atramomis. Esant atmosferos krituliams minėtuose ruožuose perdangų paviršiai nuolatos drėkinami.
5. Dėl nuolatinio drėkinimo ir filtravimosi per betoną lokaliose zonose betono paviršiai parudavę, apkerpėję ar sudūlėję.
6. Sijų kai kuriose lokaliose zonose per mažas apsauginis sluoksnis, matoma sukorodavusi paviršinė armatūra. Kai kuriose zonose apsauginis sluoksnis atšokęs dėl armatūros korozijos ar drėgminių ir temperatūrinių ciklinių poveikių.
7. Sijų lokaliose zonose yra vertikalių ir horizontalių plyšių. Viena iš charakteringų zonų – ruožas ties atraminiu guoliu. Pastarieji plyšiai yra būdingi šio tipo konstrukcijoms. Šiose zonose nuo betono paviršiaus atskilusi atraminė plokštelė. Taip pat yra plyšių, kurie galėjo atsirasti dėl nuolatinio drėkinimo atraminėse zonose.
8. Nekokybiškai įrengtas diafragmų sujungimas. Sandūros betonas porėtas, vietomis su kavernomis. Kai kurios sandūros drėksta.
9. Vandens nuvedimo sistema nuo perdangos neįrengta. Dėl neįrengtos sistemos nuolatos drėkinami perdangos sijų paviršiai.
10. Nepaslankių atraminių guolių būklė gera. Atlikus atraminių guolių apžiūras nustatyta, kad esminių pažaidų ir defektų, lemiančių jų laikomosios galios sumažėjimą nėra. Dėl drėkinamų nepaslankių atraminių guolių paviršiuose prasidėjusi korozija.
11. Nepaslankių atraminių guolių (1AG0-1 ir 1AG0-2, 2.7 pav.) būklė nėra gera. Apatinis balansyras pasislinkęs link atramos 0 atkaltės. Balansyras apatinėje dalyje papildomai sutvirtintas plieniniais strypais. Esama guolių būklė neužtikrina jų funkcionalumo.
12. Ramtų atkalčių (priekinės sienos), šoninių sparnų bei rygelių paviršiai drėkinami vandeniu, vietomis parudavę gelžbetoninių elementų (rygelio) paviršiai.
13. Lokaliose ramtų zonose matomi išplauti mūro skiedinio cementinio akmens elementai.
14. Ramtų elementuose yra plyšių. Gretimi elementai sandūrose atitrūkę vienas nuo kito.

15. Atraminiams guoliams atremti skirtos atraminės aikštelės pažeistos lokaliose zonose, vietomis nutrupėjęs betonas.
16. Atramos 0 atkaltėje išklupęs mūras. Tai ilgalaikės eksploatacijos pasekmė, kadangi išklupusiame elemente plyšiai nenustatyti.
17. Už ramtų sienų įrengti balastą laikantys gelžbetoniniai blokai deformuoti ir atskilę nuo atraminių sienų sparnų.
18. Šlaitiniai laiptai be turėklų, pakopų paviršiai vietomis sudūlėję, apsamanoję dėl ciklinių drėgminių ir temperatūrinių procesų. Pasitaiko deformuotų pakopų bei nuoskėlų jose.
19. Perdangos sijos nuo nuolatinės apkrovos turi išlinkius. Gretimų sijų išlinkių reikšmės yra panašios. Didžiausias išlinkis nustatytas sijoje S1-2 sudarė 47 mm. Sijos S1-1 išlinkis sudarė 35 mm. Skirtingas išlinkių reikšmes galimai lemia skirtingas balasto storis bei skirtingas išankstinis įtempimas dėl skirtingo sijų amžiaus montavimo metu.
20. Atlikus betono gniuždomojo stiprio tyrimus neardančiais metodais, nustatyta, kad perdangos sijų betonas apytikriai atitinka C30/37 klasę (f_{ck}=30 MPa), o atramų gelžbetoninių rygelių – C20/25 klasę (f_{ck}=20 MPa) pagal LST EN 206. Perdangos sijoms gautos reikšmės yra didesnės nei pateiktos tipiniuose panašių tiltų projektuose. Projektinė atramų elementų betono klasė nėra žinoma.

Tilto būklei pagerinti rekomenduotina imtis šių intervencinių priemonių:

1. Zonose, kuriose perdangos sijų ir atramų betonas pažeistas tačiau nėra armatūros korozijos pažeistų betono paviršių valymas ir atstatymas: nuvalomi betono paviršiai, pašalinamas atšokęs apsauginis sluoksnis ir atkerę betono gabalai, užtaisomos kavernos ir paviršinės pažaidos, atstatomas pažeistas apsauginis sluoksnis, sudūlėję paviršiai.
2. Perdangos sijų ir atramų zonose, kuriose atvira arba po supleišėjusiu arba atšokusiu apsauginiu sluoksniu armatūra pažeista korozijos, rūdijančių ir atsidengusių armatūros strypų nuvalymas bei atsidengusios armatūros padengimas antikorozine danga; naudojama vietose, kur dėl armatūros korozijos atkeręs ar pilnai nukritęs apsauginis betono sluoksnis. Šiose zonose betoniniai paviršiai atstatomi ir remontuojami pagal 1 punkto rekomendacijas.
3. Arti betono paviršiaus esančios armatūros katodinė antikorozinė apsauga korozijos vystymosi prevencijai.
4. Sijų ir atramų betoninių paviršių padengimas atmosferos poveikiams atsparia danga. Rekomenduotina naudoti hidrofobizuojančius impregnantus.
5. Perdangos sijų diafragmų sandūrų remontas arba naujų sandūrų įrengimas.
6. Perdangos hidroizoliacijos atnaujinimas ir deformacinių pjūvių sandarinimas.

7. Atraminių guolių paviršių nuvalymas, padengimas koroziją stabdančiomis priemonėmis bei šiuolaikinius reikalavimus atitinkančia apsaugine danga. Siekiant užtikrinti lokalių korozijos židinių atsiradimo, guolių ir perdangų bei guolių ir atramų sandūras galima papildomai hermetizuoti.
8. Paslankių atraminių guolių pakeitimas.
9. Mūrinių atramų remontas, tarpusavyje surišant atskilusias dalis, išvalant ir užpildant pažeistas mūro siūles.
10. Balastą laikančių gelžbetoninių elementų tilto prietilčiuose įrengimas.
11. Lietaus nuvedimo sistemos įrengimas užtikrinant atitikimą STR 2.01.01(3):1999 reikalavimams. Nereikalingų ertmių šulinėliams užsandarinimas.
12. Šalitilčius laikančių plieninių elementų nuvalymas, pažeistų elementų atstatymas ir padengimas antikorozine apsauga.
13. Šalitilčių plokščių pakeitimas arba jų paviršių remontas.
14. Šalitilčių turėklų konstrukcijų atnaujinimas.
15. Šlaitinių laiptų konstrukcijų atnaujinimas.
16. Apžiūros aikštelių laikančiųjų konstrukcijų ir pakloto atnaujinimas.
17. Apžiūros aikštelės po perdanga įrengimas.
18. Gerbūvio, kūgių ir krantų tvirtinimo elementų tilto prieigose sutvarkymas.

4. TILTO STATINIAI IR DINAMINIAI PATIKRINAMIEJI BANDYMAI

Po tilto detaliosios apžiūros ir konstrukcijų modeliavimo atliktas patikrinamasis bandymas statine ir dinamine apkrova. Tilto statiniai ir dinaminiai patikrinamieji bandymai, veikiant kontroliuojamo svorio bandomajai apkrovai (šilumvežis TEM TMH) atlikti 2021 m. kovo 26 d. esant 11,7–13,8 °C aplinkos temperatūrai. Tilto eksperimentinė modalinė analizė bei papildomi dinaminiai bandymai veikiant atsitiktinėms realių traukinių apkrovoms atlikti 2021 m. kovo mėn. Kadangi AB „Lietuvos geležinkeliai“ neturi normatyvinių dokumentų reglamentuojančių geležinkelio tiltų bandymus, tilto bandymai atlikti pagal specialiai sudarytą individualią bandymų programą. Kai kurios bandymų nuostatos paimtos iš automobilių kelių tiltų bandymo taisyklių [6]. Toliau šiame skyriuje pateikiama informacija apie tilto apkrovimą, įrangos išdėstymą, bandymų rezultatus bei jų palyginimą su teoriniais rezultatais.

4.1. Statiniai bandymai

4.1.1. Bandymų apkrova ir jos išdėstymas

Statinių poveikių efektų išaiškinimui bandymo metu tiltas apkrautas šilumvežio TEM TMH, kurio suminė apkrova ~126 t, o ašies apkrova 21 t. Šilumvežio principinė schema ir pagrindiniai matmenys pateikti 4.1 pav.

Bandymo metu šilumvežis ant pastatytas maksimaliems lenkimo momentams ir įlinkiams tilto perdangos sijose gauti. Kiekvienos apkrovos padėtyje stebėti perdangos sijų poslinkiai atraminiuose ir viduriniuose pjūviuose bei sijų ketvirčiuose. Šilumvežio išdėstymo ant perdangos statinio bandymo metu schemos pateiktos 4.2 paveiksle. Statinio bandymas vyko tokia seka:

- šilumvežis per perdangą pravažiavo lėta eiga (apie 5km/h) po 1 kartą paeiliui Stasylų ir Jašiūnų geležinkelio stočių kryptimis;
- šilumvežis pastatytas maksimaliems įlinkiams (pagal preliminarų teorinį modelį) perdangos sijose gauti; ši padėtis sąlyginai vadinama *padėtimi 1* (4.2 pav. viršuje);
- šilumvežis pastatytas maksimaliems lenkimo momentams perdangos sijose; ši padėtis sąlyginai vadinama *padėtimi 2* (4.2 pav. apačioje).

Kiekvienoje padėtyje šilumvežis pastatytas užvažiavus ant tilto lėta eiga nesukeliant reikšmingų dinaminių poveikių. Kiekvienoje padėtyje šilumvežis išlaikytas ~15-30 min iki poslinkių stabilizavimosi. Prieš užvažiuodamas į kitą padėtį tilto perdanga buvo pilnai nukraunama, t. y. šilumvežis nuvažiuodavo nuo tilto.

Vienai perdangos sijai tenkanti apkrova bei jos sukelti efektai (įrąžos ir poslinkiai) apskaičiuoti klasikiniais medžiagų mechanikos metodais priėmus dviatramės sijos modelį. Skaičiuojant įrąžas nuo projektinių apkrovų LST EN 1991-2 [6] įvertintas apkrovos modelio LM71 ekscentricitetas, kai vienas bėgis apkraunamas 1,25 karto daugiau nei kitas. Bandomosios ir projektinių charakteringųjų

apkrovų modelių sukeltų lenkimo momentų perdangos sijose palyginimas pateiktas 4.1 lentelėje. Šiose lentelėse M_g – lenkimo momentas nuo nuolatinės apkrovos, $M_{q,band}$ – lenkimo momentas nuo bandomosios TEM TMH šilumvežio apkrovos, $M_{q,EN}$ – lenkimo momentas nuo LST EN [4] LM71 arba SW/2 apkrovų modelio priėmus dinaminį koeficientą Φ_3=1,0; M_{Rk} – sijos atlaikomojo lenkimo momento charakteristinė reikšmė, apskaičiuota pagal STR 2.05.08:2005 [8]. Elementų žymėjimas pateiktas 2.3 paveiksle (žr. 2 skyrių).

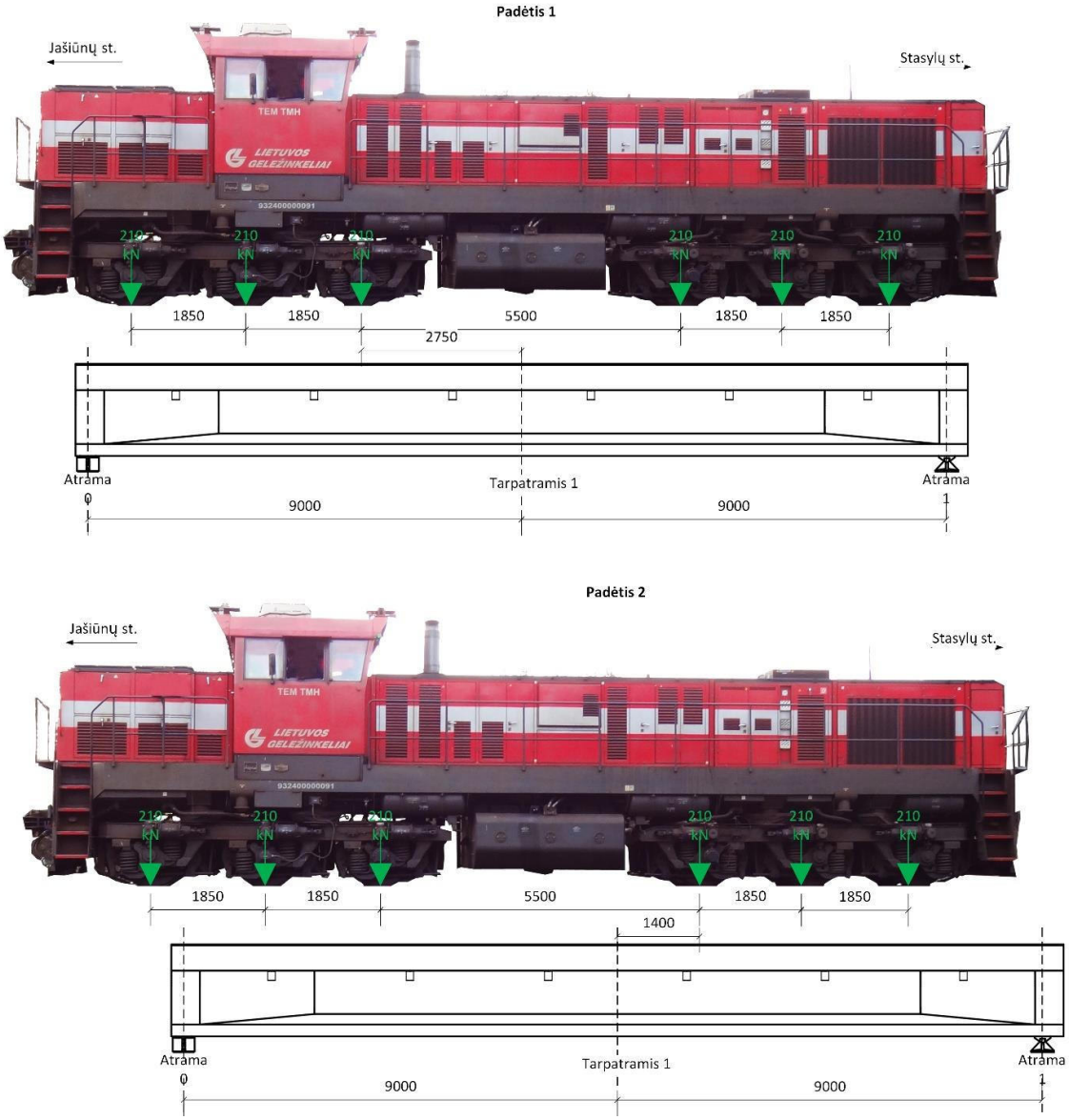


4.1 pav. Šilumvežio TEM TMH schema ir pagrindiniai matmenys (viršuje) ir bendras vaizdas (apačioje)

4.1 lentelė. Lenkimo momentai nuo nuolatinės, bandomosios TEM TMH ir LST EN [4] modelių LM71 ir SW/2 apkrovų

Lenkimo momentai, kN						$M_{q,b}$/ $M_{q,\ EN*}$	$M_g+M_{q,b}$/ M_{Rk}	$M_g+M_{q,\ EN*}$/ M_{Rk}
M_g	$M_{q,b}$	$M_g+M_{q,b}$	$M_{q,\ EN*}$	$M_g+M_{q,\ EN*}$	M_{Rk}			
1520	1452	2972	2817 3038	4337 4557	11651	0,52 0,48	0,26	0,37 0,39

* viršuje pateiktas lenkimo momentas nuo LM71 modelio, o apačioje nuoSW/2 modelio



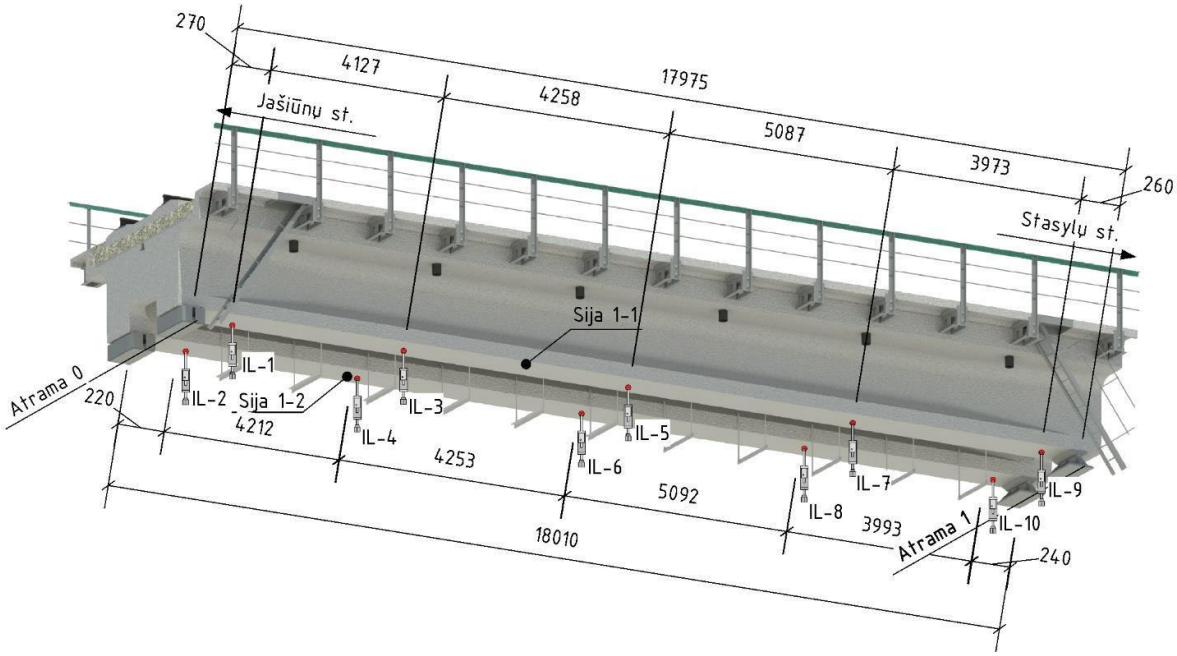
4.2 pav. Šilumvežio išdėstymas ant tilto perdangos schema

Kaip matyti iš lentelių, perdangos sijose bandomoji apkrova sukėlė, atitinkamai, 52 ir 48 % įrąžų charakteristinių reikšmių apskaičiuotų taikant LST-EN 1991-2 [4] apkrovų modelius LM71 ir SW/2. Didžiausios charakteristinės įražos sijose gautos nuo SW/2 modelio. Bandymo metu tai didžiausia apkrova, kurią galima buvo pasiekti, pastačius šilumvežį pavojingiausiose padėtyse. Nuolatinės ir bandomosios apkrovų sukelti lenkimo momentai sijose sudarė 26 % teorinės laikomosios galios charakteristinės reikšmės. Palyginimui nuolatinė apkrova ir LST EN apkrovų modeliai LM71 ir SW/2 perdangos sijose sukelia, atitinkamai, 37 % ir 39 % teorinio charakteristinio atlaikomojo lenkimo momento reikšmės.

4.1.2. Matavimo įrangos išdėstymas

Statinio bandymo metu charakteringuose tilto perdangos pjūviuose matuoti įlinkiai (poslinkiai). Poslinkiai matuoti perdangos atraminiuose, tarpatramio ketvirčiuose ir viduriniuose pjūviuose. Iš viso

įlinkiai matuoti dešimtyje taškų: po 5 kiekvienoje sijoje. Prietaisų išdėstymo schemos skirtingų perdangų statinio bandymo metu pateiktos 4.3 pav. Matavimo prietaisai ir matavimo metodika detaliau aptarti 1.2 poskyryje.

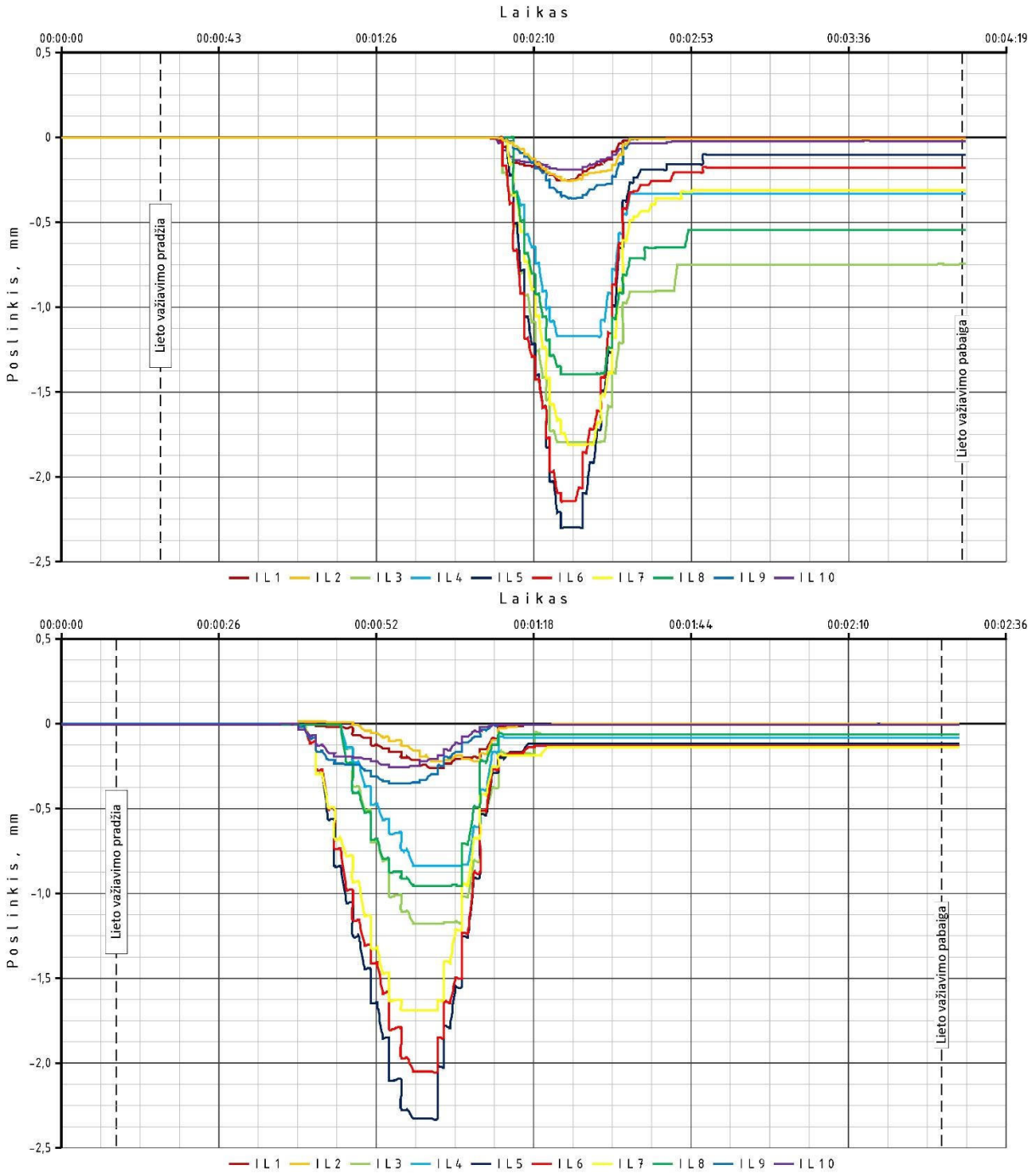


4.3 pav. Poslinkių matavimo prietaisų išdėstymo statinio bandymo metu schema

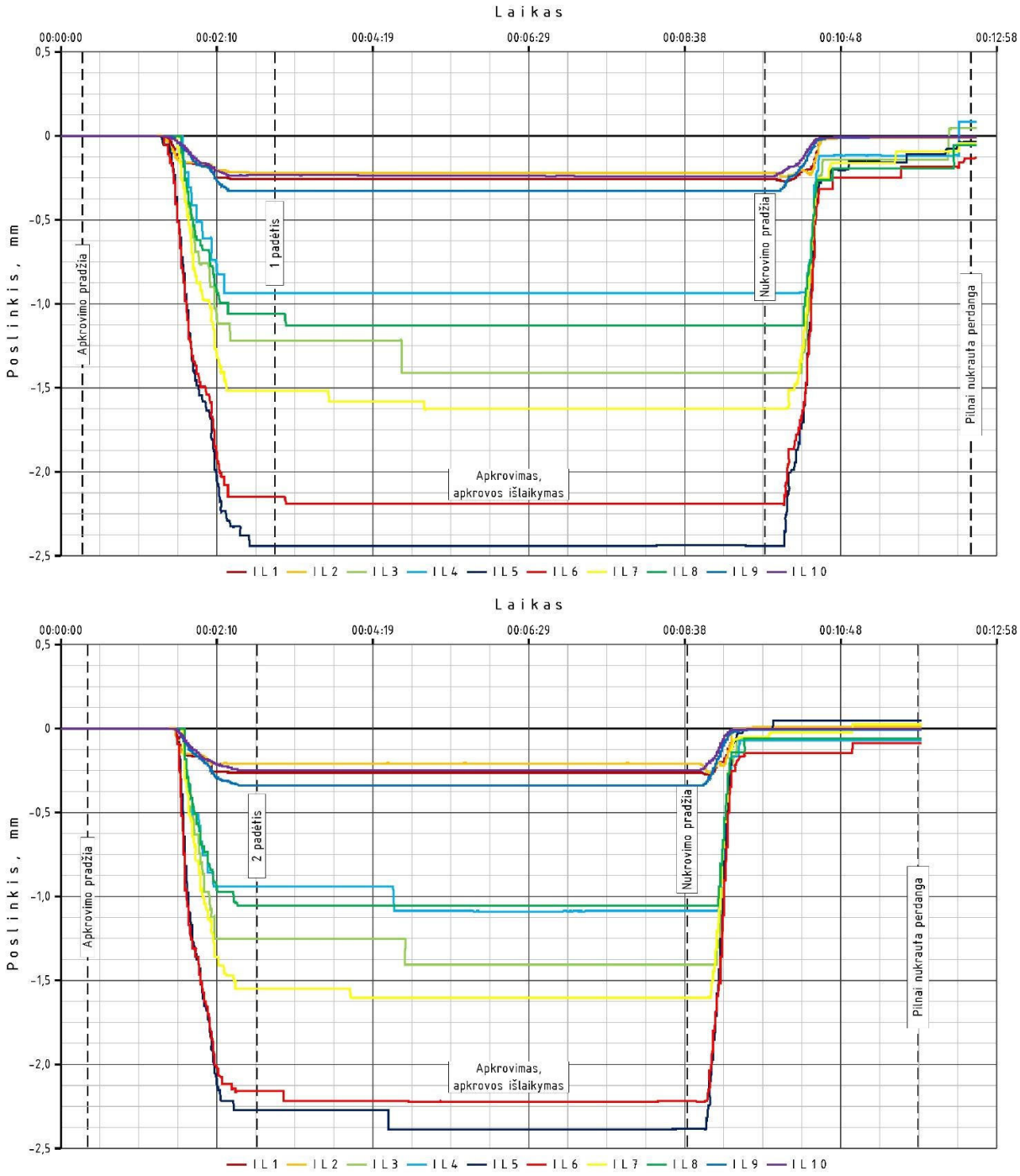
4.1.3. Statinių bandymų rezultatai

Tilto perdangų statinių įlinkių matavimų rezultatai pateikti 4.4–4.7 pav. 4.4 paveiksle pateiktas įlinkių kitimas šilumvežiui lėtai važiuojant per tilto perdangą. Taikant šį bandymą skirtingose sijose gautos labai panašios maksimalių poslinkių reikšmės. Detali statinių poslinkių analizė atlikta šilumvežiui esant statinėse padėtyse 1–2. Šiame etape nustatyti ne tik statiniai poslinkiai užfiksuoti iš karto po perdangų apkrovimo, bet ir plastiniai poslinkiai išlaikius šilumvežį ant perdangos bei liekamieji poslinkiai ją nukrovus. Poslinkių kitimas statinio bandymo metu šilumvežiui užvažiuojant į 1 ir 2 padėtis bei nuvažiuojant nuo tilto pateiktas 4.5 pav. Perdangos sijų poslinkiai nuo statinio apkrovimo TEM TMH šilumvežio apkrova įvertinant atraminių dalių poslinkius pateikti 4.6–4.7 pav. ir 4.2-4.3 lentelėse. Iš pateiktos informacijos matyti, kad skirtingais apkrovus perdangas gautos panašios statinių poslinkių reikšmės.

