



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

TRANSPORTO INŽINERIJOS FAKULTETAS

TRANSPORTO TECHNOLOGINIŲ ĮRENGINIŲ KATEDRA

Ernestas Krukauskas

**BULDOZERIO VIKŠRINĖS VAŽIUOKLĖS SKIRTINGŲ VARANČIŲJŲ
ŽVAIGŽDUČIŲ PATIKIMUMO TYRIMAS**

**RELIABILITY RESEARCH OF SEPARATE DRIVE CHAIN WHEELS
FOR BULLDOZER TRACKED CHASSIS**

Baigiamasis magistro darbas

Transporto inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas **621E20003**

Transporto inžinerijos vadybos specializacija

Sausumos transporto inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2015

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
TRANSPORTO INŽINERIJOS FAKULTETAS
TRANSPORTO TECHNOLOGINIŲ ĮRENGINIŲ KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas

(Parašas)
prof. Marijonas Bogdevičius
(Vardas, pavardė)

(Data)

Ernestas Krukauskas

**BULDOZERIO VIKŠRINĖS VAŽIUOKLĖS SKIRTINGŲ VARANČIŲJŲ
ŽVAIGŽDUČIŲ PATIKIMUMO TYRIMAS**

**RELIABILITY RESEARCH OF SEPARATE DRIVE CHAIN WHEELS
FOR BULLDOZER TRACKED CHASSIS**

Baigiamasis magistro darbas

Transporto inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas **621E20003**

Transporto inžinerijos vadybos specializacija

Sausumos transporto inžinerijos studijų kryptis

Vadovas

prof. habil. dr. B. Spruogis

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Konsultantas

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Konsultantas

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Lietuvių kalbos konsultantas lekt. A. Petrėtienė

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Vilnius, 2015

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
TRANSPORTO INŽINERIJOS FAKULTETAS
TRANSPORTO TECHNOLOGINIŲ ĮRENGINIŲ KATEDRA

Sausumos transporto inžinerija studijų kryptis

Transporto inžinerija studijų programa, valstybinis

kodas **621E20003**

TVIRTINU
Katedros vedėjas

(Parašas)
prof. Marijonas Bogdevičius
(Vardas, pavardė)

(Data)

**BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO
UŽDUOTIS**

.....Nr.
Vilnius

Studentui (ei)

.....
(Vardas, pavardė)

Baigiamojo darbo tema: Buldozerio vikšrinės važiuoklės skirtingų varančiųjų žvaigždučių patikimumo tyrimas.....

.....
patvirtinta 2015 m. d. dekanų potvarkiu Nr.

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas

BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

Įvade pateikti darbo tikslą ir sprendžiamus uždavinius. Pirmoje dalyje pateikti tyrimo objektą. Antroje dalyje – mokslinių darbų analizę. Trečioje dalyje – tiriamasis darbas, pateikiant sprendžiamą problemą. Ketvirtoje dalyje pateikti tyrimo rezultatus ir jų ekonominę įvertinimą. Gale pateikti išvadas ir naudotos literatūros sąrašą.

.....
Baigiamojo darbo rengimo konsultantai:

.....
.....
.....
(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

Vadovas
(Parašas)
(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

Užduotį gavau

.....
(Parašas)
.....
(Vardas, pavardė)
.....
(Data)

Vilnius Gediminas Technical University
Faculty of Transport Engineering
Department of Transport Technological Equipment

ISBN
Copies No. 1.....
Date 2015.06.01

Master Degree Studies **Transport Engineering** study programme Master Graduation Thesis

Title **Reliability Research of Separate Drive Chain Wheels for Bulldozer Tracked Chassis**

Author **Ernestas Krukauskas**

Academic supervisor **Prof Dr Habil Bronislovas Spruogis**

Thesis
language: Lithuanian

Annotation

In master thesis research two different drive sprockets of track dozer's chassis. The aim - from two different manufacturers (original and non-original) tracked chassis drive sprocket's segments, the most reliable option and in terms of price attractive product for a body weight of 9,3 tonnes, an american production, track dozer. The study carried out in different segments of the drive sprocket visualisation comparison. Taking advantage of the "HARDNESS TESTER TH160 and ZWICK/ROELL ZHU" durometer, sprockets segment and chain drive bushings metal hardness settings. Spectral analysis of the principle of using the alloy analyzer "PMI-MASTER PRO, set both segments and chemical composition of the metal sleeve. Made two driving segments sprocket wear study and economic evaluation of the test results. The volume of the paper is 60 pages, 39 fig., 10 tables, 20 bibliographic entries.

Keywords: Crawler chassis, drive sprocket, segment, wear, hardness, chemical composition, reliability.

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Transporto inžinerijos fakultetas
Transporto technologinių įrenginių katedra

ISBN

ISSN

Egz. sk. ...4....

Data 2015.06.01

Antrosios pakopos studijų **Transporto inžinerijos** programos magistro baigiamasis darbas

Pavadinimas **Buldozerio vikšrinės važiuoklės skirtingų varančiųjų žvaigždučių patikimumo tyrimas**

Autorius **Ernestas Krukauskas**

Vadovas **prof. habil. dr. Bronislovas Spruogis**

Kalba: lietuvių

Anotacija

Baigiamajame darbe tiriamos skirtingos vikšrinio buldozerio važiuoklės varančiosios žvaigždutės. Darbo tikslas – iš dviejų skirtingų gamintojų (originalaus ir neoriginalaus) vikšrinės važiuoklės varančiųjų žvaigždučių segmentų, parinktį patį patikimiausią bei kainos atžvilgiu patraukliausią gaminį, skirtą 9,3 tonas sveriančiam, Šiaurės Amerikoje pagamintam, vikšriniam buldozeriui. Tyrimo metu atliktas skirtingų varančiųjų žvaigždučių segmentų vizualinis palyginimas. Pasinaudojant "HARDNESS TESTER TH160" ir "ZWICK/ROELL ZHU" kietmačiais, atliktas žvaigždučių segmentų ir varančiosios grandinės įvorės metalų kietumo nustatymai. Spektrinės analizės principu, pasinaudojant lydinio analizatoriumi "PMI-MASTER PRO", nustatyta abiejų segmentų ir įvorės metalų cheminė sudėtis. Atliktas abiejų varančiųjų žvaigždučių segmentų dilimo tyrimas bei tyrimo rezultatų ekonominis įvertinimas. Pateiktos išvados. Darbo apimtis – 60 p. be priedų, 39 pav., 10 lentelių, 20 bibliografinių šaltinių.

Prasminiai žodžiai: Vikšrinė važiuoklė, varančioji žvaigždutė, segmentas, dilimas, kietumas, cheminė sudėtis, patikimumas.

(Baigiamojo darbo sąžiningumo deklaracijos forma)

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Ernestas Krukauskas, 20084658

(Studento vardas ir pavardė, studento pažymėjimo Nr.)

Transporto inžinerijos fakultetas

(Fakultetas)

Transporto inžinerija, TIVfm-13

(Studijų programa, akademinė grupė)

**BAIGIAMOJO DARBO (PROJEKTO)
SĄŽININGUMO DEKLARACIJA**

2015 m. gegužės 24 d.

Patvirtinu, kad mano baigiamasis darbas tema „Buldozerio vikšrinės važiuoklės skirtingų varančiųjų žvaigždučių patikimumo tyrimas“ patvirtintas 2015 m. gegužės 13 d. dekanu potvarkiu Nr. 129ti, yra savarankiškai parašytas. Šiame darbe pateikta medžiaga nėra plagijuota. Tiesiogiai ar netiesiogiai panaudotos kitų šaltinių citatos pažymėtos literatūros nuorodose.

Mano darbo vadovas prof. habil. dr. Bronislovas Spruogis.

Kitų asmenų indėlio į parengtą baigiamąjį darbą nėra. Jokių įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs (-usi).



(Parašas)

Ernestas Krukauskas

(Vardas ir pavardė)

Turinys

Paveikslų sąrašas	8
Lentelių sąrašas.....	10
Santrumpos	11
ĮVADAS	13
1. TYRIMO OBJEKTAS	15
1.1. Buldozerio vikšrinė važiuoklė	15
1.2. Varančioji žvaigždutė	18
1.3. Varančiųjų žvaigždučių dilimas.....	20
2. MOKSLINIŲ DARBŲ ANALIZĖ	25
3. TIRIAMASIS DARBAS	37
3.1. Tiriamasis objektas	37
3.2. Varančiųjų žvaigždučių patikimumo tyrimo eiga.....	39
3.3. Varančiųjų žvaigždučių segmentų vizualinis (matmenų, svorio) palyginimas	39
3.4. Bandinių metalų kietumo matavimas	41
3.5. Bandinių metalų cheminės sudėties nustatymas	44
3.6. Varančiųjų žvaigždučių segmentų dilimo tyrimas.....	48
4. TYRIMO REZULTATŲ EKONOMINIS ĮVERTINIMAS	54
IŠVADOS	58
LITERATŪRA	59
PRIEDAI.....	61

Paveikslų sąrašas

1.1 pav. Šiaurės Amerikoje pagaminto, 9,3 tonas sveriančio buldozerio vikšrinės važiuoklės pagrindiniai elementai.....	15
1.2 pav. Buldozerio vikšrinės važiuoklės elementų kainų diagrama.....	16
1.3 pav. Vikšrinės važiuoklės pagrindinių elementų keitimo ciklą grafikas.....	17
1.4 pav. Remonto išlaidų ir komponentų eksploatavimo trukmės priklausomybė.....	18
1.5 pav. Varančiosios žvaigždutės.....	19
1.6 pav. „Purvo ir sniego“ varančiosios žvaigždutės dalis.....	19
1.7 pav. Važiuoklės varančiosios grandinės apkrova judėjimo atgal ir į priekį metu.....	22
1.8 pav. Vikšrinės važiuoklės dylančios vietos judėjimo į priekį metu.....	22
1.9 pav. Vikšrinės važiuoklės dylančios vietos judėjimo atgal metu.....	22
1.10 pav. Varančiosios žvaigždutės pakrypimas.....	23
1.11 pav. Varančiosios žvaigždutės išvirtimas.....	23
1.12 pav. Varančiosios žvaigždutės skersinis poslinkis.....	24
2.1 pav. Lenkijos karjerinės technikos vikšrinės važiuoklės elementų gedimų diagrama.....	25
2.2 pav. Žemės kasimo mašinos dantų dilimo standas.....	27
2.3 pav. Skirtingo kietumo plienų dilimo priklausomybė nuo laiko.....	27
2.4 pav. Skirtingo kietumo plienų dilimo metu prarasto svorio priklausomybė nuo abrazyvinių dalelių dydžių.....	27
2.5 pav. „Caterpillar“ stipriojo plieno varančiosios žvaigždutės segmentas.....	29
2.6 pav. Skirtingų varančiųjų žvaigždučių segmentų dilimo bandymų rezultatai.....	29
2.7 pav. Dilimo tyrimo bandiniai.....	30
2.8 pav. Bandinių dilimo greitis esant skirtingiems praslydimų koeficientams.....	31
2.9 pav. Bandinių dilimo greitis esant skirtingam kontakto slėgiui.....	32
2.10 pav. Bandinių dilimo greitis esant skirtingam smėlio tiekimo greičiui.....	33
2.11 pav. Plienų dilimo priklausomybė nuo kietumo.....	33
3.1 pav. Šiaurės Amerikoje pagaminto vikšrinio buldozerio varančioji žvaigždutė.....	37
3.2 pav. Šiaurės Amerikoje pagamintas originalus žvaigždutės segmentas.....	37
3.3 pav. Neoriginalus, Pietų Korėjoje pagamintas, varančiosios žvaigždutės segmentas.....	38
3.4 pav. Originali, Šiaurės Amerikoje pagaminta, varančiosios grandinės įvorė.....	38

3.5 pav. Originalus ir neoriginalus varančiosios žvaigždutės segmentas.....	39
3.6 pav. Varančiosios žvaigždutės segmento pagrindiniai matmenys.....	40
3.7 pav. Neoriginaliojo varančiosios žvaigždutės segmento kietumo matavimas Šoro metodu.....	41
3.8 pav. Varančiųjų žvaigždučių segmentų kietumo bandymo rezultatai.....	42
3.9 pav. a) universalus „ZWICK/ROELL ZHU“ kietmatis; b) 120° identorius.....	43
3.10 pav. Lydinių analizatorius „PMI-MASTER PRO“	45
3.11 pav. Varančiosios grandinės įvorė ir neoriginalus segmentas po metalo cheminės sudėties nustatymo.....	45
3.12 pav. Legiruojančių elementų kiekis originaliame ir neoriginaliame segmente.....	47
3.13 pav. Vikšrinio buldozerio važiuoklės varančiosios žvaigždutės dilimo stendo „EDSY 2012“ sandara.....	48
3.14 pav. Originalaus varančiosios žvaigždutės segmento nudilimas.....	52
3.15 pav. Neoriginalaus varančiosios žvaigždutės segmento nudilimas.....	53
4.1 pav. Neoriginalių ir originalių varančiųjų žvaigždučių segmentų keitimo išlaidos atsarginėms dalims per 9000 buldozerio darbo motovalandas.....	57

Lentelių sąrašas

2.1 lentelė. Terminio apdirbimo įtaka bandinių nudilusiam svoriui bei metalo plotui.....	26
2.2 lentelė. Skirtingų keturių elektrodų cheminė sudėtis.....	35
2.3 lentelė. Skirtingų keturių elektrodų dilimo metu prarastas svoris.....	36
3.1 lentelė. Išmatuoti originalaus ir neoriginalaus segmentų matmenys.....	40
3.2 lentelė. Originalios varančiosios grandinės įvorės kietumas.....	44
3.3 lentelė. Originalios varančiosios žvaigždutės segmento cheminė sudėtis.....	46
3.4 lentelė. Neoriginalios varančiosios žvaigždutės segmento cheminė sudėtis.....	46
3.5 lentelė. Neoriginalios varančiosios grandinės įvorės segmento cheminė sudėtis.....	46
3.6 lentelė. Neoriginalaus varančiosios žvaigždutės segmento bandinių dilimo rezultatai.....	51
3.7 lentelė. Neoriginalaus varančiosios žvaigždutės segmento bandinių dilimo rezultatai.....	52

Santrumpos

WR – dilimo intensyvumas, 1/g;

a – atstumas tarp trijų segmento krumplių keterų, mm;

b – segmento krumplio aukštis, mm;

c – segmento storis, mm;

d – segmento darbinis plotis, mm;

F – jėga, N;

i – perdavimo skaičius;

F_{tr} – vikšrinio buldozerio išvystoma traukos jėga ant vikšrų, N;

F_{zv} – tempimo jėga atitenkanti vienai varančiajai žvaigždutei, N;

n_{zv} – varančiųjų žvaigždučių skaičius;

W – jėga reikalinga riedėjimo pasipriešinimui nugalėti, N;

f – riedėjimo pasipriešinimo koeficientas;

i – įkalnės pasipriešinimo koeficientas;

g – laisvojo kritimo pagreitis, m/s^2 ;

m – transporto priemonės masė, kg;

H_n – neoriginalios varančiosios žvaigždutės segmentų keitimo intervalas, mh

H_o – originalios varančiosios žvaigždutės segmentų keitimo intervalas, mh;

k_d – neoriginalios ir originalios varančiosios žvaigždutės segmentų masės nudilimo santykis;

K_o – originalių atsarginių detalių, įskaitant ir tvirtinimo varžtus, kaina atliekant varančiųjų žvaigždučių segmentų keitimą, Eur;

K_n – neoriginalių atsarginių detalių, įskaitant ir tvirtinimo varžtus, kaina atliekant varančiųjų žvaigždučių segmentų keitimą, Eur;

s_o – originalios varančiosios žvaigždutės segmentų kaina vienai buldozerio važiuoklės pusei, Eur;

s_n – neoriginalios varančiosios žvaigždutės segmentų kaina vienai buldozerio važiuoklės pusei, Eur;

v – segmentų tvirtinimo varžtų kaina vienai buldozerio važiuoklės pusei, Eur;

H_d – buldozerio išdirbtų motovalandų skaičius, mh;

R_o – originalių varančiųjų žvaigždučių segmentų keitimų skaičius per 9000 buldozerio darbo motovalandų;

R_n – neoriginalių varančiųjų žvaigždučių segmentų keitimų skaičius per 9000 buldozerio darbo motovalandų;

S_o – pinigų suma, išleidžiama per 9000 buldozerio darbo motovalandų, norint pakeisti varančiųjų žvaigždučių segmentus originaliomis atsarginėmis dalimis, Eur;

S_n – pinigų suma, išleidžiama per 9000 buldozerio darbo motovalandų, norint pakeisti varančiųjų žvaigždučių segmentus neoriginaliomis atsarginėmis dalimis, Eur.

IVADAS

Šiuo metu, mokslui bei įvairiems tyrimams pasiekus gana aukštą lygį, didelis mokslininkų, inžinierių dėmesys skiriamas gaminių patikimumui. Gaminio kokybė ir patikimumas yra tarpusavyje susijusios jo savybės. Gaminys gali būti geros kokybės tikrai tada, kai yra patikimas. Prastos kokybės gaminiai yra nuostolingi tiek gamintojui, tiek vartotojui. Gamintojas prastos kokybės gaminius turi taisyti, arba jam bus sunku juos parduoti. Vartotojui prastos kokybės gaminys reiškia papildomas išlaidas remontui ir atsarginėms dalims bei laiko nuostolius dėl gaminio gedimų.

Patikimumas itin aktualus statybos technikos mašinoms, kurios dirba itin sunkiomis darbo sąlygomis (karštis, dulkės, smėlis, vanduo, purvas). Kadangi tokių mašinų kaina siekia šešiaženklas, o kartais net ir septyniaženklas sumas, todėl kiekvieno mechanizmo patikimumas proporcingas mašinos eksploatavimo išlaidoms. Jos tuo mažesnės, kuo mašina patikimesnė.

