

R65 TIPO BĖGIO TERMITINIO VIRINTINĖS JUNGTIES  
MECHANINIŲ SAVYBIŲ TYRIMASMindaugas Rauduvė<sup>1</sup>, Vitalijus Rudzinskas<sup>2</sup>*Vilniaus Gedimino technikos universitetas**El. paštas: <sup>1</sup>mindaugas.rauduve@gmail.com; <sup>2</sup>vitrud@vgtu.lt*

**Santrauka.** Šiame straipsnyje nagrinėjama termitiniu būdu ir skirtingais parametrais suvirintų bėgių kokybė. Nustatyta termitinio suvirinimo mišinio kiekio ir pakaitinimo laiko įtaka virintinių jungčių kokybei, iširtos termitiniu būdu suvirintų bėgių siūlių mechaninės savybės.

**Reikšminiai žodžiai:** bėgis, suvirinimas, termitas, mechaninės savybės.

**Ivadas**

Geležinkelio sandūra – tai pati silpniausia bėgių kelio vieta. Siekiant sumažinti sandūrų skaičių kelyje, keletą dešimtmečių buvo bandoma padidinti standartinių bėgių ilgį. Tačiau esminių pokyčių įvyko, kai buvo plačiai pradėtas tiesti besandūris kelias (XX a. penktajame dešimtmetyje).

Besandūris kelias – tai kelias, kuriam naudojami suvirinti ilgabėgiai. Ilgabėgis – tai 800–1500 m ilgio bėgis, kurį sudaro suvirinti paprastieji (25 m ilgio) bėgiai. Besandūriame kelyje sandūros yra įrengiamos ant tiltų, iešmuose ir automatinės blokuotės ruožuose. Besandūrio kelio pagrindiniai privalumai, palyginti su sandūrinio keliu, yra šie: dėl to, kad besandūriame kelyje nėra sandūrų, traukinio važiavimas keliu yra sklandesnis, viršutinės bėgių kelio konstrukcijos elementai ilgiau naudojami, reikalingos mažesnės išlaidos kelio priežiūrai ir traukinių traukai, mažinamas triukšmas, nes ratai sandūrose nesidaužo į bėgius. Kadangi besandūriame kelyje nereikia įrengti sandūros sąvaržų, sutaupoma iki 4 t metalo vienam kelio kilometrui.

Labiausiai paplitęs ilgabėgių gamybos būdas – kontaktinis bėgių suvirinimas stacionariomis sąlygomis (imone, bazėse). Į bėgių klojimo vietas ilgabėgiai atvežami specialiais traukiniais. Kai kuriais atvejais ilgabėgiai suvirinami klojimo vietose termitiniu būdu.

Ilgabėgių deformacijos dėl temperatūros pokyčių suvirinimo metu vyksta tik jų galuose. Vidurinė ilgabėgio dalis nesideformuoja. Kai vyksta temperatūros pokyčiai, ilgabėgių galai gali sutrumpėti arba pailgėti. Tam, kad būtų įmanomas šis pailgėjimas arba sutrumpėjimas, tarp ilgabėgių klojami trumpabėgiai (išlyginamieji bėgiai), kurie sudaro ilgabėgių protarpį. Trumpabėgių skaičius nepriklauso nuo ilgabėgių ilgio (tai yra du arba trys bėgiai, kurių

ilgis 12,5 m). Blokuojamojo ruožo su automatine blokuote pabaigoje, trumpabėgių zonoje, įrengiama izoliuotoji sandūra. Trumpabėgiais taip pat siekiama, kad būtų įmanoma sumažinti temperatūrinius įtempimus, jei tai būtina.

Ilgabėgius veikia didesnė išilginė jėga, atsirandanti dėl temperatūros pokyčių. Kai ilgabėgio išilimo temperatūra viršija leistiną, atsiranda išilginės spaudimo jėgos, dėl kurių gali iškrypti bėgių kelio vėžės. Žemoje temperatūroje veikia tempimo jėgos, dėl kurių susidaro dideli bėgio pado įtempiai, ir bėgis gali nutrūkti arba nutrūksta bėgių sandūros ir nupjaunami sandūriniai varžtai (Lingaitis *et al.* 2009).