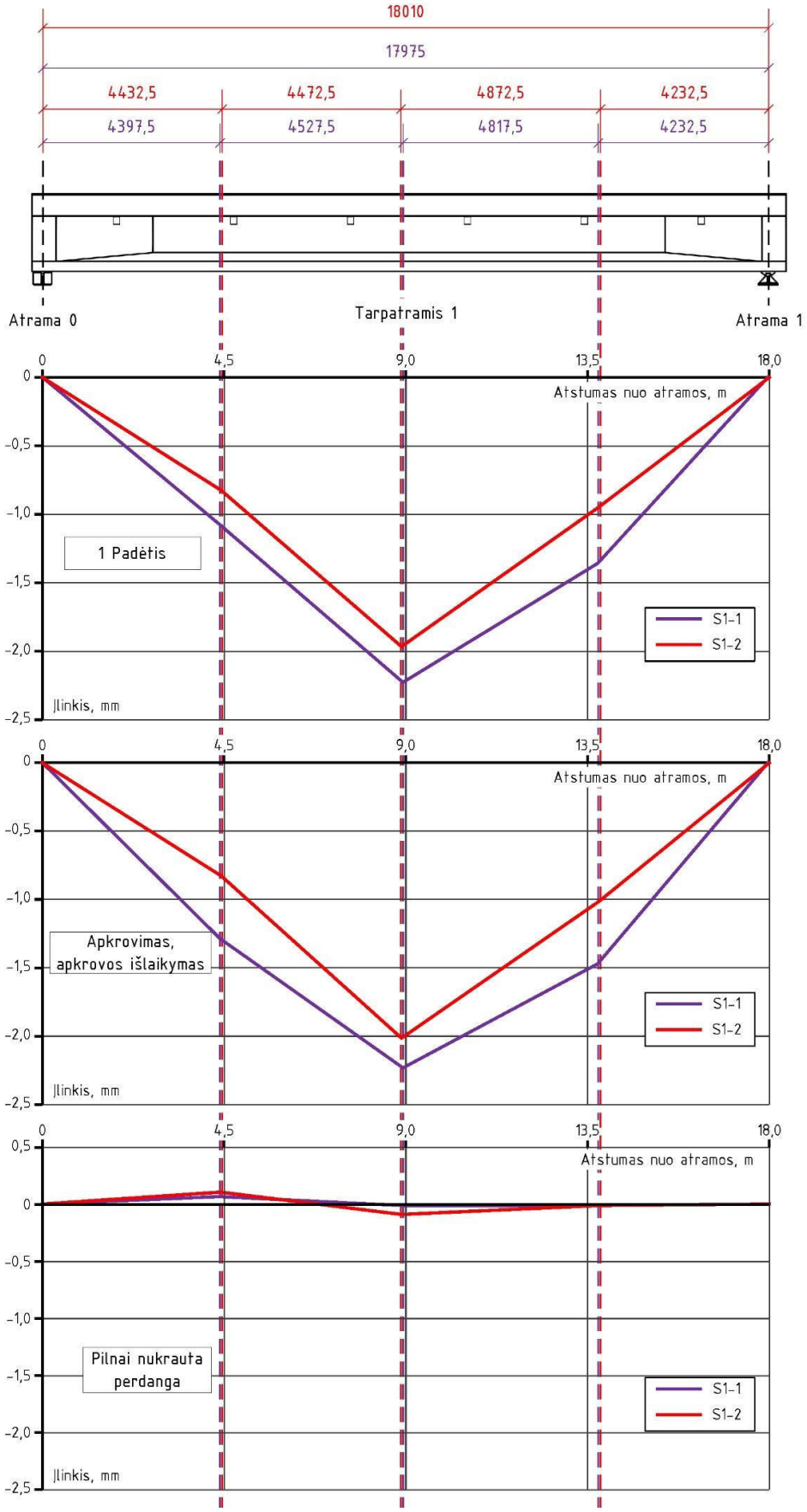
Statinių bandymu metu gauti tokie rezultatai: sijoje S1-1 gauti 2,226 mm ir 2,047 mm įlinkiai, kai šilumvežis pastatytas, atitinkamai, 1 ir 2 padėtyse; esant toms pačioms apkrovimo padėtims sijoje S2-2 gautos, atitinkamai, 1,970 mm ir 1,982 mm reikšmės. Iš šių bandymų, kad sija S1-1 yra 3–13% labiau apkrauta nei sija S1-2. Gautos tendencijos atitinka gautoms, kai šilumvežis per tiltą važiavo lėta eiga. Kelio ašis taip pat labiau pasislinkusi link sijos S1-1. Konstrukciniu požiūriu, gautų įlinkių skirtumai nėra reikšmingi, kadangi ir pačios įlinkių reikšmės nėra didelės.



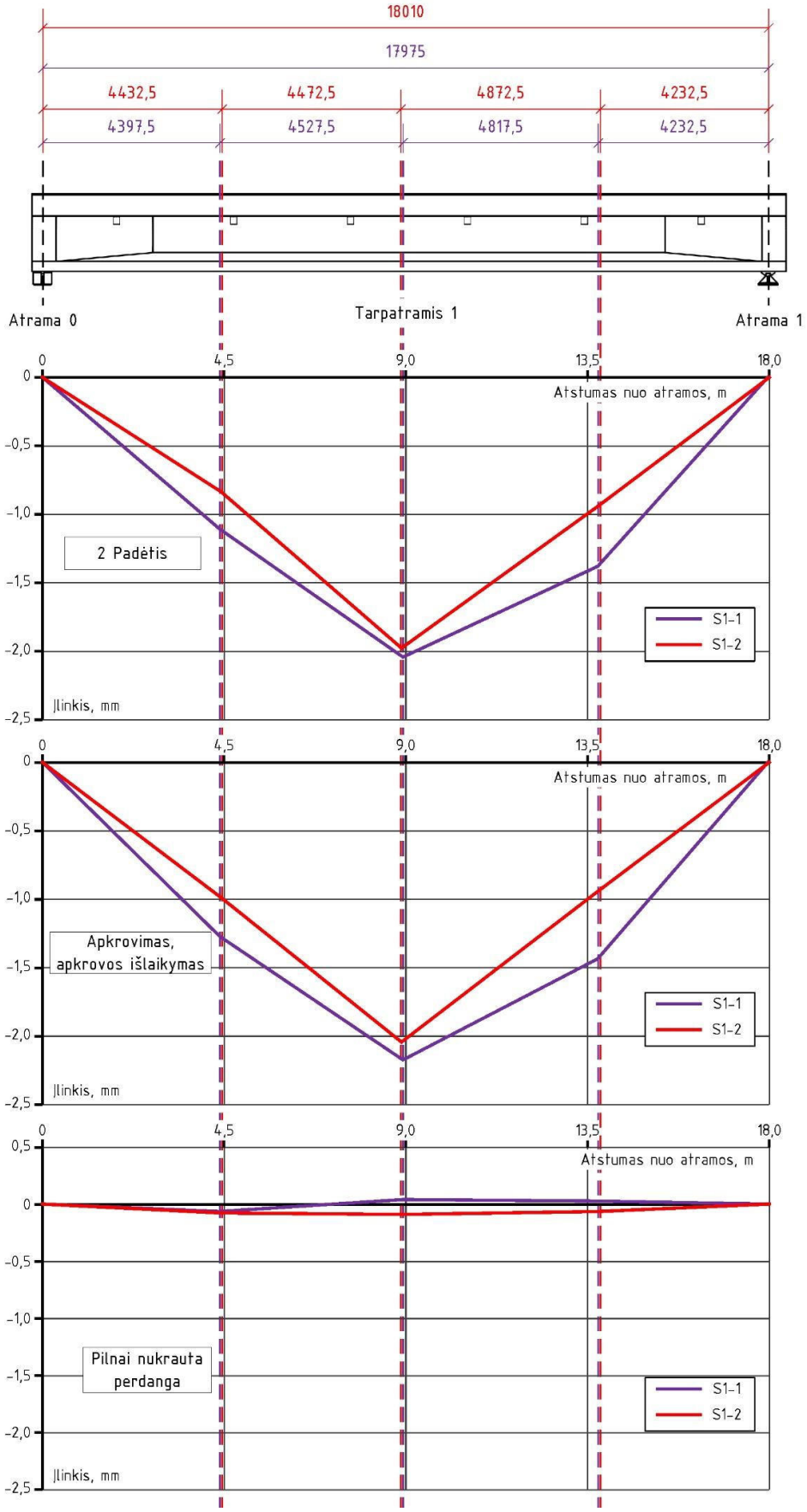
4.4 pav. Statinių poslinkių reikšmių kitimas šilumvežiui lėta eiga važiuojant per tiltą link Stasylų stoties (viršuje) ir link Jašiūnų stoties (apačioje)



4.5 pav. Statinių poslinkių kitimas perdangos sijose šilumvežiui apkraunant perdangą TEM TMH šilumvežiu 1 (viršuje) ir 2 (apačioje) padėtyse



4.6 pav. Maksimalios statinių poslinkių reikšmės perdangos sijose šilumvežiui padėtyje 1



4.7 pav. Maksimalios statinių poslinkių reikšmės perdangos sijose šilumvežiui padėtyje 2

4.2 lentelė. Sijų *S1-1* ir *S1-2* išmatuotų maksimalių statinių poslinkių reikšmės šilumvežiui esant 1 padėtyje

Sija *S1-1*

Eil. Nr.	Apkrovimo stadija	Įlinkiomačio parodymas, mm					Įlinkis, mm	Pastabos
		IL1	IL3	IL5	IL7	IL9		
1	Apkrovimas 0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	**0,000**	
2	Apkrovimas	0,195	1,219	2,447	1,519	0,248	**2,226**	
3	Apkrovos išlaikymas	0,184	1,412	2,445	1,630	0,242	**2,233**	0,007 mm
4	Nukrovimas (liekamasis įlinkis)	0,013	0,047	0,034	0,043	0,045	**0,005**	

Sija *S1-2*

Eil. Nr.	Apkrovimo stadija	Įlinkiomačio parodymas, mm					Įlinkis, mm	Pastabos
		IL2	IL4	IL6	IL8	IL10		
1	Apkrovimas 0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	**0,000**	
2	Apkrovimas	0,183	0,935	2,152	1,059	0,182	**1,970**	
3	Apkrovos išlaikymas	0,183	0,935	2,196	1,128	0,188	**2,011**	0,041 mm
4	Nukrovimas (liekamasis įlinkis)	0,016	0,084	0,132	0,056	0,059	**0,095**	

4.3 lentelė. Sijų *S1-1* ir *S1-2* išmatuotų maksimalių statinių poslinkių reikšmės šilumvežiui esant 2 padėtyje

Sija *S1-1*

Eil. Nr.	Apkrovimo stadija	Įlinkiomačio parodymas, mm					Įlinkis, mm	Pastabos
		IL1	IL3	IL5	IL7	IL9		
1	Apkrovimas 0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	**0,000**	
2	Apkrovimas	0,196	1,253	2,275	1,551	0,260	**2,047**	
3	Apkrovos išlaikymas	0,186	1,409	2,390	1,606	0,256	**2,169**	0,122 mm
4	Nukrovimas (liekamasis įlinkis)	0,005	0,057	0,046	0,028	0,028	**0,047**	

Sija *S1-2*

Eil. Nr.	Apkrovimo stadija	Įlinkiomačio parodymas, mm					Įlinkis, mm	Pastabos
		IL2	IL4	IL6	IL8	IL10		
1	Apkrovimas 0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	**0,000**	
2	Apkrovimas	0,169	0,942	2,165	1,055	0,197	**1,982**	
3	Apkrovos išlaikymas	0,161	1,088	2,223	1,055	0,198	**2,044**	0,062 mm
4	Nukrovimas (liekamasis įlinkis)	0,012	0,071	0,085	0,059	0,004	**0,093**	

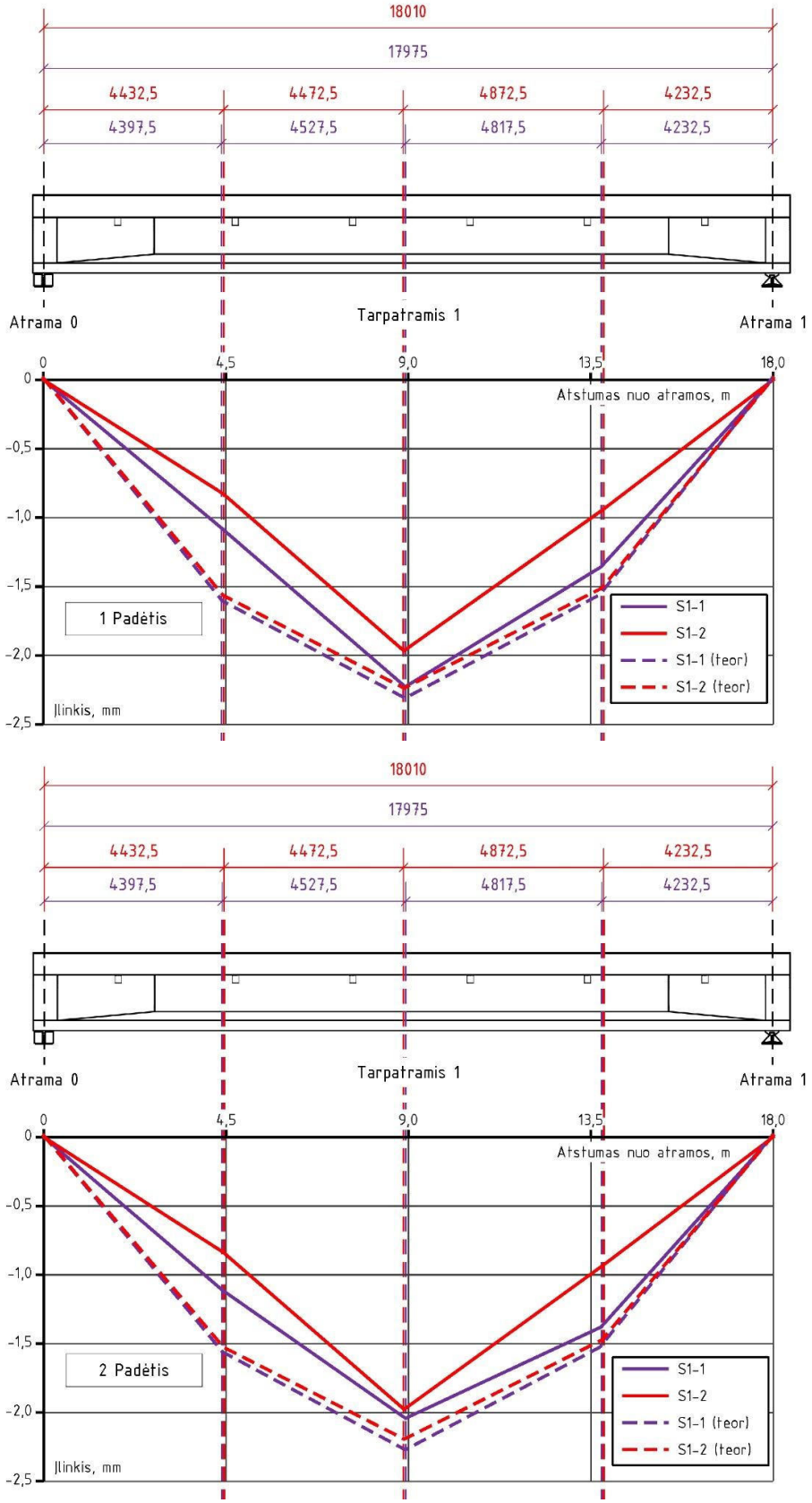
Bandymo metu išlaikius apkrovą ant tilto nustatyti plastiniai įlinkiai, kurie skirtingoms sijoms skirtingų apkrovimų metu siekė 0,007–0,122 mm. Nukrovus perdangas, išmatuoti perdangų liekamieji įlinkiai. Gauti liekamieji įlinkiai – 0,005–0,095 mm (4.2-4.3 lentelė). Kadangi nėra specialių nurodymų dėl y_{pl}/y_{tot} santykio reikšmių geležinkelio tiltams, vadovautasi kitų norminių dokumentų rekomendacijomis [6], pagal kurias įtemptojo gelžbetonio perdangoms vidutinės liekamųjų (y_{pl}) ir tampriųjų įlinkių (y_{tot}) santykis $y_{pl}/y_{tot} \leq \beta = 0{,}10$. Gautos santykių maksimalios reikšmės: sijai S1-1 – $y_{pl}/y_{tot} = 0{,}056 < \beta = 0{,}20$, sijai S1-2 – $y_{pl}/y_{tot} = 0{,}045 < \beta = 0{,}20$, neviršija priimtų taisyklų reikalavimų.

4.1.4. Eksperimentinių ir teorinių rezultatų sugretinimas

Matavimo rezultatų patikrinimui atlikti skaičiavimai baigtinių elementų metodu priėmus tamprias medžiagų charakteristikas bei įvertinant kelio asimetriškumą. Kai kurie tilto kompiuterinio modeliavimo aspektai detaliau aptari 1.3 poskyryje. Tilto kompiuterinis ir baigtinių elementų modelis pateiktas 4.8 pav. Teorinių ir vidutinių eksperimentinių reikšmių sugretinimas pateiktas 4.4 lentelėje, o grafinis jų atvaizdavimas 4.9 pav. Iš pateiktų paveikslų matyti, kad eksperimentiškai nustatyti perdangų charakteringųjų taškų poslinkių charakteriai gerai atitinka teoriniais modeliais gautas poslinkių kitimo tarpatramyje kreives.



4.8 pav. Tilto kompiuterinis modelis (viršuje) ir sudalinimas į baigtinius elementus (apačioje)



4.9 pav. Perdangos sijų eksperimentinių ir teorinių įlinkių palyginimas, kai šilumvežis padėtyje 1 (viršuje) ir 2 (apačioje)

4.4 lentelė. Eksperimentinių ir teorinių įlinkių sugretinimas

Sijų žymėjimas	Įlinkis, mm								
	Eksperimentinis			Teorinis			Eksperimentinis/Teorinis		
	~1/4L	1/2L	~3/4L	~1/4L	1/2L	~3/4L	~1/4L	1/2L	~3/4L
1 padėtis									
Sija S1-1	1,083	2,226	1,355	1,615	2,321	1,571	0,670	0,959	0,863
Sija S1-2	0,824	1,970	0,948	1,577	2,246	1,520	0,523	0,877	0,624
2 padėtis									
Sija S1-1	1,113	2,047	1,378	1,569	2,281	1,535	0,709	0,897	0,898
Sija S1-2	0,838	1,982	0,936	1,534	2,204	1,486	0,546	0,899	0,630

Eksperimentinių ir teorinių rezultatų sugretinimas atliktas perdangos sijų viduriniųjų pjūvių vidutinių įlinkių reikšmėms, gautoms esant skirtingoms apkrovimo padėtims. Kiekvieno tarpatramio sijai apskaičiuoti santykiniai įlinkiai y_{eks}/y_{teor}, kur y_{eks} ir y_{teor} – atitinkamai, eksperimentiškai nustatytos ir teoriškai apskaičiuotos reikšmės. Santykinių įlinkių santykiai pateikti 4.4 lentelėje. Kadangi specialių nurodymų dėl santykio y_{eks}/y_{teor} ribų reglamentavimo geležinkelio tiltams nėra, vadovautasi kitų norminių dokumentų rekomendacijomis [6], pagal kurias įtemptojo gelžbetonio perdangoms α_1=0,7<y_{eks}/y_{teor}≤α_2=1,05. Sijai S1-1 gauta vidutinė santykinio įlinkio viduriniame pjūvyje reikšmė sudarė α_1=0,7<y_{eks}/y_{teor}=0,928≤α_2=1,05, sijai S1-2 – α_1=0,7<y_{eks}/y_{teor}=0,888≤α_2=1,05. Gautos santykių reikšmės neviršija priimtų taisyklų reikalavimų. Abiem sijoms gautas geras teorinių ir eksperimentinių rezultatų sutapimas. Didžiausias skirtumas sudaro 12%.

Sijų eksploatacinių parametrų atitikimo Lietuvoje galiojančių normatyvinių dokumentų reikalavimams [4, 5] įvertinimas atliktas 5.2 poskyryje.

4.1.5. Statinių bandymų išvados

Atlikus geležinkelio ruože *Vilnius–Stasylos 35+970 km* esančio gelžbetoninio tilto perdangos sijų statinius patikrinamuosius bandymus TEM TMH šilumvežio apkrova galima suformuluoti tokias išvadas ir rezultatus:

1. Bandymais nustatyta maksimali eksperimentinio įlinkio reikšmė sudarė: sijai S1-1 – 2,23 mm, o sijai S1-2 – 2,04 mm. LST EN 1991-2 standarte reglamentuojama ribinė įlinkio reikšmė priėmus maksimalų projektinį traukinių greitį 120 km/h yra L/880=22900/880=20,5 mm. Gautos reikšmės yra ~10 kartų mažesnės.
2. Gretimos sijos deformuojasi skirtingai. Esant skirtingiems apkrovimams, sija S1-1 yra 3–13% labiau apkrauta nei sija S1-2. Šias tendencijas lemia kelio ašies nukrypimai tilto perdangos ašies atžvilgiu.

3. Bandymo metu išlaikius apkrovą ant tilto nustatyti plastiniai įlinkiai, kurie skirtingoms sijoms skirtingų apkrovimų metu siekė 0,007–0,122 mm. Nukrovus perdangas, išmatuoti perdangų liekamieji įlinkiai. Gauti liekamieji įlinkiai – 0,005–0,095 mm. Kadangi nėra specialių nurodymų dėl y_{pl}/y_{tot} santykio reikšmių geležinkelio tiltams, vadovautasi kitų norminių dokumentų rekomendacijomis. Gautos santykių maksimalios reikšmės: sijai S1-1 – y_{pl}/y_{tot}=0,056<β=0,20, sijai S1-2 – y_{pl}/y_{tot}=0,045<β=0,20, neviršija priimtų taisyklų reikalavimų.
4. Atlikus perdangų kompiuterinį modeliavimą perdangos sijai S1-1 gautas eksperimentinių ir teorinių vidutinių įlinkių santykis sudarė α_1=0,7<y_{eks}/y_{teor}=0,928≤α_2=1,05, sijai S1-2 – α_1=0,7<y_{eks}/y_{teor}=0,888≤α_2=1,05. Gauti rezultatai atitinka priimtose taisyklėse nustatytas santykinių įlinkių kitimo ribas.