Patikimumas yra kompleksinė objekto savybė, įvertinama dalinėmis jo savybėmis: negendamumu, pataisomumu, ilgaamžiškumu ir išsilaikymu (Višniakas, Slivinskas 2005).

- **Negendamumas** – tai objekto gebėjimas nepertraukiamai išlaikyti tam tikrą laiką savo darbingumą.
- **Darbingumas** – tai objekto būseną, kai jis gali atlikti savo funkcijas. Darbingumo praradimas vadinamas gedimu.
- **Pataisomumas** – tai objekto savybė, leidžianti numatyti, aptikti ir pašalinti jo gedimus, palaikyti ir atkurti darbingumą, atliekant remontą arba techninę priežiūrą.
- **Ilgaamžiškumas** – tai objekto savybė išlikti darbingam iki susidėvėjimo su pertraukomis remontams bei techninei priežiūrai.
- **Išsilaikymas** – tai objekto savybė išlaikyti savo darbingumą sandėliuojant ar transportuojant.

Temos aktualumas. Buldozerio vikšrinės važiuoklės varančioji žvaigždutė yra vienas iš pagrindinių šios mašinos važiuoklės elementų. Jos dėka mechanizmas juda į priekį. Varančiajai žvaigždutei svarbiausia yra ilgaamžiškumo savybė, o būdingiausias šio elemento gedimas yra dilimas, kuris vyksta visą žvaigždutės eksploatavimo laikotarpį. Šiuo atveju patikimumas suprantamas kaip kuo mažesnis elemento dilimas įvairiomis darbo sąlygomis. Yra labai svarbu parinkti patikimą bei kokybišką gaminį šiam vikšrinės važiuoklės elementui.

Darbo tikslas – iš dviejų skirtingų gamintojų (originalaus ir neoriginalaus) vikšrinės važiuoklės varančiųjų žvaigždučių segmentų parinkti patį patikimiausią bei kainos atžvilgiu patraukliausią gaminį Šiautės Amerikoje pagamintam, 9,3 tonas sveriančiam vikšriniam buldozeriui.

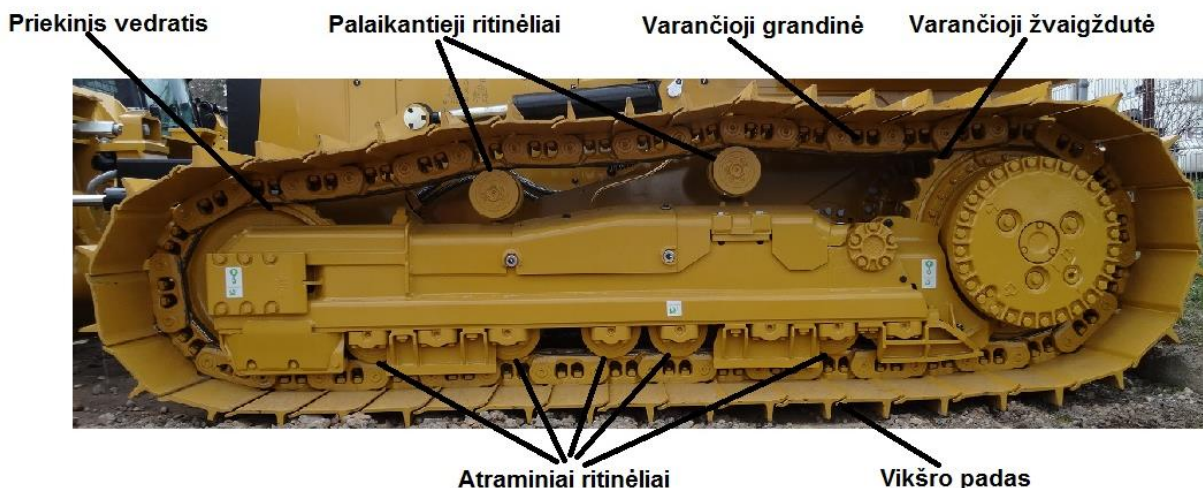
Darbo uždaviniai:

- atlikti mokslinės literatūros analizę ir nustatyti, kokie autoriai ir kokiuose šaltiniuose nagrinėjo statybinės technikos detalių, vikšrinės važiuoklės elementų patikimumą;
- atlikti skirtingų varančiųjų žvaigždučių patikimumo tyrimą (vizualinis palyginimas, metalo kietumo, cheminės sudėties nustatymas, dilimo tyrimas);
- atlikti tyrimo rezultatų ekonominį įvertinimą;
- pateikti apibendrinimą, išvadas bei rekomendacijas.

1. TYRIMO OBJEKTAS

1.1. Buldozerio vikšrinė važiuoklė

Buldozeris – traktorius su verstuvu priekyje gruntui pjauti sluoksniais, perstumiant jį nedideliu atstumu, ir sustumdyti į numatytą vietą, tranšėjoms pripilti, teritorijos ar kelio paviršiui išlyginti (Bartulis 2012). Tokio tipo žemės darbams atlikti būtinas didelis sukibimas bei atrama į paviršių, todėl jau nuo devynioliktojo amžiaus pabaigos žmonės plačiai technikoje (tankuose, buldozeriuose, ekskavatoriuose ir t. t.) naudoja vikšrinę važiuoklę (1.1 pav.). Tai yra savaeigės mašinos varytuvai, užtikrinantis judėjimą vikšrams sąveikaujant su gruntu, tokiu būdu padidinantis mašinų važumą.



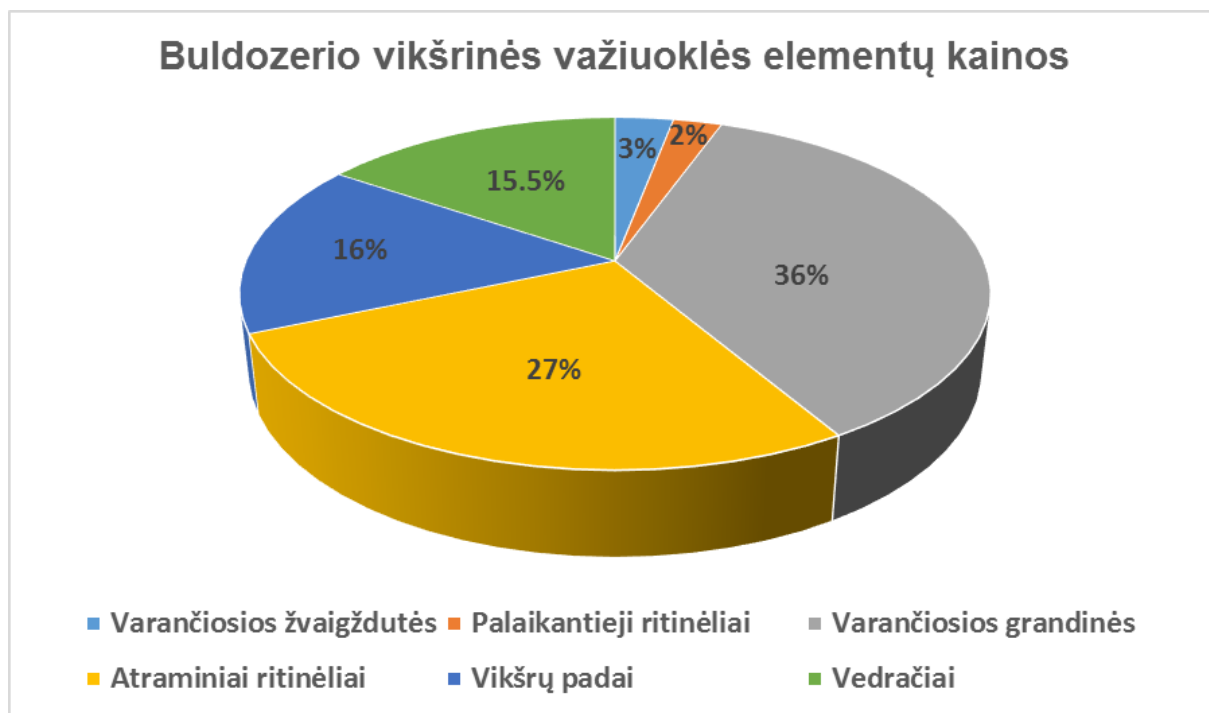
1.1 pav. Šiaurės Amerikoje pagaminto, 9,3 tonas sveriančio buldozerio vikšrinės važiuoklės pagrindiniai elementai

Pagrindiniai buldozerio vikšrinės važiuoklės elementai yra:

- **priekinis vedratis** – veda važiuoklės grandinę į priekį ir sugeria važiavimo metu atsirandančius smūgius;
- **varančioji žvaigždutė** – perduoda per hidraulinio variklio sukurtą sukimo momentą važiuoklės varančiajai grandinei;
- **varančioji grandinė** – perduotas variklio sukurtas momentas leidžia grandinei judėti važiuoklės dalimis aplink ir taip suteikti buldozeriui varantįjį judesį;
- **vikšro padas** – ant varančiosios grandinės tvirtinama metalinė plokšė, kuri kontaktuoja tiesiogiai su pagrindu;

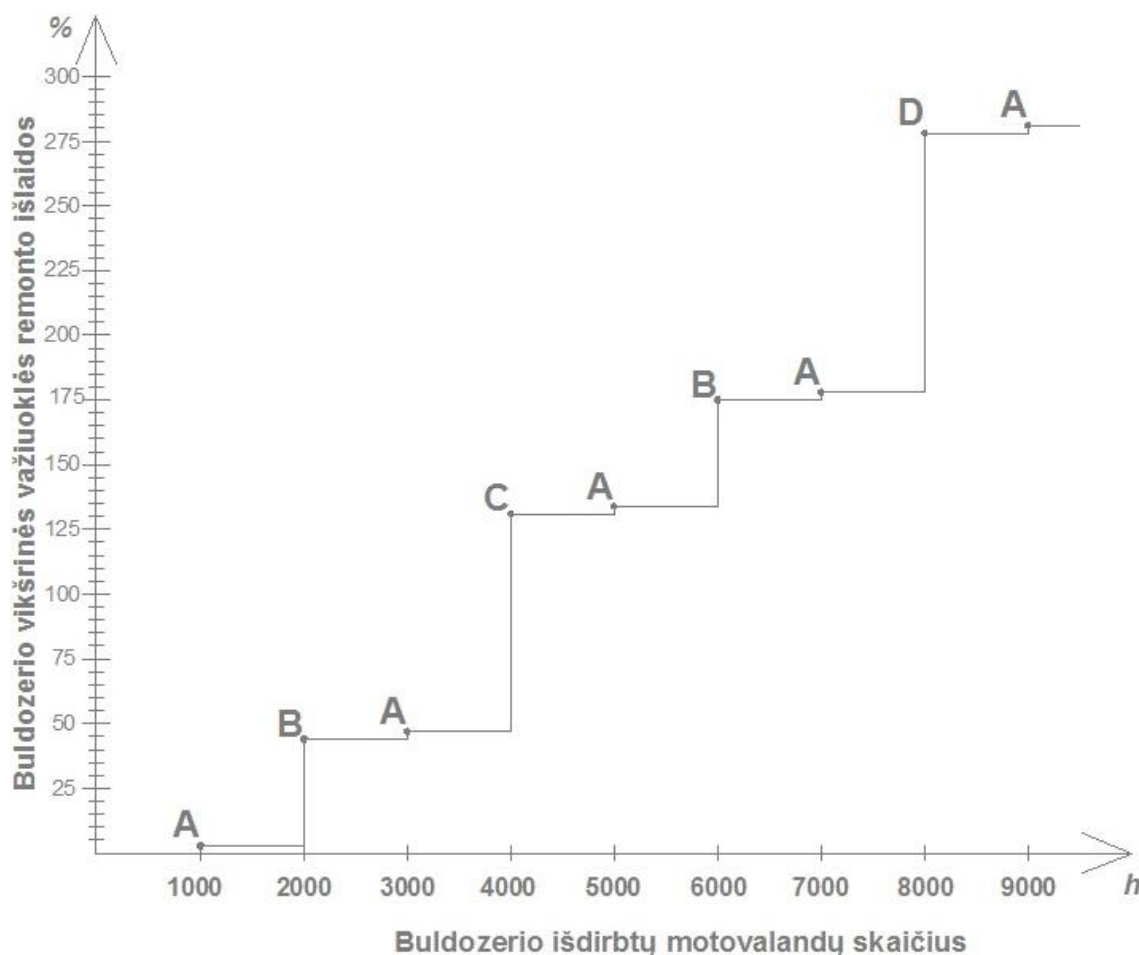
- **palaikantysis ritinėlis** – palaiko važiuoklės grandinę, kad ši nekristų ant rėmo ir veda ją tarp varančiosios žvaigždutės ir priekinio vedračio;
- **atraminiai ritinėliai** – jie remiasi į vidinę grandinės dalį. Tolygiai paskirsto buldozerio svorį pagrindui bei posūkio, pakrypimo metu laiko vikšro grandinę standžiai. Jie atlaiko pagrindines apkrovas.

Buldozerio didžiąją dalį remonto bei aptarnavimo išlaidų sudaro vikšrinės važiuoklės atnaujinimas. Žemės darbų mašinos dirba ypač abrazyvinėje aplinkoje. Smėlis, dulkės, molis, ciklinės apkrovos – pagrindinės priežastys dėl ko detalės praranda savo darbines charakteristikas. Viena iš labiausiai abrazyvinio dilimo pažeidžiamų buldozerio dalių yra vikšrinė važiuoklė. Jos priežiūrai bei remontui tenka nemaža dalis išlaidų, patiriamų prižiūrint šią mašiną. Savo darbe (Nakaishi, Maeda 2011) teigia, jog vikšrinė važiuoklė sudaro maždaug 20 procentų visos buldozerio kainos. Didžioji dalis važiuoklės kainos (1.2 pav.) atitenka varančiosioms grandinėms, atraminiams ritinėliams bei vikšrų padams – apie 79 procentus. Vedračių kaina sudaro apie 15,5 procentus, o likusieji 5,5 procentai tenka varančiosioms žvaigždutėms ir palaikantiems ritinėliams. Tačiau eksploatacijos metu, vikšrinės važiuoklės priežiūra, remontas, atnaujinimas gali siekti net 40-60 procentus visų buldozerio aptarnavimo išlaidų.



1.2 pav. Buldozerio vikšrinės važiuoklės elementų kainų diagrama (Nakaishi, Maeda 2011)

Mokslininkai (Nakaishi, Maeda 2011) savo darbe taip pat pateikia ir vikšrinės važiuoklės pagrindinių elementų keitimo ciklus (kur A: varančiųjų žvaigždžių keitimas; B: varančiųjų žvaigždžių, grandinių, palaikančiųjų ritinėlių keitimas; C: varančiųjų žvaigždžių, grandinių, palaikančiųjų, atraminių ritinėlių, vedračių, keitimas; D: varančiųjų žvaigždžių, grandinių, palaikančiųjų, atraminių ritinėlių, vedračių, vikšrų padų keitimas) priklausančius nuo išdirbtų buldozerio motovalandų skaičiaus (1.3 pav.). Iš grafiko matyti, jog dažniausiai, kas 1000 motovalandų, yra keičiamos varančiosios žvaigždutės. Visą tai paaiškinant, jog šis elementas yra labiausiai apkrautas nuolatinėmis apkrovomis ir labiausiai veikiamas nuolatinio dilimo. Kas 2000 motovalandų keičiamos varančiosios grandinės bei palaikantieji ritinėliai. Kas 4000 motovalandų – atraminiai ritinėliai ir vedračiai. Vikšrų padai keičiami rečiausiai – kas 8000 motovalandų.

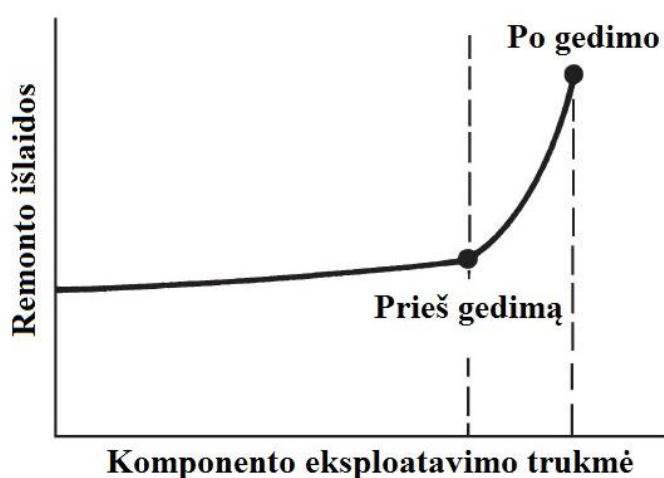


1.3 pav. Vikšrinės važiuoklės pagrindinių elementų keitimo ciklo grafikas

(Nakaishi, Maeda 2011)

Todėl yra labai svarbu eksploatuojamai technikai parinkti patikimas dalis, kurios kuo ilgiau išlaikytų savo pradinę kokybę. Tokiu būdu būtų išleidžiama mažiau išlaidų technikos remontams, sumažėtų mašinos motovalandos darbo savikaina.

Taip pat yra labai svarbu mašinos komponentus keisti iškart, kai tik jie sugenda arba praranda savo pradines eksploatacines savybes. Tokiu būdu yra užtikrinamos mažiausios remonto išlaidos. Sugedęs, nekeičiamas ir toliau eksploatuojamas vikšrinės važiuoklės elementas grandinine reakcija gadintų likusias važiuoklės dalis, sukeltų intensyvesnę jų dėvėjimąsi, tokiu būdu labai padidintų kito remonto sąmatą („Caterpillar“ 2013). Visa tai labai gerai atsispindi remonto išlaidų ir komponentų eksploatavimo trukmės priklausomybės grafike (1.4 pav.).