**Bėgių suvirinimas.** Prieš pradėdant suvirinimą, bėgių galai turi būti kruopščiai apžiūrėti, patikrinti defektoskopu (ypač skylių zonoje), skylių briaunos paplatintos (padarytos nuožulos). Bėgių galai nuo trijų pabėgių į kiekvieną pusę turi būti atpalaiduoti, o nuo arčiausiai prie sandūros esančių pabėgių nuimti tvirtinimo elementai ir izoliaciniai tarpikliai. Prieš suvirinimo pradžią nuo bėgių būtina pašalinti mazuotę ir tepalų liekanas. Ruošiant bėgius suvirinimui, tarp jų paliekamas tarpas ( $25 \pm 1$  mm), nupjaunant bėgių galus mechaniniu būdu. Prireikus atlikti remontinį suvirinimą (išpjauti defektinį suvirinimą ir suvirinti bėgius iš naujo), leidžiama ruošiant bėgius suvirinimui palikti tarp jų tarpą ( $45 \pm 5$  mm arba  $75 \pm 5$  mm). Šiuo atveju naudojamos specialios formos ir papildomos termitinio mišinio porcijos. Siekiant išvengti iešmų ir kelių geometrijos pažeidimų, bėgio išilginis poslinkis suvirinimo metu neleistinas. Bėgių galams išdžiovinti naudojamas dujų – deguonies (propanas su deguonimi; acitilenas su deguonimi) arba dujų – oro mišinio (propanas su oru, benzinas su oru) degiklis, kuriuo bėgių galai įkaitinami po vieną metrą į abi puses nuo



1 pav. Bėgių horizontaliosios plokštumos ir tarpo tarp bėgių nustatymas

Fig. 1. Determination of the horizontal plane and the space between the rails

sandūros. Norint išlaikyti suvirinimo vietoje bėgių tiesumą horizontalioje plokštumoje, ruošiant sandūras bėgių galai sukeliama 1,2–1,4 mm, kai paliekamas tarpas  $25 \pm 1$  mm. Sukėlimas kontroliuojamas vieno metro ilgio metaline liniuote ir matavimo pleištu (1 pav.). Kai paliekamas tarpas  $45 \pm 5$  mm, tai pakilimas iki 1,8–2,2 mm; kai tarpas  $75 \pm 5$  mm, tai pakilimas iki 2,0–2,4 mm.

Paruoštas tarpas tarp bėgių iš šonų ir apačios priden-giamas keraminėmis formomis, kurios suteiks po sustingi-mo įpiltam skystam metalui reikalingą profilį. Keraminės formos sudedamos ir sutvirtinamos bėgių sandūros vietoje. Užsandarinus plyšius klijavimo smėliu, iš viršaus keraminių formų ertmėje atliekamas paruošiamasis bėgių galų šildymas specialiu dujų degikliu, šildoma (atsižvelgiant į oro sąlygas, bėgių tipą) nuo 2,5 min iki 5 min. Dujų degiklio aukštis virš bėgio galvutės turi būti 30–35 mm (2 pav.).



2 pav. Keraminių formų uždėjimas ant bėgių tarpo ir bėgių galų šildymas

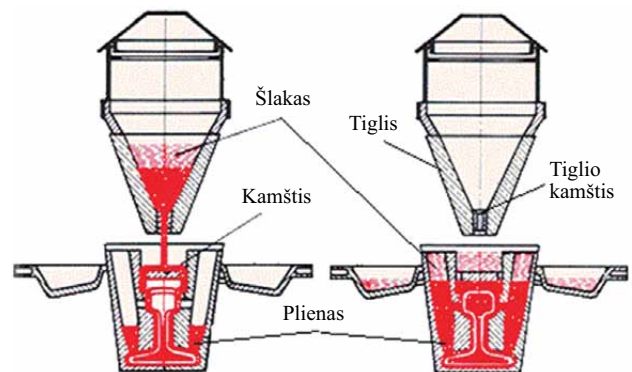
Fig. 2. Putting ceramic forms to the rail track space and heating of the rail track ends

Po paruošiamojo bėgių galų šildymo degiklis nuima-mas ir ant formos dedamas tiglio su aukštatemperatūriu kamščiu ir 11 kg (kai suvirinami R65 tipo bėgiai) termitas. Termitas uždegamas termitine lazdele. Po kelių sekundžių, vykstant egzoterminei reakcijai, susidaro didelis šilumos kiekis:



geležies oksidas + aliuminis = geležis + aliuminio oksidas + šiluma.