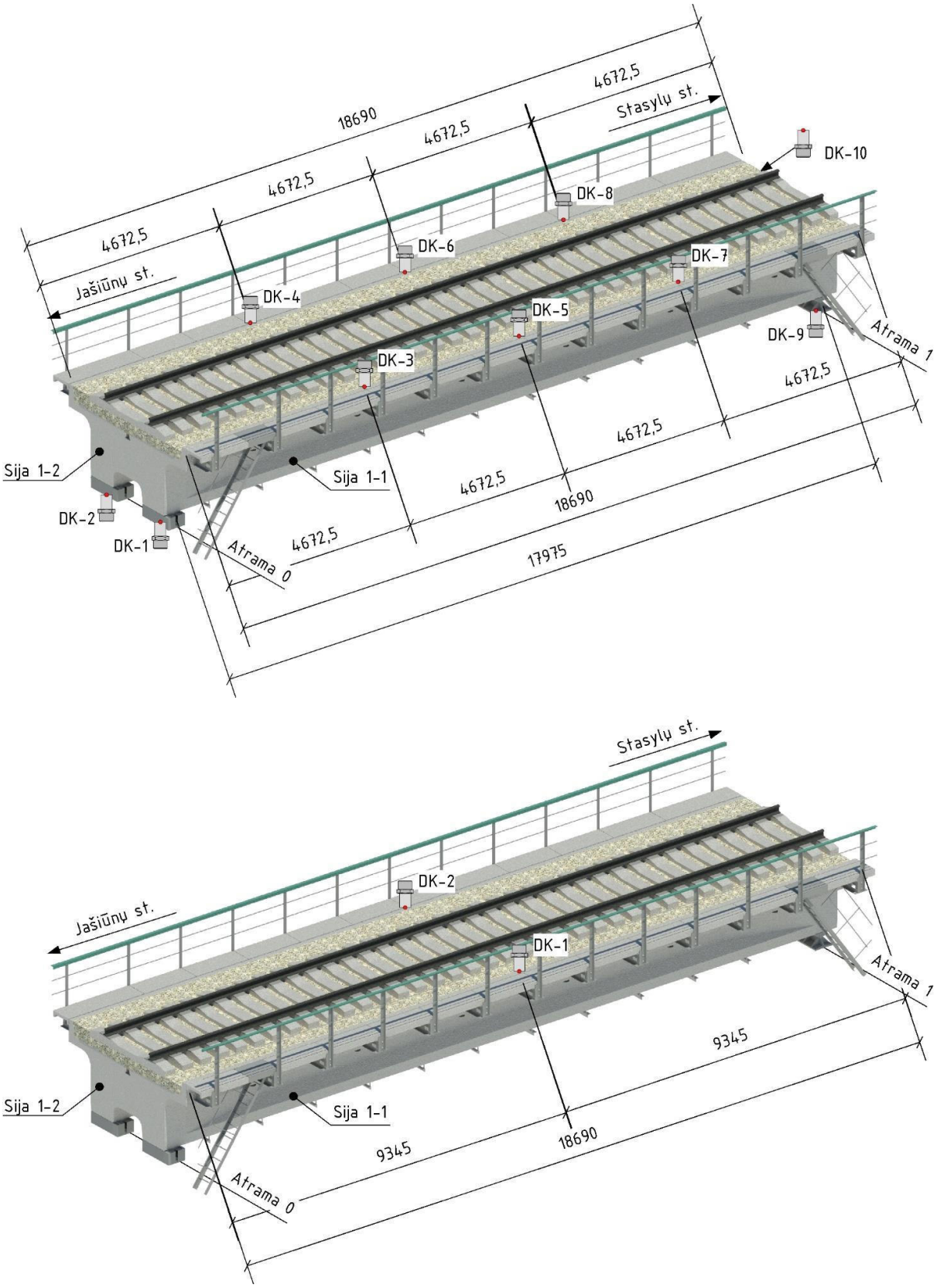
4.2. Dinaminiai bandymai

4.2.1. Žadinamoji apkrova

Perdangos dinaminiai svyravimai matuoti šilumvežiui TEM TMH (4.1 pav.) važiuojant per tiltą skirtingais greičiais: ~20, ~30, ~40, ~50, ~60, ~80 km/h. Pastarasis yra didžiausias greitis, kuriuo bandymo dieną buvo leidžiama važiuoti tilto. Savųjų svyravimų parametrų identifikavimui tilto konstrukcijos papildomai išbandytos smūgine apkrova, kuri sukelta žmogui šokant ant geležinkelio kelio konstrukcijos skirtingose padėtyse skersine linkme. Gauti perdangų atsako rezultatai panaudoti atliekant eksperimentinę modalinę analizę.

4.2.2. Matavimo įrangos išdėstymas

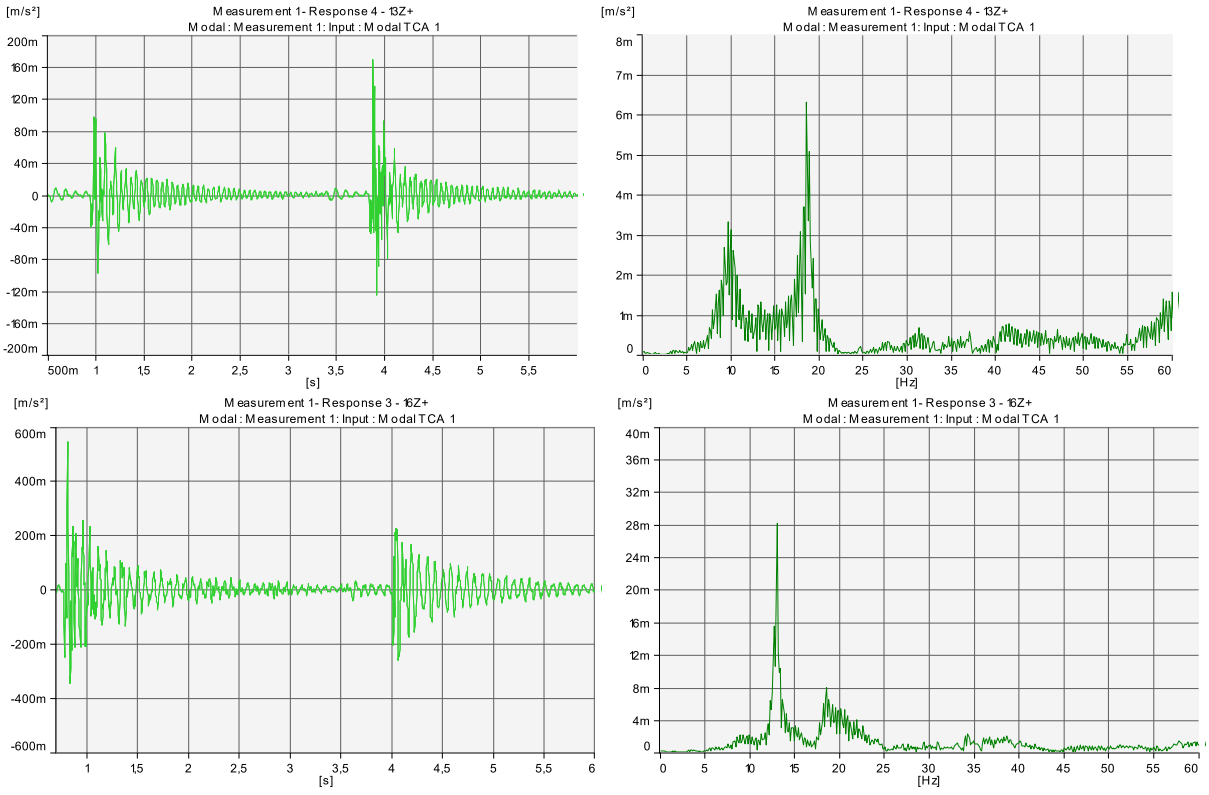
Dinaminio bandymo metu matuoti tilto svyravimų parametrai: pagreičiai ir poslinkiai. Reikia pažymėti, kad dinaminių daviklių išdėstymas skirtinguose bandymų etapuose buvo skirtingas. I-ajame etape atlikta eksperimentinė modalinė analizė, kurios metu naudota 10 daviklių juos išdėstant sijų atraminiuose pjūviuose, ketvirčiuose ir viduryje. Davikliai paeiliui išdėstyti vertikale ir horizontalia kryptimis. Tai leido identifikuoti II-os eilės vertikales, horizontalias ir sukamąsias modas. II-ajame etape atliktas priverstinių dinaminių svyravimų matavimas žadinant perdangą skirtingais greičiais važiuojančio šilumvežio apkrova. Šiame etape matuoti viduriniojo pjūvio horizontalūs ir vertikalūs dinaminiai poslinkiai ir pagreičiai. Matavimo prietaisų išdėstymas skirtinguose matavimo etapuose pateiktas 4.10 pav. Dinaminių matavimų rezultatai panaudoti nustatant pagrindinius dinaminius rodiklius: svyravimų formas ir dažnį, dinaminį koeficientą, svyravimų pagreitį ir svyravimų slopimo koeficientą. Bandymu metu taip pat stebėta perdangos ir atraminių guolių laikysena. Matavimo įranga ir matavimo metodika detaliau aprašyta 1.2 poskyryje.



4.10 pav. Dinaminių daviklių išdėstymo schema savųjų svyravimų modalinės analizės (viršuje) ir priverstinių svyravimų matavimo etapuose

4.2.3. Perdangos laisvieji ir priverstiniai virpesiai

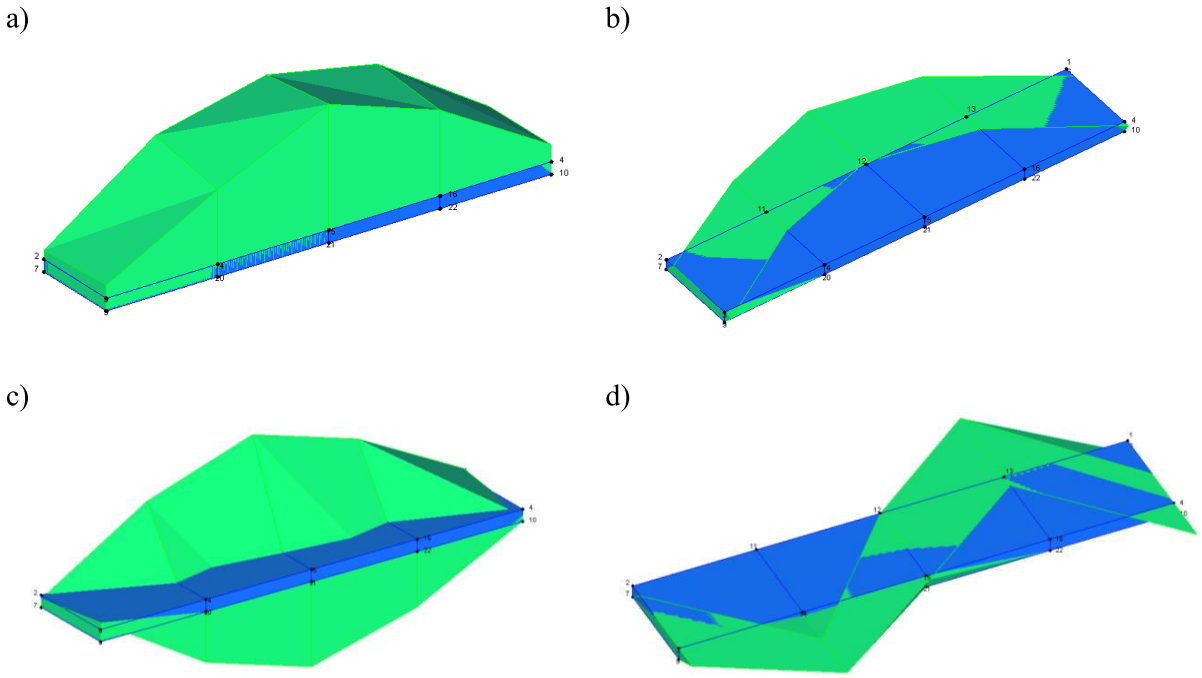
Tilto gelžbetoninės perdangos laisvųjų vertikalių ir horizontalių virpesių parametrai, esant impulsiniam žadinimui (krintančio krūvio) apibrėžiami didžiausiomis virpesių dažnių amplitudėmis ir virpesių gesimu. Po virpesių sužadinimo tilto perdanga paprastai virpa keletu virpesių modų vienu metu. Tilto perdangų savųjų vertikalių virpesių spektrogramose galima išskirti 1 modą, horizontaliųjų virpesių – 2 modas, sukamųjų svyravimų spektre – 1 modą. Naudojant operacinės modalinės analizės (OMA) algoritmą kiekvienai formai nustatyti savųjų virpesių ir slopimo koeficientai. Būdingi perdangos laisvųjų virpesių spektrų pavyzdžiai, gauti atlikus detalią modalinę analizę pateikti 4.11 pav. Vertikalių virpesių dažnių spektre labai aiški ir svarbiausia pirmoji moda, kurios dažnis 9,75 Hz. Sukamųjų dažnių spektre išsiskiria moda, kurios dažnis – 13,13 Hz. Horizontaliųjų dažnių spektre identifikuotos dvi modos, kurių dažniai 11,69 Hz ir 24,81 Hz. Modalinės analizės metu nustatyti savųjų svyravimų dažniai ir formos pateiktos 4.5 lentelėje. Taikant eksperimentinę modalinę analizę eksperimentiškai nustatytų modų formų charakteris pateiktos 4.12 pav.



4.11 pav. Perdangos vidurinio pjūvio laisvieji vertikalieji virpesiai ir jų dažniniai spektrai

4.5 lentelė. Eksperimentiškai nustatyti perdangos savųjų svyravimų dažniai ir formos

Tarpatramis	Vyraujančios svyravimų forma			
	I vertikali	I horizontali	I sukamoji	II horizontali
	Dažnis [Hz]			
1	9,75	11,69	13,13	24,81



4.12 pav. Eksperimentinės modalinės analizės metu gautos perdangų modų charakteringos formos: a) I vertikali; b) I horizontali; c) I sukamoji; d) II horizontali;

Virpesių slopimas yra svarbus konstrukcijų dinaminis parametras, ypač kai traukinių greičiai atitinka rezonansinį apkrovimą. Slopinimo koeficientai gaunami iš kiekvienos modos slopimo grafikų. Normalizuota koreliacijos funkcija konkrečiai modai nustatoma iš visų matavimo taškų rezultatų. Slopinimo koeficientas yra gaunamas naudojant logaritminio dekremento išraišką ir apskaičiuojant koreliacijos funkcija nuo maksimalių reikšmių. Gauti slopimo koeficientai kiekvieno tarpatramio pirmosioms 3 modoms pateikti 4.6 lentelėje. IV-osios modos slopimo koeficientų identifikuoti nepavyko.

4.6 lentelė. Perdangos virpesių formos, jų dažniai ir slopimo koeficientai

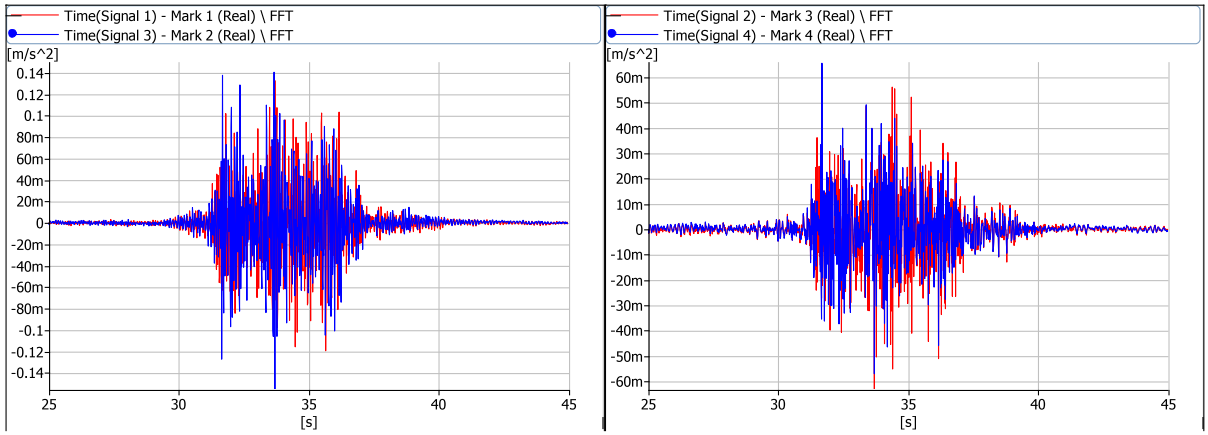
Virpesių forma	**Dažnis, Hz**	**Slopimo koeficientas, %**	**Virpesių formos charakteris**
1	9,75	3,872	I horizontali pusbangė
2	11,69	2,218	I vertikali
3	13,13	1,307	I sukamoji
4	24,81	-	II horizontali

Traukinys, judėdamas tilto prieigose ir ant tilto perdangos, visada sukelia tilto konstrukcijų vertikalius ir horizontalius (skersinius) virpesius. Vertikalūs virpesiai esminiai priklauso nuo traukinio masės ir greičio. Skersinius tilto virpesius sukelia siūbuodamas ir ekscentrišku keliu atžvilgiu išilginės tilto ašies važiuojantis traukinys. Vertikalios ir horizontalius žadinimo jėgos sukelia perdangos erdvinius sukamuosius virpesius. Bandymo metu šilumvežiui artėjant prie tilto virpesiai persiduoda per bėgius bei gruntą ir perdangoje atsiranda didėjančios amplitudės virpesiai, kurie pasiekia didžiausias reikšmes, kai šilumvežis užvažiuoja ant perdangos (4.13 pav.). Kai traukinių greitis nedidelis, galima aiškiai išskirti pavienių ašių įtaką. Greičiui didėjant, pagreičių grafikai tampa vientisi. Reikia atkreipti dėmesį, kad kai kuriose vibrogramose pastebimos pavienės didelės pagreičių amplitudės. Spėjama, kad tai trumpalaikiai ratų dūžiai bėgių ar ratų defektuose. Priverstinių vertikalių ir horizontalių svyravimų pagreičių reikšmės apibendrintos 4.7 lentelėje, iš kurios matyti, kad pagreičių maksimalios reikšmės nėra didelės. Pavyzdžiui, vertikalių svyravimų a_{max}=0,183 m/s^2, kai v=20 km/h, a_{max}=0,326 m/, kai v=30 km/h, a_{max}=0,374 m/s^2, kai v=40 km/h, a_{max}=0,324 m/s^2, kai v=50 km/h, a_{max}=0,387 m/s^2, kai v=60 km/h, a_{max}=0,467 m/s^2, kai v=80 km/h. Iš pateiktų rezultatų taip pat matyti, kad pagreičių reikšmės labai priklauso nuo greičio bei važiavimo krypties. Daugeliu atvejų didesnės pagreičių reikšmės gautos šilumvežiui važiuojant link Stasylų geležinkelio stoties, ypatingai didėjant šilumvežių greičiams. Bandymų metu gautų pagreičių palyginimas su LST EN standartuose [4,5] reglamentuojamomis reikšmėmis pateiktas 5.2 poskyryje.

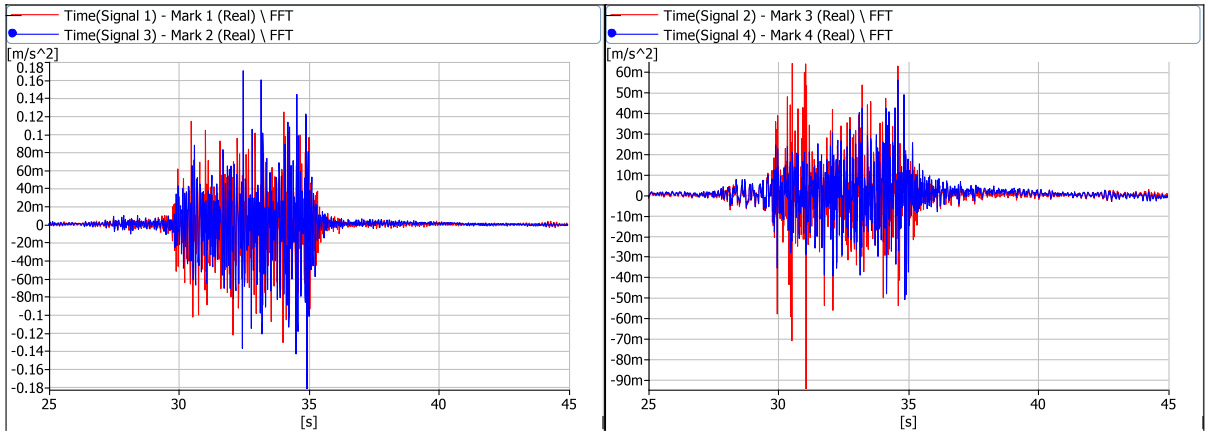
4.7 lentelė. Perdangos vertikalūs ir horizontalūs pagreičiai dėl priverstinio žadinimo šilumvežio apkrova

Greitis, v km/h	Važiavimo kryptis	Dinaminiai pagreičiai, m/s^2	
		Vertikalus	horizontalus skersinis
20	link Stasynų	0,141	0,066
20	link Jašiūnų	0,183	0,095
29	link Stasynų	0,245	0,100
30	link Jašiūnų	0,326	0,115
39	link Stasynų	0,374	0,126
41	link Jašiūnų	0,313	0,223
50	link Stasynų	0,324	0,153
50	link Jašiūnų	0,322	0,153
60	link Stasynų	0,387	0,175
60	link Jašiūnų	0,360	0,160
76	link Stasynų	0,467	0,147
77	link Jašiūnų	0,398	0,147

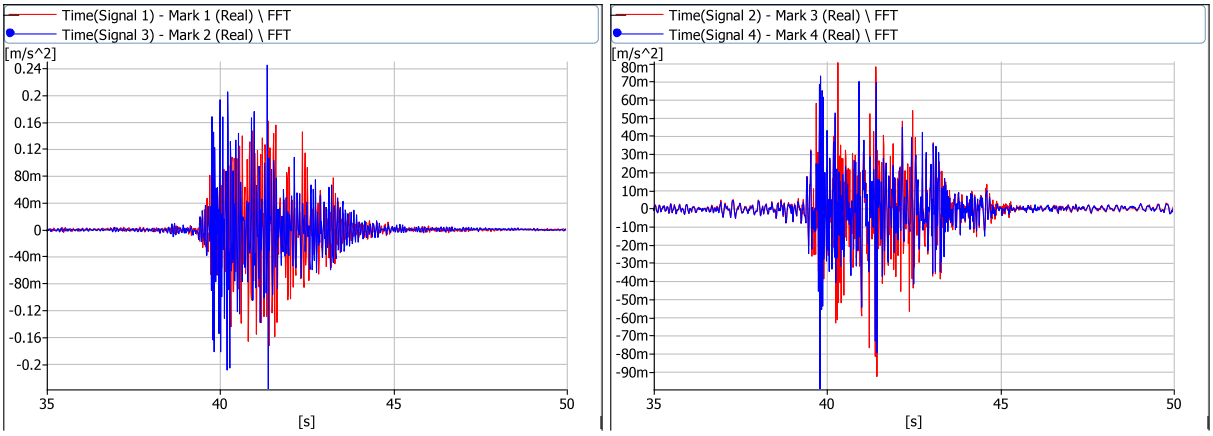
a)



b)

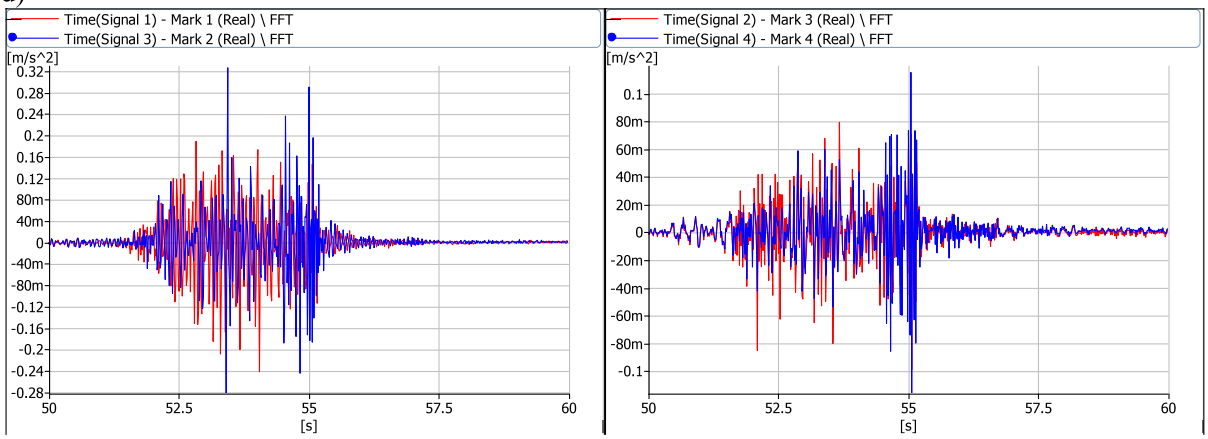


c)

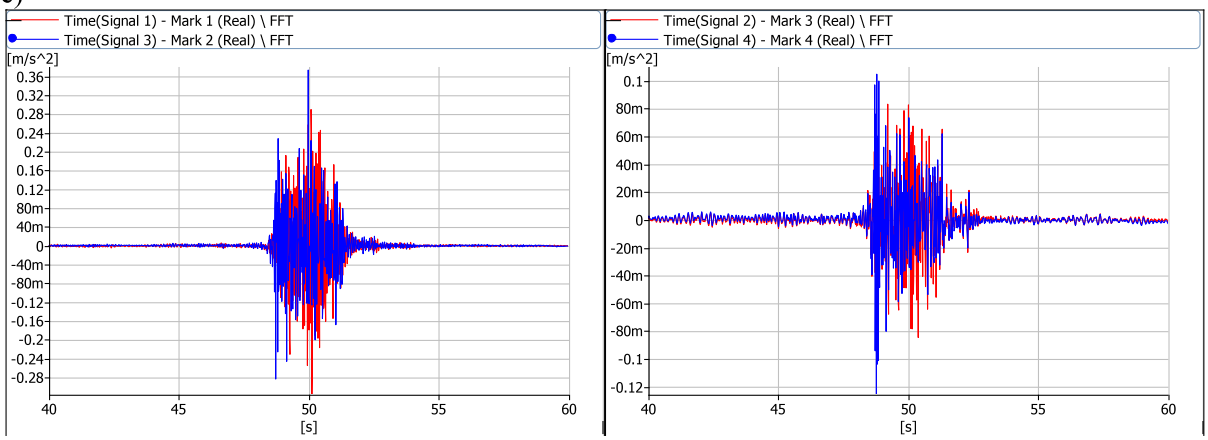


4.13 pav. Tarpatramio perdangos vertikalieji (kairėje) ir horizontalieji (dešinėje) virpesių pagreičiai, kai šilumvežio greitis: a) 20 km/h, kryptis Stasylų; b) 20 km/h kryptis Jašiūnų; c) 29 km/h kryptis Stasylų (mėlyna linija –sija S1–1, raudona linija –sija S1–2)

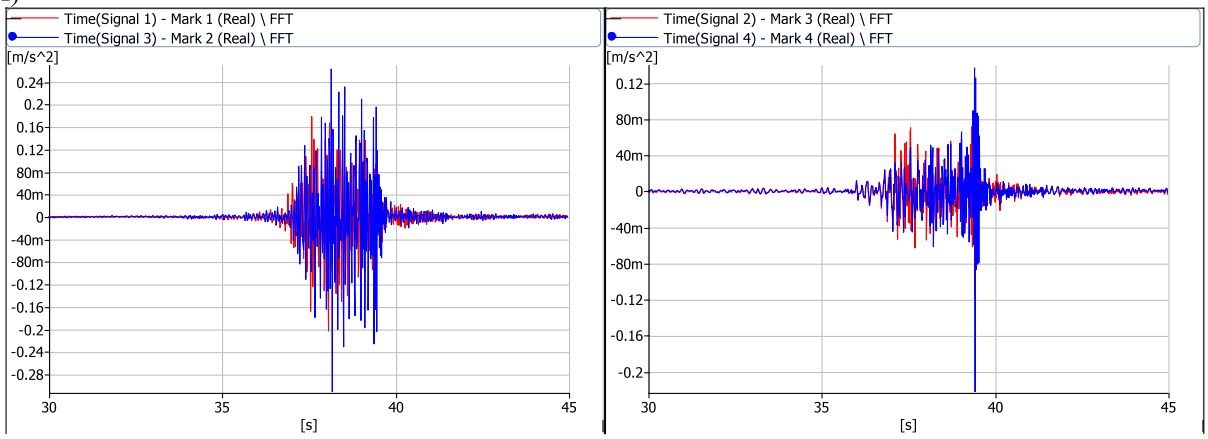
d)



e)