1.4 pav. Remonto išlaidų ir komponentų eksploatavimo trukmės priklausomybė („Caterpillar“ 2013)

Iš grafiko matyti, jog didėjant komponento eksploatavimo trukmei, palaipsniui, bet nežymiai, didėja ir komponento remonto išlaidos, tai yra logiška, tačiau sugedus komponentui ir jo netaisius, remonto išlaidos per trumpą laiką išauga dvigubai. Todėl ypač svarbu sekti vikšrinės važiuoklės komponentų būklę bei juos keisti, kai tik jie tampa neeksploatuojami ar žalingi likusių komponentų eksploatacijai.

1.2. Varančioji žvaigždutė

Darbo tyrimo objektas yra sparčiausiai dylantis bei dažniausiai keičiamas vikšrinės važiuoklės elementas – varančioji žvaigždutė (1.5 pav.). Tai grandininės pavaros diskas su krumpliais, kuris perduoda variklio sukimo momentą į vikšro juostą. Varančiąją žvaigždutę

sudaro vienas elementas (1.5 pav., a), dažniausiai ekskavatoriuose, arba ji susideda iš keleto (keturių, penkių ar šešių) segmentų (beveik visada buldozeriuose) (1.5 pav., b).

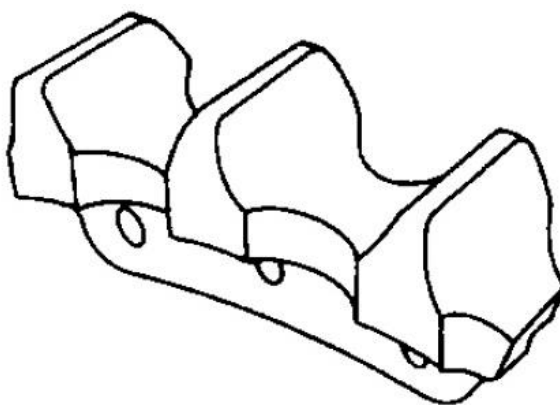
Žvaigždutė visada turi nelyginį skaičių krumplių, kad kiekvieno apsisukimo metu žvaigždutės krumplis kontaktų su vis skirtinga varančiosios grandinės įvare. Tokiu būdu yra tolygiai paskirstomas tiek žvaigždutės, tiek grandinės įvorės dilimas.



1.5 pav. Varančiosios žvaigždutės: a) vientisa žvaigždutė; b) žvaigždutė iš penkių segmentų

Didžiausias žvaigždutės iš segmentų privalumas tas, jog keičiant šiuos elementus nereikia numontuoti vikšro juostos, kad galima būtų ištraukti žvaigždutę. Segmentai paeiliui pakeičiami ir nepalietus vikšrinės važiuoklės grandinės. Taipogi, nulūžus vienam iš krumplių, nereikia nuiminėti visos žvaigždės, užtenka pakeisti vieną segmentą.

Mašinai dirbant ypač purvinoje ir šlapioje aplinkoje, kuomet purvas aplimpa varančiąją žvaigždutę ir dėl to padidėja varančiųjų grandinių įvorių dilimas, naudojamos šiek tiek kitokios konstrukcijos „purvo ir sniego“ (angl. *mud and snow*) varančiosios žvaigždutės ar jų segmentai (1.6 pav.).



1.6 pav. „Purvo ir sniego“ varančiosios žvaigždutės dalis („Caterpillar“ 2013)

Iš 1.6 pav. matyti, jog prastoms darbo sąlygoms pritaikytoms žvaigždutėms tiek iš vienos pusės krumplių pošaknių, tiek iš kitos yra išpjauta pusės elipsės formos išpjova. Tokiu būdu sumažėja plotas rinktis purvui ar sniegui ir jiems prilipti prie segmentų pošaknių paviršiaus.

1.3. Varančiųjų žvaigždučių dilimas

Varančiųjų žvaigždučių, kaip ir visos vikšrinės važiuoklės elementų, pradinės charakteristikas labiausiai paveikia abrazyvinis dilimas – tai elemento paviršiaus irimas dėl jo sąveikos su kietomis detalėmis, esant santykiniam greičiui. Abrazyvinė medžiaga yra mineralas, kurio grūdėliai, būdami pakankamo kietumo, turi galimybę pjauti ar rėžti (Rudzinskas, Černašėjus 2012). Visas būtinas sąlygas abrazyviniam dilimui vyksti sukuria buldozeris, atlikdamas žemės kasimo darbus, tai yra:

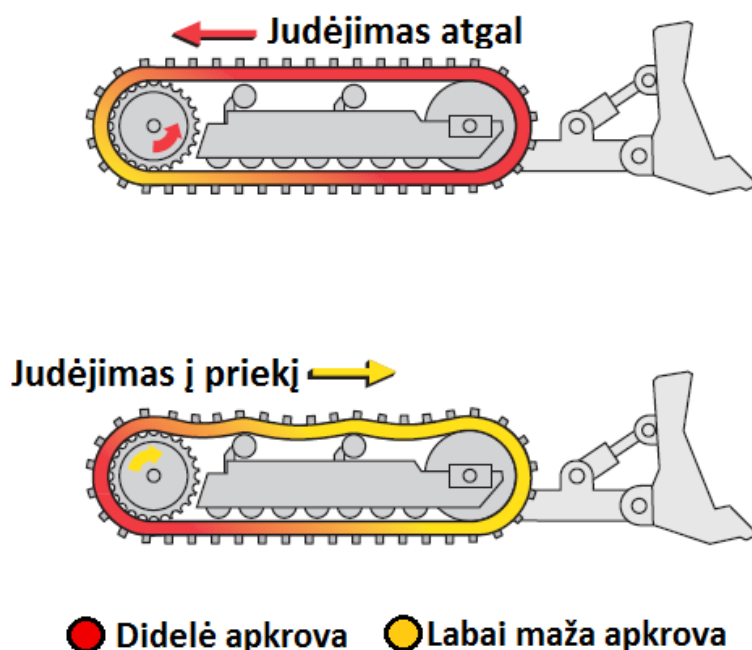
- kontaktas tarp detalių: buldozeriui judant, visi vikšrinės važiuoklės elementai kontaktuoja tarpusavyje – varančioji žvaigždutė su varančiosios grandinės įvorėmis, atraminiai/palaikantieji ritinėliai su grandinės jungtimis, vikšro padai su žemės pagrindu;
- apkrova: šoninei bortinei pavarai sukant varančiąją žvaigždutę, o šiai traukiant aplink save varančiąją grandinę, sukurama apkrova žvaigždutės krumplių ir grandinės įvorių kontakto metu;
- judesys: buldozeriui judant į priekį ar atgal, grandinės įvorės slenka varančiųjų žvaigždučių krumplių paviršiumi;
- abrazyvinė terpė: mašinai atliekant žemės kasimo, stūmimo darbus, tarp kontaktuojančių detalių paviršių nuolat patenka dulkių, smėlio, molio, smulkių statybinių medžiagų ar atliekų.

Dilimo intensyvumui didelę įtaką turi buldozerio važiavimo greitis, kryptis, atliekamų žemės darbų pobūdis, žemės paviršiaus dangos rūšis, varančiosios grandinės įtempimas.

Galima išskirti du varančiosios žvaigždutės dilimo modelius. Pirmasis – buldozeriui judant į priekį, antrasis – buldozeriui judant atgal. Abu šie modeliai yra skirtingi ne tik dėl to, jog kontaktuoja skirtingi grandinės įvorių, žvaigždučių krumplių paviršiai, bet ir dėl to, jog skirtingai yra apkrautos varančiosios grandinės.

Buldozeriui judant atgal, maždaug septyniasdešimt penki procentai grandinės įvorių pirštų ir jungčių yra apkrautos judesiu atgal, pradedant priekinio vedančiojo rato apačios ir

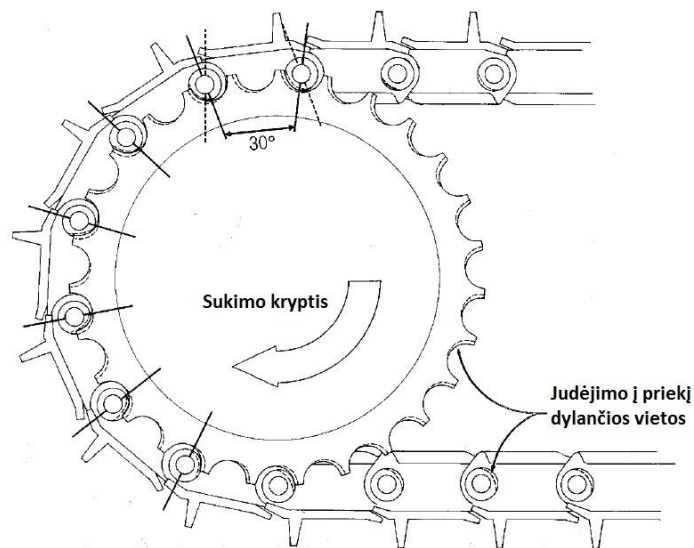
baigiant pirmojo kontakto vieta tarp varančiosios žvaigždutės krumplio ir grandinės įvore (1.7 pav.). Judėjimo į priekį metu – apkrauta yra maždaug tik dvidešimt penki procentai visos grandinės pirštų, įvorių ir jungčių (Huzij *et al.* 2014). Taigi, mašinos judėjimas atgal, lyginant su judėjimu į priekį be apkrovos, tris kartus labiau apkrauna varančiąsias grandines, tokiu būdu mažindamas vikšrinės važiuoklės eksploatacijos laikotarpį bei padidindamas dilimą tarp žvaigždės krumplių ir grandinės įvorių, lyginant su dilimu buldozeriui judant į priekį. Todėl yra labai svarbu buldozerio operatoriui iš anksto numatyti savo važiavimo trajektoriją ir kiekvieną mašinos su vikšrine važiuokle judesį išnaudoti naudingai.



1.7 pav. Vikšrinės važiuokės varančiosios grandinės apkrova judėjimo atgal ir į priekį metu (Huzij *et al.* 2014)

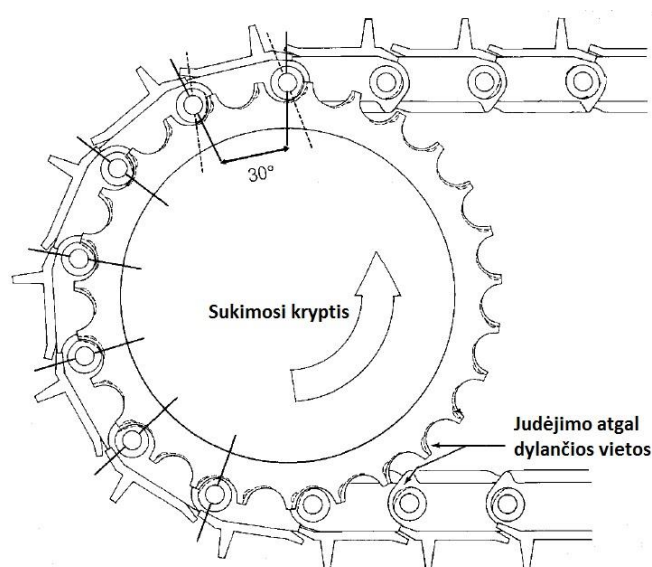
Varančiosios žvaigždutės dilimas judant buldozeriui į priekį. Judant buldozeriui į priekį, žvaigždutės krumpliai nuolat kontaktuoja su varančiosios grandinės įvorėmis (1.8 pav.). Kontaktas atsiranda maždaug ties šešta valanda, kuomet žvaigždutės krumplis užgriebia grandinės įvorę ir traukia ją į viršų. Šiam kontaktui tenka didžiausia apkrova – maždaug 85 procentai visos varančiųjų žvaigždučių ir grandinių sukuriamos apkrovos, judant mašinai į priekį. Likusi apkrova, apytiksliai 15 procentų, tolygiai pasiskirsto sekančiuose trijuose kontaktuose tarp įvorių ir žvaigždučių krumplių. Dėl žvaigždutės formos, grandinės įvorė nejudą žvaigždutės pošaknyje iki kol neatsiduria pačiame viršuje – tarp vienuoliktos ir dvyliktos valandos. Tuo metu, grandinės įvorė pasisuka maždaug 30 laipsnių kampu žvaigždutės pošaknio atžvilgiu, tačiau šioje vietoje dilimas yra mažiausias, nes didžiausia

apkrova, judant mašinai į priekį, tenka žvaigždutės apatinei daliai. Taigi kritinis dilimo mechanizmas, buldozeriui judant į priekį, įvyksta pirmojo žvaigždutės krumplio ir įvorės kontakto metu.



1.8 pav. Vikšrinės važiuoklės dylančios vietos judėjimo į priekį metu (Huzij *et al.* 2014)

Varančiosios žvaigždutės dilimas judant buldozeriui atgal. Judant buldozeriui atgal, žvaigždutės krumpliai su grandinės įvorėmis pradeda kontaktuoti maždaug ties dvylikta valanda (1.9 pav.). O tarp 12 ir 11 valandos, grandinės įvorės pasisuka 30 laipsnių kampu žvaigždutės pošaknio atžvilgiu.



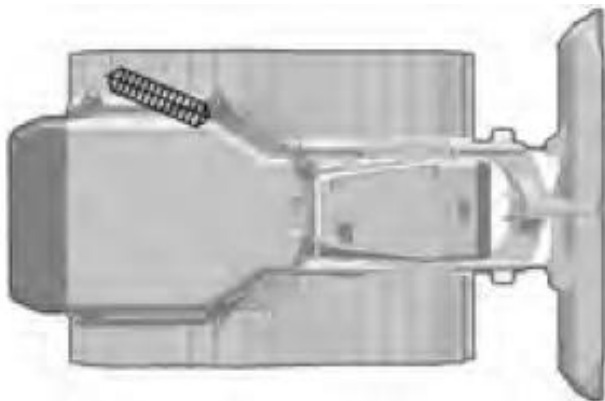
1.9 pav. Vikšrinės važiuoklės dylančios vietos judėjimo atgal metu (Huzij *et al.* 2014)

Kadangi, judant atbuline eiga, netgi 75 procentai varančiosios grandinės dalies yra apkrauta, dėl to ypač padidėja dilimas tarp žvaigždutės krumplių ir įvorių pirmojo kontakto metu. Dėl žvaigždutės formos, grandinės įvorė nejuda žvaigždutės pošaknyje iki kol neatsiduria pačioje apačioje – ties šešta valanda. Tuo metu, grandinės įvorė pasisuka maždaug 30 laipsnių kampu žvaigždutės pošaknio atžvilgiu, tačiau šioje vietoje dilimas yra mažiausias, nes didžiausia apkrova, judant mašinai į atgal, tenka žvaigždutės viršutinei daliai.

Varančiųjų žvaigždučių greitesnį dilimą gali lemti ir techniniai gedimai bei klaidos, atsiradusios mašinos eksploatacijos metu ar vikšrinės važiuoklės remontu metu. („Caterpillar“ 2013). Pagrindinės trys techninės priežastys, padidinačios neplanuotą dilimą:

1. Pakrypimas (1.10 pav.). Žiūrint iš viršaus varančiosios žvaigždutės ašis kertasis su vikšro juostos ašimi.

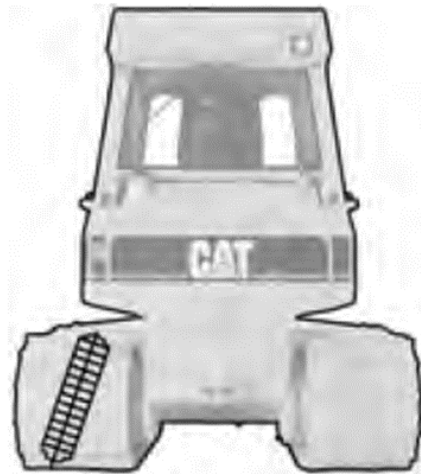
- Priežastis – lenktas žvaigždutės velenas.
- Rezultatas – dėvisi vidinė grandinės bei varančiosios žvaigždutės dalis.
- Sprendimas – varančiosios žvaigždutės veleno tiesinimas arba jo keitimas.



1.10 pav. Varančiosios žvaigždutės pakrypimas („Caterpillar“ 2013)

2. Išvirtinimas (1.11 pav.). Žiūrint iš galo, buldozerio varančioji žvaigždutė išvirtusi į vidinę ar išorinę pusę, lyginant su vikšro juostos ašimi.

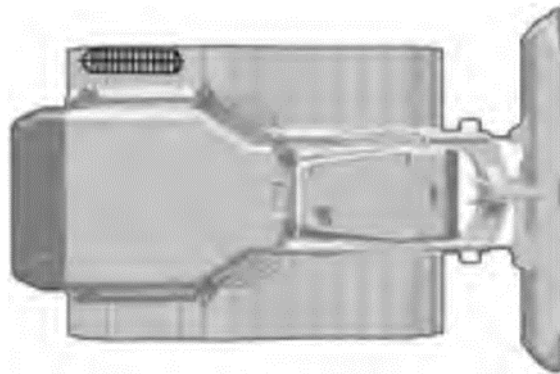
- Priežastis – lenktas varančiosios žvaigždutės velenas.
- Rezultatas – dėvisi vidinė grandinės bei varančiosios žvaigždutės dalis.
- Sprendimas – varančiosios žvaigždutės veleno tiesinimas arba jo keitimas.



1.11 pav. Varančiosios žvaigždutės išvirtimas („Caterpillar“ 2013)

3. Skersinis poslinkis (1.12 pav.). Žiūrint į buldozerį iš viršaus ar galo, varančioji žvaigždutė yra pasislinkusi į išorę ar į vidų lyginant su vikšro juostos ašimi.