Pasibaigus termitinei reakcijai, jos sudėtinės dalys, kurių temperatūra sudaro apie  $2500^\circ\text{C}$  (išsiskiria lengvas šlakas – aliuminio oksidas), plaukioja skystame geležies paviršiuje. Skysta geležis papuola ant tiglio kamščio, kuris automatiškai atsidaro, ir skystasis metalas užpildo visą bėgio profilio formą (3 pav.).



3 pav. Termitinio suvirinimo technologinė schema

Fig. 3. Aluminothermic welding technological scheme

Keraminės formos nuimamos po 3–4 min. visiškai susikristalizavus metalui suvirinimo vietoje. Nuėmus formas, dar neatšalus sandūrai, nuo bėgio galvutės važiavimo paviršiaus ir jos šonų mechaniniu būdu pašalinamos susidariusios metalo užlajos ir šlakas. Pašalinus užlajas, bėgio galvutės paviršius šlifuojamas dviem etapais abrazyviniais instrumentais. Po pirmojo – grubaus šlifavimo prireikus gali būti leidžiamas traukinių eismas ne didesniu kaip 15 km/h greičiu. Baigiamasis šlifavimas atliekamas lėkštelės formos abrazyviniu disku, visiškai atšalus suvirinimo sandūrai bei sutvirtinus kelių tvirtinimo elementais ir jį pamušus. Bėgio paviršiaus apdirbimo kokybę kontroliuojama liniuote su tarpumačiu. Nuo bėgio kakliuko ir pado likęs smėlio mišinys nuvalomas metaliniu šepečiu. Nušlifuotos bėgio galvutės važiavimo paviršius ir jos šonai suvirinimo vietose turi būti tiesūs. Vieno metro atkarpoje vietiniai nelygumai bėgio galvutės važiavimo paviršiuje neturi viršyti  $+0,3$  mm;  $-0,2$  mm, o bėgio galvutės šono darbinėje pusėje neturi viršyti  $+0,0$  mm;  $-0,3$  mm. Po bėgio galvutės važiavimo

paviršiaus ir jos šonų galutinio šlifavimo suvirintos sandūros tikrinamos ultragarsiniu metodu, vadovaujantis (*K/142 Termitu suvirintų bėgių ultragarsinių bandymų instrukcija*). Bėgio metalo temperatūra kontrolės zonoje neturi viršyti +60 °C. Ultragarsinių bandymų metu suvirintuose R65 tipo bėgiuose aptikus defektą, kuris ne paviršiuje, traukiniams leidžiama važiuoti ne didesniu kaip 25 km/val. greičiu. Baigus termitinį bėgių suvirinimą, pabėgiai sutvirtinami padėklėmis, tarpinėmis ir kitomis tvirtinimo detalėmis. Ištaisomas kelias ir sutvarkoma balasto prizmė (Šapošnikovas 2003).

### Tyrimo objektas

2 vienetai 1 m ir 1,2 m ilgio suvirintų R65 bėgių pavyzdžių; tarpas tarp bėgių 25 mm; normali termito porcija; 5 min. pakaitinimas (žymėjimas BH 5 min.).

2 vienetai 1 m ir 1,2 m ilgio suvirintų R65 bėgių pavyzdžių; tarpas tarp bėgių 25 mm; padidinta termito porcija; 2,5 min. pakaitinimas (žymėjimas BHHD 2,5 min.).

2 vienetai 1 m ir 1,2 m ilgio suvirintų R65 bėgių pavyzdžių; tarpas tarp bėgių 25 mm; padidinta termito porcija; 5 min. pakaitinimas (žymėjimas BHHD 5 min.).

1 suvirintas 1,2 m ilgio R65 bėgis; tarpas tarp bėgių 25 mm; nesilaikant suvirinimo technologijos, t. y. prieš suvirinimą nepakaitinus (ispanų kompanijos suvirinimo medžiagos).

1 suvirintas 1,2 m ilgio R65 bėgis; tarpas tarp bėgių 25 mm; nesilaikant suvirinimo technologijos, t. y. prieš suvirinimą nepakaitinus (vokiečių kompanijos suvirinimo medžiagos).