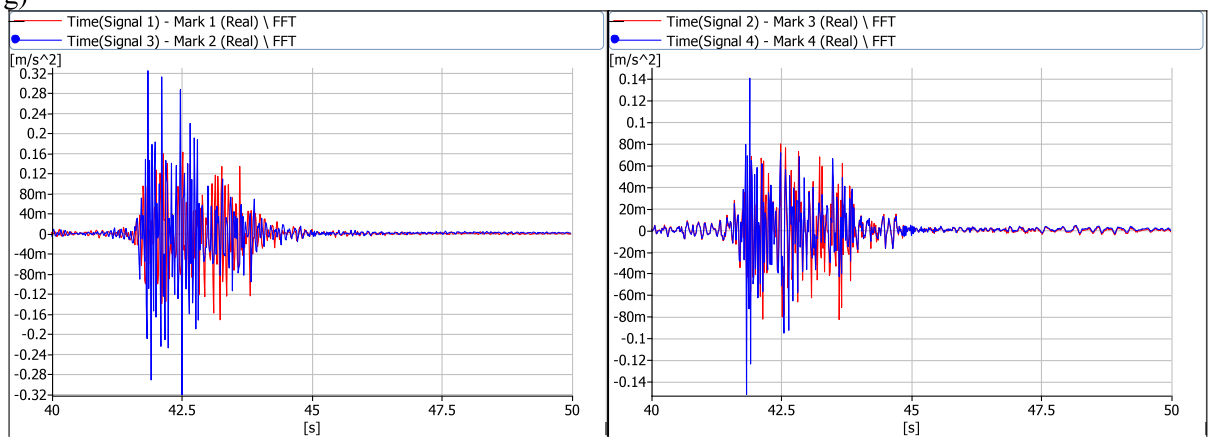


f)

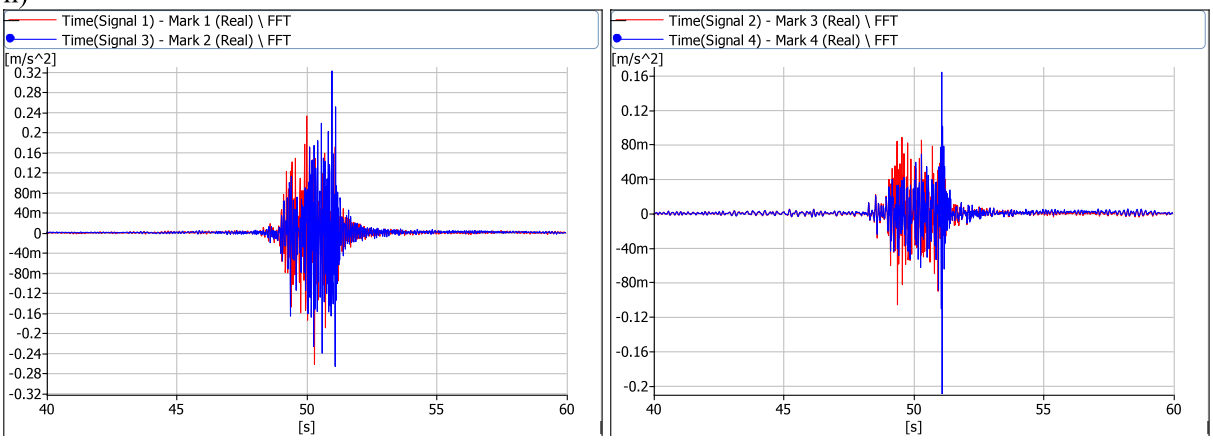


4.13 pav. tęsinys. Tarpatramio perdangos vertikalieji (kairėje) ir horizontalieji (dešinėje) virpesių pagreičiai, kai šilumvežio greitis: d) 30 km/h kryptis Jašiūnų; e) 39 km/h kryptis Stasylų; f) 41 km/h kryptis Jašiūnų (mėlyna linija –sija S1–1, raudona linija –sija S1–2)

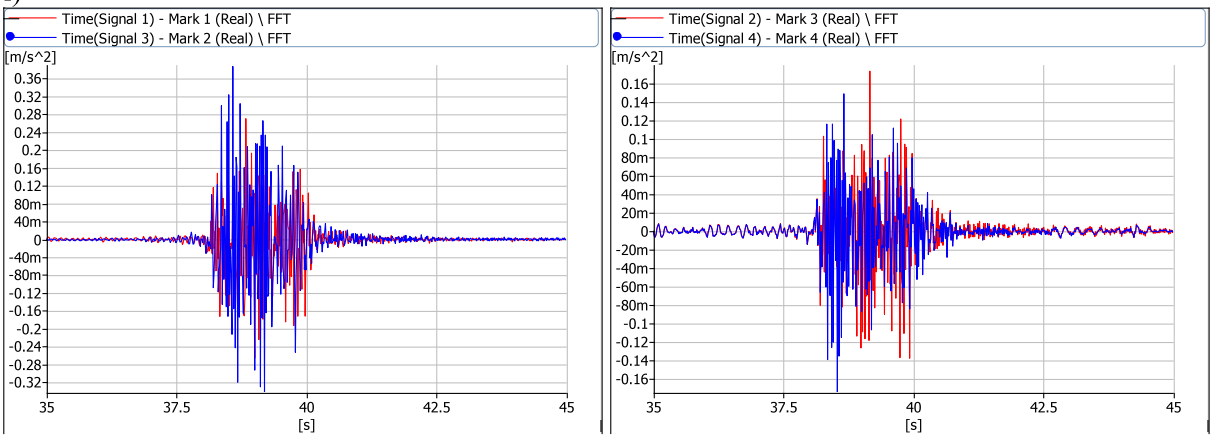
g)



h)

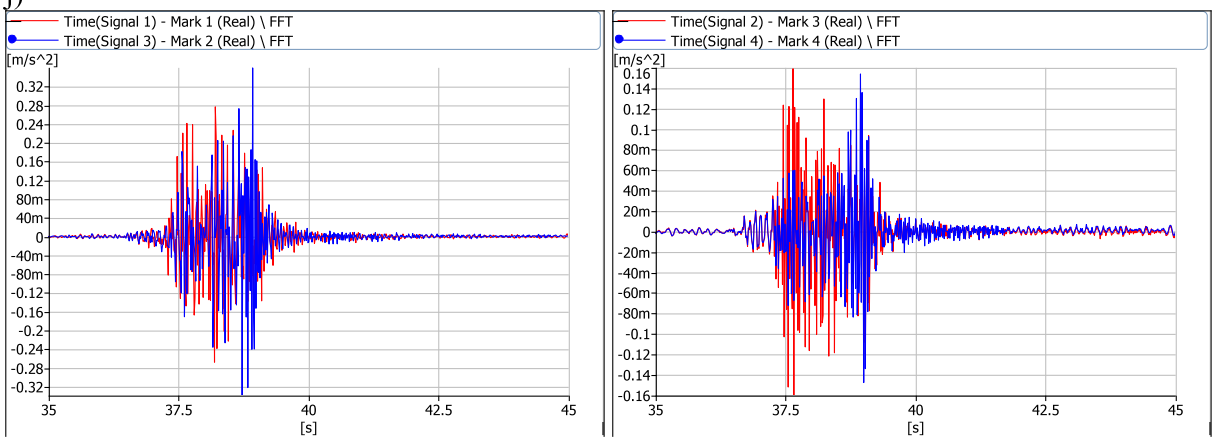


i)

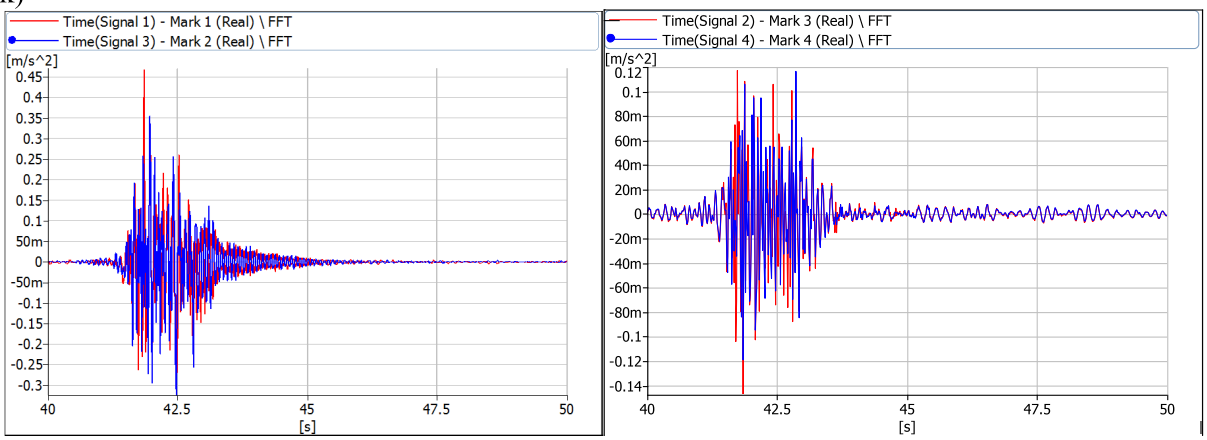


4.13 pav. tęsinys. Tarpatramio perdangos vertikalieji (kairėje) ir horizontalieji (dešinėje) virpesių pagreičiai, kai šilumvežio greitis: g) 50 km/h kryptis Stasylų; h) 50 km/h kryptis Jašiūnų; i) 60 km/h kryptis Stasylų (mėlyna linija –sija S1–1, raudona linija –sija S1–2)

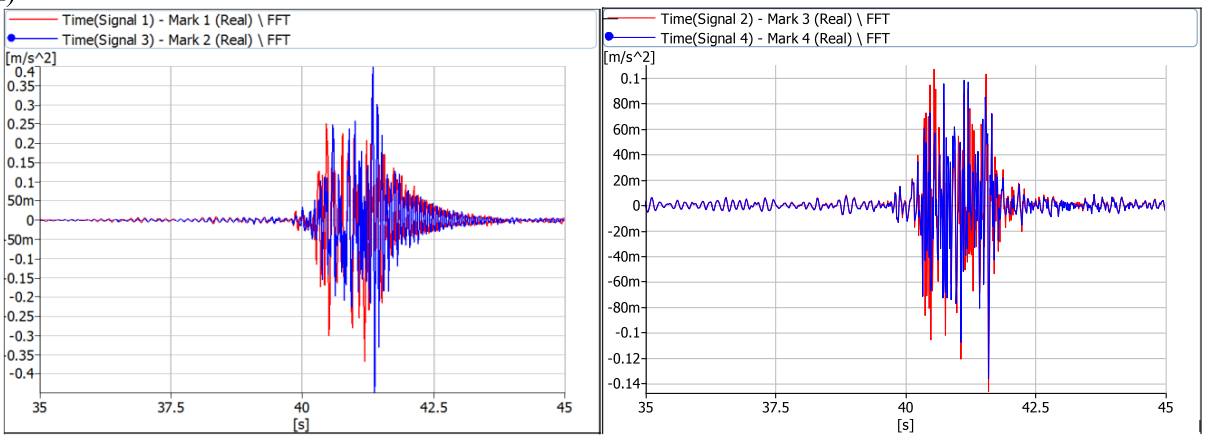
j)



k)



l)



4.13 pav. tęsinys. Tarpatramio perdangos vertikalieji (kairėje) ir horizontalieji (dešinėje) virpesių pagreičiai, kai šilumvežio greitis: j) 60 km/h kryptis Jašiūnų; k) 76 km/h kryptis Stasylų; l) 77 km/h kryptis Jašiūnų; (mėlyna linija –sija S1–1, raudona linija –sija S1–2)

4.2.4. Dinaminiai poslinkiai ir dinamiškumo koeficientai

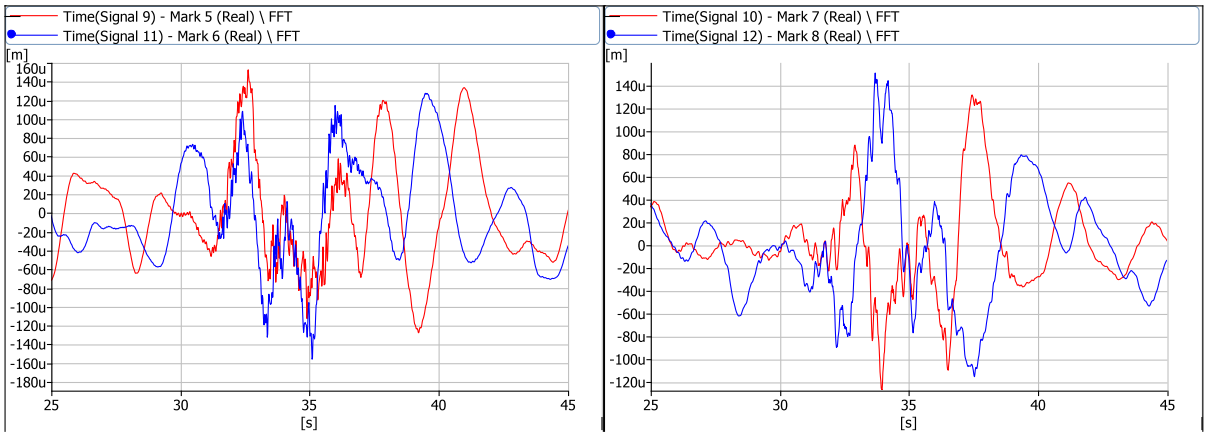
Šilumvežiams važiuojat per tiltus, atsiranda perdangų vertikalūs ir horizontalūs (skersiniai) poslinkiai, kurių reikšmės priklauso nuo greičio (4.14 pav.). Skaitinės dinaminių poslinkių reikšmės apibendrintos 4.8 lentelėje, kurioje taip pat pateikiami eksperimentiniai vertikalių svyravimų dinamiškumo koeficientai apskaičiuoti priėmus vidutines statinių ir dinaminių įlinkių reikšmes. Iš

pateiktų paveikslų duomenų matyti, kad greičiui didėjant, dinaminiai poslinkiai taip pat didėja, tačiau maksimalios reikšmės nėra didelės. Dinaminiai poslinkiai iki 16% šilumvežiui važiuojant Stasylų stoties kryptimi.

4.8 lentelė. Vertikalių ir horizontalių dinaminių poslinkių reikšmės bei dinaminiai koeficientai

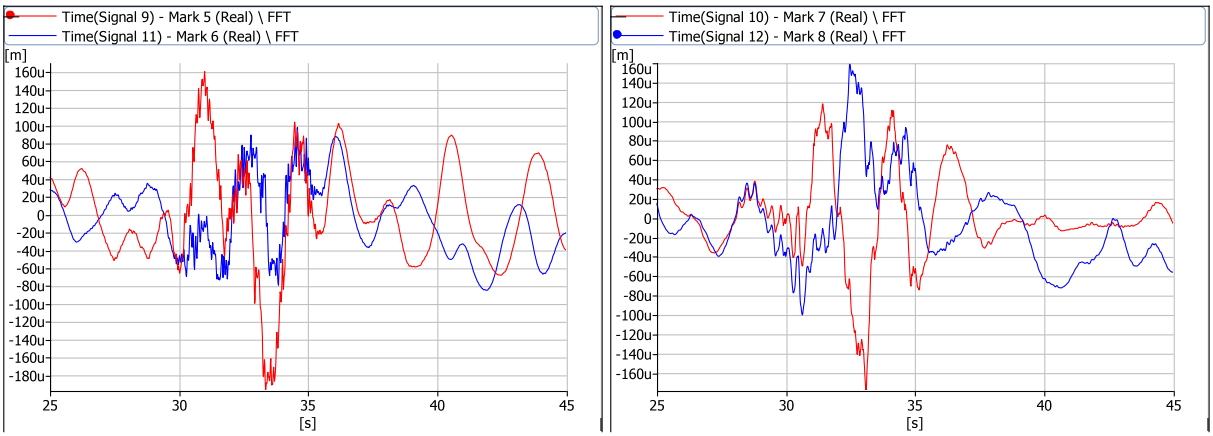
Greitis, *v* km/h	**Važiavimo kryptis**	**Dinaminiai poslinkiai, mm**		**Vidutinis dinaminis koeficientas**
		vertikalus $\Delta_{dyn,v}$	horizontalus skersinis $\Delta_{dyn,hs}$	
20	link Stasylų st.	0,156	0,151	1,09
20	link Jašiūnų st.	0,198	0,178	
29	link Stasylų st.	0,194	0,221	1,10
30	link Jašiūnų st.	0,214	0,182	
39	link Stasylų st.	0,288	0,353	1,14
41	link Jašiūnų st.	0,271	0,296	
50	link Stasylų st.	0,385	0,440	1,17
50	link Jašiūnų st.	0,332	0,393	
60	link Stasylų st.	0,549	0,520	1,26
60	link Jašiūnų st.	0,525	0,483	
77	link Stasylų st.	0,682	0,557	1,31
77	link Jašiūnų st.	0,596	0,573	

a)

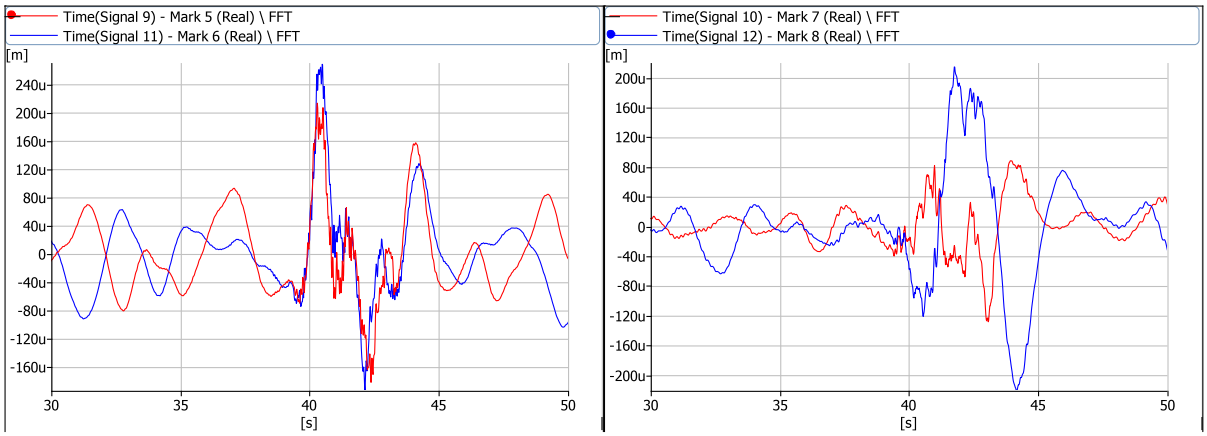


4.13 pav. Perdangos vertikalieji (kairėje) ir horizontalieji (dešinėje) dinaminiai poslinkiai, kai šilumvežių greitis: a) 20 km/h kryptis Stasylų (mėlyna linija –sija S1–1, raudona linija –sija S1–2)

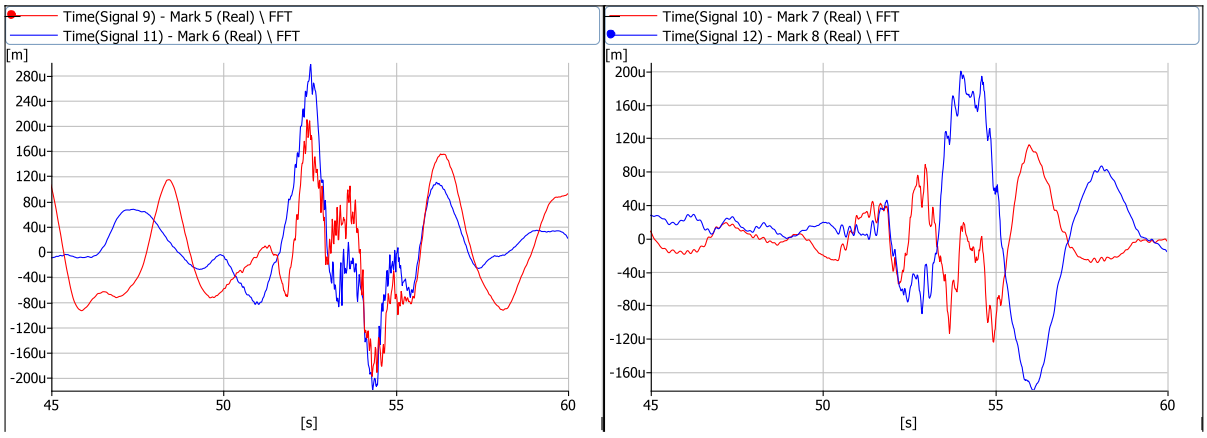
b)



c)

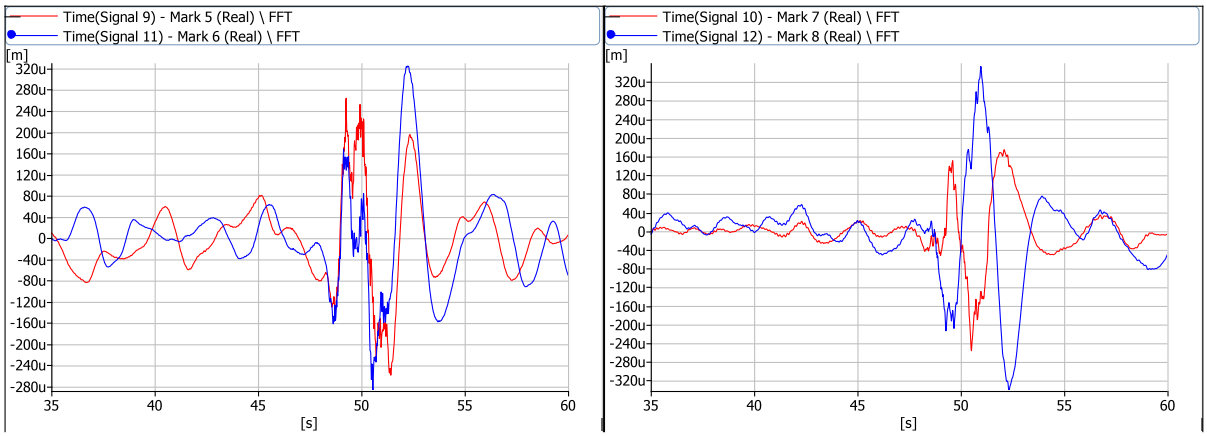


d)

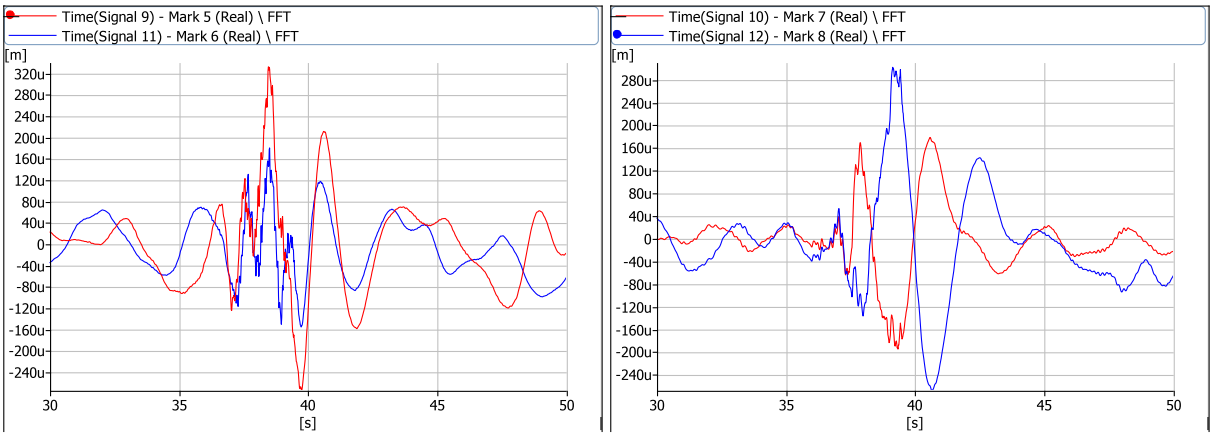


4.13 pav. tęsinys. Perdangos vertikalieji (kairėje) ir horizontalieji (dešinėje) dinaminiai poslinkiai, kai šilumvežių greitis: b) 20 km/h kryptis Jašiūnų; c) 29 km/h kryptis Stasylų; d) 30 km/h kryptis Jašiūnų (mėlyna linija –sija S1–1, raudona linija –sija S1–2)

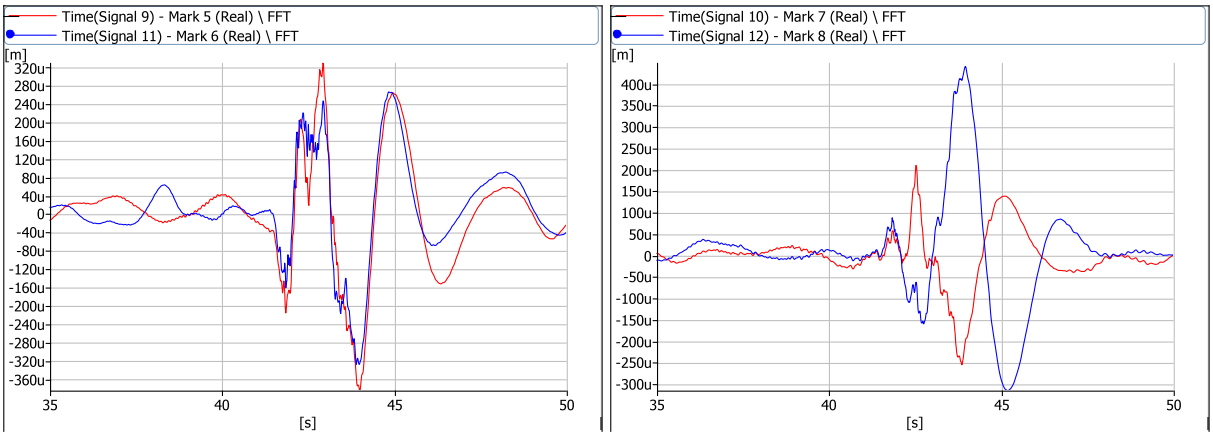
e)



f)