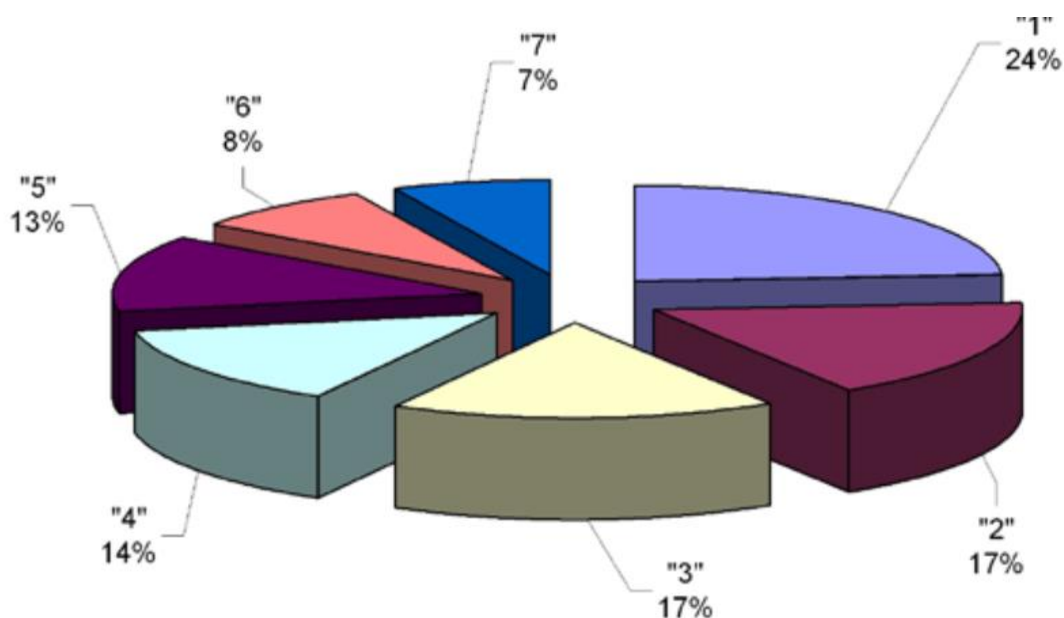
- Priežastis – varančioji žvaigždutė nėra tinkamai prispausta prie veleno.
- Rezultatas – dėvisi vidinė/išorinė varančiosios žvaigždutės bei grandinės dalis, gali turėti dėvėjimosi įtakos atraminių ritinėlių briaunoms.
- Sprendimas – tinkamai prispausti varančiąją žvaigždutę prie veleno.



1.12 pav. Varančiosios žvaigždutės skersinis poslinkis („Caterpillar“ 2013)

2. MOKSLINIŲ DARBŲ ANALIZĖ

Kasybos mašinų vikšrinės važiuoklės eksploatuojamos labai atšiauriosiomis sąlygomis: didelis darbo krūvis, agresyvi aplinka. Dėl šių sąlygų intensyvėja važiuoklės komponentų plastinės deformacijos, abrazyvinis dilimas. Savo darbe (Sokolski, P., Sokolski, M. 2014) bando nustatyti pavojingiausius vikšrinės važiuoklės varančiosios grandinės jungčių taškus ir juos pašalinti, tokiu būdu užtikrinant didesnę mašinos saugumą bei patikimumą. Surinkti statistiniai duomenys parodė, jog daugiausia Lenkijos karjerinės technikos vikšrinės važiuoklės gedimų įvyksta dėl sugedusių palaikančiųjų ritinėlių, važiuoklės rėmų bei vežimėlių (2.1 pav.).



2.1 pav. Lenkijos karjerinės technikos vikšrinės važiuoklės elementų gedimų diagrama:
1 – atraminiai ritinėliai, 2 – važiuoklės rėmas ir vežimėlis, 3 – atraminė sija, 4 – varančioji grandinė, 5 – varančioji žvaigždutė, 6 – kreipiantieji ritinėliai, 7 – palaikantieji ritinėliai
(Sokolski, P., Sokolski, M. 2014)

Sugedusių varančiųjų žvaigždučių, netinkamų eksploatacijai, sudaro trylika procentų visų gedimų. Vikšrinės važiuoklės komponentų gamybai labai svarbu yra naudoti kokybiškas medžiagas, kurios nepadidintų ir taip brangios mašinos kainos ir būtų labai gerai eksploatuojamos.

Darbe (Yazici 2010) nagrinėjamas traktorių žemės arimo noragų abrazyvinio dilimo mažinimas juos karštai štampuojant (S+HT) bei apvirinant, panaudojus ekranuotą

(CHT+HF-1) ir dujinį lankinį (CHT+HF-2) suvirinimą, bandymus atliekant realiomis darbo sąlygomis lauke. Abrazyvinio dilimo nuostoliai buvo nustatomi matuojant bandinių svorio ir matmenų pokyčius prieš ir po žemės dirbimo. Karštai šampuotų bei apvirintų noragų nudilimo nuostoliai buvo žymiai mažesni nei tradiciškai termiškai apdorotų (CHT) noragų bandinių, bandymus atliekant realiomis darbo sąlygomis lauke (2.1 lentelė). Tradiciškai termiškai apdorotų ir apvirintų ekranuotu lankiniu būdu bandinių nudilimo nuostoliai buvo 46,31 %, o matmenų nuostoliai – 86,77 % mažesni lyginant su tik tradiciškai termiškai apdorotais bandiniais.

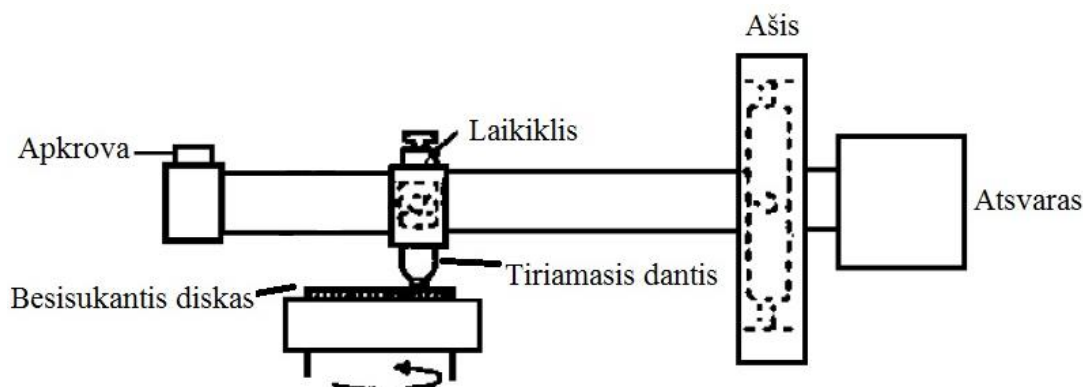
2.1 lentelė. Terminio apdirbimo įtaka bandinių nudilusiam svoriui bei metalo plotui

Terminio apdirbimo būdas	Prarastas svoris (g ha ⁻¹)	Nudilęs metalo plotas (mm ² ha ⁻¹)
CHT	46.24	406.67
CHT + HF-1	24.82	53.81
CHT + HF-2	29.18	48.10
S + HT	37.44	350.48

Dujiniu lankiniu būdu apvirintų bandinių nudilimo nuostoliai buvo atitinkamai mažesni 36,90 ir 88,17 procentais. Ženklaus skirtumo tarp šių dviejų apvirinimo būdų nėra. Štai karštai šampuoto bei po to termiškai apdirbto norago dilimo svoris buvo mažesnis 19,03 procentais, o matmenų nuostoliai buvo mažesni 13,82 procentais lyginant su tradiciškai termiškai apdorotu bandiniu. Iš bandymo rezultatų matyti, jog panaudojus tinkamą terminį metalų apdirbimo būdą galima ženkliai sumažinti jų dilimo nuostolius, tokiu būdu prailginant jų eksploatacijos laikotarpį.

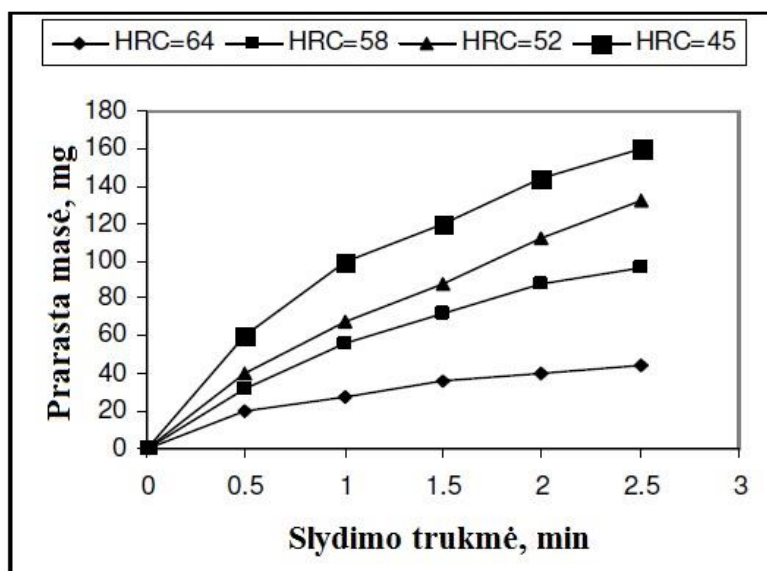
Atsparumą dilimui įtakoja ne tik metalo terminio apdirbimo būdai, bet ir medžiagos kietumas, apkrovos dydis, pačio dilimo trukmė bei kontaktuojančių paviršių abrazyvinių dalelių dydis. Savo darbe (Sarhan *et al.* 2010) tiria skirtingų dydžių silicio karbido abrazyvinių dalelių įtaką žemės kasimo mašinos dantų plienui. Vienos rūšies plienas, kurio pradinis kietumas yra 45 HRC buvo paveiktas skirtingomis terminio apdorojimo temperatūromis bei išlaikymo intervalu, dėl ko buvo gauti skirtingų kietumų žemės kasimo mašinos dantys, tai yra - 52, 58 ir 64 HRC pagal Rokvelą. Po to skirtingų kietumų keturi bandiniai dilimo stende (2.2 pav.) buvo palyginti tiriant juos dviems pastoviais linijiniais slydimo greičiais (1,5 ir 2,5 m/s) bei skirtingomis apkrovomis (10, 20, 30, 40 ir 50 N). Bandymai buvo atliekami skirtingomis trukmėmis, tai yra – 0,5, 1,0, 1,5, 2,0 ir 2,5 minutės. Žemės kasimo mašinos dantis, įtvirtintus laikiklyje, abrazyviškai veikdavo besisukantis

diskas, padengtas skirtingų dydžių (30, 40, 50 ir 60 μm) silicio karbido abrazyvinėmis dalelėmis.



2.2 pav. Žemės kasimo mašinos dantų dilimo stendas (Sarhan *et al.* 2010)

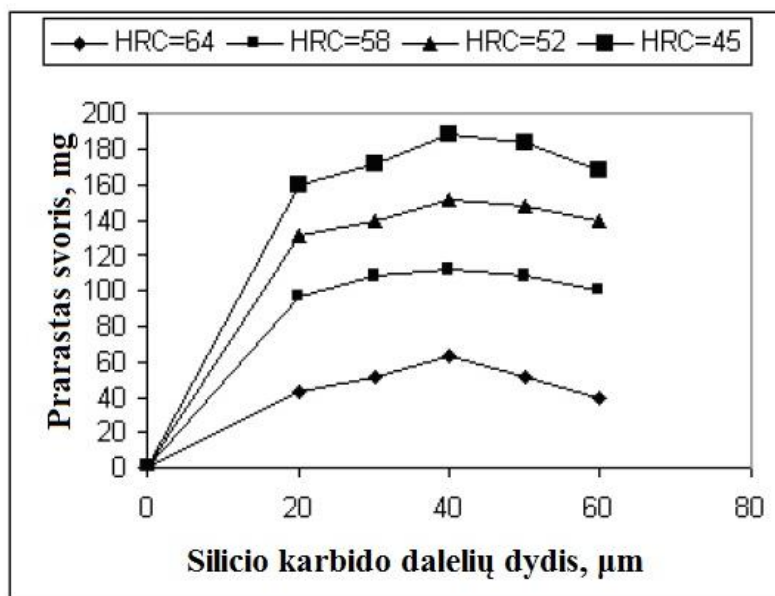
Bandymo rezultatai parodė, jog esant kuo didesniai plieno kietumui tuo metalo atsparumas dilimui tampa didesnis ir jis dyla mažiau. Iš grafiko (2.3 pav.) matyti, jog mažiausiai dilo plienas turintis 64 HRC kietumą, o daugiausiai dilo plienas su 45 HRC kietumu.



2.3 pav. Skirtingo kietumo plienų dilimo priklausomybė nuo laiko (Sarhan *et al.* 2010)

Taip pat savo darbe (Sarhan *et al.* 2010) nustatė, jog dilimas intensyvėja dėl padidėjusios apkrovos, slydimo linijinio greičio bei slydimo trukmės tarp dviejų kontaktuojančių kūnų. Dilimo intensyvumui, taip pat, įtakos turėjo ir silicio karbido dalelių

dydis. Esant dalelių dydžiui 40 μm prie įvairių bandymo sąlygų (skirtingo slydimo greičio, apkrovos) abrazyvinis dilimas buvo intensyviausias (2.4 pav.).



2.4 pav. Skirtingo kietumo plienų dilimo metu prarasto svorio priklausomybė nuo abrazyvinių dalelių dydžių (Sarhan *et al.* 2010)

Žemės darbų mašinų komponentų tarnavimo laikui bei patikimumui daugiausia įtakos daro abrazyvinis dilimas. Darbo įrankiai ar įnagiai šiose mašinose dažniausiai gaminami iš plieno. Straipsnyje (Brezina *et al.* 2004) nagrinėjama galimybė gaminti noragus iš austenitiškai grūdinto ketaus bei jų abrazyvinio dilimo atsparumo palyginimas su pasaulyje lyderiaujančio gamintojo „Kverneland“ gaminamo noragų metalu. Naudojant tinkamą terminio apdirbimo būdą ketui įmanoma gauti panašų gaminį į originalų atsparumo dilimo atžvilgiu. Tyrimo, realiomis žemės arimo darbo sąlygomis, rezultatai parodė, jog įmanoma pagaminti tokių pačių savybių turintį kalųjį ketų kaip ir originalų „Kverneland“ gaminamą noragą, tik skirtumas, jog naujasis gaminys kainuotų 50 procentų pigiau nei originalus ir tas leistų sutaupyti 27 Čekijos kronas apdirbant 1 hektaro ploto žemės dirvą. Tačiau neatmetama galimybė, jog noragui, pagamintam iš kaliojo ketaus, dirbant žemės dirvoje, kur yra daug didelių akmenų, jo atsparumas dilimui būtų prastesnis lyginant su originaliojo „Kverneland“ gamybos noragu.

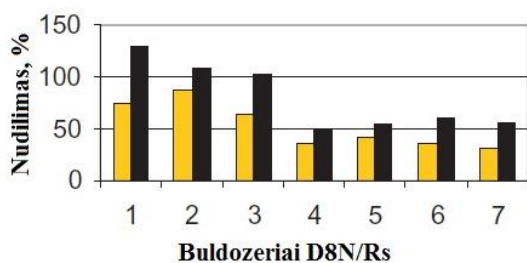
Statybinės technikos gamybos lyderis pasaulyje „Caterpillar“ 2001 metais išleido techninį biuletinį („Caterpillar“ 2001), kuriame skelbiama, jog gamintojas savo gaminamose vikšrinėse važiuoklėse pradėjo montuoti stipriojo plieno varančiųjų žvaigždučių segmentus (2.5 pav.), kurie:

- pagaminti, panaudojant „Caterpillar“ koncerno patentuotą dilimui atsparų stiprųjį plieną;
- padidina varančiosios žvaigždutės segmentų bei varančiosios grandinės įvorių eksploatavimo laiką;
- užtikrina geresnį tvirtinimo varžtų apsaugojimą nuo pažeidimų.

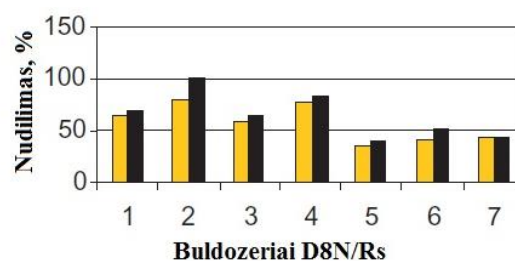


2.5 pav. „Caterpillar“ stipriojo plieno varančiosios žvaigždutės segmentas
(„Caterpillar“ 2001)

Naujos technologijos varančiųjų žvaigždžių segmentai buvo tiriami realiomis darbo sąlygomis. Ant buldozerių „CAT“ D8N/Rs vikšrinių važiuoklių vienos pusės buvo uždėti senos konstrukcijos ir standartinio plieno varančiųjų žvaigždučių segmentai, o ant kitos pusės – stipriojo plieno segmentai. Bandymai (2.6 pav.) buvo atliekami lauke, buldozeriams dirbant žemės kasimo/stumdymo darbus.



■ Standartinio plieno segmentai
■ Stipriojo plieno segmentai



■ Įvorės su standartinio plieno segmentais
■ Įvorės su stipriojo plieno segmentais

2.6 pav. Skirtingų varančiųjų žvaigždučių segmentų dilimo bandymų rezultatai
(„Caterpillar“ 2001)

Atlikti bandymai parodė, jog stipriojo plieno segmentai ant visų septynių „CAT“ buldozerių dilo lėčiau lyginant su senaisiais standartinio plieno segmentais. Naujasis plienas vidutiniškai 53 procentais prailgino varančiosios žvaigždutės segmentų eksploatavimo laiką.

Taip pat, naudojant stipriojo plieno varančiųjų žvaigždučių segmentus sumažėjo ir varančiųjų grandinių įvorių dilimas. Naudojant naująjį gaminį, įvorių eksploatavimo laikas vidutiniškai buvo prailgintas iki 13 procentų lyginant su senaisiais standartinio plieno segmentais.