### Darbo tikslas

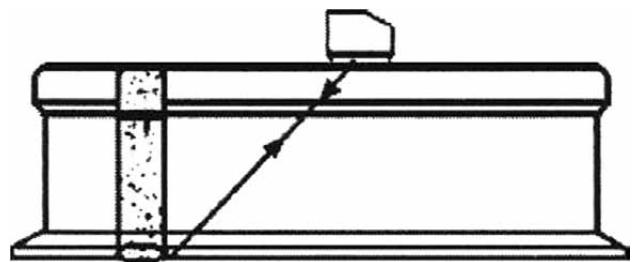
Nustatyti termitinio suvirinimo mišinio kiekio ir pakaitinimo laiko įtaką suvirintų jungčių kokybei, ištirti termitiniu būdu suvirintų bėgių siūlių mechanines savybes.

### Tyrimo metodika

**Termitu suvirintų bėgių siūlių ultragarsinių bandymų procedūra.** Pagal LST EN ISO 14730-1.

*Siūlės galvutės zonos bandymas.* Zondai – vienas dvigubo kristalo 70° skersinės bangos; 2 MHz dažnis. Zondo padėtis bandymui – bėgio važiuojamasis paviršius. Išbrokavimo lygis – bet kokie signalai nuo defektų, signalas nuo 5 mm skersmens kiaurymės plokščiuoju dugnu. Bėgių ultragarsinio tyrimo schema pavaizduota 4 pav.

*Siūlės galvutės ir kaklelio zonos bandymas.* Zondai – du vieno kristalo, 45° skersinės bangos; 2 MHz dažnis. Papildomas aparatas – mechaninis pagalbinis zondų



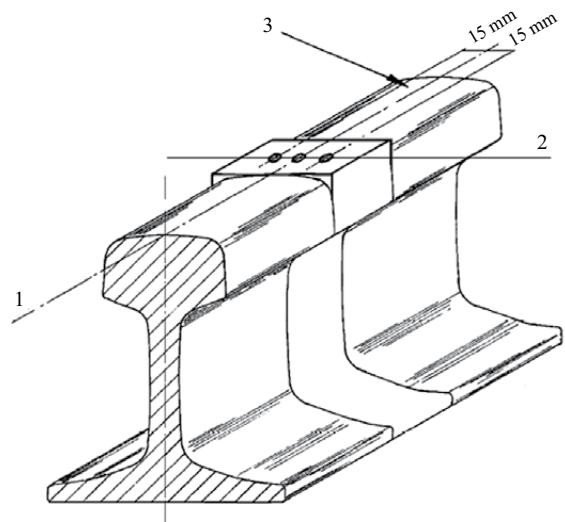
4 pav. Bėgių ultragarsinio tyrimo schema  
Fig. 4. The scheme of ultrasound research of rail

padėties nustatymo įtaisais. Zondų padėtis bandymui – bėgio važiuojamasis paviršius. Išbrokavimo lygis – bet kokie signalai nuo defektų, signalas nuo 10 mm skersmens kiaurymės plokščiuoju dugnu.

*Siūlės pado vidurinės zonos bandymas.* Zondai – vienas vieno kristalo 45° skersinės bangos; 2 MHz arba 4 MHz dažnis. Zondo padėtis bandymui – bėgio važiuojamasis paviršius. Išbrokavimo lygis – bet kokie signalai nuo defektų, signalas nuo 10 mm skersmens kiaurymės plokščiuoju dugnu.

**Važiuojamosios bėgio dalies paviršiaus kietumo nustatymas Brinelio metodu,** bandymai atliekami pagal EN ISO 6506-1 naudojant: 10 mm skersmens volframo karbido rutuliuką; 3000 kg bandymo apkrovą; apkrovos trukmė – 15 sek.

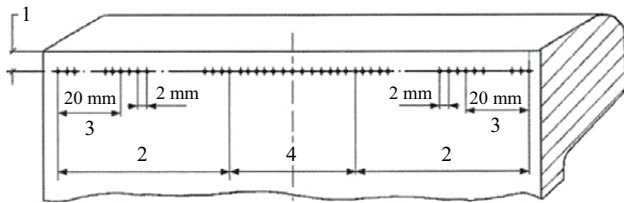
Bandomosios siūlės viršus nušlifluotas iki plokščiojo paviršiaus, kuris yra bėgio viršaus susikirtimo su vertikaliąja bėgio ašimi taško liestinėje, kaip pavaizduota 5 pav.