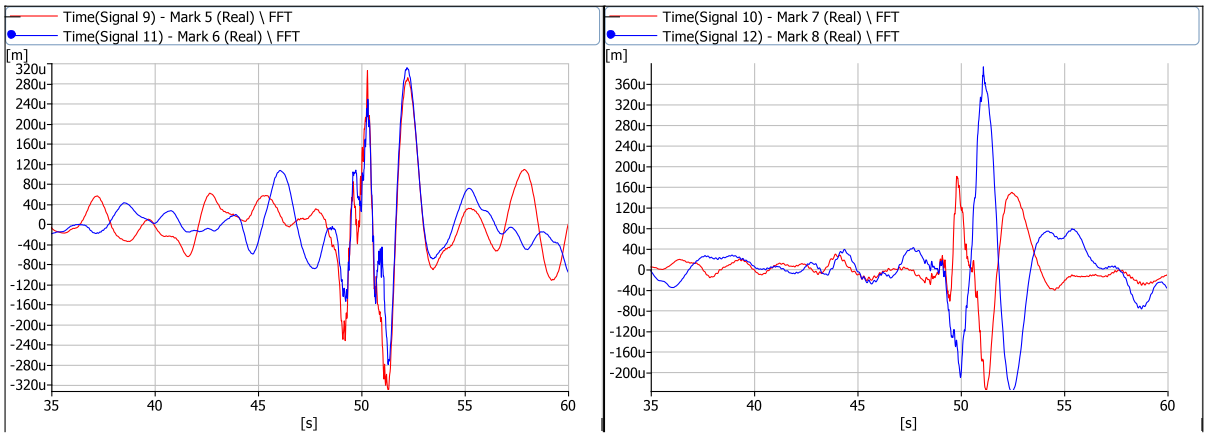


g)

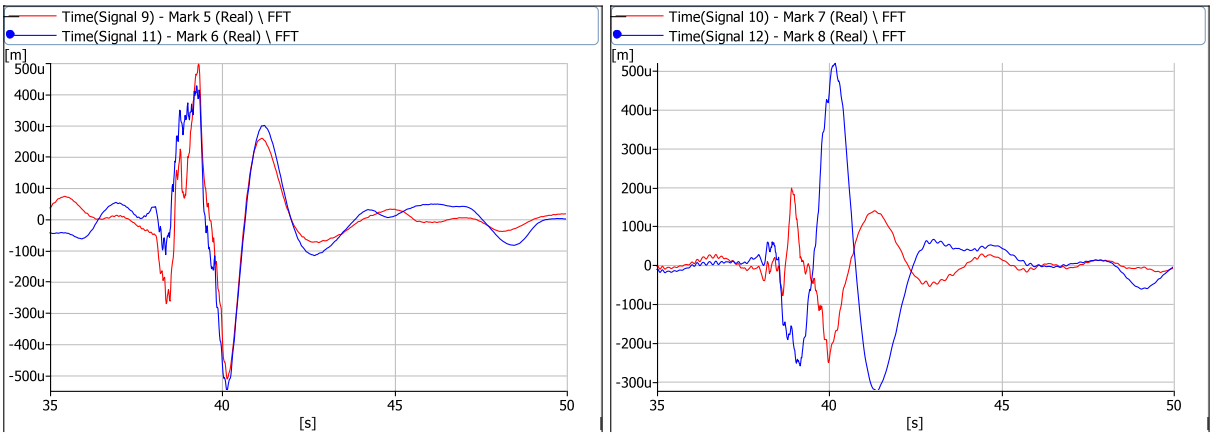


4.13 pav. tęsinys. Perdangos vertikalieji (kairėje) ir horizontalieji (dešinėje) dinaminiai poslinkiai, kai šilumvežių greitis: e) 39 km/h kryptis Stasylų; f) 41 km/h kryptis Jašiūnų; g) 50 km/h kryptis Stasylų; (mėlyna linija –sija S1–1, raudona linija –sija S1–2)

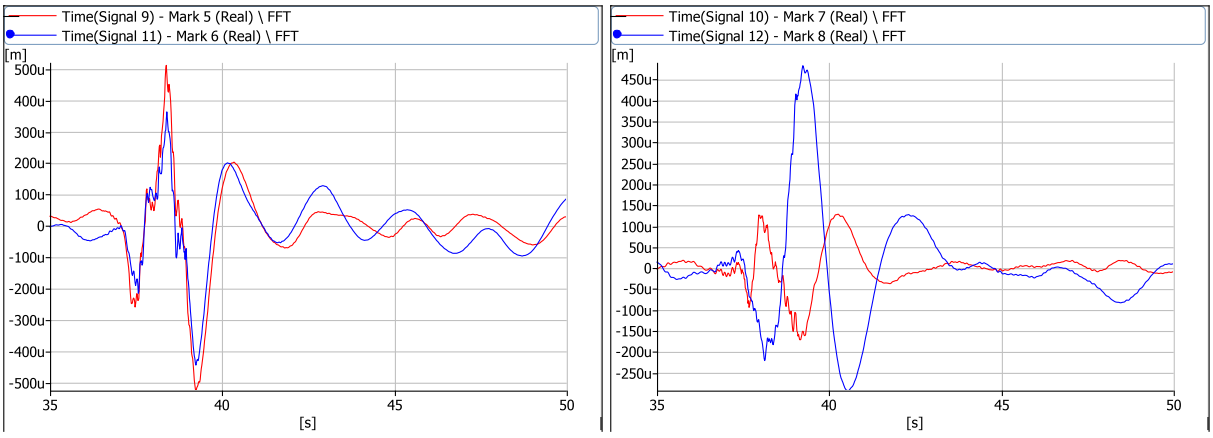
h)



i)

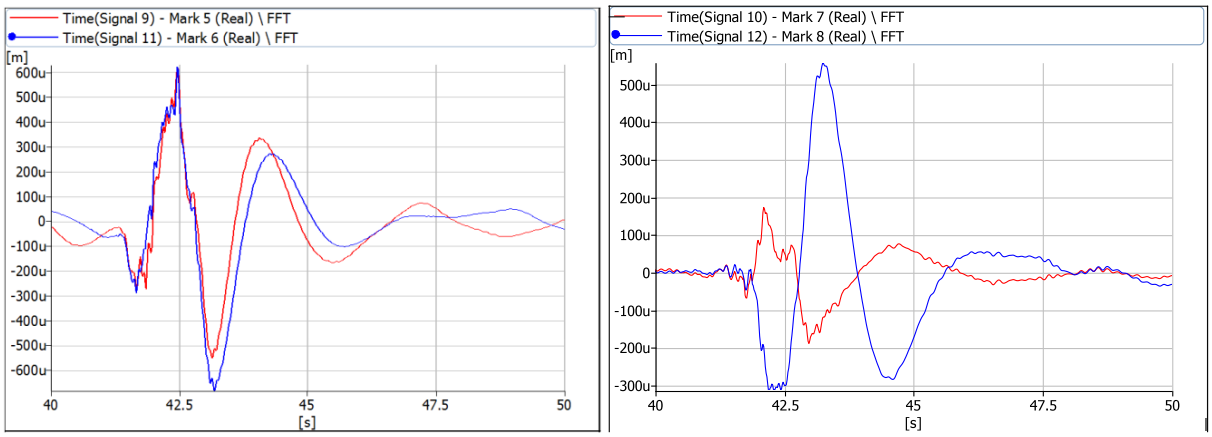


j)

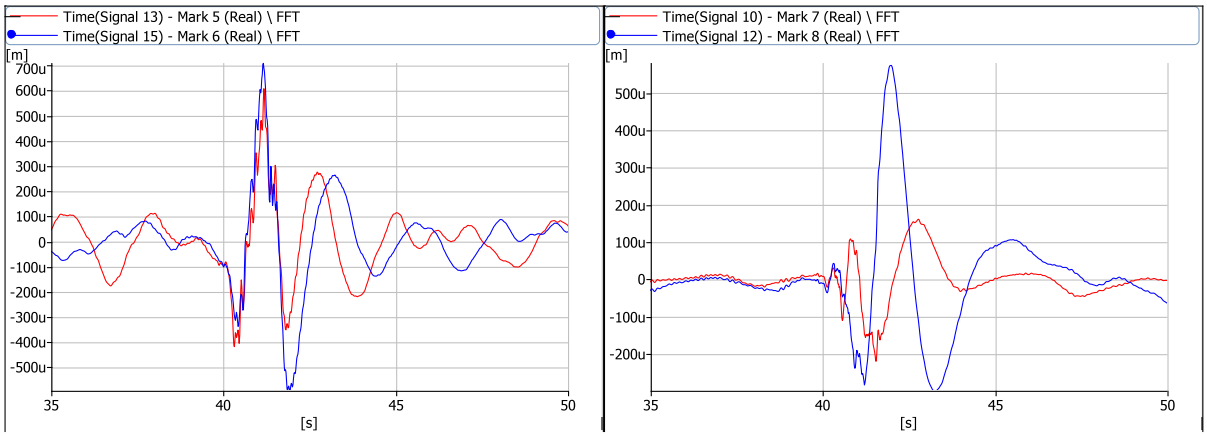


4.13 pav. tęsinys. Perdangos vertikalieji (kairėje) ir horizontalieji (dešinėje) dinaminiai poslinkiai, kai šilumvežių greitis: h) 50 km/h kryptis Jašiūnų; i) 60 km/h kryptis Stasylų; j) 60 km/h kryptis Jašiūnų (mėlyna linija –sija S1–1, raudona linija –sija S1–2)

k)



l)



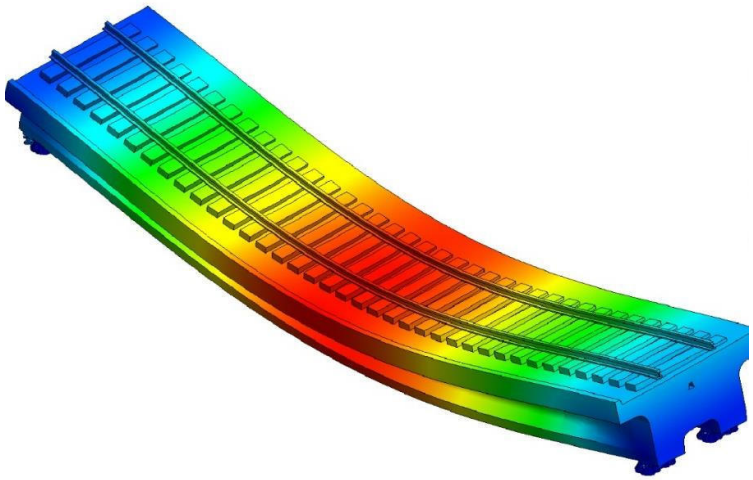
4.13 pav. tęsinys. Perdangos vertikalieji (kairėje) ir horizontalieji (dešinėje) dinaminiai poslinkiai, kai šilumvežių greitis: k) 76 km/h kryptis Stasylų; ; l) 77 km/h kryptis Jašiūnų (mėlyna linija –sija S1–1, raudona linija –sija S1–2)

Tilto dinaminio bandymo eksperimentinių ir teorinių rezultatų sugretinimas pateikiamas kitame skirsnyje, o palyginimas su Lietuvoje galiojančių normatyvinių dokumentų [4, 5] reikalavimais 5.2 poskyryje.

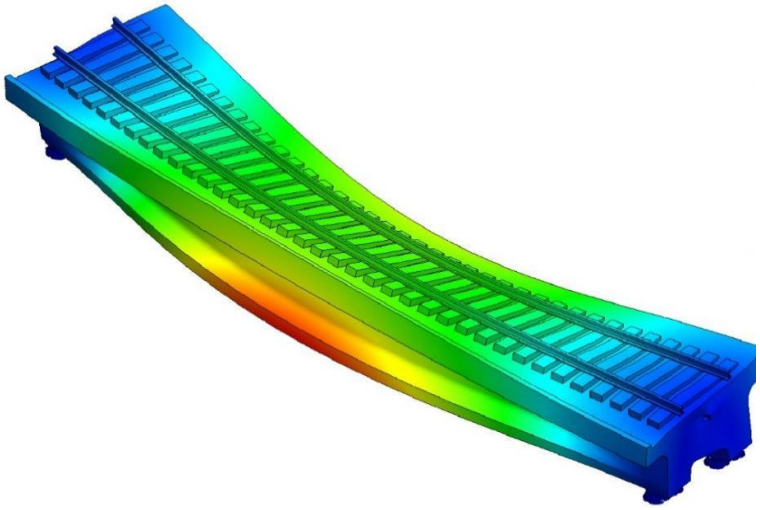
4.2.5. Eksperimentinių ir teorinių rezultatų sugretinimas

Darbe atliktas eksperimentinių ir teorinių svyravimo formų bei jų dažnių, o taip pat dinaminių bei slopimo koeficientų palyginimas. Tilto baigtinių elementų modelis pateiktas 4.8 pav. (4.1.4 skirsnis). Būtina pabrėžti, kad baigtinių elementų metodu galima gauti neribotą kiekį svyravimų. Teorinių ir eksperimentinių formų bei dažnių palyginimui atrinktos IV pagrindinės formos identifikuotos eksperimentinių tyrimų metu. Eksperimentinių formų teoriniai atitikmenys ir dažniai pateikti 4.14 pav., o rezultatų palyginimas 4.9 lentelėje.

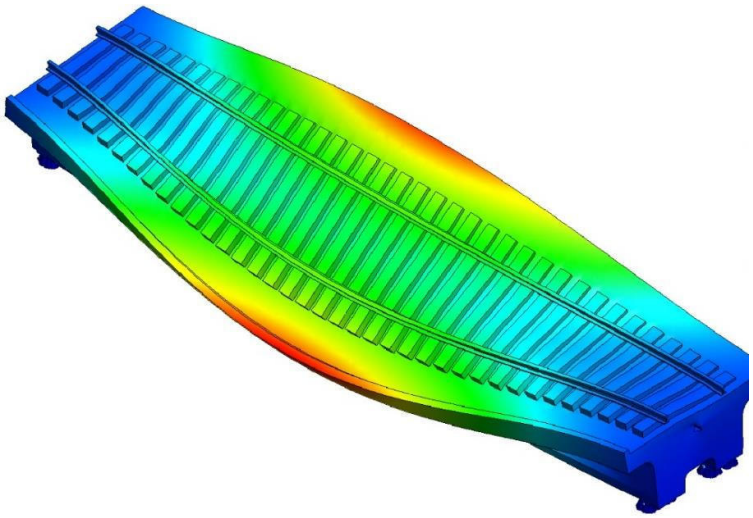
I vertikali, 10,26 Hz



I horizontali, 10,81 Hz

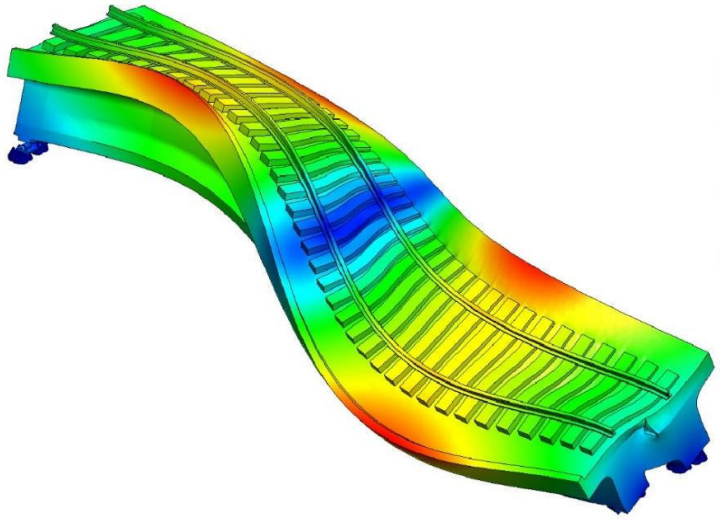


I sukamoji, 13,53 Hz



4.14 pav. Tilto perdangos teoriniai savųjų svyravimų dažniai

II horizontali, 24,93 Hz



4.14 pav. tęsinys. Tilto perdangos teoriniai savųjų svyravimų dažniai

4.11 lentelė. Eksperimentinių ir teorinių dažnių sugretinimas

Eil. Nr.	Forma	Dažnis		Teorinis/Eksperimentinis
		Eksperimentinis	Teorinis	
1	Vertikali I	9,75	10,26	1,05
2	Horizontali I	11,69	10,81	0,92
3	Sukamoji I	13,13	13,53	1,03
4	Horizontali II	24,81	24,93	1,00

Kaip matyti iš pateiktos lentelės, eksperimentais patvirtintos visos teorinės modos. Gautas geras teorinių ir eksperimentinių rezultatų sutapimas. Teorinių ir eksperimentinių dažnių paklaidos svyruoja 0,4–8 % ribose.

LST-EN standartas [4] rekomenduoja laisvųjų virpesių pirmąjį dažnį laisvai paremtoms konstrukcijoms apskaičiuoti pagal formulę:

$$n_0 = \frac{17,75}{\sqrt{\delta_0}}, \qquad (4.1)$$

čia δ_0 (mm) – didžiausias įlinkis nuo nuolatinės apkrovos. Kadangi perdangos nuo nuolatinės apkrovos turi išlinkį, tiksliai eksperimentiškai įvertinti šį įlinkį nėra galimybės. Skaičiavimuose priimtos reikšmės gautos analizuojant konstrukcijos kompiuterinį modelį (žr. 4.1.4 skirsnį). Nustatyta, kad tilto perdangos įlinkis δ_0=2,99 mm. Tuomet teorinis laisvųjų svyravimų vertikalusis pagrindinis dažnis n_0=10,27 Hz. Bandymuose gauta vertikalaus dažnio reikšmė f_1= 9,75 Hz) gerai sutampa su teorine reikšme (skirtumas 5%).

Lietuvos standartas [4] reglamentuoja tiltų perdangų pirmos formos laisvųjų virpesių n_0 viršutinę ir apatinę dažnių ribas, atsižvelgiant į perdangos tarpatramį L. Viršutinė riba:

$$n_0 = 94{,}76L^{-0{,}748} = 94{,}76 \cdot 22{,}9^{-0{,}748} = 10{,}91\ Hz, \quad (4.2)$$

apatinė riba

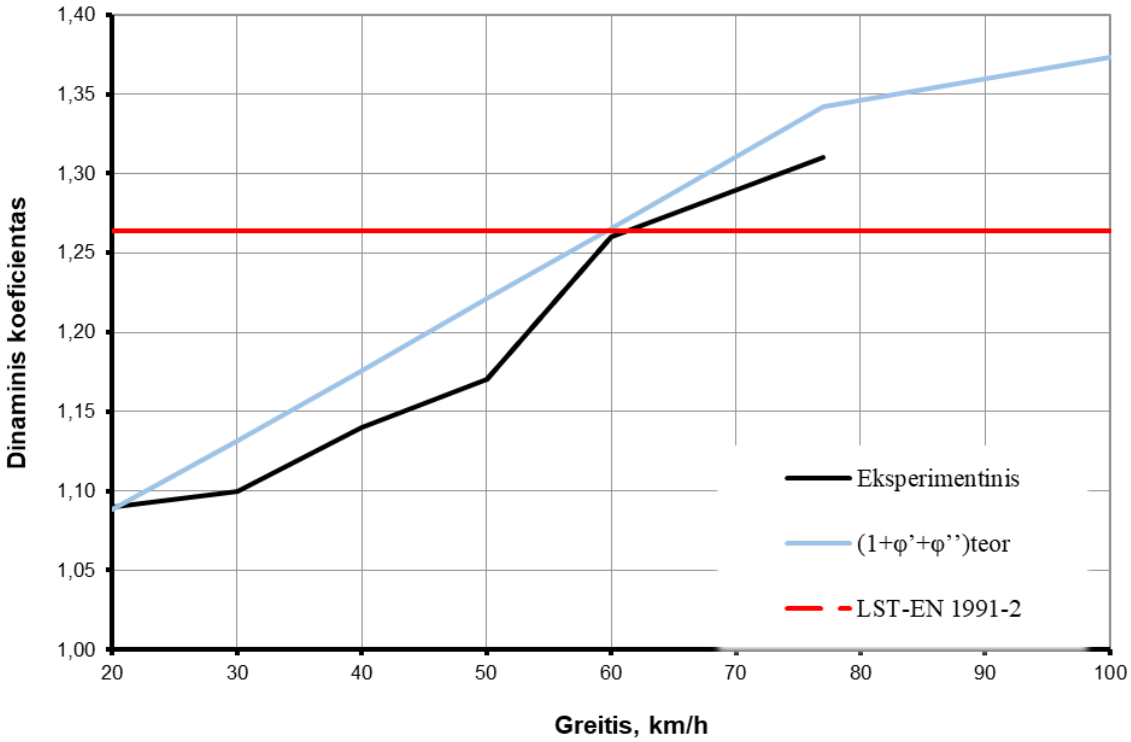
$$n_0 = 80/L = 80/22{,}9 = 4{,}44\ Hz. \quad (4.3)$$

Pirmieji laisvųjų vertikalių virpesių dažniai patenka į nurodytas ribas, o traukinių greitis $v <$ 200 km/h, todėl tilto perdangos dinaminė analizė nebūtina, o apkrovų dinaminis poveikis gali būti įvertintas taikant standarte [4] reglamentuojamą dinaminį koeficientą Φ_3.

Lietuvos standartas LST EN [5] reglamentuoja geležinkelio tiltų perdangų pirmos formos horizontalių laisvųjų svyravimų žemutinę ribą $f_{h0} \geq 1{,}2$ Hz. Eksperimentinių tyrimų metu nustatytas perdangos I-osios horizontaliosios formos dažnis 10,81 Hz. Taigi LST EN normų [5] reikalavimai tenkinami.

LST EN standartas [4] gelžbetoniams tiltams reglamentuoja kritinę (žemutinės ribos) virpesių slopumo koeficiento ζ reikšmę. Didesnio nei 20 m tarpatramio gelžbetonio perdangoms kritinė reikšmė $\zeta = 1+0{,}07(20-L_0) = 1{,}14$, kur L_0 – sijos skaičiuojamasis ilgis. Eksperimentiškai nustatytos slopimo koeficientų reikšmės kito nuo 1,307 iki 3,872 ir yra mažesnės už standarte LST EN [4] reglamentuojamą ribą.

Papildomai atliktas eksperimentiškai nustatytų ir teorinių dinaminių koeficientų palyginimas. Realaus traukinio ir tiltų projektavime taikomi teoriniai dinaminiai koeficientai apskaičiuoti pagal LST EN 1991-2 [4] metodikas. Teorinių ir eksperimentinių koeficientų reikšmės pateiktos 4.15 pav. ir 4.12 lentelėje.



4.15 pav. Eksperimentinių ir teorinių dinaminių koeficientų palyginimas

4.12 lentelė. Eksperimentinių ir teorinių dinaminių koeficientų palyginimas

Greitis, km/h	Dinaminiai koeficientai		
	Eksperimentinis	1+φ'+φ'' [4]	Φ_3 [4]
20	1,090	1,088	1,264
30	1,100	1,132	
40	1,140	1,176	
50	1,170	1,221	
60	1,260	1,265	
77	1,310	1,342	
100	-	1,373	

Eksperimentiškai nustatyti dinaminiai koeficientai visais atvejais yra mažesni už teorinius dinaminius realaus traukinio koeficientus 1+φ'+φ''. Teorinio ir eksperimentinio dinaminio koeficiento santykis svyruoja 0,99–1,04 ribose. Eksperimentiniai dinaminiai koeficientai viršija geležinkelio tiltų projektavime pagal LST EN 1991-2 [4] taikomo koeficiento Φ_3 reikšmę, kai greitis v>60 km/h.

Realaus traukinio dinaminis koeficientas (1+φ'+φ'') teoriškai apskaičiuotos priėmus maksimalų 100 km/h greitį. Atlikta tilto dinaminių koeficientų analizė parodė, kad LST EN [4] reglamentuojamos realaus traukinio teorinio dinaminio koeficiento (1+φ'+φ'') reikšmės neviršija eksperimentinių, todėl tolimesnėje analizėje jie bus panaudoti vertinant realių traukinių sukeliamus efektus bei įtakos perdangos laikomąjai galiai vertinime. Tilto perdangų dinaminių parametrų atitikimo Lietuvoje galiojančių normatyvinių dokumentų reikalavimams [4. 5] įvertinimas atliktas 5.2 poskyryje.

4.2.6. Dinaminių bandymų išvados

1. Smūginės apkrovos sužadinančiuose ir eksperimentais nustatytuose tilto perdangų laisvuose vertikaliuose ir horizontaliuose virpesiuose galima išskirti 4 pagrindines virpesių modas: I– 9,75 Hz; II – 11,69 Hz; III – 13,13 Hz; IV – 24,81 Hz.
2. Gautos eksperimentinės savųjų svyravimų dažnių reikšmės gerai sutampa su baigtinių elementų metodu gautomis reikšmėmis. Teorinių ir eksperimentinių dažnių paklaidos svyruoja 0,4–8 % ribose.
3. Eksperimentinių tyrimų metu nustatytas perdangos I-osios horizontaliosios formos dažnis 10,81 Hz yra didesni už LST EN 1990 reglamentuojamą apatinę ribą f_{h0}=1,2 Hz.

4. Virpesių slopimas yra svarbus konstrukcijų dinaminis parametras, ypač kai traukinių greičiai atitinka rezonansinį apkrovimą. Eksperimentiškai nustatytos slopimo koeficientų reikšmės kito nuo 1,307 iki 3,872 ir yra mažesni už LST EN 1991-2 standarte reglamentuojamą kritinę virpesių slopumo koeficiento ribą 1,14.
5. Perdangos vertikalių virpesių didžiausias eksperimentinis pagreitis $a_{v,max}$=0,467 m/s^2, kai v = 77 km/h. Atitinkamai horizontalių svyravimų maksimalus pagreitis – $a_{h,max}$=0,223 m/s^2, kai v = 41 km/h.
6. Eksperimentiškai nustatyti dinaminiai koeficientai visais atvejais yra mažesni už teorinius dinaminius realaus traukinio koeficientus 1+φ'+φ''. Teorinio ir eksperimentinio dinaminio koeficiento santykis svyruoja 0,99–1,04 ribose. Eksperimentiniai dinaminiai koeficientai viršija geležinkelio tiltų projektavime pagal LST EN 1991-2 taikomo koeficiento Φ_3 reikšmę, kai greitis v>60 km/h.
7. Perdangos laisvųjų vertikalių virpesių I-os formos dažnis (9,75 Hz) patenka į LST EN 1991-2 standarte reglamentuojamas ribas, o traukinių greitis v < 200 km/h, todėl tilto perdangos dinaminė analizė nebūtina, o dinaminiai poveikiai gali būti įvertinami supaprastintai, taikant dinaminius koeficientus.