Savo darbe (Qi *et al.* 2008) teigia, jog vikšrinės važiuoklės komponentų dilimas kasybos bei statybos pramonėje yra labai didelių išlaidų priežastis. Ypač tai pasireiškia Šiaurės Albertoje (Kanada), kur klesti bitumingojo smėlio gavyba. Nuolatinės apkrovos, slydimo, smūginė trintis, silicinis smėlis, kieta nuosėdinė uoliena - aleurolitas, bitumas ir vanduo šaltuoju žiemos laikotarpiu paverčia ypač ekstremaliomis sąlygomis eksploatuoti vikšrinės važiuoklės palaikančiuosius, atraminius ritinėlius, vedračius, varančiąsias žvaigžduotes bei grandines. Karštu vasaros laikotarpiu, abrazyviškasis, bitumu prisotintas smėlis, tampa klampiu ir patenka tarp didelio slėgio veikiamų kontaktų zonų, kaip tarp varančiosios grandinės jungčių ir ritinėlių.

Darbo (Qi *et al.* 2008) tikslas yra ištirti dilimo mechanizmą tarp varančiosios grandinės jungties ir ritinėlio bei nustatyti dilimą įtakojančius faktorius. Bandymui buvo naudojamas Amslerio dilimo stendas, bandiniai – du diskai (2.7 pav.), pagaminti iš skirtingo plieno.



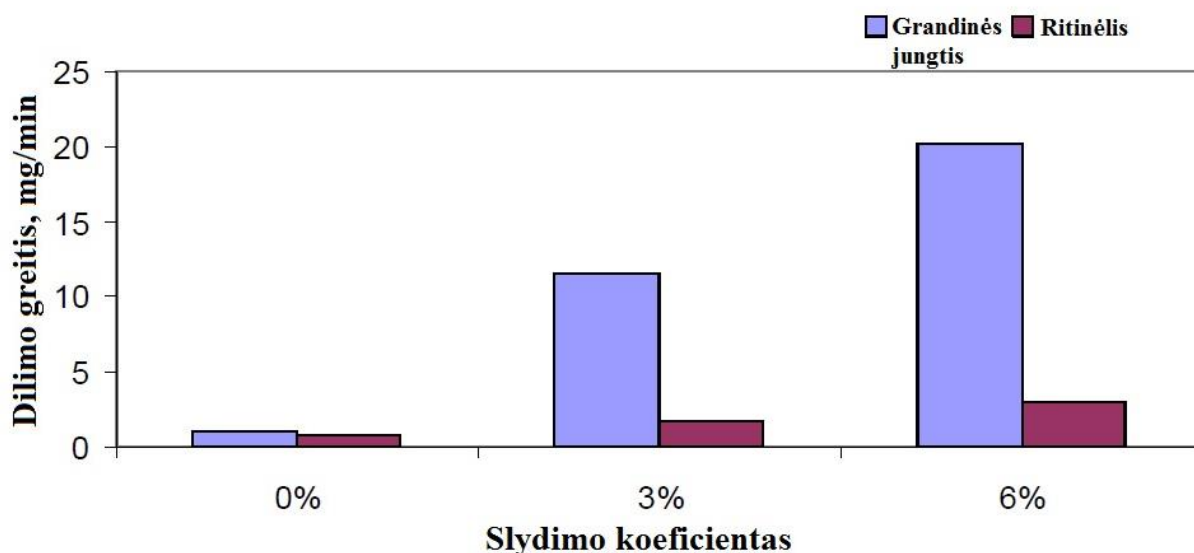
2.7 pav. Dilimo tyrimo bandiniai (Qi *et al.* 2008)

Pirmasis bandymo tiriamasis diskas – varančiųjų grandinių jungtims gaminti naudojamas AISI 15B34 plienas turintis 51,1 HRC kietumą, antrasis – atraminiams ritinėliams gaminti naudojamas AISI 41B35 plienas, kurio kietumas 51 HRC.

Bandymo parametrai:

- kontakto slėgis tarp pirmojo tiriamojo ritinėlio ir antrojo: 612 MPa, 750 MPa, 865 MPa;
- diskų sukimosi greitis: 232 aps./min;
- praslydimo koeficientas: 0%, 3%, 6%;
- abrazyvas: AFS 50-70 silicinis smėlis;
- smėlio pylimo greitis: 50 g/h, 300 g/h, 680 g/h;
- bandymo trukmė: 10 valandų.

Atlikus bandymus buvo pastebėta, jog didėjant praslydimo koeficientui tiesiogine priklausomybe didėja ir abrazyvinio dilimo greitis (2.8 pav.). Pirmajame stulpelyje matyti varančiosios grandinės jungties ir atraminių ritinėlių metalų dilimo greitis, kuomet bandomieji diskai sukasi be jokio praslydimo. Atsiradęs praslydimas ženkliai padidino grandinės jungties metalo bandinio dilimo greitį, jis šoktelėjo iki 20 mg/min, esant 6 procentų praslydimui. Lyginant dilimo greitį be jokio praslydimo, jis buvo maždaug 1 mg/min. Atraminio ritinėlio metalo bandinio dilimo intensyvumas ženkliai nesikeitė prie skirtingų praslydimo koeficientų, nuo 1 mg/min jis pakilo iki 3 mg/min. Tolimesni tyrimai buvo atliekami esant 3% praslydimo koeficientui.

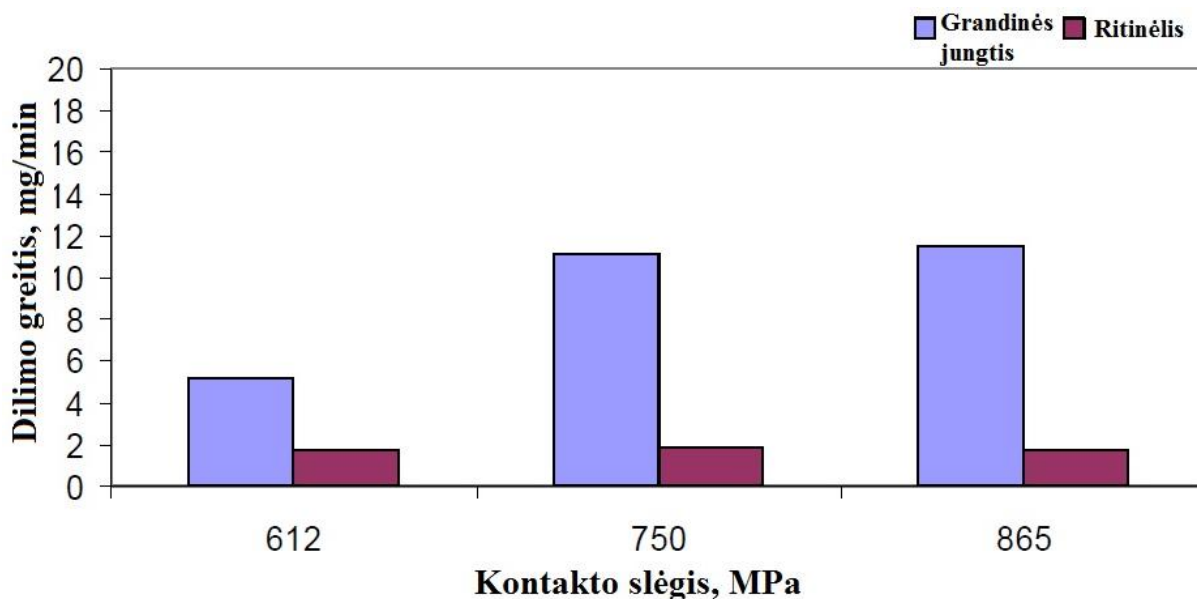


2.8 pav. Bandinių dilimo greitis esant skirtingiems praslydimo koeficientams

(Qi et al. 2008)

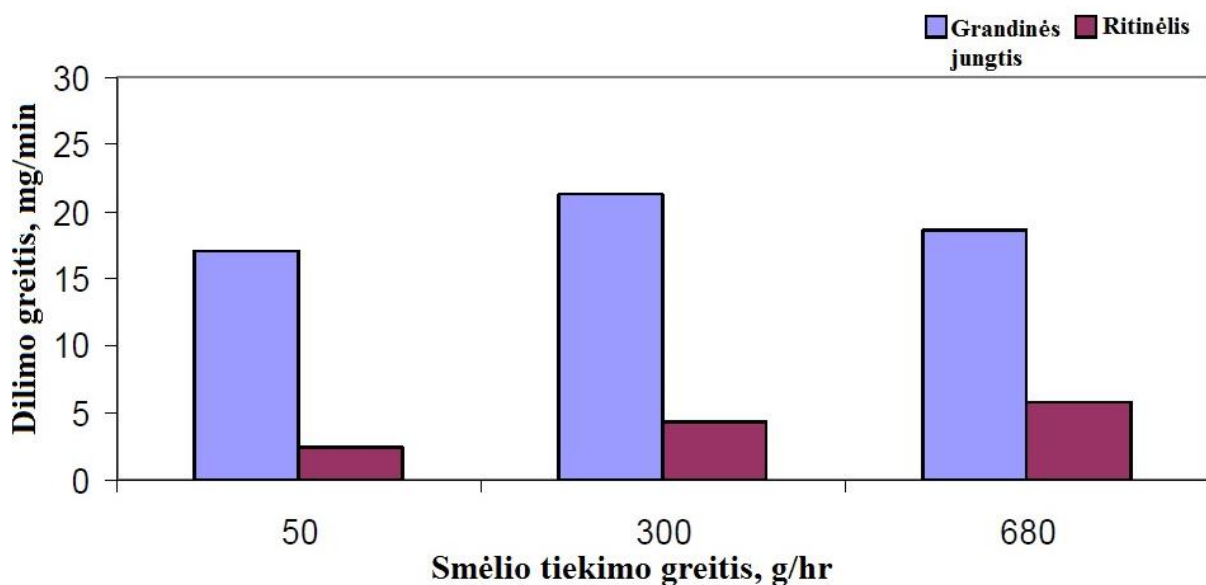
Antrasis bandymas buvo atliekamas keičiant kontakto slėgį tarp varančiosios grandinės jungties ir atraminių ritinėlių metalinių diskų (2.9 pav.). Pastebėta, jog ritinėlio

metalo dilimo greičiui kontakto slėgis nedarė jokio įtakos. Kai tuo tarpu grandinės jungties metalo dilimo greitis, esant slėgiams 750 ir 865 MPa šoktelėjo dvigubai, lyginant su dilimo greičiu, esant 612 MPa kontakto slėgiui.



2.9 pav. Bandinių dilimo greitis esant skirtingam kontakto slėgiui (Qi *et al.* 2008)

Trečiajame bandyme į dviejų diskų kontakto zoną skirtingu debitu buvo pilamas AFS 50-70 silicinis smėlis (2.10 pav.). Didinant pylimo greitį atraminio ritinėlio metalo dilimo greitis taip pat didėjo. Varančiosios grandinės jungties metalo dilimo intensyvumas didžiausias buvo prie 300 g/hr smėlio pylimo greičio. Padidėjus jam iki 680 g/hr pirmojo ritinėlio dilimo greitis sumažėjo.

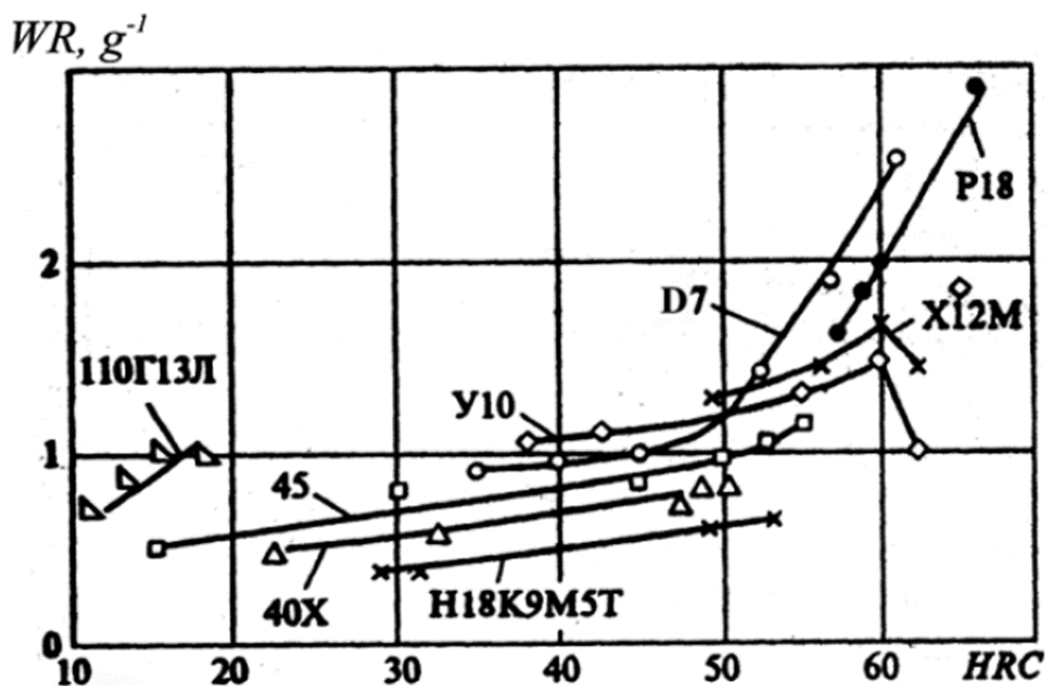


2.10 pav. Bandinių dilimo greitis esant skirtingam smėlio tiekimo greičiui (Qi *et al.* 2008)

Pastebėta, jog įvairiomis bandymo sąlygomis varančiosios grandinės jungties metalas žymiai greičiau dildavo nei atraminio ritinėlio metalas. Galima daryti išvadą, jog plienai, turintys vienodą kietumą, nevisada turi vienodą atsparumą dilimui. Daug kas priklauso ir nuo pačio metalo cheminės sudėties.

Metalų atsparumo dilimui priklausomybė nuo jo kietumo nagrinėjama darbe (Sorokin, Malyshev 2012). Žinant tikslias plieno savybes būtų galima parinkti geriausias mechanines bei fizines savybes turintį metalą ir jį panaudoti ten, kur vyksta įvairios dilimo rūšys bei kontaktai su abrazyvu.

Pirmasis mokslininkas, kuris bandė įrodyti tarpusavio ryšį tarp plieno mechaninių savybių ir jo dilimo buvo M. M. Khrushchev. Tačiau skirtingų rūšių plieno, turinčio vienodą kietumą, atsparumas dilimui yra nevienodas. Tą savo darbe ir įrodė (Sorokin, Malyshev 2012). Taip pat parodė, jog gryno metalo priklausomybė tarp atsparumo trinčiai ir kietumo nėra tiesinė priklausomybė. Buvo ištirta aštuonių skirtingų rūšių plienų dilimo priklausomybė nuo jo kietumo, kuris buvo padidinamas termiškai apdorojant (2.11 pav.). Grafike matoma, jog skirtingų rūšių plienai, turintys vienodą kietumą, yra skirtingai atsparūs abrazyviniam dilimui. Tik trijų rūšių plienų (40X, P18 ir H18K9M5T) priklausomybė tarp kietumo ir atsparumo dilimo yra tiesininis grafikas. Likusiųjų penkių plienų priklausomybės netiesinės. Plienai X12M ir Y10, pasiekę 60 HRC kietumą linkę prarasti savo atsparumą dilimui, nepaisant didėjančio kietumo.



2.11 pav. Plienų dilimo priklausomybė nuo kietumo (Sorokin, Malyshev 2012)

Norint gauti tam tikrų savybių (stiprumą, plastiškumą, kietumą, atsparumą dilimui ir t.t.) turintį plieną, naudojamas legiravimas. Tai metalo lydinio sulydymas su papildomais, vadinamais legiravimo elementais, gerinant jo mechanines, technologines, fizikines arba chemines savybes.

Plačiausiai taikomi ir pigiausi plieno legiravimo elementai – tai chromas, manganas ir silicis. Pastarieji du legiravimo elementai vadinami tik tada, kai jų kiekis pliene yra didesnis už tą, kuris neišvengiamai susidaro gamybos metu, t.y. daugiau jų kaip 0,6 % Mn ir 0,5 % Si. Kiti dažniau taikomi legiravimo elementai – tai nikelis, molibdenas, volframas ir vanadis. Rečiau taikomi, dažnai nedideliais kiekiais arba specialiais atvejais šie elementai: titanas, cirkonis, niobis, boras, taip pat aliuminis, varis ir kai kurie kiti (Rudzinskas, Černašėjus 2012).

Populiariausių legiruojančių elementų savybės plienui:

- manganas: didina plieno tamprumą, stiprumo ir ypač takumo ribą, atsparumą dilimui; turi didelę įtaką terminiam apdirbimui: efektyviausiai padidina įgrūdinamumą, bet ryškiai skatina perkaitinimą. Kitas trūkumas – manganas skatina grįžtamąjį atleidimo trapumą po grūdinto plieno aukšto atleidimo.
- silicis: pagerina stiprumą, kietumą ir atsparumą smūgiams. Didina plieno stiprumą bei tamprumą, šiek tiek padidina įgrūdinamumą ir atsparumą grūdinto plieno atsileidimui. Kaitinant skatina anglies išdegimą iš plieno paviršiaus, todėl pasunkėja siliciu legiruotų plienų terminis apdirbimas. Juos sunkiau tekinti ir deformuoti, nes silicis labiausiai sustiprina feritą. Įprastiniuose konstrukciniuose plienuose silicio būna ne daugiau kaip 1%, antraip sumažėtų plieno tįsumas. Išimtį sudaro spyruokliniai plienai. Jų svarbus rodiklis – aukšta plieno tamprumo riba. Todėl spyruokliniuose plienuose gali būti iki 2,8 % silicio, nors, dėl anglies išdegimo, sunkesnis šių plienų terminis apdirbimas.
- vanadis – aktyvus dezoksidatorius ir degazatorius. Konstrukciniuose plienuose panaudojamas grūdeliams smulkinti. Pagerina visas plienų mechanines savybes, taip pat smūginį tįsumą ir atsparumą nuovargiui. Konstrukciniuose plienuose jo būna nedaug – 0,003...0,25 %; dažniausiai derinyje su chromu arba manganu.
- molibdenas dažniausiai taikomas kompleksiskai legiruotuose plienuose. Čia jo būna 0,2...0,3 %. Molibdenas labiausiai padidina įgrūdinamumą ir atsparumą valkšnumui, geležies lydinį atsparumą aukštesnei temperatūrai. Jis padidina stiprumą, bet beveik nesumažina plastiškumo. Svarbi savybė –

sumažina grįžtamąjį atleidimo trapumą. Todėl kaip papildomas elementas labai pageidautinas chromnikeliniuose plienuose. Molibdenas už nikelį brangesnis maždaug penkis kartus.