5 pav. Paviršiaus kietumo bandymų vietos: 1 – bėgio viršaus centrinė linija; 2 – siūlės skersinė centrinė linija; 3 – bėgio važiuojamasis paviršius

Fig. 5. The test zones of rail surface hardness: 1 – above the top of the central line, 2 – transverse weld center line, 3 – above the running surface

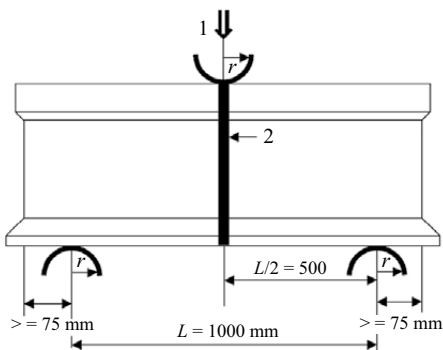
**Terminiškai suminkštintos zonos kiečio nustatymas Vikerso metodu.** Turi būti išmatuotas kiečio pasiskirstymas terminiškai suminkštintoje zonoje, atliekant Vikerso kiečio bandymą pagal EN ISO 6507-1 ir naudojant 30 kg apkrovą. Įspaudai turi būti linijoje, esančioje nuo 3 mm iki 5 mm žemiau bėgio važiuojamojo paviršiaus bėgio išilginėje ašyje. Kiečio matavimo zona turi tęstis skersai siūlės ir į abi puses, kol bus pasiekta 20 mm nepaveikto pirminio bėgio kiečio. Matavimai turi būti atliekami kas 2 mm, kaip parodyta 6 pav.



6 pav. Kiečio matavimo vietas: 1 – storis nuo 3 mm iki 5 mm; 2 – pirminis bėgis; 3 – nepaveiktas pirminis bėgis; 4 – sulydymo zona

Fig. 6. The hardness measurement zones – a thickness of 3 mm to 5 mm, 2 – original track; 3 – not affected original track, 4 – melting zone

**Lėtojo lenkimo bandymas.** Mažiausioji suardymo apkrova (kN),  $F = 0,0032 S$  (mažiausio tempiamojo lenkimo stiprio, lygaus 800 MPa, ekvivalentas), čia  $S$  (mm<sup>3</sup>) – bėgio pado atsparumo momentas, pateiktas standarte (EN 13674-1 *Lėtojo lenkimo bandymo procedūra*). Pagrindiniai lėtojo lenkimo bandymo prietaiso matmenys pateikti 7 pav.



7 pav. Lėtojo lenkimo bandymo schema: 1 – apkrova; 2 – siūlė

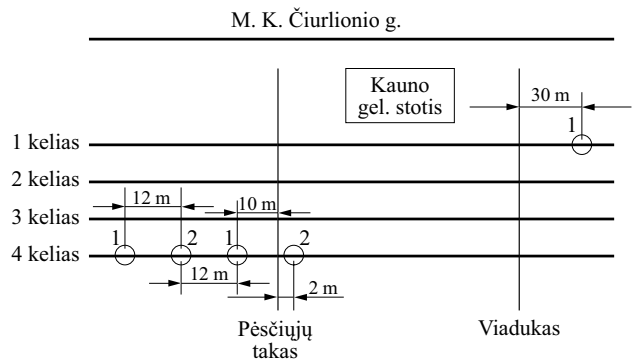
Fig. 7. Slow bending test scheme: 1 – load; 2 – welding joint

Apkrova veikia siūlės važiuojamąjį paviršių viena taške. Bandymas tęsiamas iki suardymo. Jėgos matuojamos 2.0 klasės apkrovos jutikliu, patikrintu pagal EN ISO 7500 – 1:2004. Po lėtojo lenkimo bandymo iširtas lūžio paviršiaus vientisumas. Gauti lūžio paviršiai buvo iširti juos apžiūrint.

**Ilgalaikiai bandymai.** Ultragarsiniai tyrimai atliekami visoms termitu suvirintoms jungtims:

- iš karto po suvirinimo, kai atšąla suvirinta jungtis;
- praėjus 1 mėn. po suvirinimo;
- praėjus 3 mėn. po suvirinimo;
- praėjus 0,5 metų po suvirinimo;
- praėjus 1 metams po suvirinimo.