5. TILTO KONSTRUKCIJŲ ATITIKIMO NORMATYVINIŲ DOKUMENTŲ REIKALAVIMAMS VERTINIMAS

5.1. Laikomosios galios normaliniame ir įstrižajame pjūviuose skaičiavimai

Skyriuje atliktas gelžbetoninės perdangos laikomosios galios normaliniame ir įstrižajame pjūviuose įvertinimas. Skyriuje pateikiama šių skaičiavimų apibendrinta analizė bei STR 2.05.05:2005 [8] reglamento reikalavimams įvertinimas. Tyrimuose taikyti apkrovų modeliai aprašyti 1.4 poskyryje, o laikomosios galios įvertinimo metodika 1.5 poskyryje. Laikomosios galios skaičiavimo rezultatai, taikant projektavimo normose [8] reglamentuojamas metodikas bei dalinius patikimumo koeficientus apibendrinti 5.1 ir 5.2 lentelėse. Skaičiavimuose apytikriai įvertinti kelio ašies nukrypimai. Atsparumo patikrinimas normaliniame pjūvyje atliktas maksimalų lenkimo momentą, tuo tarpu įstrižajame pjūvyje ties atrėmimo ašimi pagal skersinę jėgą V_{Ed1} (žr. 5.1 lentelę) ir ties sienutės susiaurėjimu iki 260 mm (2,65 m nuo atrėmimo ašies) skersinę jėgą V_{Ed2}. Perdangų betono gniuždomasis bei armatūros tempiamasis stipriai priimti pagal tipinių projektų duomenis. Galima teigti, kad priimtos gniuždomojo stiprio reikšmės yra konservatyvios, kadangi neardančiais metodais nustatytos eksperimentinės stiprio reikšmės buvo aukštesnės (žr. 3.7 poskyrį). Perdangos būklė visumoje gera, todėl papildomi koeficientai mažinantys laikomąją galią skaičiavimuose nepriimti. Apskaičiavimas reikalingi duomenys detaliau paaiškinti 1.5 poskyryje.

5.1 lentelė. Nuolatinės ir laikinosios apkrovų efektai vienai tilto perdangos sijai

Projektavimo normos	Apkrovos efektas	Nuolatinė apkrova	Laikinoji apkrova
LST EN (LM71)	M_{Ed}, kNm	2052	5165
Φ_3=1,264; γ_g=*1,35*; γ_Q=1,45;	V_{Ed1}, kN	456	1231
α=1; ε_j=0,555	V_{Ed2}, kN	322	952
LST EN (SW/2)	M_{Ed}, kNm	2052	4608
Φ_3=1,264; γ_Q=1,2; α=1;	V_{Ed1}, kN	456	1024
ε_j=0,50	V_{Ed2}, kN	322	742
SNiP (C14)			
1+μ=1,263; γ_g=*1,05÷1,30*;	M_{Ed}, kNm	1824	5928
γ_{C14}=1,246; ε_j=0,5	V_{Ed1}, kN	405	1506
A_M=40,5 m^2; A_{V1}=9,0 m;	V_{Ed2}, kN	286	1161
A_{V2}=10,33 m			

Būtina pabrėžti, kad neturint tikrųjų duomenų tiksliai įvertinti tilto laikomąją galią yra sudėtinga. Pagal tipinio projekto duomenis perdanga suprojektuota racionaliai su nedidele atsarga,.

Taigi net ir nedideli pokyčiai (projektavimo normų pasikeitimas, padidėjusi nuolatinė apkrova ir pan.) gali lemti saugos ribinio būvio reikalavimų netenkinimo. Tilto projektavimo metu, kai kuriais atvejais buvo leidžiamas netgi maksimalios skaičiuotinės apkrovos viršijimas iki 5%. Kita vertus, nuo tilto statybos laikotarpio pasikeitusios ir gelžbetoninių konstrukcijų projektavimo normos, kuriomis dėl pasikeitusių nuostatų gali būti gaunama mažesnė elementų laikomoji galia lyginant su gautomis pagal SNiP [3]. Atlikti skaičiavimai rodo (5.2 lentelė), kad tilto perdanga tenkina saugos ribinio būvio reikalavimus tiek LST EN [4], tiek ir SNiP [3] apkrovų modelių poveikiams.

5.2 lentelė. Tilto perdangų laikomosios galios normaliniame pjūvyje įvertinimas

Projektavimo normos	Apkrovos efektas	Pavojingojo pjūvio atsparumas, R_d	k_R (1.7)	k_Q (1.8)	k_{Qk} kNm (1.9)
LST EN (LM71) Φ_3=1,201; γ_g=*1,35*; γ_Q=1,45; α=1; ε_j=0,555	M_{Ed}, kNm V_{Ed1}, kN V_{Ed2}, kN	9059 5091 1658	1,26 3,02 1,30	1,36 3,77 1,40	- - -
LST EN (SW/2) Φ_3=1,201; γ_Q=1,2; α=1; ε_j=0,5	M_{Ed}, kNm V_{Ed1}, kN V_{Ed2}, kN		1,36 3,44 1,56	1,52 4,53 1,80	- - -
SNiP (C14) 1+μ=1,263; γ_g=*1,05÷1,30*; γ_{C14}=1,246; ε_j=0,500 A_M=40,5 m^2; A_{V1}=9,0 m; A_{V2}=6,55 m	M_{Ed}, kNm V_{Ed1}, kN V_{Ed2}, kN		1,22 3,11 1,15	1,22 3,11 1,18	224 662 266

Turint leistiną laikinosios apkrovos intensyvumą $k_{Q.k,}$, apskaičiuotą pagal SNiP metodiką ir naudojant buvusios TSRS normatyvinių dokumentų rekomendacijas [7] nustatyta perdangos klasė apkrovai CK. Skaičiavimo metodika detaliau aptarta 1.5 poskyryje, o rezultatai pateikti 5.3 lentelėje. Šioje lentelėje taip pat pateikiamos eksploatuojamų sąstatų apkrovos klasės, kurios nustatytos pagal šaltinyje [7] pateiktus grafikus. Eksploatuojamų sąstatų parametrus taip pat galima rasti šaltinyje [14]. Atlikta analizė parodė, kad jame pateikti sąstatai atitinka Lietuvos geležinkelių linijose eksploatuojamus sąstatus, kurie pateikti priede 1. Gauti rezultatai rodo, kad priklausomai nuo poveikio pobūdžio apkrovos klasių santykis kinta ribose nuo 1,35 iki 5,12. Taigi SNiP apkrovų požiūriu tilto perdangos turi pakankamą saugos atsargą Lietuvos geležinkelio linijose eksploatuojamų apkrovų poveikiui ir gali būti eksploatuojami be greičių ribojimų.

5.3 lentelė. SNiP [4] normų apkrovų bei eksploatuojamų sąstatų poveikiams nustatytos tilto perdangos apkrovos klasės

Eil. Nr.	Poveikis	Apkrovos klasė, K	Eksploatuojamų sąstatų klasė K_0		Santykiai K/K_0	
			Elektrovežiai, šilumvežiai	Transporteriai	Elektrovežiai, šilumvežiai	Transporteriai
1	M_{Ed}	11,5	5,95	8,25	1,93	1,35
2	V_{Ed1}	31,2	6,10	8,00	5,12	3,90
3	V_{Ed2}	12,6	6,10	8,00	2,06	1,57

5.2 lentelėje pateiktas perdangos laikomosios galios įvertinimas šiuo metu Lietuvoje galiojančiose tiltų projektavimo normose LST EN 1991-2 [4] reglamentuojamiems poveikiams. Iš pateiktų rezultatų matyti, kad taikant LM71 ir SW/2 modelius, tilto perdangos laikomoji galia normaliniame ir įstrižajame pjūviuose visais atvejais yra pakankama. Koeficientai k_Q rodo, kad tilto keliamosios galios rezervas susietas su laikinosios apkrovos dydžiu yra nuo 1,36 iki 4,53 karto. Lentelėse 5.1 ir 5.2 pateikti skaičiavimai atlikti priėmus LST EN 1991-2 standarto [4] nacionaliniame priede priimtą apkrovą koreguojančio koeficiento reikšmę α=1,0. Techninėje literatūroje [15] galima rasti informaciją, pagal kurią tiltams, kurių gyvavimo trukmė ilgesnė nei 50 metų, atsižvelgiant į perspektyvinių traukinių svorių augimą rekomenduotina naudoti α=1,33. Iš 5.2 lentelėje pateiktų k_Q matyti, kad šio tilto perdangos saugos ribinio būvio reikalavimai bus tenkinami, kai $\alpha \leq 1{,}36$. Šaltinyje [15] pateikiama, kad geležinkelio tiltų apkrovas koreguojančio koeficiento α reikšmės gali būti 0,75, 0,83, 0,91, 1,00, 1,10, 1,21, 1,33, 1,46. Taigi priėmus STR 2.05.05:2005 [8] reglamento gelžbetoninių konstrukcijų laikomosios galios nustatymo nuostatas esamos būklės tilto perdangų saugos ribinio būvio reikalavimai bus užtikrinti taikant LST EN 1991-2 standarto [4] apkrovų modelius su apkrovas koreguojančio koeficiento reikšme α=1,33.

Darbe papildomai atliktas realių geležinkelio sąstatų sukeltų efektų palyginimas su LST EN modeliais sukeliamais efektais. Darbe panaudoti techninėje užduotyje (priedas 1) bei šaltinyje [16] pateikti elektrovežių, šilumvežių bei vagonų duomenys. Analizei atrinkti ТЭ121 šilumvežis, kurio bendras svoris 156 t, o ašies apkrova 26 t bei 32 ašių transporteris (tipas TC-500K), kurio keliamoji galia 500 t, o ašies apkrova 23,1 t. Šių priemonių traukos riedmenų ir vagonų kategorijose ekvivalentinė tolygiai paskirstyta apkrova yra didžiausia. Realių riedmenų sukeliamos įrąžos palygintos su LST EN standarto LM71 modelio sukeltais skaičiuotiniais efektais. Šiai perdangai šio modelio sukeliamos įrąžos yra kritinės. Realių traukinių duomenys priimti iš šaltinio [14]. Vertinant apkrovos poveikius priimtas projektinis greitis 100 km/h. Priimtus greičius atitinkantys realaus traukinio dinaminiai koeficientai apskaičiuoti pagal LST EN 1991-2 standarte pateiktą metodiką (žr.

4.12 lentelę). Kaip parodė atlikti dinaminiai patikrinamieji bandymai, šie koeficientai gerai reprezentuoja realių transporto priemonių dinaminius poveikius. Skaičiavimuose taip pat įvertintas kelio ašies ekscentricitetas perdangos ašies atžvilgiu. Skaičiavimo rezultatai pateikti 5.4 lentelėje. Joje, pateikiama LST EN modelių sukeliamų skaičiuotinių reikšmių bei realių traukinių sukeliamų poveikių santykiai.

5.4 lentelė. Realių transporto priemonių ir LM71 modelio sukeliami efektai

Eil. Nr.	Poveikio efektas	Realus traukinys	LM71	Santykis
Šilumvežis TЭ121, v=100 km/h				
1	M_{Ek}	2198	3562	1,62
2	V_{Ek1}	627	849	1,35
3	V_{Ek2}	456	657	1,44
Transporteris 500 t, v=100 km/h				
1	M_{Ek}	4306	3562	0,83
2	V_{Ek1}	1027	849	0,83
3	V_{Ek2}	748	657	0,88
Transporteris 500 t, v=40 km/h				
1	M_{Ek}	3575	3562	1,00
2	V_{Ek1}	853	849	1,00
3	V_{Ek2}	621	657	1,06

Iš 5.4 lentelės matyti, kad šilumvežio TЭ121 sukeliamos įrąžos yra nuo 1,35 iki 1,62 karto mažesnės už LM71 modelio charakteristines reikšmes. Išsiskiria 500 t svorio transporteris sukeliamos įrąžos įvertinus realaus traukinio dinaminius koeficientus, kai v=100 km/h, iki 1,17 karto viršija LM71 sukeliamus charakteristinius efektus. Įrąžos apytikriai sutampa priėmus važiavimo greitį v=40 km/h. Būtina pabrėžti, gauti rezultatai yra tendecingi, kadangi LST EN 1991-2 standarte reglamentuojamas LM71 modelis sukelia mažesnio lygmens įrąžas nei SNiP normose, pagal kurias projektuotas tiltas. Į šias tendencijas būtina atkreipti dėmesį projektuojant naujus tiltus bei praleidžiant jais panašaus intensyvumo apkrovas.

5.2. Eksploatacinių parametrų įvertinimas

Pagal statinių ir dinaminių patikrinamųjų bandymų duomenis atlikus perdangos baigtinių elementų modelio kalibravimą teoriškai nustatytas tilto statinis įlinkis nuo projektinių apkrovų LM71 ir SW/2 [4]. Patikrintas įlinkių atitikimas LST EN standartų [4, 5] reikalavimams. Savųjų svyravimų dažnių reikšmių atitikimas normų reikalavimams aptartas 4.2.5 skirsnyje

Maksimalus įlinkis gautas nuo SW/2 apkrovos modelio poveikio. Įlinkio reikšmė sudarė 4,91 mm. Atitinkamai, santykinis įlinkis sudarė L/3664. Ribinė įlinkio reikšmė reglamentuojama LST EN [5] yra L/880=18000/880=20,5 mm (priimtas projektinis greitis iki 120 km/h). Iš analizė matyti, kad tiltas turi nemažą standumo atsargą ir veikiant dabartinėms kintamoms apkrovoms tenkina LST EN [5] reglamentuojamus santykinių įlinkių reikalavimus.

Atsižvelgiant į eismo saugumo kriterijus LST EN standartas [5] geležinkelio tiltų perdangoms su balastu reglamentuoja vertikalių svyravimų maksimalių pagreičių amplitudžių ribą $a_{max} \leq 3{,}5$ m/s^2. Eksperimentinių tyrimų metu nustatyta maksimal vertikaliųjų svyravimų pagreičių reikšmė 0,467 m/s^2 (4.7 lentelė, 4.2.3 skirsnis). Vertikalių pagreičių amplitudės neviršija šiuo metu Lietuvoje galiojančių dokumentų reikalavimų.

5.3. Vertinimo išvados

Atlikus tilto konstrukcijų atitikimo normatyvinių dokumentų reikalavimams vertinimą galima suformuluoti šias išvadas:

1. Atlikus gelžbetoninės perdangos sijos laikomosios galios LST EN 1991-2 ir SNiP 2.05.03-84 apkrovų modelių poveikiams įvertinimą nustatyta, kad tilto perdanga tenkina saugos ribinio būvio reikalavimus tiek LST EN 1991-2, tiek ir SNiP 2.05.03-84 apkrovų modelių poveikiams.
2. Taikant SNiP 2.05.03-84 apkrovų modelio leistiną laikinosios apkrovos intensyvumą *bei* naudojant buvusios TSRS normatyvinių dokumentų rekomendacijas nustatyta tilto perdangos klasė apkrovai CK. Normaliniame ir įstrižajame pjūviuose ji svyravo nuo 11,5 iki 31,2.
3. Įvertinus galimus Lietuvos geležinkelio linijose eksploatuojamų sąstatų parametrus, nustatyta, kad perdangos klasių, apskaičiuotų pagal SNiP 2.05.03-84 apkrovų modelius bei eksploatacinius poveikius, santykis kinta ribose nuo 1,35 iki 5,12. Galima teigti, kad SNiP 2.05.03-84 apkrovų požiūriu tilto perdanga turi pakankamą saugos atsargą Lietuvos geležinkelio linijose eksploatuojamų apkrovų poveikiui.
4. Taikant LST EN 1991-2 standarte reglamentuojamus LM71 ir SW/2 apkrovų modelius, tilto perdangos laikomoji galia normaliniame ir įstrižajame pjūviuose yra pakankama, o keliamosios galios rezervas susietas su laikinosios apkrovos dydžiu yra nuo 1,36 iki 4,53 karto. Tilto perdangų

saugos ribinio būvio reikalavimai bus užtikrinti taikant LST EN 1991-2 standarto apkrovų modelius su apkrovas koreguojančio koeficiento reikšme α=1,33.

5. Realaus šilumvežio TЭ121, kurio bendras svoris 156 t, o ašies apkrova 26 t, sukeliamos įrąžos yra nuo 1,35 iki 1,62 karto mažesnės už LM71 modelio charakteristines reikšmes.
6. Skaičiavimuose priėmus 32 ašių transporterį (tipas TC-500K), kurio keliamoji galia 500 t, o ašies apkrova 23,1 t, nustatyta, kad šio jo sukeliamos įrąžos apytikriai lygios LM71 modelio sukeltiems efektams, kai važiavimo greitis v=40 km/h. Į šias tendencijas būtina atkreipti dėmesį projektuojant naujus tiltus bei praleidžiant jais panašaus intensyvumo apkrovas.
7. Tilto perdangos turi nemažą standumo atsargą ir veikiant LST EN 1991-2 standarte reglamentuojamiems kintamos apkrovos modeliams tenkina LST EN 1990 reglamentuojamus santykinių įlinkių reikalavimus.
8. Atsižvelgiant į eismo saugumo kriterijus LST EN 1990 standartas geležinkelio tiltų perdangoms su balastu reglamentuoja vertikalių svyravimų maksimalių pagreičių amplitudžių ribą $a_{max} \leq 3{,}5$ m/s^2. Eksperimentinių tyrimų metu nustatyta vertikaliųjų svyravimų pagreičių maksimali amplitudė (0,467 m/s^2) neviršija šiuo metu Lietuvoje galiojančių dokumentų reikalavimų.

6. TILTO TECHNINĖS BŪKLĖS ĮVERTINIMO APIBENDRINANČIOS IŠVADOS IR REKOMENDACIJOS BŪKLEI PAGERINTI

Atlikus *geležinkelio kelyje Vilnius–Stasylos 35+970 km esančio gelžbetoninio tilto* laikančiųjų konstrukcijų ir elementų techninės būklės vertinimą, statinius ir dinaminius patikrinamuosius bandymus, tilto perdangų atitikimo normatyvinių dokumentų reikalavimams vertinimą galima suformuluoti tokias apibendrinančias išvadas bei rekomendacijas statinio būklei pagerinti:

1. Geležinkelio kelio ir šalitilčių pakloto elementai (danga ir turėklai) tyrimų metu buvo neblogos būklės, tačiau kai kuriose lokaliose vietose pastebėti šie defektai:
    - gelžbetoninių pabėgių lokaliose zonose (apie 10%) yra nuoskėlų, juose yra plyšių (apie 70 % pabėgių);
    - ant perdangos lokaliose zonose (sijos S1-1 pusėje ties atrama 0) trūksta balasto;
    - šalitilčius laikančiose metalinėse gembėse esminių defektų nerasta; tačiau dėl nuolatinio drėkinimo jų elementai (apie 90 %) sukorodavę; vietomis atšokęs apdailinis sluoksnis;
    - dėl tų pačių priežasčių šalitilčių visų pakloto plokščių paviršiai padūlėję, yra nuoskėlų ir plyšių (apie 20%);
    - kai kurios šalitilčių plokštės nėra tinkamai pritvirtintos prie gembių ir einant per tiltą juda (apie 10%);
    - kai kuriose vietose plieninių gembių tvirtinimo prie perdangos jungtys be veržlių. Kai kuriose zonose gembių elementai privirinti prie varžtų;
    - plieninių turėklų paviršiai nudažyti, tačiau prasidėjusi jų korozija tiek strypiniuose elementuose;
    - kai kuriuose ruožuose deformuoti turėklų porankiai, nesutampa kai kurių elementų ašys.
    - apžiūros aikštelių atramose 0 ir 1 plieniniai elementai nežymiai sukorodavę;
2. Geležinkelio vėžė nėra simetriška tilto išilginės ašies atžvilgiu. Didžiausias kelio ašies pasislinkimas sudaro 18 mm (ties atrama 1, į sijos 1-2 pusę). Mažiausiai ašis nukrypusi tarpatramio viduryje. Nuokrypis sudaro 5 mm link sijos S1-1. Pagal kelio statinių priežiūros instrukcijos 147/K reikalavimus tiesėje esančio geležinkelio kelio ant skaldos balasto ašis neturi nukrypti nuo tilto perdangos ašies daugiau kaip 50 mm. Gautos kelio ašies nukrypimo reikšmės yra leistinose ribose.
3. Gelžbetoninės perdangos konstrukcijų būklė yra gera. Nors kritinių pažaidų nenustatyta, konstrukcijose yra defektų, kurie blogina konstrukcijų ilgaamžiškumą bei mažina jų gyvavimo trukmę.

4. Vandens pratakos yra būdingas šio tipo tiltų defektas. Galima išskirti šias charakteringas pratakų vietas: perdangų ir šalitilčių sandūra, įrengti šulinėliai, neužpildytos kiaurymės šulinėliams, gelžbetoninių sijų sandūra išilgine tilto linkme, deformaciniai pjūviai ties atramomis. Esant atmosferos krituliams minėtuose ruožuose perdangų paviršiai nuolatos drėkinami.
5. Dėl nuolatinio drėkinimo ir filtravimosi per betoną lokaliose zonose betono paviršiai parudavę, apkerpėję ar sudūlėję.
6. Sijų kai kuriose lokaliose zonose per mažas apsauginis sluoksnis, matoma sukorodavusi paviršinė armatūra. Kai kuriose zonose apsauginis sluoksnis atšokęs dėl armatūros korozijos ar drėgminių ir temperatūrinių ciklinių poveikių.
7. Sijų lokaliose zonose yra vertikalių ir horizontalių plyšių. Viena iš charakteringų zonų – ruožas ties atraminiu guoliu. Pastarieji plyšiai yra būdingi šio tipo konstrukcijoms. Šiose zonose nuo betono paviršiaus atskilusi atraminė plokštelė. Taip pat yra plyšių, kurie galėjo atsirasti dėl nuolatinio drėkinimo atraminėse zonose.
8. Nekokybiškai įrengtas diafragmų sujungimas. Sandūros betonas porėtas, vietomis su kavernomis. Kai kurios sandūros drėksta.
9. Vandens nuvedimo sistema nuo perdangos neįrengta. Dėl neįrengtos sistemos nuolatos drėkinami perdangos sijų paviršiai.
10. Nepaslankių atraminių guolių būklė gera. Atlikus atraminių guolių apžiūras nustatyta, kad esminių pažaidų ir defektų, lemiančių jų laikomosios galios sumažėjimą nėra. Dėl drėkinamų nepaslankių atraminių guolių paviršiuose prasidėjusi korozija.
11. Nepaslankių atraminių guolių (1AG0-1 ir 1AG0-2, 2.7 pav.) būklė nėra gera. Apatinis balansyras pasislinkęs link atramos 0 atkaltės. Balansyras apatinėje dalyje papildomai sutvirtintas plieniniais strypais. Esama guolių būklė neužtikrina jų funkcionalumo.
12. Ramtų atkalčių (priekinės sienos), šoninių sparnų bei rygelių paviršiai drėkinami vandeniu, vietomis parudavę gelžbetoninių elementų (rygelio) paviršiai.
13. Lokaliose ramtų zonose matomi išplauti mūro skiedinio cementinio akmens elementai.
14. Ramtų elementuose yra plyšių. Gretimi elementai sandūrose atitrūkę vienas nuo kito.
15. Atraminiams guoliams atremti skirtos atraminės aikštelės pažeistos lokaliose zonose, vietomis nutrupėjęs betonas.
16. Atramos 0 atkaltėje išklupęs mūras. Tai ilgalaikės eksploatacijos pasekmė, kadangi išklupusiame elemente plyšiai nenustatyti.
17. Už ramtų sienų įrengti balastą laikantys gelžbetoniniai blokai deformuoti ir atskilę nuo atraminių sienų sparnų.

18. Šlaitiniai laiptai be turėklų, pakopų paviršiai vietomis sudūlėję, apsamanoję dėl ciklinių drėgminių ir temperatūrinių procesų. Pasitaiko deformuotų pakopų bei nuoskėlų jose.
19. Perdangos sijos nuo nuolatinės apkrovos turi išlinkius. Gretimų sijų išlinkių reikšmės yra panašios. Didžiausias išlinkis nustatytas sijoje S1-2 sudarė 47 mm. Sijos S1-1 išlinkis sudarė 35 mm. Skirtingas išlinkių reikšmes galimai lemia skirtingas balasto storis bei skirtingas išankstinis įtempimas dėl skirtingo sijų amžiaus montavimo metu.
20. Atlikus betono gniuždomojo stiprio tyrimus neardančiais metodais, nustatyta, kad perdangos sijų betonas apytikriai atitinka C30/37 klasę (f_{ck}=30 MPa), o atramų gelžbetoninių rygelių – C20/25 klasę (f_{ck}=20 MPa) pagal LST EN 206. Perdangos sijoms gautos reikšmės yra didesnės nei pateiktos tipiniuose panašių tiltų projektuose. Projektinė atramų elementų betono klasė nėra žinoma.
21. Statiniais bandymais nustatyta maksimali eksperimentinio įlinkio reikšmė sudarė: sijai S1-1 – 2,23 mm, o sijai S1-2 – 2,04 mm. LST EN 1991-2 standarte reglamentuojama ribinė įlinkio reikšmė priėmus maksimalų projektinį traukinių greitį 120 km/h yra L/880=22900/880=20,5 mm. Gautos reikšmės yra ~10 kartų mažesnės.
22. Gretimos sijos deformuojasi skirtingai. Esant skirtingiems apkrovimams, sija S1-1 yra 3–13% labiau apkrauta nei sija S1-2. Šias tendencijas lemia kelio ašies nukrypimai tilto perdangos ašies atžvilgiu.
23. Statinio bandymo metu išlaikius apkrovą ant tilto nustatyti plastiniai įlinkiai, kurie skirtingoms sijoms skirtingų apkrovimų metu siekė 0,007–0,122 mm. Nukrovus perdangas, išmatuoti perdangų liekamieji įlinkiai. Gauti liekamieji įlinkiai – 0,005–0,095 mm. Kadangi nėra specialių nurodymų dėl y_{pl}/y_{tot} santykio reikšmių geležinkelio tiltams, vadovautasi kitų norminių dokumentų rekomendacijomis. Gautos santykių maksimalios reikšmės: sijai S1-1 – y_{pl}/y_{tot}=0,056<β=0,20, sijai S1-2 – y_{pl}/y_{tot}=0,045<β=0,20, neviršija priimtų taisyklų reikalavimų.
24. Atlikus perdangų kompiuterinį modeliavimą perdangos sijai S1-1 gautas eksperimentinių ir teorinių vidutinių įlinkių santykis sudarė α_1=0,7<y_{eks}/y_{teor}=0,928≤α_2=1,05, sijai S1-2 – α_1=0,7<y_{eks}/y_{teor}=0,888≤α_2=1,05. Gauti rezultatai atitinka priimtose taisyklėse nustatytas santykinių įlinkių kitimo ribas.
25. Smūginės apkrovos sužadinančiuose ir eksperimentais nustatytuose tilto perdangų laisvuose vertikaliuose ir horizontaliuose virpesiuose galima išskirti 4 pagrindines virpesių modas: I– 9,75 Hz; II – 11,69 Hz; III – 13,13 Hz; IV – 24,81 Hz.
26. Gautos eksperimentinės savųjų svyravimų dažnių reikšmės gerai sutampa su baigtinių elementų metodu gautomis reikšmėmis. Teorinių ir eksperimentinių dažnių paklaidos svyruoja 0,4–8 % ribose.