- chromas: pagerina užgrūdintumą, atsparumą dilimui ir kietumą. Plienas turintis daugiau nei 14 procentų chromo tampa nerūdijančiu plienu. Didžiausias konstrukcinių plienų legiravimo elementas, mat kai jo yra iki 2,5 %, jis didina smūginį tįsumą, taip pat stiprumą, atsparumą dilimui ir įgrūdinamumą. Jo savybės ypač išryškėja, kai legiruojant jis derinamas su kitais elementais. Chromo taip pat yra daugelio specialiųjų plienų sudėtyje.
- nikelis: padidina stiprumą. Dažnai naudojamas mažai legiruotuose plienuose, tokiu būdu padidinamas kietumas bei užgrūdintumas. Yra vienas iš labiausiai pageidaujamų konstrukcinių plienų legiravimo elementų. Jis ne tik padidina stiprumą ir smūginį tįsumą, bet ir sumažina trapumą šaltyje. Nikeliu legiruotus plienus galima grūdinti lėčiau aušinant, jie mažiau susikraipo, be to, jie nelabai jautrūs terminio apdirbimo režimų pokyčiams ir platesnės jų kaitinimo temperatūros ribos. Todėl nikeliu legiruotų plienų praprastesnis ir ekonomiškėsinis terminis apdirbimas, susidaro mažiau terminio apdirbimo defektų. Tai ypač svarbu terminiuose skyriuose, kuriuose nėra precizinės kontrolės.

Todėl yra labai svarbu parinkti tinkamus legiravimo elementus bei jų santykius legiruojamame pliene, norint gauti tam tikrų savybių turintį metalą.

Darbe (Singla *et al.* 2011) ekskavatoriaus kaušo dantys, kurie susiduria su abrazyviniu dilimu bei nuolatinėmis apkrovomis, buvo apsaugoti nuo abrazyvinio susidėvėjimo apvirinus juos rankiniu lankiniu apvirinimu skirtingais keturiais elektrodais (OK 83.50, OK 84.78, OK 84.80, OK 83,65), turinčiais skirtingą cheminę metalo sudėtį (2.2 lentelė). Šie metodai parinkti dėl savo universalumo bei ekonomiškumo.

2.2 lentelė. Skirtingų keturių elektrodų cheminė sudėtis (Singla *et al.* 2011)

Elektrodo markė	Elektrodų cheminė sudėtis	Apvirinimo metodas
OK 83.50	C – 0.4, Si – 0.6, Mn – 1.0, Cr – 6.0, Mo – 1.3, Nb – 0.6	SMAW
OK 84.78	C – 4.5, Si – 0.8, Mn – 1.6, Cr – 33	SMAW
OK 84.80	C – 5, Si – 2, Cr – 23, Mn – 0.7	SMAW
OK 83.65	C – 0.75, Si – 0.4, Mn – 0.6, Cr – 2, P – .03, S – 0.03	SMAW

Pagrindinis dėmesys buvo skirtas anglies ir chromo santykio elektrodų įtakai dilimui. Bandymai buvo atliekami tikromis žemės kasimo sąlygomis, ant ekskavatoriaus kaušo primontavus tiriamuosius dantis, iš kurių keturi buvo apvirinti, vienas – originalus gamyklinis gaminys.

2.3 lentelė. Skirtingų keturių elektrodų dilimo metu prarastas svoris (Singla *et al.* 2011)

Bandiniai	Pradinis svoris, kg	Galutinis svoris, kg	Prarastas svoris, kg	Prarastas svoris, %
OK 84.78	2.650	2.306	0.344	12.98
OK 83.50	2.600	1.910	0.69	26.54
OK 83.65	2.650	1.732	0.918	34.64
OK 84.80	2.500	2.113	0.387	15.48
Originalus gamyklinis gaminys	2.350	1.435	0.915	38.94

Realūs bandymai su žemės kasimo darbais parodė (2.3 lentelė), jog labiausiai dilimui atsparus yra bandinys apvirintas elektrodu OK 84.78, turinčiu 4,5 % anglies ir 33 % chromo. Daugiausiai dilo bandinys, kuris buvo padengtas elektrodu, turinčiu 0,75 % anglies ir 2 % chromo. Matoma, jog chromo kiekis pliene smarkiai įtakoja metalo atsparumą dilimui, kuo jis didesnis – tuo metalas atsparesnis dilimui.

3. TIRIAMASIS DARBAS

3.1. Tiriamasis objektas

Tiriamasis objektas – Šiaurės Amerikoje pagaminto, 9,3 tonas sveriančio vikšrinio buldozerio važiuoklės, dviejų skirtingų gamintojų, varančiųjų žvaigždučių segmentai. Ši mašinos komponentą (3.1 pav.) vienam vikšrui sudaro penki segmentai – trys ilgesni po penkis krumplius ir du trumpesni po keturis krumplius, kurie kartu sudėjus turi 23 krumplius. Nelyginis skaičius užtikrina vis skirtingą dilimo mechanizmą tarp varančiosios žvaigždutės krumplių ir varančiosios grandinės įvorės. Segmentai ant buldozerio varančiosios bortinės pavaros tvirtinami varžtais, kuriuos žvaigždutės keitimo metu būtina keisti.



3.1 pav. Šiaurės Amerikoje pagaminto vikšrinio buldozerio varančioji žvaigždutė

Pirmasis tiriamasis objektas – originalus varančiosios žvaigždutės segmentas. Gaminys pagamintas Šiaurės Amerikoje. (3.2 pav.).



3.2 pav. Šiaurės Amerikoje pagamintas originalus žvaigždutės segmentas

Gaminys pagamintas iš gamintojo patentuoto dilimui atsparaus stipriojo plieno lydinio. Ilgesniojo segmento rinkos kaina – 46 eurai, trumpesniojo – 42 eurai. Visos varančiosios žvaigždutės grupės (penki segmentai) kaina – 222 eurai.

Antrasis tiriamasis objektas – vienos iš pasaulyje lyderiaujančios įmonės vikšrinių važiuoklių gamyboje neoriginalus varančiosios žvaigždutės segmentas (3.3 pav.), kaip atitikmuo originaliajam segmentui, tinkančiam 9,3 tonas sveriačiam, Šiaurės Amerikoje pagamintam, vikšrinio buldozerio važiuoklei. Ilgesniojo segmento rinkos kaina – 27 eurai, trumpesniojo – 25 eurai. Visos varančiosios žvaigždės grupės kaina – 131 eurai. Gaminys pagamintas Pietų Korėjoje.



3.3 pav. Neoriginalus, Pietų Korėjoje pagamintas, varančiosios žvaigždutės segmentas

Abiejų, originalaus ir neoriginalaus, segmentų bandinių tyrime dilimo stende bus naudojamos dvi naujos originalios, Šiaurės Amerikoje pagamintos, varančiosios grandinės įvorės (3.4 pav.), kurios buldozerio važiavimo metu juda varančiųjų žvaigždučių paviršiumi. Varančiąją grandinę sudaro 39 įvorės.



3.4 pav. Originali, Šiaurės Amerikoje pagaminta, varančiosios grandinės įvorė

3.2. Varančiųjų žvaigždžių patikimumo tyrimo eiga

Buldozerio vikšrinės važiuoklės skirtingų varančiųjų žvaigždžių patikimumo tyrimą sudarys keturi etapai:

- pirmasis – skirtingų varančiųjų žvaigždžių segmentų (originalaus ir neoriginalus) vizualinis palyginimas;
- antrasis – skirtingų varančiųjų žvaigždžių segmentų (originalaus bei neoriginalus) ir originalios varančiosios grandinės įvorės metalų kietumo nustatymas;
- trečiasis – skirtingų varančiųjų žvaigždžių segmentų (originalaus bei neoriginalus) ir originalios varančiosios grandinės metalų cheminės sudėties nustatymas;
- ketvirtasis – skirtingų varančiųjų žvaigždžių segmentų (originalaus ir neoriginalaus) dilimo tyrimas.

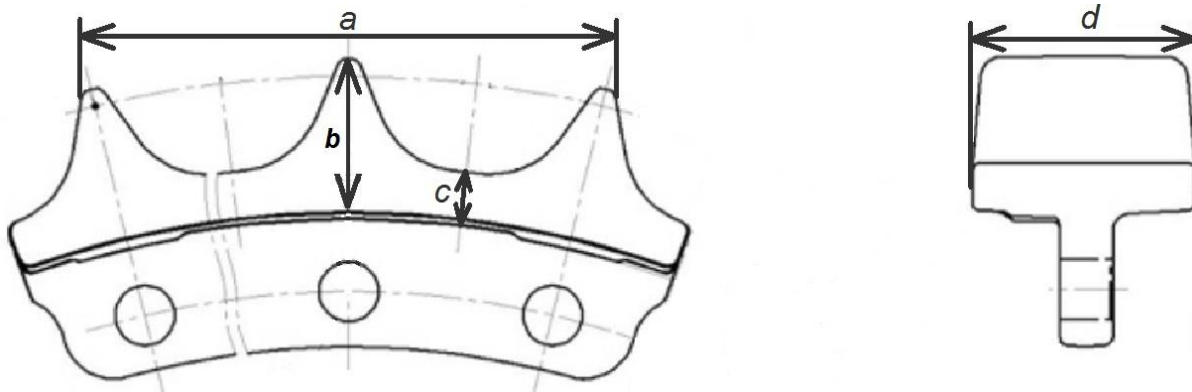
3.3. Varančiųjų žvaigždžių segmentų vizualinis (matmenų, svorio) palyginimas

Turint abu, skirtingų gamintojų varančiųjų žvaigždžių segmentus (3.5 pav.), galima juos palyginti vizuoliai bei išmatuoti svorį ir pagrindinius matmenis (atstumas tarp trijų segmento krumplių keturų, segmento krumplio aukštis, pošaknio storis ir darbinis plotis) (3.6 pav.).



3.5 pav. Originalus (viršuje) ir neoriginalus (apačioje) varančiosios žvaigždutės segmentas

Matavimai buvo atlikti su elektroniniu slankmačiu „LUNA“ bei elektroninėmis svarstyklėmis „KERN 440-43N“, kurių padalos vertė yra 0,1 g. Visi išmatuoti duomenys surašomi į 3.1 lentelę.



3.6 pav. Varančiosios žvaigždutės segmento pagrindiniai matmenys: a – atstumas tarp trijų segmento krumplių keturių, mm; b – segmento krumplio aukštis, mm; c – segmento storis, mm; d – segmento darbinis plotis, mm

3.1 lentelė. Išmatuoti originalaus ir neoriginalaus segmentų matmenys

Matavimų reikšmės	Originalus žvaigždutės segmentas	Neoriginalus žvaigždutės segmentas
Atstumas tarp trijų segmento krumplių keturių, mm	179,0	182,0
Segmento krumplio aukštis, mm	62,4	64,6
Segmento storis, mm	12,8	12,9
Segmento darbinis plotis, mm	60,2	60,2
Masė, g	5381,2	5562,9

Iš atliktų matavimų matoma, jog originalaus gaminio matmenys beveik visuose matavimuose (išskyrus darbinį plotį) mažesni nei neoriginalaus gaminio. Storesnis sluoksnis plieno – didesnis segmento resursas, tačiau dėl neskelbiamos nė vieno gamintojo metalo sudėties, nėra aišku, kuris gaminys yra labiau atsparus dilimui. Iš nuotraukų vizuoliai matoma, jog originaliame segmente pošaknių abejose pusėse yra išpjauta pusės elipsės formos išpjova, skirta sumažinti paviršiaus plotą įvairiems nešvarumams rinktis, dėl ko padidėja segmento dilimas. Neoriginaliame gaminyje šių išpjovų nėra, todėl galima daryti išvadą, jog buldozeriui dirbant aplinkoje, kur yra daug purvo, molio, sniego, šie segmentai dils greičiau už originaliuosius.

3.4. Bandinių metalų kietumo nustatymas

Atlikti abiejų skirtingų gamintojų varančiųjų žvaigždučių segmentų bei originalios varančiosios grandinės įvorės metalų kietumo matavimai. Kietumas – tai metalų savybė priešintis įsiskverbimui į juos kitų kietesnių už juos kūnų. Kietumas gali būti atliekamas Vikerso, Brinelio, Rokvelo metodais.

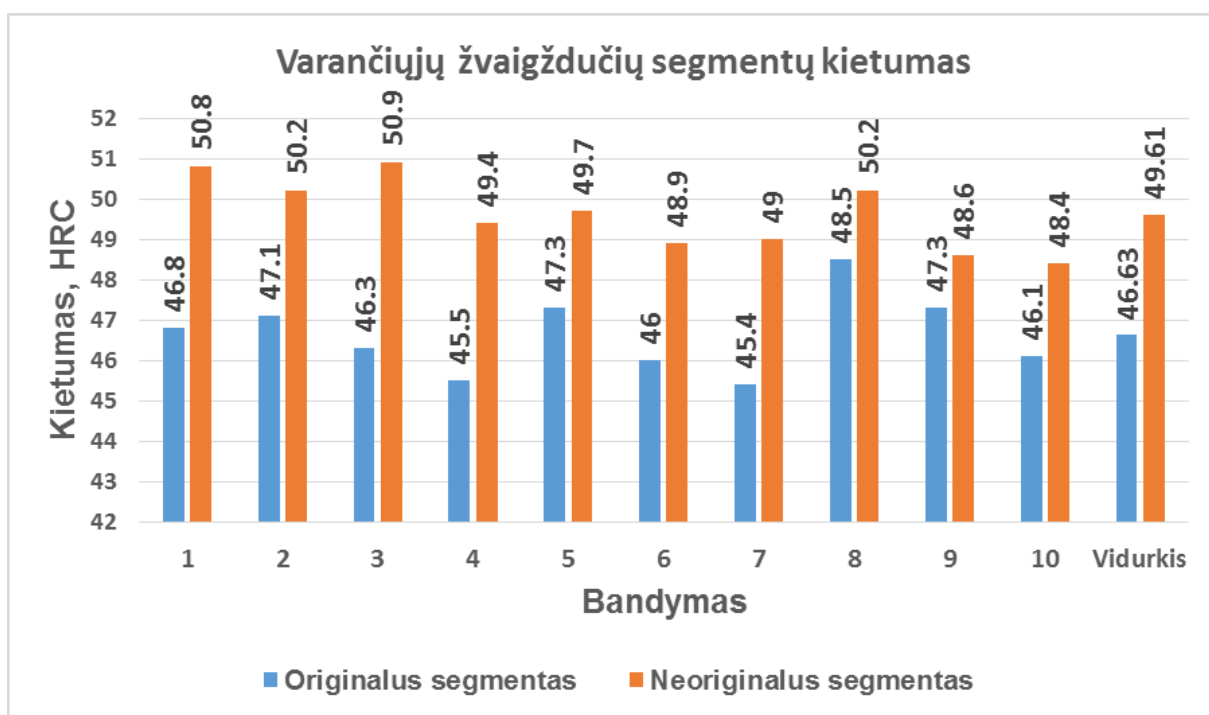
Kadangi varančiųjų žvaigždučių segmentų metalas yra kietas, tai iš pat pradžių kietumas buvo bandomas matuoti Rokvelo metodu, pasinaudojant universaliuoju „ZWICK/ROELL ZHU“ kietmačiu, tačiau jame nebuvo įmanoma užtikrinti bandinių stabilumo, tada buvo pasirinktas Šoro metodas, kada naudojamas skleroskopas. Šiuo metodu kietumas matuojamas dinamiškai ne pagal padaryto įspaudo dydį, kaip taikant daugelį kietumo matavimo būdų (Rokvelio, Vikreso, Brinelio), o pagal atšokimo aukštį. Atliekant bandymą Šoro metodu metalo kietumas nustatomas pagal nuo bandinio atšokusio rutuliuko pakilimo aukštį. Rutuliuko kinetinė energija sumažėja deformuojantis bandomajai medžiagai, todėl jis ir atšoka mažiau nuo paviršiaus, lyginant iš kur buvo paleistas. Labai svarbu, jog šiuo būdu matuojant medžiagos kietumą visiškai nepažeidžiamas bandinio pavirčius, kaip taikant kitus metodus. Bandymui buvo naudojamas dinaminis „HARDNESS TESTER TH160“ kietumo matuoklis (3.7 pav.).



3.7 pav. Neoriginaliojo varančiosios žvaigždutės segmento kietumo matavimas Šoro metodu

Prieš bandymą abiejų varančiųjų žvaigždučių segmentų šonai buvo nušlifuoti elektriniu šlifukuoliu, užtikrinant lygų bandinių paviršių. Gana svarbu buvo neperkaitinti gaminio, dėl to pasikeistų plieno struktūra. Matuoklio automatinis mušiklis buvo užtaisytas, stabiliai prispaustas prie bandinio paviršiaus ir paspaudus mygtuką, rutuliukas krisdavo ir

atšokdavo nuo segmento lygaus paviršiaus. Mini kompiuteris rodydavo medžiagos kietumo reikšmę. Kietumas, naudojant šį prietaisą, gali būti rodomas Rokvelio vienetais – HRC, Brinelio – HB ir Vikerso – HV vienetais. Bandymas atliktas vadovaujantis standartu LST EN ISO 14577-1:2003, kietumas pateikiamas Rokvelio vienetais (HRC). Medžiagos kietumo reikšmę sudaro trijų bandymų aritmetinis vidurkis. Tiksliesniems rezultatams gauti matavimai buvo atliekami skirtingose varančiųjų žvaigždučių segmentų paviršiaus vietose po trisdešimt kartų, todėl buvo gauta dešimt metalo kietumo reikšmių vienam bandiniui ir išvedamas vidurkis (3.8 pav.).