8 pav. pateikta principinė schema, parodanti eksploatuojamus kelius Kaune, kurie suvirinti pagal tiriamąją technologiją.



8 pav. Principinė schema, parodanti eksploatuojamus kelius Kaune, kurie suvirinti pagal tiriamąją technologiją: 1 – 25 mm tarpas tarp bėgių, normali termito porcija, 2,5 min. pakaitinimas; 2 – 25 mm tarpas tarp bėgių, normali termito porcija, 5 min. pakaitinimas

Fig. 8. Principled scheme that shows the existing roads in Kaunas, which were welded according to the investigational technology. 1 – a space between the rails is 25 mm in a normal portion of thermit, 2.5 min. heating. 2 – gap between the rails is 25 mm, a normal portion of thermit, 5 min. heating

## Tyrimų rezultatai

**Termitu suvirintų bėgių siūlių ultragarsiniai bandymai.** Jie buvo atlikti visoms tiriamosioms bėgių jungtims, kurios buvo suvirintos pagal technologiją, ir nebuvo aptikta jokių defektų. Sandūrose, kurios buvo suvirintos, nesilaikant technologijos, t. y. prieš suvirinimą nebuvo atliktas pakaitinimas, buvo aptikta defektų.

**Ilgalaikiai bandymai.** Laikantis reikalavimų, buvo tikrinamos Kaune eksploatuojamos pagal tiriamąją technologiją suvirintos jungtys. Praėjus metams po suvirinimo, jokių defektų nerasta. Taip pat buvo stebima, kiek nudyta skirtingu pakaitinimo prieš suvirinimą laiku suvirintos jungtys.

**Važiuojamosios bėgio dalies paviršiaus kiečio matavimo Brinelio metodu rezultatai.** Matavimo rezultatai Brinelio metodu atitinka 27/K Bėgių naudojimo ir naujų bėgių priėmimo taisyklių punkto 3.2.4 reikalavimus: grūdintų bėgių suvirintų sandūrų galvutės metalo kietis

turi būti HB 330–380 (1 lentelė). Leidžiamasis kieto sumažėjimas suvirintoje sandūroje – 10 % žemiau apatinės ribos, termiškai apdirbtos suvirintos sandūros pereinamoje dalyje – iki 15 %.

1 lentelė. Važiuojamosios bėgio dalies paviršiaus kieto matavimo rezultatai

Table 1. The hardness measurement results of the part of the running rail track surface

Bandinio nr.	Bandymo rezultatai		
	1 zona HB	Siūlės centrinė linija HB	2 zona HB
BHHD 5 min.	375	350	354
BH 5 min.	350	358	350
BHHD 2,5 min.	375	375	373
BH 5 min.	356	350	341
BHHD 2,5 min.	378	373	378
BHHD 5 min.	350	350	350

**Lėtojo lenkimo bandymo rezultatai (2 lentelė).** Po lėtojo lenkimo apžiūrimi lūžiai.

Suvirintos termitiniu būdu bėgio jungties lūžiai pateikti 9–12 pav.

2 lentelė. Lėtojo lenkimo bandymų rezultatai

Table 2. Slow bending test results

Bandinio nr.	Bandymo rezultatai	
	Suadymo apkrova kN	Įlinkis mm
BHHD 5 min.	1332	9
BH 5 min.	1517	12
BHHD 2,5 min.	1289	10
be pakaitinimo (vokiečių kompanijos suvirinimo medžiagos)	1095	10
be pakaitinimo (ispanų kompanijos suvirinimo medžiagos)	1332	12



9 pav. Suvirintos termitiniu būdu bėgio jungties BHHD 5 min. lūžis. Jokių matomų defektų. Suadymo apkrova 1332 kN, įlinkis 9 mm

Fig. 9. BHHD 5 min rail welded by aluminothermic welding. No visible defects. Burst load of 1332 kN and 9 mm deflection