27. Eksperimentinių tyrimų metu nustatytas perdangos I-osios horizontaliosios formos dažnis 10,81 Hz yra didesni už LST EN 1990 reglamentuojamą apatinę ribą f_{h0}=1,2 Hz.
28. Virpesių slopimas yra svarbus konstrukcijų dinaminis parametras, ypač kai traukinių greičiai atitinka rezonansinį apkrovimą. Eksperimentiškai nustatytos slopimo koeficientų reikšmės kito nuo 1,307 iki 3,872 ir yra mažesni už LST EN 1991-2 standarte reglamentuojamą kritinę virpesių slopumo koeficiento ribą 1,14.
29. Perdangos vertikalių virpesių didžiausias eksperimentinis pagreitis $a_{v,max}$=0,467 m/s^2, kai v = 77 km/h. Atitinkamai horizontalių svyravimų maksimalus pagreitis – $a_{h,max}$=0,223 m/s^2, kai v = 41 km/h.
30. Eksperimentiškai nustatyti dinaminiai koeficientai visais atvejais yra mažesni už teorinius dinaminius realaus traukinio koeficientus 1+φ'+φ''. Teorinio ir eksperimentinio dinaminio koeficiento santykis svyruoja 0,99–1,04 ribose. Eksperimentiniai dinaminiai koeficientai viršija geležinkelio tiltų projektavime pagal LST EN 1991-2 taikomo koeficiento Φ_3 reikšmę, kai greitis v>60 km/h.
31. Perdangos laisvųjų vertikalių virpesių I-os formos dažnis (9,75 Hz) patenka į LST EN 1991-2 standarte reglamentuojamas ribas, o traukinių greitis v < 200 km/h, todėl tilto perdangos dinaminė analizė nebūtina, o dinaminiai poveikiai gali būti įvertinami supaprastintai, taikant dinaminius koeficientus.
32. Atlikus gelžbetonininės perdangos sijos laikomosios galios LST EN 1991-2 ir SNiP 2.05.03-84 apkrovų modelių poveikiams įvertinimą nustatyta, kad tilto perdanga tenkina saugos ribinio būvio reikalavimus tiek LST EN 1991-2, tiek ir SNiP 2.05.03-84 apkrovų modelių poveikiams.
33. Taikant SNiP 2.05.03-84 apkrovų modelio leistiną laikinosios apkrovos intensyvumą *bei* naudojant buvusios TSRS normatyvinių dokumentų rekomendacijas nustatyta tilto perdangos klasė apkrovai CK. Normaliniame ir įstrižajame pjūviuose ji svyravo nuo 11,5 iki 31,2.
34. Įvertinus galimus Lietuvos geležinkelio linijose eksploatuojamų sąstatų parametrus, nustatyta, kad perdangos klasių, apskaičiuotų pagal SNiP 2.05.03-84 apkrovų modelius bei eksploatacinius poveikius, santykis kinta ribose nuo 1,35 iki 5,12. Galima teigti, kad SNiP 2.05.03-84 apkrovų požiūriu tilto perdanga turi pakankamą saugos atsargą Lietuvos geležinkelio linijose eksploatuojamų apkrovų poveikiui.
35. Taikant LST EN 1991-2 standarte reglamentuojamus LM71 ir SW/2 apkrovų modelius, tilto perdangos laikomoji galia normaliniame ir įstrižajame pjūviuose yra pakankama, o keliamosios galios rezervas susietas su laikinosios apkrovos dydžiu yra nuo 1,36 iki 4,53 karto. Tilto perdangų saugos ribinio būvio reikalavimai bus užtikrinti taikant LST EN 1991-2 standarto apkrovų modelius su apkrovas koreguojančio koeficiento reikšme α=1,33.

36. Realaus šilumvežio TЭ121, kurio bendras svoris 156 t, o ašies apkrova 26 t, sukeliamos įrąžos yra nuo 1,35 iki 1,62 karto mažesnės už LM71 modelio charakteristines reikšmes.
37. Skaičiavimuose priėmus 32 ašių transporterį (tipas TC-500K), kurio keliamoji galia 500 t, o ašies apkrova 23,1 t, nustatyta, kad šio jo sukeliamos įrąžos apytikriai lygios LM71 modelio sukeltiems efektams, kai važiavimo greitis v=40 km/h. Į šias tendencijas būtina atkreipti dėmesį projektuojant naujus tiltus bei praleidžiant jais panašaus intensyvumo apkrovas.
38. Tilto perdangos turi nemažą standumo atsargą ir veikiant LST EN 1991-2 standarte reglamentuojamiems kintamos apkrovos modeliams tenkina LST EN 1990 reglamentuojamus santykinių įlinkių reikalavimus.
39. Atsižvelgiant į eismo saugumo kriterijus LST EN 1990 standartas geležinkelio tiltų perdangoms su balastu reglamentuoja vertikalių svyravimų maksimalių pagreičių amplitudžių ribą a_{max}≤3,5 m/s^2. Eksperimentinių tyrimų metu nustatyta vertikaliųjų svyravimų pagreičių maksimali amplitudė (0,467 m/s^2) neviršija šiuo metu Lietuvoje galiojančių dokumentų reikalavimų.

APIBENDRINANTI IŠVADA

Atlikus tilto techninės būklės bei atitikimo Lietuvoje galiojančių statybos norminių dokumentų reikalavimams galima teigti, kad tiltas yra tinkamai ir nuolatos prižiūrimas, atliekant einamuosius įprastosios priežiūros darbus. Tai lėmė, kad dabartinė statinio techninė būklė nėra bloga. Tačiau dėl specifinės šio tipo tiltų konstrukcijos rekomenduotina atlikti tilto remonto darbus (žr. 4 ir 5 priedus), siekiant pagerinti jo konstrukcijų ilgaamžiškumą ir saugą.

Vandens pratakos yra būdingas šio tipo tiltų defektas. Galima išskirti šias charakteringas pratakų vietas: perdangų ir šalitilčių sandūra, įrengti šulinėliai, neužpildytos kiaurymės šulinėliams, gelžbetoninių sijų sandūra išilgine tilto linkme, deformaciniai pjūviai ties atramomis. Esant atmosferos krituliams minėtuose ruožuose perdangų paviršiai nuolatos drėkinami. Dėl nuolatinio drėkinimo bei temperatūrinių ir drėgminių ciklų lokaliose zonose jau prasidėjusi betono korozija. Remonto metu būtina sutvarkyti perdangų hidroizoliaciją, užsandarinti deformacinius pjūvius, įrengti lietaus nuvedimo sistemą bei užsandarinti nereikalingas lietaus šulinėlių kiaurymes tilto perdangos sijose. Pažeistus sijų paviršius atstatyti, užtikrinti armatūros antikorozinę apsaugą, suremontuotus paviršius rekomenduotina padengti impregnantais, apsaugančiais nuo išorinių poveikių.

Ramtų konstrukcijų būklė gera. Tačiau jų konstrukciniuose elementuose yra struktūrinių paviršinių defektų. Ramtuose yra nemažai tokio tipo konstrukcijoms būdingų defektų. Ramtų konstrukcijas būtina atnaujinti užtikrinant geometrinių matmenų bei pažeistų vietų atstatymą.

Būtina pakeisti paslankius balansyrinius atraminius guolius, kurių dabartinė būklė neužtikrina jų funkcionalumo.

Atsižvelgiant į dabartinę tilto konstrukcijų būklę galimi tolimesni strateginiai sprendimai priklauso nuo statinio savininko. Statinio būklė gali būti ženkliai pagerinta priėmus 5 priede nurodytas intervencines priemones, remontuojant/rekonstruojant statinį pagal Lietuvoje galiojančių projektavimo normų reikalavimus. Neprižiūrimo tilto ilgaamžiškumas, o kartu sauga ir patikimumas ilgainiui gali sumažėti.

Dabartinė geležinkelio tilto kelyje Vilnius–Stasylos 35+970 km būklė leidžia teigti, kad viaduko laikančiosios konstrukcijos tenkina *STR 2.01.01(1):2005. Esminis statinio reikalavimas „Mechaninis atsparumas ir pastovumas“* reikalavimus. Pagal tyrimų užsakovo pateiktą geležinkelio tiltų klasifikaciją, tiltas priskirtinas I kategorijai, t. y. eismas gali vykti bei svorio ir greičių apribojimo, neviršijant tyrimų užduotyje pateiktų riedmenų svorio bei geometrinių parametrų. Rekomenduotos intervencinės priemonės turi būti priimtos per artimiausius 5 metus. Šiame laikotarpyje nesiėmus priemonių būtina atlikti pakartotiną statinio techninės būklės kaitos vertinimą.

LITERATŪRA

1. Geležinkelio tiltas kelyje Vilnius–Stasylos 35+970 km. Tilto kortelė. Lietuvos geležinkeliai.
2. Geležinkelio tiltų tyrimai: Gelžbetoninio viaduko, esančio geležinkelio kelyje Vilnius–Stasylos 1+648 km, techninės būklės tyrimai. VGTU Statybos fakulteto Statinių, konstrukcijų ir medžiagų laboratorija, 2020.
3. СНиП 2.05.03-84. Мосты и трубы. Госстрой СССР. Москва, 1988.
4. LST EN 1991-2:2004/NA:2012. Eurokodas 1. Poveikiai konstrukcijoms. 2 dalis. Tiltų eismo apkrovos. Lietuvos standartizacijos departamentas, 2012.
5. LST EN 1990:2004/NA:2010. Eurokodas. Konstrukcijų projektavimo pagrindai. Lietuvos standartizacijos departamentas, 2010.
6. ST 188710638.10:2005. Automobilių kelių tiltų bandymas. Lietuvos automobilių kelių direkcija prie Susisiekimo ministerijos, 2005.
7. Руководство по определению грузоподъемности железобетонных пролетных строений железнодорожных мостов. Москва, Транспорт, 1989, 125 с.
8. STR 2.05.05:2005. Betoninių ir gelžbetoninių konstrukcijų projektavimas. LR Aplinkos ministerija, Vilnius, 2005.
9. STR 1.03.01:2016. Statybiniai tyrimai. Statinio avarija. LR Aplinkos ministerija, Vilnius, 2016.
10. STR 1.04.04:2017. Statinio projektavimas, projekto ekspertizė. LR Aplinkos ministerija, Vilnius, 2017.
11. TR 2.01:2019 „Automobilių kelių ir geležinkelio tiltų ir tunelių projektavimas“.
12. Kelio statinių priežiūros instrukcija 147/K. Patvirtinta AB „Lietuvos geležinkeliai“ generalinio direktoriaus 2001 10 31 d. įsakymu Nr. 432. Vilnius, 2001.
13. *fib* Bulletin 53. Structural Concrete – Textbook on Behaviour, Design and Performance, Vol. 3. Lausanne, Switzerland.
14. Указания по определению условий пропуска поездов по железнодорожным мостам. Научно-исследовательский институт мостов. Москва, Транспорт, 1983.
15. Calgaro, J.-A., Tschumi, M. and Gulvanessian, H. Designers’ Guide To Eurocode 1: Actions on Bridges. London: Thomas Telford Ltd, 2010, 250 p.
16. STR 2.01.01(1):2005. Esminis statinio reikalavimas „Mechaninis atsparumas ir pastovumas“. LR Aplinkos ministerija, Vilnius, 2005.
17. STR 2.01.01(4):2008. Esminis statinio reikalavimas "Naudojimo sauga". LR Aplinkos ministerija, Vilnius, 2007.

Priedas 1. Tyrimų techninė užduotis ir Lietuvos geležinkelio keliuose eksploatuojamų riedmenų duomenys

2020-05- Sutarties Nr. SUT(LG)-
1 priedas

KELIO STATINIŲ TECHNINĖS BŪKLĖS VERTINIMAS IR KATEGORIJOS PAGAL KĖLĄ NUSTATYMO TYRIMO TECHNINĖ SPECIFIKACIJA

1. **PIRKIMO OBJEKTAS:** Kelio statinių techninės būklės vertinimas ir kategorijos pagal kėlą nustatymo tyrimas (toliau – Tyrimas). BVPŽ kodas 71335000-5 (Inžineriniai tyrimai).

2. **PIRKIMO OBJEKTO PRITAIKYMO SRITIS:**

Įvertinti kelio statinių (priedas Nr. 1) techninę būklę ir nustatyti kategoriją pagal keliamąją galią. Nustatyti kokių prevencinių priemonių (remonto/rekonstrukcijos) būtina imtis, kad būtų užtikrintas nepertraukiamas ir saugus traukinių eismas nustatytais greičiais. Taip pat nustatyti kokiomis apkrovomis bei sąlygomis galima pervežti krovinius per tiriamus kelio statinius.

3. **REIKALAVIMAI, KURIUOS TURI ATITIKTI PERKAMOS PASLAUGOS**

3.1. Tyrimas turi būti parengtas vadovaujantis:

3.1.1. STR 1.01.03:2017 „Statinių klasifikavimas“;
3.1.2. STR 1.04.04:2017 „Statinio projektavimas, projekto ekspertizė“;
3.1.3. STR 2.01.01(1):2005 Esminis statinio reikalavimas „Mechaninis atsparumas ir pastovumas“;
3.1.4. LST EN 1991-1 Eurokodas 1. Poveikiai konstrukcijoms;
3.1.5. LST EN 12504. Betono bandymas konstrukcijose;
3.1.6. LST EN 12390. Betono bandymas;
3.1.7. „Techninio geležinkelių naudojimo nuostatai“ ADV/001;
3.1.8. „Geležinkelių transporto eismo signalizacijos taisyklės“ ADV/002;
3.1.9. „Geležinkelių eismo taisyklės“ ADV/003;
3.1.10. „Geležinkelio kelio priežiūros taisyklės“ K/111;
3.1.11. „Kelio statinių priežiūros instrukcija“ 147/K;
3.1.12. „Statinių artumo gabaritų taikymo instrukcija“ 163/K;
3.1.13. kitais ES ir Lietuvos Respublikoje galiojančių teisės aktų bei techninių reglamentų reikalavimais;
3.1.14. visų aukščiau išvardytų dokumentų aktualiomis redakcijomis arba jiems lygiaverčiais reikalavimais.

4. **REIKALAVIMAI PASLAUGOMS**

4.1. Tyrimas turi būti parengtas laikantis bendrinės lietuvių kalbos normų, teisinės ir geležinkelių transporto terminijos reikalavimų;
4.2. Tyrimo sudėtis:
4.2.1. Bendroji kelio statinių apžiūra;
4.2.2. Detalioji kelio statinių apžiūra ir tyrimai:
4.2.2.1. Perdangų būklė;
4.2.2.2. Perdangų deformacijos;
4.2.2.3. Perdangos tyrimai pagal I ir II ribinius būvius (Saugos ir tinkamumo ribinių būvių nuostatos įtvirtintos STR 2.05.04:2003 "Poveikiai ir apkrovos");
4.2.2.4. Atramų tyrimai (įskaitant atraminius guolius);
4.2.2.5. Kelio statinių statiniai ir dinaminiai bandymai;
4.2.2.6. Statinio kategorijos pagal kėlą ir statinio laikomosios galios nustatymas.

4.3. Kelio statiniuose panaudotų medžiagų (betono, armatūros, plieno) savybių (stipris, deformacinės savybės, struktūra) tyrimai turi būti neardomieji;
4.4. Aprašyti kelio statinių elementų defektus ir pažaidas suklasifikuojant juos į įtakojančius ir neįtakojančius statinio laikomąją galią. Nurodyti jų vystymosi tendencijas ir galimus padarinius;
4.5. Išmatuoti kelio statinių laikančiųjų konstrukcijų deformacijas (įlinkiai, sėdimai, poslinkiai, posvyriai ir kt.);
4.6. Pateikti išvadas dėl atitikimo LST EN 1991-2 Eurokodas 1. Poveikiai konstrukcijoms. 2 dalis. Tiltų eismo apkrovos (71-pirmam ir SW/2 apkrovų modeliams) kelio statinių techninės būklės bei saugios eksploatacijos. Pagal įvertintą esamą konstrukcijų techninę būklę nurodyti kokią maksimalią leidžiamą ašies (t) ir ekvivalentinę (t/m) apkrovą kelio statiniai gali atlaikyti;
4.7. Nurodyti, kokie greičio apribojimai turi būti taikomi AB „Lietuvos geležinkeliai“ eksploatuojamiems riedmenims, važiuojant per konkretų statinį didžiausiu leistinu greičiu atitinkamai geležinkelio kelio kategorijai[1] ir maksimaliai apkrovai į ašį 25 t pagal Techninio geležinkelių naudojimo nuostatus:
4.7.1. pagal 2 priede pateiktas lokomotyvų apkrovas;
4.7.2. pagal 3 priede pateiktas vagonų apkrovas.
4.8. Pateikti išvadas ir rekomendacijas dėl kelio statinių ar jų elementų tolimesnės eksploatacijos bei nurodyti būtinų remonto/rekonstrukcijos darbų atlikimo terminus bei mastus.
4.9. Esant būtinybei Paslaugų teikėjas savo lėšomis turi inicijuoti papildomus, nenumatytus tyrimus, matavimus ir kitus būtinus veiksmus reikalingus sėkmingam geležinkelio tiltų tyrimo atlikimui.

5. DOKUMENTAI, REIKALAUJAMI PIRKIMO OBJEKTO TECHNINIŲ SAVYBIŲ IR KOKYBĖS PATVIRTINIMUI:

5.1. Tyrimų ataskaitą ir rekomendacijos – 1 egz. popieriuje (pasirašytą fiziniu parašu) ir 1 egz. kompiuterinėje laikmenoje (tekstinė dalis .pdf formatu, brėžiniai .dwg formatu) pasirašytą elektoriniu parašu.

5.2. Tyrimams naudotos specialios paskirties technikos, įrenginių ir/ar licencijuotos programinės įrangos sąrašas – 1 egz. popieriuje.

5.3. Deklaraciją, jog tyrimams naudota technika, įrenginiai ir/ar licencijuotos programinės įrangos atitinka techninės specifikacijos reikalavimus – 1 egz. popieriuje.

PRIDEDAMA:

1. Tiriamų kelio statinių sąrašas, 1 lapas;
2. Geležinkelio riedmenų greičio leistinų normų aprašas 244/K, 8 lapai;
3. AB „Lietuvos geležinkeliai“ eksploatuojamų vagonų tipai, 1 lapas.

[1] Geležinkelio kelio kategorijos aprašymas prieinamas internete: https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.31710?jfwid=rivwzvpvg

AKCINĖ BENDROVĖ
„LIETUVOS GELEŽINKELIAI“

PATVIRTINTA
AB „Lietuvos geležinkeliai“
generalinio direktoriaus
2011 m. gruodžio 21 d.
įsakymu Nr. 1-1002

244/K

GELEŽINKELIO RIEDMENŲ GREIČIO LEISTINŲJŲ NORMŲ APRAŠAS

Vilnius 2012

GALIOJA nuo _____

TURINYS

Įvadas 4
1. Taikymo sritis 4
2. Lokomotyvų, elektrinių ir dyzelinių traukinių bei automotrisių, važinėjančių Lietuvos geležinkeliais leistinosios greičio normos 4
3. Leistinosios manevrinių lokomotyvų greičio normos 79
4. Keturių ašių prekinių vagonų su 18-100 ir kitų modelių vežimėliais leistinosios greičio normos 89
5. Leistinosios riedmenų važiavimo per Lietuvos geležinkeliuose naudojamus iešmus greičio normos 90
6. Važiavimo kreivėmis ir jungiamosiomis kreivėmis leistinųjų greičio normų apskaičiavimas 91
7. Didžiausio leistinojo riedmenų greičio kreivėse bei kreivių jungiamosiose kreivėse nustatymo kriterijai 97
8. Leistinojo greičio nustatymas 106
9. Pakeitimų registravimo lapas 109

ĮVADAS

Geležinkelio riedmenų greičio leistinųjų normų aprašas (toliau – Aprašas) parengtas remiantis normų aprašu *Нормы допускаемых скоростей движения подвижного состава по железнодорожным путям колеи 1520 мм федерального железнодорожного транспорта. Москва „Транспорт" 2001* ir kitais norminiais techniniais dokumentais.

1. TAIKYMO SRITIS

Apraše nurodytos geležinkelio riedmenų, važinėjančių 1520 mm pločio vėžės geležinkeliais, leistinosios greičio normos ir jų nustatymo reikalavimai, atsižvelgiant į Lietuvos geležinkeliuose naudojamų riedmenų dinamines savybes ir į tai, kad šių geležinkelių keliai nutiesti vadovaujantis standartu ĮST 1005384.1:1996. *1520 mm vėžės pločio geležinkelio linijos, kai keleivinių traukinių važiavimo greitis iki 160 km/h Techninės sąlygos,* ĮST 1005384.2:1996. *1520 mm vėžės pločio geležinkelio linijos viršutinė konstrukcija, kai keleivinių traukinių važiavimo greitis iki 160 km/h Techninės sąlygos.*

2. LOKOMOTYVŲ, ELEKTRINIŲ IR DYZELINIŲ TRAUKINIŲ BEI AUTOMOTRISIŲ, VAŽINĖJANČIŲ LIETUVOS GELEŽINKELIAIS, LEISTINOSIOS GREIČIO NORMOS

2.1. Geležinkelio riedmenų greičio leistinosios normos taikomos geležinkelio keliams ir riedmenims (išskyrus specialiuosius), atitinkantiems Lietuvos Respublikos norminius aktus ir AB „Lietuvos geležinkeliai" galiojančius geležinkelių transporto norminius dokumentus, parengtus, atsižvelgiant į analogiškus kitų valstybių dokumentus, suderintus su tarptautiniais, taip pat Europos Sąjungos norminiais aktais ir pritaikytus prie Lietuvos Respublikos sąlygų.

Riedmens leistinąjį greitį lemia jo konstrukcinis greitis, važiavimo kelio kreivėmis sąlygos, riedmenų sąveikos su keliu rodikliai. Traukos riedmenų konstrukcinis greitis nurodytas 1 lentelėje, kurioje surašyta riedmenų rūšis ir serija, taip pat važiuojančių darbinės būklės riedmenų ašies apkrova (variklinių riedmenų – atsižvelgiant į nominalų keleivių skaičių traukinyje). Antroje lentelėje nurodytas riedmenų, važiuojant kelio kreivėmis 0,7 m/s² nenuslopintu pagreičiu, leistinasis greitis. Šio Aprašo 3, 4, 5, 6 ir 7 skyriuose nurodytas leistinąsias greičio normas lemia riedmenų ir

kelio sąveika. Leistinųjų greičio normų nustatymo riedmenims kriterijai nustatyti šio Aprašo 8 skyriuje.

2.2. Leistinasis greitis, nurodytas šio Aprašo 3, 4, 5, 6 ir 7 skyriuose, suskirstytas, atsižvelgiant į riedmenų tipus, viršutinę kelio konstrukciją ir linijos planą. Jis nustatomas pagal dinaminio riedmenų poveikio keliui sąlygas, kelio tvirtumą ir stabilumą, nenuslopintą pagreitį kreivėse bei rato gebėjimą išlikti stabiliam ir neužriedėti briauna ant bėgio važiuojamojo paviršiaus.

Leistinosios greičio normos nustatomos ir sandūrinėms kelio konstrukcijoms, taip pat besandūriams keliams, kurie naudojami vadovaujantis besandūrio kelio tiesimo ir priežiūros instrukcija, tačiau tai daroma tuo atveju, jog bus užtikrintas bėgių patvarumas, kai dėl ekstremalių temperatūrinių pokyčių kinta jų įtempis. Jeigu šio reikalavimo nepaisoma, leistinasis greitis mažinamas, atsižvelgiant į besandūrio kelio tiesimo ir priežiūros instrukcijos reikalavimus.

Keleiviniams traukiniams, suformuotiems iš vagonų su vežimėliais KVZ-CNII ir CNII-5, leistinasis greitis nustatomas pagal pagrindinio lokomotyvo seriją, tačiau jis neturi viršyti 140 km/h.

Linijose, kurios atitinka statinių, įrenginių, riedmenų techninės priežiūros ir eksploatacijos bei keleivinių traukinių eismo organizavimo instrukcijų reikalavimus, leistinasis keleivinių traukinių greitis neturi viršyti 160 km/h.

Leistinasis refrižeratorinių ir konteinerinių traukinių bei platforminių vagonų su vežimėliais KNZ-I2 ir CMV-Dessau greitis nustatomas pagal pagrindinio lokomotyvo seriją, bet neturi būti didesnis kaip 120 km/h.

Leistinasis prekinių traukinių greitis nustatomas pagal pagrindinio lokomotyvo seriją, bet neturi būti didesnis kaip 90 km/h.

Visais atvejais traukos riedmenų leistinasis greitis neturi viršyti: kelio ruožuose, kuriuose ant žvyro balasto pakloti R65 bėgiai – 140 km/h; ant skaldos balasto pakloti R50 bėgiai – 120 km/h; ant žvyro ar smėlio balasto pakloti R50 bėgiai – 100 km/h; lengvesni kaip R50 bėgiai – 80 km/h. Leistinasis greitis geležinkelio ruožais, kuriuose pakloti R75 [60E1 (UIC-60)] bėgiai, nustatomas toks pat, kaip keliuose, kuriuose pakloti R65 bėgiai.