3.8 pav. Varančiųjų žvaigždučių segmentų metalų kietumo bandymo rezultatai

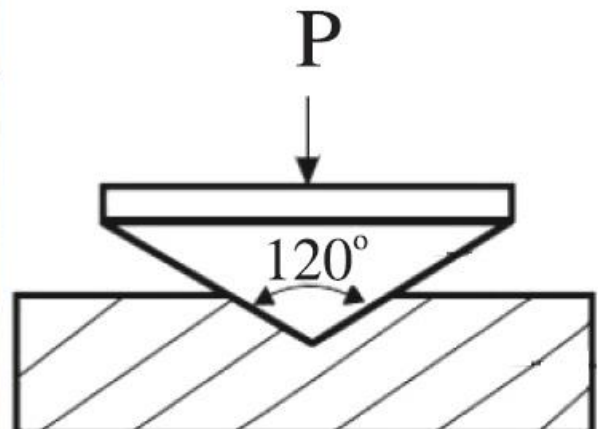
Bandymo rezultatai parodė, jog originalaus segmento kietumo vidurkis yra 46,63 HRC (patikimumo intervalas 95 % [46,04 – 47,22]), o štai neoriginalus gaminy yra kietesnis beveik trimis Rokvelo vienetais ir jis siekė 49,61 HRC (patikimumo intervalas 95 % [49,06 – 50,16]). Tačiau, kaip ir mokslininkų įrodyta (Sorokin, Malyshev 2012), skirtingos cheminės sudėties metalų kietumas nenulemia atsparumo dilimui savybės. Yra labai svarbu, iš kokių legiruojančių elementų pagamintas gaminy, taip pat, kiek ir kokio elemento yra gaminio sudėtyje.

Varančiosios originalios grandinės įvorės Rokvelo kietumo matavimo bandymas buvo atliktas naudojant universalų „ZWICK/ROELL ZHU“ kietmatį (3.9 pav., a). Šis įrenginys komplektuojamas su įvairiais indentoriais, todėl kietumą galima nustatyti ir kitais metodais (Brinelio, Vikerso). Įrenginyje yra integruotas kompiuteris, kuriuo galima pasirinkti

kietumo matavimo skalę (HB, HR, HV ar pan.), nustatančią medžiagos kietumą. Matuojant minkštų metalų kietumą, į juos 981 N jėga įspaudžiamas 1,588 mm (1,16 colio) skersmens plieninis rutuliukas, o matuojant kietą – deimantinis arba kietlydinio kūgis, kurio viršūnės kampas 120° (3.9 pav., b). Apie metalų kietumą sprendžiama iš to, kiek giliai įsmigo indentorius. Priklausomai nuo to, koks indentorius ir kokia jėga buvo įspaudžiamas, Rokvelio kietumo vienetai žymimi HRC (kūgis, $F = 1471,5$ N), HRA (kūgis, $F = 588,6$ N), HRB (rutuliukas, $F = 981,0$ N). Kadangi originali varančiosios grandinės įvorė pagaminta iš kieto plieno lydinio, tai buvo pasirinktas kūgio formos indentorius, kuris į bandinį įspaudžiamas 1471,5 N jėga.



a)



b)

3.9 pav. a) universalus ZWICK/ROELL ZHU kietmatis; b) 120° indentorius

Prieš atliekant bandymą, kaip ir varančiųjų žvaigždučių segmentų paviršiai, taip ir varančiosios grandinės įvorės paviršius buvo nušlifuotas elektriniu šlifuokliu. Bandymas atliktas vadovaujantis standartu LST EN ISO 6508-1:2006. Bandinys dedamas ant universalios „ZWICK/ROELL ZHU“ kietmačio stalo ir kartu su grandinės įvore keliamas tol, kol nušlifuotas bandinio paviršius atsiremia į kūgio formos indentorių. Tuomet paleidžiamas prietaiso mechanizmas ir ekrane parodomas bandinio kietumas Rokvelio vienetais, kurį apsprendžia indentoriaus įsmigimo į grandinės įvorę gylis. Tiksliesiems

rezultatams gauti, bandymas kartojamas dešimt kartų ir rezultatai pildomi į 3.2 lentelę apie medžiagos kietumą.

3.2 lentelė. Originalios varančiosios grandinės įvorės kietumas

Bandymas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Vidurkis
Kietumas, HRC	59,6	60,1	59,9	60,3	60,9	60,4	60,0	60,8	59,6	59,8	60,14

Atlikus dešimt matavimų, nustatyta, jog įvorės kietumo vidurkis yra 60,14 HRC (patikimumo intervalas 95 % [59,86 – 60,42]). Bandymo rezultatai parodė, jog varančiosios grandinės įvorės kietumas yra daugiau nei 10 HRC vienetų didesnis nei abiejų tirtų varančiųjų žvaigždučių vidutinis segmentų metalų kietumas. Akivaizdu, jog šis vikšrinės važiuoklės elementas yra labiau termiškai apdirbtas, siekiant padidinti metalo kietumą.

3.5. Bandinių metalų cheminės sudėties nustatymas

Po segmentų bei įvorės metalų kietumo nustatymo, atliktas lydinio cheminės sudėties nustatymas, remiantis spektrine analize. Šis metodas pagrįstas tuo, kad tiriamosios medžiagos atomai ar molekulės skleidžia elektromagnetines bangas. Pagal analizuojamos sistemos kvantų spinduliavimą arba absorbuojimą galima spręsti apie kokybinę ir kiekybinę medžiagos sudėtį. Spinduliavimo dažnis priklauso nuo medžiagos, o spinduliavimo intensyvumas nuo jos kiekio.

Spektrinės analizės metodais galima tyrinėti medžiagas įvairiose elektromagnetinio spektro dalyse: gama, rentgeno, ultravioletinių, regimųjų ir infraraudonųjų spindulių, o taip pat mikrobangų ir radijo bangų srityse. Išvardintų spinduliavimo rūšių kvantų energijos gali būti nuo 10^8 iki 10^{-6} eV arba nuo 10^{21} iki 10^3 Hz dažnių diapazone. Praktiškai nebūtina ištirti visą elemento linijinį spektrą - užtenka stebėti vieną ar keletą šiam elementui būdingų linijų. Norint gauti tiriamosios medžiagos spektrą, reikia medžiagos pavyzdėlį patalpinti šviesos šaltinyje, kur ji įkaista ir pradeda garuoti. Garų būsenoje molekulės disocijuoja į atomus, kurie susidurdami su elektronais susižadina, t.y. pereina į sužadintą būseną. Sužadintoje būsenoje būna labai trumpai (10^{-7} – 10^{-8} s). Savaimė grįždami į normalią ar tarpinę būseną, jie išspinduliuoja energijos perteklių, t.y. šviesos kvantą. Gaunamas linijinis spektras.

Analizė yra atliekama naudojant lydinių analizatorių „PMI-MASTER PRO“ (3.10 pav.), kurio tikslumas – 0,0001%. Bandymai atlikti vadovaujantis standartu LST CR 10322:2004.



3.10 pav. Lydinių analizatorius „PMI-MASTER PRO“

Bandinyje esantys atomai sužadinami energijos, kuri atsiranda kilus išlydžiui tarp bandinio ir elektrodo. Išlydžio energija priverčia mėginyje esančius elektronus skleisti šviesą, kuri paverčiama spektriniu modeliu.



3.11 pav. Varančiosios grandinės įvorė ir neoriginalus segmentas po metalo cheminės sudėties nustatymo

Kiekvienam bandiniui spektrinė analizė buvo atliekama penkiuose skirtinguose paviršiaus taškuose (3.11 pav.), kad būtų gauti tikslesni rezultatai. Lengvai valdomas zondas pridamas prie tiriamųjų nušlifuočių paviršių ir nuspaudžiamas zondo jungiklis. Prie analizatoriaus „PMI-MASTER PRO“ prijungtas kompiuteris apdorojo gautus rezultatus ir monitoriuje pateikė kiekvieno bandinio (originalaus, neoriginalaus varančiosios žvaigždutės segmento ir originalios varančiosios grandinės įvorės) cheminę metalo sudėtį. Duomenys surašomi į lenteles (3.3, 3.4, 3.5 lentelės).

3.3 lentelė. Originalios varančiosios žvaigždutės segmento cheminė sudėtis

Fe, %	C, %	Si, %	Mn, %	Cr, %	Mo, %	Ni, %	Cu, %	Ti, %	V, %
95,08	0,1361	1,308	0,6467	2,005	0,383	0,1849	0,1292	0,0258	0,0922

3.4 lentelė. Neoriginalios varančiosios žvaigždutės segmento cheminė sudėtis

Fe, %	C, %	Si, %	Mn, %	Cr, %	Ni, %	Co, %	Cu, %	Ti, %	V, %
97,81	0,245	0,2456	1,332	0,2303	0,0536	0,0146	0,0308	0,0301	0,0062

3.5 lentelė. Neoriginalios varančiosios grandinės įvorės segmento cheminė sudėtis

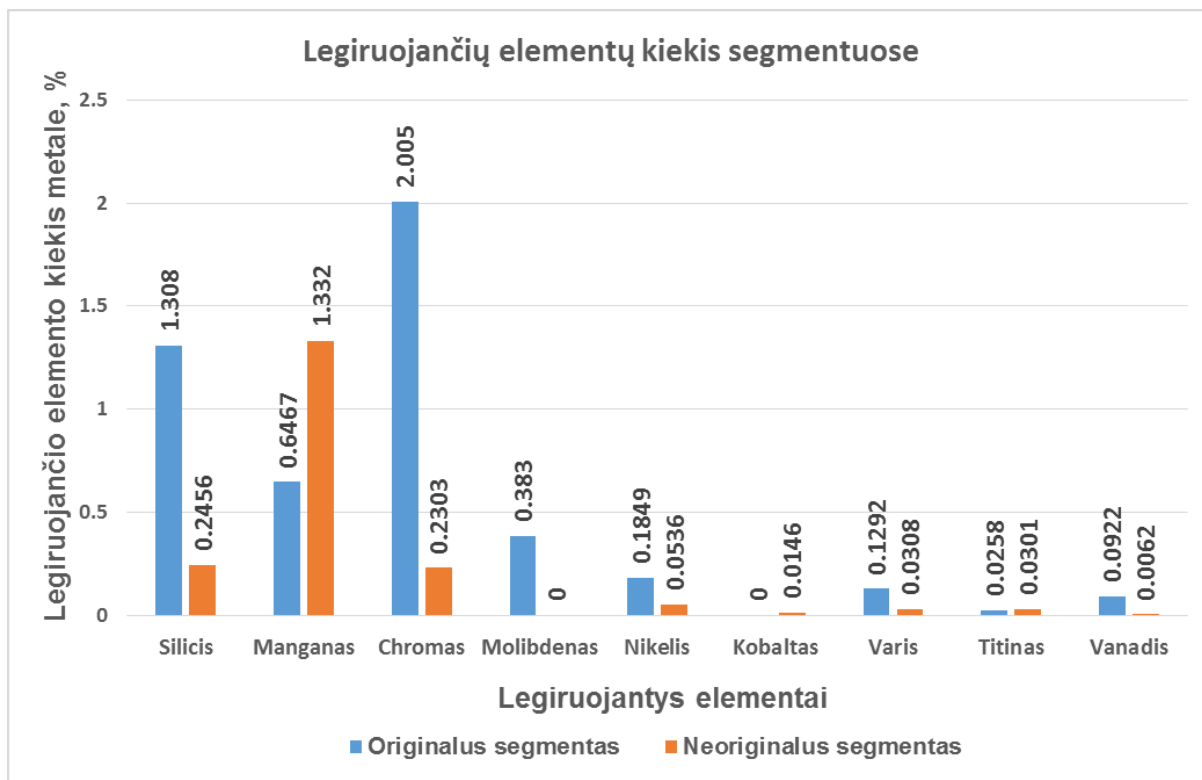
Fe, %	C, %	Si, %	Mn, %	Cr, %	Mo, %	Ni, %	Co, %	Cu, %	Ti, %	V, %
97,24	0,7847	0,2108	0,9477	0,1796	0,0576	0,2222	0,0146	0,2505	0,0731	0,0073

Atlikus bandinių cheminės sudėties nustatymą, pastebėjime, jog daugiausiai legiruojančių elementų yra originalaus varančiosios žvaigždutės segmento metale. Jo sudėtyje rasta 4,7839 % elementų (Si, Mn, Cr, Mo, Ni, Cu, Ti, V ir t. t.), pagerinančių gaminio fizines savybes. Kai tuo tarpu, neoriginaliame segmente legiruojuojantys elementai sudaro tik 1,945 % (iš jų 1,332 % mangano) visos lydinio cheminės sudėties. Galima daryti išvadą, jog neoriginalus gaminytis turės žymiai prastesnes fizines savybes, nulemiančias atsparumą dilimui, lyginant su originaliu varančiosios žvaigždutės segmentu. Paskutiniame bandinyje, originalioje varančiosios grandinės įvorėje, geležies aptikta 97,24 %, legiruojančių elementų – 1,9753 % (iš jų 0,9477 % mangano), anglies – 0,7847 %.

Iš cheminės sudėties nustatymo, matyti, jog abiejų varančiųjų žvaigždučių segmentų didžiąją dalį legiravimo elementų sudaro metalai, suteikiantys lydiniai atsparumo dilimui savybę - tai chromas ir manganas (3.12 pav.).

Originaliame žvaigždutės segmente šie elementai sudaro 2,6517 %, o neoriginaliame – 1,5623 %. Taip pat, originaliame gaminyje gausu kitų elementų, kurie lydinį padaro

stipresnį, atsparesnį smūgiams, nuovargiui, suteikia smūginį tąsumą (silicis, vanadis, molibdenas, nikelis).

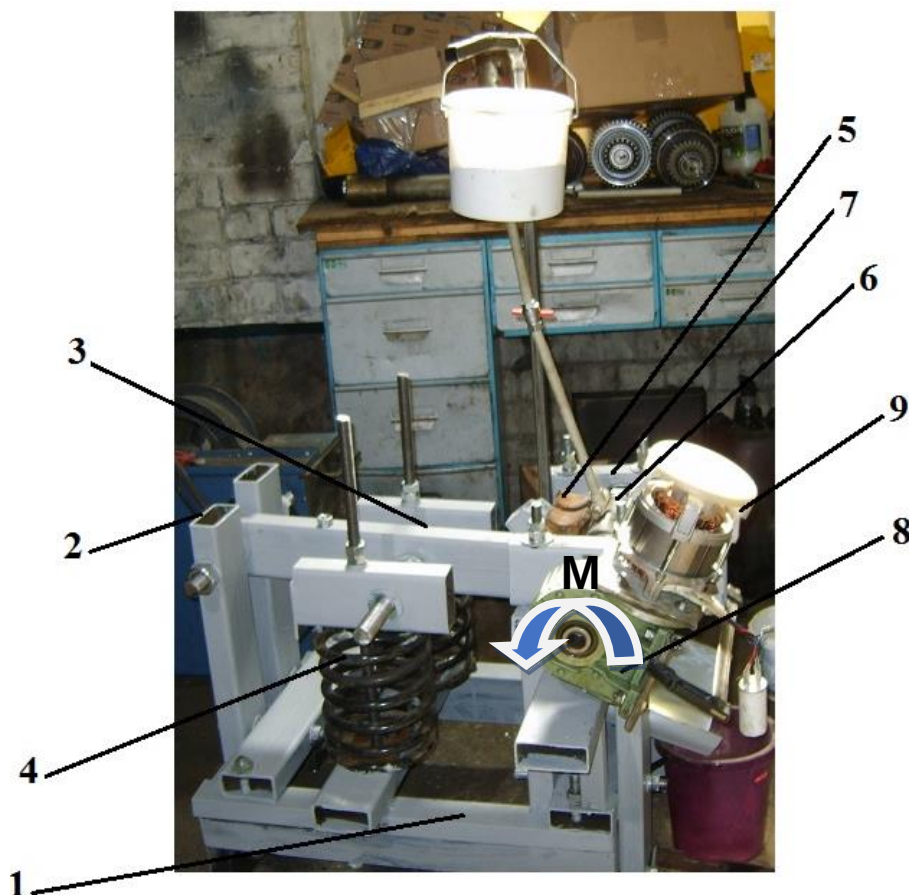


3.12 pav. Legiruojančių elementų kiekis originaliame ir neoriginaliame segmente

Galima daryti išvadą, jog originalus, Šiaurės Amerikoje pagamintas, segmentas išlietas, panaudojant žymiai daugiau brangių ir naudingų fizinėms savybėms legiruojančių elementų nei neoriginalus gaminyje. Atsparumą dilimui didinančių elementų (chromo, mangano) kiekis originaliame gaminyje yra 1,7 karto didesnis nei neoriginaliame segmente, o kitas savybes pagerinančių elementų kiekis skiriasi 5,57 kartus originaliojo varančiosios žvaigždutės segmento naudai.

3.6. Varančiųjų žvaigždučių segmentų dilimo tyrimas

Skirtingų varančiųjų žvaigždučių dilimo tyrimas atliekamas 2012 metais sukurtu ir 2014 metais patobulintu dilimo stendu „EDSY-2012“ (Šitkauskas 2012), kuriame kontaktuoja varančiosios žvaigždutės segmentai ir besisukančios originalios varančiosios grandinės įvorės (3.13 pav.).