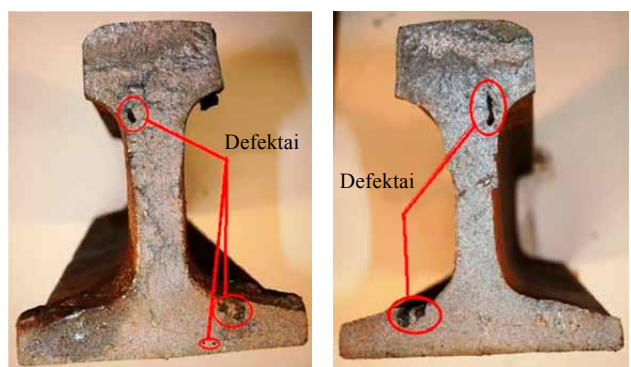
10 pav. Suvirintos termitiniu būdu bėgio jungties BH 5 min. lūžis. Jokių matomų defektų. Suadymo apkrova 1517 kN, įlinkis 12 mm

Fig. 10. BH 5 min rail welded by aluminothermic welding. No visible defects. Burst load of 1517 kN and 12 mm deflection



11 pav. Suvirintos termitiniu būdu bėgio jungties BHHD 2,5 min. lūžis. Jokių matomų defektų. Suadymo apkrova 1289 kN, įlinkis 10 mm

Fig. 11. BHHD 2.5 min rail welded by aluminothermic welding. No visible defects. Burst load of 1289 kN and 10 mm deflection



12 pav. Bėgis suvirintas nesilaikant technologijos, be išankstinio pakaitinimo. Suadymo apkrova 1095 kN, įlinkis 10 mm

Fig. 12. Rail welded not according to the technology, without the prior heating. Burst load of 1095 kN and 10 mm deflection

Bandymas pavyko, visos jungtys sulūžo per suvirinimo siūlę.

## Išvados

1. Atlikus siūlių ultragarsinius bandymus, defektų nerasta tose siūlėse, kurios suvirintos laikantis technologinių reikalavimų, o siūlėse, kurios suvirintos nesilaikant technologinių reikalavimų, buvo aptikta defektų.
2. Atlikus bandymą Brinelio metodu, matavimo rezultatai atitinka Lietuvos geležinkeliams keliamus reikalavimus. Didžiausias paviršiaus kietis – 378 HB, kai pakaitinimas buvo 2,5 min. su padidinta termito porcija, o mažiausias kietis – 341 HB, kai pakaitinimas buvo 5 min. su normalia termito porcija.
3. Lėtojo lenkimo bandymų metu didžiausia suardymo 1517 kN apkrova ir didžiausias 12 mm įlinkis gautas, kai pakaitinimas buvo 5 min. su normalia termito porcija. Mažiausia suardymo jėga 1095 kN bėgio, kuris suvirintas be pakaitinimo, jame buvo rasta defektų. Mažiausias 9 mm įlinkis gautas, kai suvirinimas buvo atliktas pakaitinus 5 min. su padidinta termito porcija.
4. Nustatyta, kad gautas didžiausias paviršiaus kietis – 378 HB, ten gauta mažiausia suardymo apkrova 1289 kN, o kur mažiausias kietis – 341 HB, ten didžiausia suardymo apkrova 1517 kN, pagal technologiją atlikus termitinį bėgių suvirinimą.

## Literatūra

- Lingaitis, L. P.; Liudvinavičius, L.; Butkevičius, J.; Podagėlis, I.; Sakalauskas, K.; Vaičiūnas, G.; Bureika, G.; Gailienė, I.; Petrenko, V.; Subačius, R. 2009. *Geležinkeliai*. Vilnius, 53–55.
- Šapošnikovas, A. 2003. *Bėgių naudojimo ir naujų bėgių priėmimo taisyklės*. Vilnius.
- LST EN ISO 13674–1. Geležinkelio taikmenys. Geležinkelio kelias. Bėgiai. 1 dalis. 46 kg/m ir didesnio svorio, plataus pagrindo geležinkelio bėgiai. 2004.
- LST EN ISO 14730–1. Geležinkelio taikmenys. Geležinkelio kelias. Termitinis bėgių suvirinimas. 1 dalis. Suvirinimo procedūros patvirtinimas. 2008.

## THE INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF WELDING QUALITY OF R65 TYPE RAIL

**M. Rauduvė, V. Rudzinskas**

Abstract

This article is about the aluminothermic welding quality of rail joints, using different parameters. The thermit portion and preheat time estimated for quality of welded joints as well as the mechanical characteristics of aluminothermic welds in rails have been examined.

**Keywords:** rails, strength, solidity, weld, thermit, mechanical properties.