1 lentelė. Pagrindinės riedmenų charakteristikos

Riedmens tipas	Serija	Ašies apkrova, tf	Konstrukcinis greitis, km/h	Lentelės numeris
	VL60K, VL60P	23,0	100	3
	VL80K, VL82	23,0	110	4, 5
	VL80T	24,0	110	6, 7

Riedmens tipas	Serija	Ašies apkrova, tf	Konstrukcinis greitis, km/h	Lentelės numeris
Elektrovežis	VL80R, VL80C	24,0	110	7
	VL82M	25,0	110	8
	VL84	25,0	120	9
	VL85	24,0	110	10
	V85	23,0	110	11
	ČS8	21,9	160	12
	ČS4, ČS4T	21,0	160	13,14
	VL65	22,5	120	15
	EP200	21,0	160	33
	VL41	23,0	70	16
	VL8	23,0	80	17
	VL8M	23,7	90	18
	18VL10U, VL12	25,0	100	19
Elektrovežis	VL10, VL11, VL11U, VL11M, VL11C	23,0	100	20, 21
	VL15	25,0	100	22
	VL15	23,0	80 (90*)	23, 24
	VL2, VL22M, VL61D	22,0	100	25
	VL23	23,0	120	26
	ČS1	21,5	120	27
	ČSE	21,25	160	28
	ČS2, ČS2T	20,5	160	29
	ČS6	19,5	160	30
	ČS7	21,5	160	31
	ČS200	19,5	200	32
Šilumvežis	TEP80	22,5	160	33
	TEP70	22,5	160	34
	TEP70,TEP70BS, TEP60, 2TEP60	21,5	160	35
	TEP10, TEP10L	21,5	140	36
	TE7	21,0	140	37, 38

Riedmens tipas	Serija	Ašies apkrova, tf	Konstrukcinis greitis, km/h	Lentelės numeris
Šilumvežis	2TE10UT	23,0	120	39
	2TE121	25,0	100	40
	2TE116, 2TE10V, 2TE10M, 2TE10U, 3TE10V, 3TE10M, 3TE10U, 4TE10S	23,0	100	41
	2TE10L	23,0	100	42
	TEM17	21,2	100	75
	TEM1, TEM2, TEM2A, TEM2AM, TEM2U, TEM2UM, TEM2UMT	21,0	100	76
	TEM3, TEM16	20,6	100	77
	VME1, VME2	18,6	80	78
	ČME2	18,5	80	78
	ČME3, ČME3E, ČME3T, ČME3M	21,0	95	79
	ČME5	21,0	95	80
	TEM18	21,0	100	53
	TGM1	16,0	50	81
	TGME, TGMEA, TGMEB	17,0	60	82
	TGM23	13,0	60	83
	TGM23	14,2	60	84
	TGM23	16,0	50	85
	TE10	22,6-22,8	100	43
	2TE10L	21,6	100	44
	2TE10	21,0	100	45, 46
	TE3, 3TE3	21,0	100	46
	TEM7, TEM7A	22,5	100	47
	TEM7	21,0	100	48

Riedmens tipas	Serija	Ašies apkrova, tf	Konstrukcinis greitis, km/h	Lentelės numeris
Šilumvežis	TEM7	21,25	95	49
	TE1	20,7	55	50
	DA	20,4	95	51
	M62	19,8	100	52
	2M62	20,0	100	52
	2M62U, 2M62M(UM),	21,0	100	53
	ER20CF	23,0	120	62
Manevrinis šilumvežis	TG106	23,7	100	54
	TG106	23,0	100	55
	TG102	21,1	100	56
	TG102	20,0	120	57
Elektrinis traukinys	ER200	iki 16,4	200	58
	ER2R, ER2T, ER9M	iki 19,1	130	59
	ET2, ET2M	19,6	130	59
	ER9P, ER9E, ER9T	iki 17,9	130	59
	ER9P, ER9	iki 17,9	130	60
	ED2T, ED4, ED4M, ED4MK, ED9T, ED9M	21,0	130	59
	ER1, ER2	iki 16,0	130	60
	EJ 575	**17,5**	**160**	**58**
Dyzelinis traukinys	DR1A, DR1, DR1AM, DR1P	iki 19,2	120	61
	D, D1, DM1	iki 17,5	120	63
	DL2	22,5	120	64
	RA-2	**15,0**	**100**	**66**
Automotrisė	AČ2	iki 20,0	120	65
	AR2	iki 19,2	120	66
	620 M	**15,7**	**120**	**66**

* Su papildomomis kėbulo atramomis.

AB „LIETUVOS GELEŽINKELIAI“ EKSPLOATUOJAMŲ VAGONŲ TIPAI

6 ir 8 ašių pusvagoniai, cisterniniai, 80-92 t 6 ašių, 90-120 t 8 ašių transporteriniai vagonai	**130-150 t 12 ašių, 180-220 t 16 ašių transporteriniai vagonai**	**300 t 20 ašių, 240 t 16 ašių transporteriniai vagonai**	**400 t 28 ašių, 340t(170) 24/12 ašių transporteriniai vagonai**	**500 t 32 ašių transporteriniai vagonai**	**480 t (240) 32/2 ašių transporteriniai vagonai**

Priedas 2. Tilto kortelė

Valstybinė įmonė „Lietuvos geležinkeliai“
KELIŲ TARNYBA

Forma K-12
Patvirtinta LG 1995 m.

VILNIAUS KELIO RUOŽAS
(kelių ruožo pavadinimas)

TILTO KORTELĖ Nr. 5.34

Linija VILNIUS – STASYLOS km 35+970

Vandentakio pavadinimas Višinčios upė kelias Vienkelės pagrindis važiavimas VIRŠUMI

Visa tilto anga 16,80 m. Skaičiuojamųjų tarpatramių skaičius (vnt.) ir jų dydis (m) 1 × 18.70

Atstumas tarp ramtų užpakalinių (atbulinių) sienelių 37,56 m.

Atstumas tarp ramtų atkalčių 19.14 m.

Atstumas tarp kelių ašių ____ m. Gabaritas: aukštis NERIBOTA m, plotis NERIBOTA m.

Nuolydis 4,4 ‰. Kreivės spindulys tiesė m.

Protarpio (išlyginimo) įtaisų kiekis (vnt.) ir jų tipas nėra

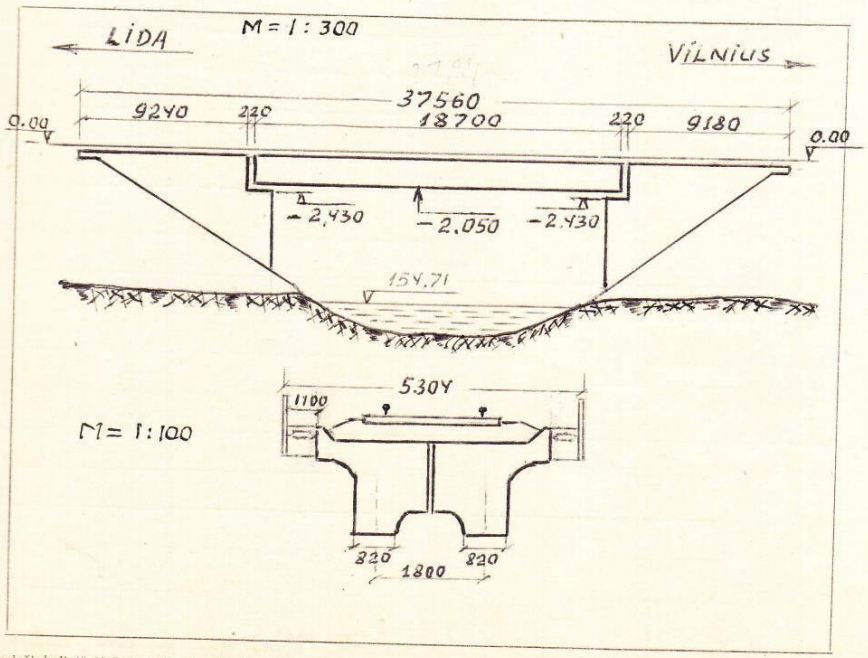
Bėgių pado aukštis: virš pamato viršaus 10,20 m,

virš posantvario viršaus ____ m,

virš santvaros apačios ____ m.

Dangos (viršutinės kelio konstrukcijos) tipas ____

Tilto ir atramų schema (nurodant pagrindinius matmenis)



VĮ „Lietuvos geležinkeliai“ ILC spaustuvė. Užs. 318 — 95 m., t. 2500

Perdangų duomenys

1 lentelė

Eil. Nr.	Rodiklių pavadinimas	Perdangų Nr. 1	2								
1.	Medžiaga (sutrumpintas pavadinimas)	gžb.									
2.	Skaičiuojamojo tarpatramio ilgis (m)	18,70									
3.	Svoris (t) arba kubatūra (m³)	58,7									
4.	Projektavimo normų metai ir skaičiuojamoji apkrova (kg/m²)										
5.	Pagaminimo metai	1975									
6.	Sumontavimo metai	1993									
7.	Perdangos tipas										
8.	Atstumas tarp santvarų ašių viduryje (m)	0,9									
9.	Visas santvaros aukštis ties atrama (m)	1,7									
10.	Visas perdangos ilgis (m) — važiavimo lygyje	18,7									
	Visas perdangos ilgis (m) — pagal išilgines sijas										
11.	Klasė — ryšių										
	Klasė — juostų										
	Klasė — važiuojamosios dalies										

Atramų duomenys

2 lentelė

Eil. Nr.	Rodiklių pavadinimas	Ramtų ir taurų Nr. 0	1								
1.	Statybos metai	1884	1884								
2.	Medžiaga — mūrinio	ak.m	ak.m.								
	Medžiaga — apdaro	akm	akm.								
	Medžiaga — posantvario	akm	akm.								
3.	Skiedinys	cem	cem								
4.	Pamato pagrindas	natural									
5.	Pamato įgilinimas (nuo viršaus, m)	nera	žin.								
6.	Atramos su pamatu svoris (t) arba kubatūra (m³)	334,03	334,03								

Ar buvo sugadinimų, kas sugadinta ir kada

1993. XII. 6 metalinis perdangos pakeičiant briaunotosios sijos gelžbetoniniems

Ar buvo sustiprinta, sutaisyta, iki kokių normų ar klasės ir kada

Reguliaciniai įrenginiai nėra

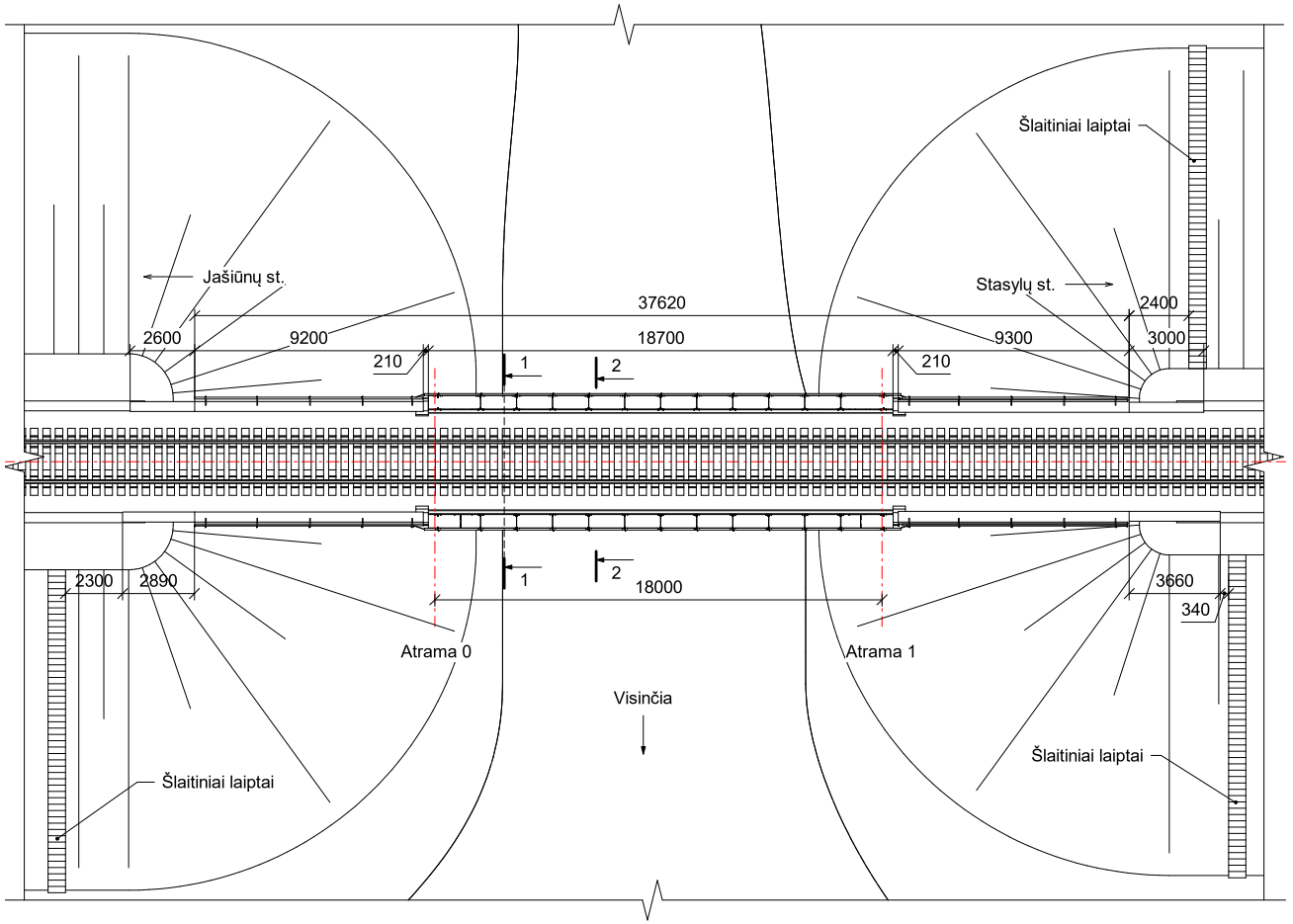
Dugno sustiprinimas pie atramų, kūgių ir pap. akmenų 107 m²

Turimi brėžiniai

200 m. mėn. d.

200 m. mėn. d.

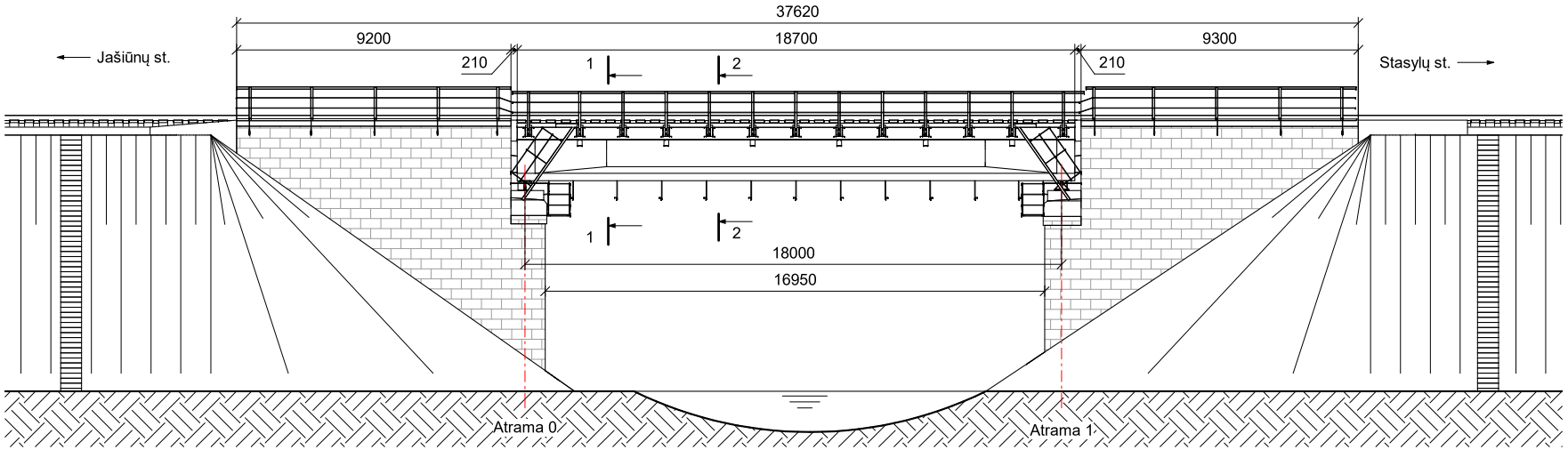
Priedas 3. Viaduko brėžiniai



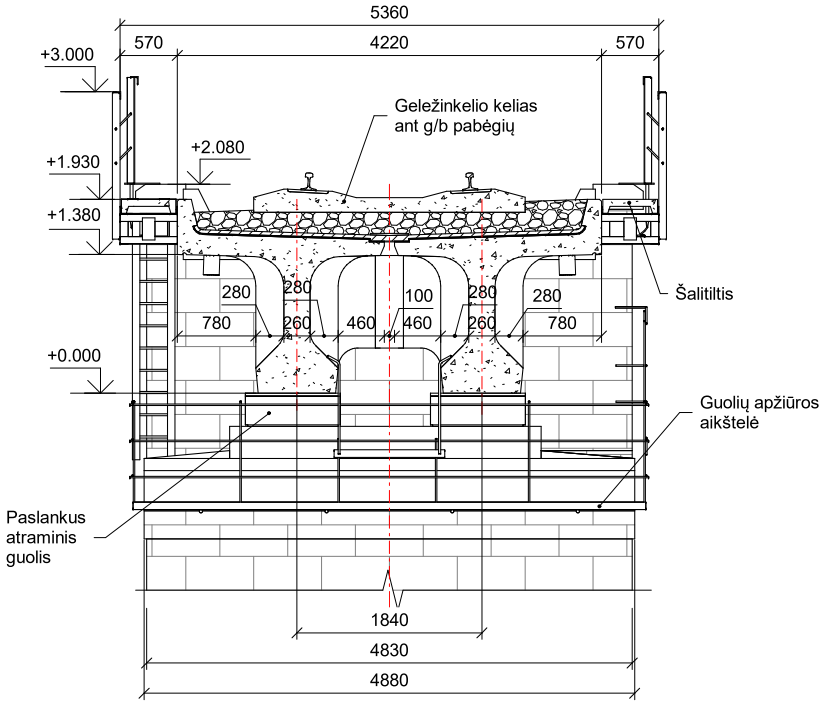
	STATINIO PROJEKTO PAVADINIMAS Kelio statinių techninės būklės vertinimo ir kategorijos pagal kėlą nustatymo tyrimai			
	STATINIO NUMERIS IR PAVADINIMAS, DOKUMENTO PAVADINIMAS Tilto 35+970 km (Vilnius - Stasylos) planas		Laida	0
lt	STATYTOJAS IR (ARBA) UŽSAKOVAS AB „LTG Infra“	DOKUMENTO ŽYMUO	Lapas	1
			Lapų	3

H=297.0mm , L=420.0mm

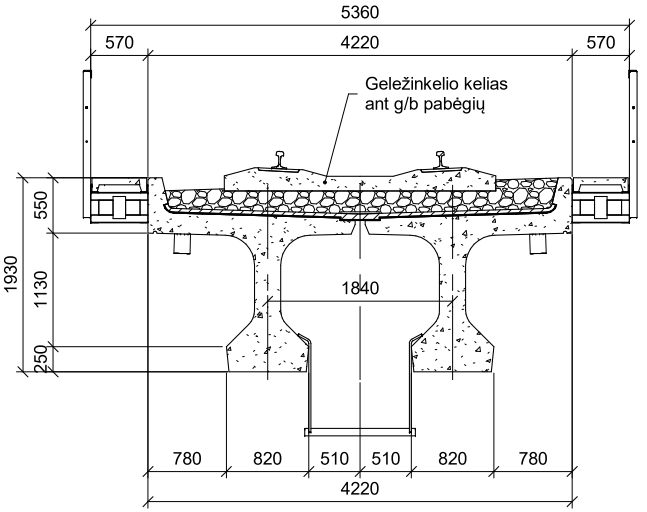
Tilto 35+970 km fasadas
M1 : 150



Tilto 35+970 km skersinis pjūvis 1-1
M 1 : 50



Tilto 35+970 km skersinis pjūvis 2-2
M 1 : 50



	STATINIO PROJEKTO PAVADINIMAS Kelio statinių techninės būklės vertinimo ir kategorijos pagal kėlą nustatymo tyrimai		
	STATINIO NUMERIS IR PAVADINIMAS, DOKUMENTO PAVADINIMAS Tilto 35+970 km (Vilnius - Stasylos) fasadas ir skersiniai pjūviai		Laida 0
lt	STATYTOJAS IR (ARBA) UŽSAKOVAS AB „LTG Infra“	Lapas 2	Lapų 3

H=297.0mm , L=420.0mm



	STATINIO PROJEKTO PAVADINIMAS Kelio statinių techninės būklės vertinimo ir kategorijos pagal kėlą nustatymo tyrimai			
	STATINIO NUMERIS IR PAVADINIMAS, DOKUMENTO PAVADINIMAS Tilto 35+970 km (Vilnius - Stasylos) vizualizacija		Laida	0
lt	STATYTOJAS IR (ARBA) UŽSAKOVAS AB „LTG Infra“		Lapas	3
			Lapų	3

H=297.0mm , L=420.0mm

Priedas 4. Tilto geležinkelio kelyje Vilnius–Stasylos 35+970 km defektų ir pažaidų žiniaraštis

Eil. Nr.	Svarbiausieji defektai ir pažaidos	Mato vnt.	Kiekis
	Geležinkelio kelias ir paklotas		
1.	Gelžbetoniniai pabėgiai lokaliose vietose su pažaidomis	%	70
2.	Sukorodavę arba su pažeista apsaugine danga šalitilčius laikančios plieninės gembės	% / t	90 / 1,4
3.	Pažeistos šalitilčių pakloto gelžbetoninėse plokštėse	vnt	24
4.	Šalitilčio gelžbetoninės plokštės netinkamai pritvirtintos prie gembių ir einant per tiltą juda	% / vnt	20 / 5
5.	Turėklų plieninių elementų korozija	% / m	70 / 75
6.	Nesutampa turėklų elementų ašys, deformuoti porankiai arba užpildų elementai	%	3
	Gelžbetoninės sijos		
7.	Pažeisti, sudūlėję, drėkinami, su nuoskėlomis, porėti perdangos sijų paviršiai, lokaliose zonose atšokęs apsauginis sluoksnis, atsidengusi paviršinė armatūra, lokalūs plyšiai atraminėse zonose	vnt / m^2	2 / 198
8.	Nekokybiškai įrengtas arba pažeistas diafragmų sujungimas	vnt / m	2 / 2
9.	Nesandarūs deformaciniai pjūviai sijų sandūrose ties atramomis	% / vnt	50 / 2
10.	Nesandarūs deformaciniai pjūviai ties sijų sandūromis išilgine tilto linkme	m	19
11.	Nesandari ir nefunkcionuojanti naujai įrengta vandens nuvedimo sistema	%	100
12.	Neužsandarintos senos ir nenaudojamos kiaurymės vandens nuvedimui	%	100
	Atraminiai guoliai		
13.	Sukorodavę atraminių guolių paviršiai	% / vnt / m^2	100 / 4 / 6
14.	Pažeisti paslankūs atraminiai guoliai	% / vnt	100 / 2
15.	Nesutepti atraminiai guoliai	%	100
16.	Atraminių guolių apsauginių lakštų korozija	%	30
	Atramos		
17.	Pažeisti, sudūlėję, drėkinami, su nuoskėlomis, ramtų paviršiai, atšokęs apsauginis sluoksnis, atskirų atsiskyrę gretimi elementai	m^2	286
18.	Ramtų apžiūros aikštelių korozija	m	10
	Kūgiai, laiptai ir krantinės		
19.	Apaugę kūgiai ir jų prieigos	% / m^2	10 / 1130
20.	Sudūlėjęs ir pažeistas šlaitinių laiptų pakopų betonas, pakopos netinkamoje padėtyje	%	70

Priedas 5. Tilto geležinkelio kelyje Vilnius–Stasylos 35+970 km remonto/ rekonstrukcijos projektavimo techninės sąlygos

1. **Komplekso pavadinimas:** Gelžbetoninis viadukas kelyje Vilnius–Stasylos 35+970 km
2. **Užsakovas:** AB "LTG infrastruktūra"
3. **Projektavimo stadija:** Techninis–darbo projektas
4. **Statybos rūšis:** Kapitalinis remontas / rekonstrukcija
5. **Statybos vieta:** ruožas Vilnius–Stasylos 35+970 km
6. **Planuojama statybos pradžia:** 202_m.
7. **Projektuojamo komplekso sudėtis:**

7.1. Tilto kapitalinis remontas / rekonstrukcija:

7.1.1. Zonose, kuriose perdangos sijų ir atramų betonas pažeistas tačiau nėra armatūros korozijos pažeistų betono paviršių valymas ir atstatymas: nuvalomi betono paviršiai, pašalinamas atšokęs apsauginis sluoksnis ir atkerę betono gabalai, užtaisomos kavernos ir paviršinės pažaidos, atstatomas pažeistas apsauginis sluoksnis, sudūlėję paviršiai.

7.1.2. Perdangos sijų ir atramų zonose, kuriose atvira arba po supleišėjusiu arba atšokusiu apsauginiu sluoksniu armatūra pažeista korozijos, rūdijančių ir atsidengusių armatūros strypų nuvalymas bei atsidengusios armatūros padengimas antikorozine danga; naudojama vietose, kur dėl armatūros korozijos atkeręs ar pilnai nukritęs apsauginis betono sluoksnis. Šiose zonose betoniniai paviršiai atstatomi ir remontuojami pagal 1 punkto rekomendacijas.

7.1.3. Arti betono paviršiaus esančios armatūros katodinė antikorozinė apsauga korozijos vystymosi prevencijai.

7.1.4. Sijų ir atramų betoninių paviršių padengimas atmosferos poveikiams atsparia danga. Rekomenduotina naudoti hidrofobizuojančius impregnantus.

7.1.5. Perdangos sijų diafragmų sandūrų remontas arba naujų sandūrų įrengimas.

7.1.6. Perdangos hidroizoliacijos atnaujinimas ir deformacinių pjūvių sandarinimas.

7.1.7. Atraminių guolių paviršių nuvalymas, padengimas koroziją stabdančiomis priemonėmis bei šiuolaikinius reikalavimus atitinkančia apsaugine danga. Siekiant užtikrinti lokalių korozijos židinių atsiradimo, guolių ir perdangų bei guolių ir atramų sandūras galima papildomai hermetizuoti.

7.1.8. Paslankių atraminių guolių pakeitimas.

7.1.9. Atramų mūrinių paviršių remontas, tarpusavyje surišant atskilusias dalis, išvalant ir užpildant pažeistas mūro siūles.

7.1.10. Balastą laikančių gelžbetoninių elementų tilto prietilčiuose įrengimas.

7.1.11. Lietaus nuvedimo sistemos įrengimas užtikrinant atitikimą STR 2.01.01(3):1999 reikalavimams. Nereikalingų ertmių šulinėliams užsandarinimas.

7.1.12. Šalitilčius laikančių plieninių elementų nuvalymas, pažeistų elementų atstatymas ir padengimas antikorozine apsauga. Elementus, kuriuose korozija pažengusi, pakeisti naujais.

7.1.13. Šalitilčių plokščių pakeitimas arba jų paviršių remontas.

7.1.14. Šalitilčių ir apžvalgos aikštelių turėklų konstrukcijų atnaujinimas arba pakeitimas naujomis.

7.1.15. Apžiūros aikštelių laikančiųjų konstrukcijų ir pakloto atnaujinimas.

7.1.16. Šlaitinių laiptų atnaujinimas ir turėklų konstrukcijų įrengimas.

7.1.17. Apžiūros aikštelės po perdanga įrengimas

7.1.18. Gerbūvio, kūgių ir krantų tvirtinimo elementų tilto prieigose sutvarkymas.

7.2. Parengti eismo organizavimo tvarką remontuojant tiltą.

8. Tilto kapitalinio remonto / rekonstrukcijos projektas turi būti parengtas vadovaujantis STR 1.04.04:2017 bei kitais Lietuvoje galiojančiais norminiais dokumentais.

9. Derinimai: Projektinę dokumentaciją derinti nustatyta tvarka.

10. Atlikimo terminas: Ne ilgiau kaip per (**įrašyti**) dienų po sutarties pasirašymo.

11. Egzempliorių skaičius: (**įrašyti**) egzemplioriai.