3.13 pav. Vikšrinio buldozerio važiuoklės varančiosios žvaigždutės dilimo stendo „EDSY 2012“ sandara: 1 – rėmas; 2 – stovai; 3 – darbinė sija (svirtis); 4 – įveržtos spyruoklės; 5 – bandiniai – varančiosios žvaigždutės segmentai; 6 – ekscentriškai įtvirtintos originalios grandinės įvorės; 7 – ekscentrinio mechanizmo veleno laikiklis; 8 – sliekinis reduktorius; 9 – vienfazis asinchroninis elektros variklis; M – sukimo momento kryptis ant ekscentrinio mechanizmo veleno

Dilimo stendo konstrukcinis aprašas: pagrindinis rėmas 1, prie kurio bazės tvirtinami kiti konstrukciniai elementai, sujungtas su vertikaliais stovais 2 gembiškai. Prie jų šarnyriškai prijungta pagrindinė sija 3. Ši sija yra įveržta dviejų spyruoklių 4 apskaičiuota reikiama jėga. Ant pagrindinės sijos galo yra pritvirtinti du bandiniai – varančiosios žvaigždutės segmentai

5. Grandinės įvorės, kuriomis bus dilinami žvaigždučių segmentai 6, yra sumontuotos ant veleno, kuris yra srieginiais sujungimais įtvirtintas standžiai laikikliu 7. Velenui perduodamas sukimo momentas pakeičiamas sliekiniame reduktoriuje 8, kurį suka asinchroninis vienfazis elektros variklis 9. Ekscentrinio judesio sukimosi kryptis vaizduojama simboliu „M“.

2014 metais stendas „EDSY 2012“ buvo pritaikytas 9,3 tonas sveriančio buldozerio vikšrinės važiuoklės varančiųjų žvaigždučių segmentų dilimo tyrimams. Perkonstruoti originalaus ir neoriginalaus segmentų bandinių tvirtinimai, pakeistas išlinkęs ekscentrinio mechanizmo velenas. Ant jo sumontuotos ekscentriškai įtvirtintos originalios grandinės įvorės.

Šio dilimo stendo judesį užtikrina 1,3 kW vienfazis asinchroninis variklis, kurio sūkliai yra 2850 aps./min. Prie jo primontuotas sūklus redukuojantis sliekinio tipo reduktorius, kurio perdavimo skaičius $i = 50$. Naudojant šiuos įrenginius poroje, iš reduktoriaus išeinantis darbinis velenas sukamas 57 aps./min greičiu. Tai yra 4,32 karto greičiau nei realiomis sąlygomis, 3 km/h greičiu dirbančio buldozerio vikšrinės važiuoklės varančioji žvaigždutė apsisuka aplink savo ašį.

Pagal gamintojo aprašą („Caterpillar“ 2013), Šiaurės Amerikoje pagaminto, 9,3 tonas sveriančio vikšrinio buldozerio išvystoma traukos jėga ant vikšrų yra $F_{tr} = 60 \text{ kN}$. Turėdami šią reikšmę, apskaičiuojame, kokia tempimo jėga atitenka vienai varančiajai žvaigždutei:

$$F_{zv} = \frac{F_{tr}}{n_{zv}}, \quad (1)$$

čia: n_{zv} – varančiųjų žvaigždučių skaičius.

Nagrinėjamame buldozeryje varančiųjų žvaigždučių skaičius yra du, todėl traukos jėga, atitenkanti vienai žvaigždutei, yra:

$$F_{zv} = \frac{60 \cdot 10^3}{2} = 30 \cdot 10^3 \text{ kN}.$$

Taip pat apskaičiuojame reikalingą jėgą, riedėjimo pasipriešinimui nugalėti:

$$W = G_{tr} \cdot (f \pm i) = m \cdot g \cdot (f \pm i), \quad (2)$$

čia: G_{tr} – buldozerio svoris, N; m – buldozerio masė, $m = 9300 \text{ kg}$; f – riedėjimo pasipriešinimo koeficientas, $f = 0,02$; i – įkalnės pasipriešinimo koeficientas; g – laisvojo kritimo pagreitis, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$.

Priimame, jog šis buldozeris darbinę apkrovą priims tik visiškai horizontaliose darbo aikštelėse, todėl $i = 0$:

$$W = 9300 \cdot 9,81 \cdot (0,02 + 0) = 1824,66 \text{ N} = 1,825 \text{ kN}.$$

Priimame, kad mūsų pasirinktas buldozeris dirbs grunto stumdymo darbus ir, kad vidutinė buldozerio apkrova atliekant šiuos darbus yra 60 % (įskaitant paties buldozerio varymo jėgą). Tokiu atveju šios jėgos skaitinė reikšmė lygi 18 kN. Žinant, jog pirmajam kontaktui tarp varančiosios žvaigždutės krumplio ir grandinės įvorės tenka didžiausia apkrova – maždaug 85 procentai visos varančiųjų žvaigždučių ir grandinių sukuriamos apkrovos, judant mašinai į priekį, tai priimame, kad tyrimų stende bus naudojama 15,3 kN prispaudimo jėga, kuri bus reguliuojama dilimo stendo spyruoklių įveržimu.

Kiekvienas žvaigždutės segmentas su kampiniu šlifukuokliu, aušinant vandeniu, buvo perpjautas į tris dalis, todėl buvo gauta po tris bandinius. Tyrimų metu, į kontakto zoną tarp besisukančių įvorių ir dviejų skirtingų segmentų bandinių, buvo pilamas abrazyvas – 0/2 frakcijos smėlis. Tokiu būdu, bandymas priartėjo prie buldozerio vikšrinės važiuoklės realių darbo sąlygų.

Varančiųjų žvaigždučių segmentų bandinių dilimo intensyvumas matomas iš bandinių masių skirtumo, segmentus sveriant prieš ir po bandymo. Matavimai buvo atlikti su elektroninėmis svarstyklėmis „KERN 440-43N“, kurių padalos vertė yra 0,1 g. Vieno dilimo bandymo trukmė yra 2 valandos, per kurias išbandomi du segmentų bandiniai. Kiekvienas bandinys dilimo stende išbandomas po 3 kartus, todėl ir kiekvienas segmento bandinys viso tyrimo metu sveriamas po 3 kartus, o fiksuojama reikšmė yra šių rezultatų suma – galutinė bandinių nudilusi masė.

Eksperimentiniai buldozerio skirtingų varančiųjų žvaigždučių dilimo tyrimai buvo atlikti šia tvarka:

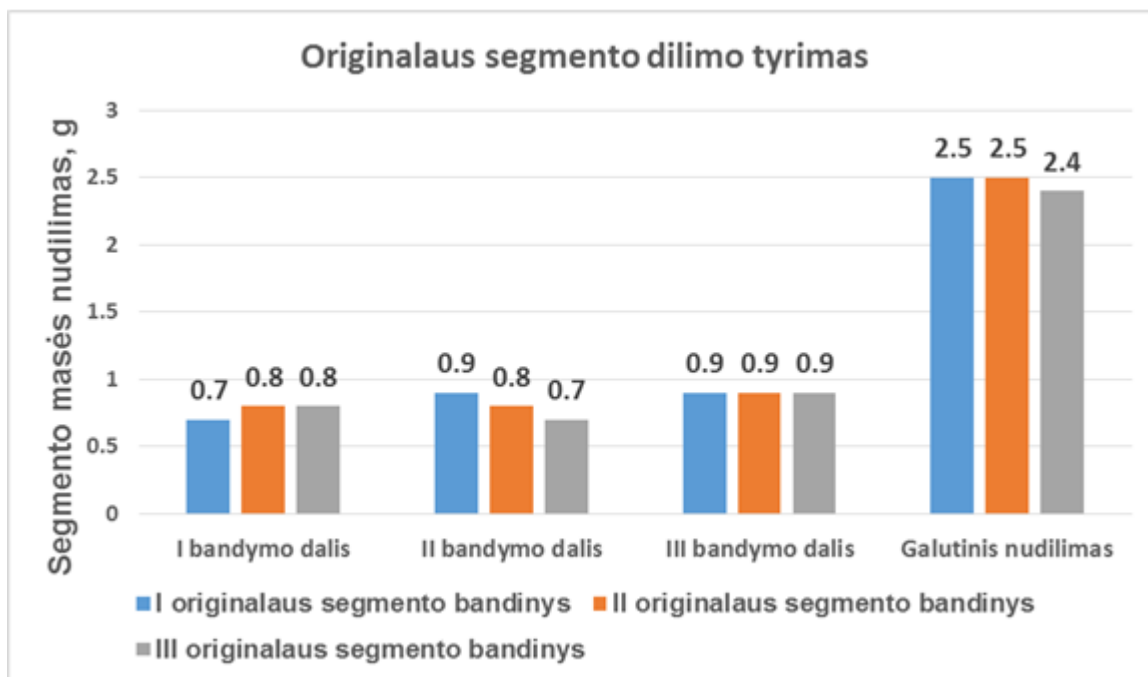
- 1) varančiųjų žvaigždučių bandiniai pasveriami ir fiksuojamos pradinės jų masės;
- 2) bandiniai montuojami prie numatytų vietų stende;
- 3) dilimo stendas įjungiamas – prasideda intensyvus žvaigždutės segmentų bandinių dilimas;
- 4) į kontakto plotą nepertraukiamai tiekiamas pilamas abrazyvas – 0/2 frakcijos smėlis;
- 5) stendas stabdomas kas 2 valandas (arba kas 6840 ciklus), žvaigždučių segmentų bandiniai nuimami nuo tvirtinimo vietų;
- 6) bandiniai nuvalomi, pašalinamos nurėžto metalo dalelės;
- 7) bandiniai pakartotinai sveriami, svoris fiksuojamas;
- 8) bandiniai vėl sumontuojami ant stendo kitam intervalui iš 6840 ciklų.
- 9) atlikus 3 intervalus, fiksuojama galutinė bandinių nudilimo masė.

Pirmasis dilimo tyrimas buvo atliekamas su originaliais varančiosios žvaigždutės segmentų bandiniais. Gauti rezultatai surašomi į 3.6 lentelę.

3.6 lentelė. Originalaus varančiosios žvaigždutės segmento bandinių dilimo rezultatai

	I bandinys		II bandinys		III bandinys	
	Masė, g	Nudilimo masė, g	Masė, g	Nudilimo masė, g	Masė, g	Nudilimo masė, g
Pirminis svėrimas	1768,9	-----	1790,8	-----	1810,4	-----
I svėrimas (po 2h)	1768,2	0,7	1790	0,8	1809,6	0,8
II svėrimas (po 4h)	1767,3	0,9	1789,2	0,8	1808,9	0,7
III svėrimas (po 6h)	1766,4	0,9	1788,3	0,9	1808,0	0,9
Galutinis nudilimas	-----	2,5	-----	2,5	-----	2,4

Atlikus tyrimą pastebėta, jog visų trijų bandinių nudilimas visose trijose bandymo dalyse buvo panašus. I-ojo ir II-ojo bandinių galutinis nudilimas buvo 2,5 g, o III-iojo – 2,4 g. Vidutinis visų trijų bandinių nudilimas siekė 2,47 gramus po 6 valandų trukusio dilimo tarp įtvirtintų segmentų ir besisukančių įvorių (3.13 pav.).

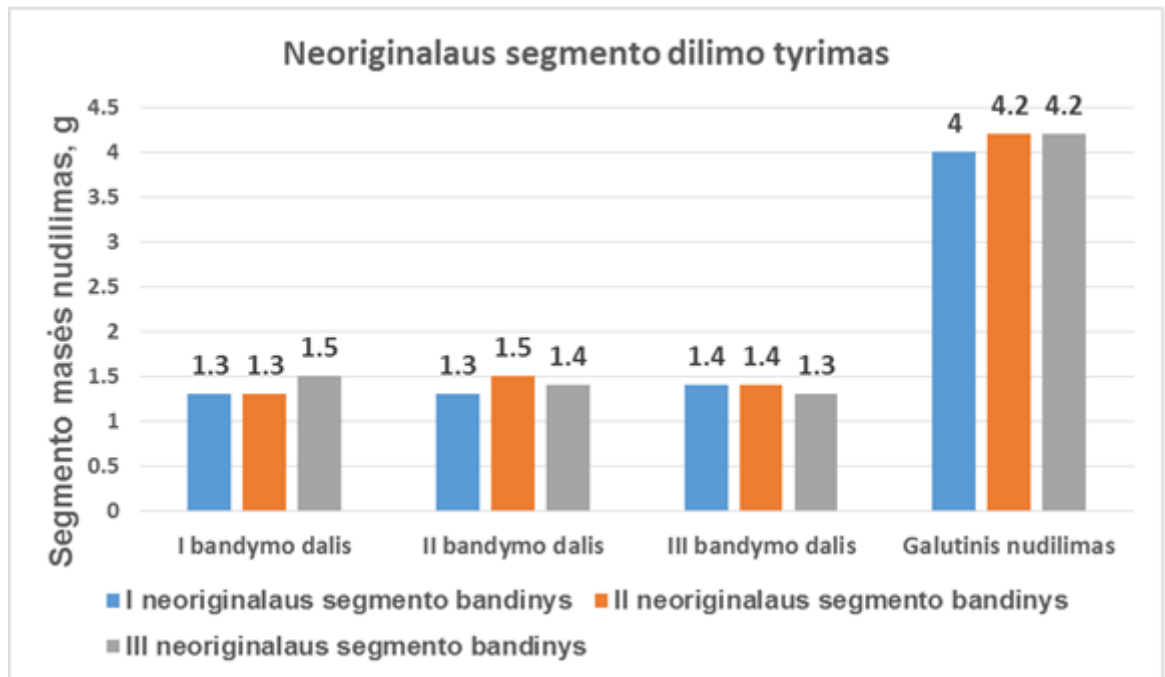


3.13 pav. Originalaus varančiosios žvaigždutės segmento nudilimas

Atlikus dilimo tyrimą su neoriginaliais varančiosios žvaigždutės segmentų bandiniais pastebėta, jog dilimas buvo intensyvesnis (3.14 pav.). Gauti rezultatai surašomi į 3.7 lentelę.

3.7 lentelė. Neoriginalaus varančiosios žvaigždutės segmento bandinių dilimo rezultatai

	I bandinys		II bandinys		III bandinys	
	Masė, g	Nudilimo masė, g	Masė, g	Nudilimo masė, g	Masė, g	Nudilimo masė, g
Pirminis svėrimas	1845,3	-----	1876,4	-----	1832,4	-----
I svėrimas (po 2h)	1844	1,3	1875,1	1,3	1830,9	1,5
II svėrimas (po 4h)	1842,7	1,3	1873,6	1,5	1829,5	1,4
III svėrimas (po 6h)	1842,3	1,4	1872,2	1,4	1882,2	1,3
Galutinis nudilimas	-----	4,0	-----	4,2	-----	4,2



3.14 pav. Neoriginalaus varančiosios žvaigždutės segmento nudilimas

I-ojo ir II-ojo bandinių galutinis nudilimas buvo 2,5 g, o III-iojo – 2,4 g. Vidutinis visų trijų bandinių nudilimas siekė 4,13 gramų po 6 valandų trukusio dilimo tarp įtvirtintų neoriginalių segmentų ir besisukančių originalių įvorių.

Palyginus abiejų skirtingų gamintojų varančiųjų žvaigždučių segmentų nudilimą, matoma, jog neoriginalus gaminys per tą patį tyrimo laiką nudilo 1,67 karto (arba 67%) daugiau nei originalus segmentas.

4. TYRIMO REZULTATŲ EKONOMINIS ĮVERTINIMAS

Remiantis (1.3 pav.) grafiku (Nakaishi, Maeda 2011), priimame, jog 9,3 tonas sveriančio, Šiaurės Amerikoje pagaminto buldozerio vikšrinės važiuoklės originalios varančiosios žvaigždutės vidutiniškai keičiamos kas 1000 mašinos darbo motovalandų. Žinant neoriginalios varančiosios žvaigždutės segmento nudilimo kiekį, kuris yra 1,67 karto didesnis nei originalaus gaminio nudilimo kiekis per tą pačią bandymo trukmę, galima apskaičiuoti, kas kiek mašinos darbo motovalandų teks keisti neoriginalius segmentus, kurie yra 1,7 karto pigesni nei originalus gaminy:

$$H_n = \frac{H_o}{k_d} = \frac{1000}{1,67} = 599 \text{ mh} , \quad (3)$$

čia: H_o – buldozerio darbo motovalandų skaičius, kas kiek keičiami originalūs varančiosios žvaigždutės segmentai, $H_o = 1000 \text{ mh}$; k_d – neoriginalios ir originalios varančiosios žvaigždutės segmentų masės nudilimo santykis, $k_d = 1,67$.

Buldozerio važiuoklės varančiųjų žvaigždučių segmentų keitimo metu būtina keisti ir tvirtinimo varžtus, kurie atsukant išsitempia bei praranda savo pradines stiprumines fizines savybes. Vienos pusės segmentai tvirtinami 23 varžtais, vienetu vidutinė kaina – 1 euras. Todėl, galima apskaičiuoti kiek kainuoja atsarginės detalės, norint pakeisti 9,3 tonas sveriančio vikšrinio buldozerio varančiąsias žvaigžduotes, panaudojus originalias ir neoriginalias dalis:

$$K = 2 \cdot s + 2 \cdot 23 \cdot v , \quad (4)$$

čia: s – varančiosios žvaigždutės segmentų kaina vienai buldozerio važiuoklės pusei. Originalių žvaigždučių segmentų – $s_o = 222 \text{ Eur}$, neoriginalių – $s_n = 138 \text{ Eur}$; v – segmentų tvirtinimo varžto kaina, $v = 1 \text{ Eur}$.

Apskaičiuojama varančiųjų žvaigždučių segmentų keitimo kaina naudojant originalias atsargines dalis:

$$K_o = 2 \cdot s_o + 2 \cdot 23 \cdot v = 222 \cdot 2 + 2 \cdot 23 \cdot 1 = 490 \text{ Eur.}$$

Apskaičiuojama varančiųjų žvaigždučių segmentų keitimo kaina naudojant neoriginalias atsargines dalis:

$$K_n = 2 \cdot s_n + 2 \cdot 23 \cdot v = 131 \cdot 2 + 2 \cdot 23 \cdot 1 = 308 \text{ Eur.}$$

Priimame, jog varančiųjų žvaigždučių segmentų keitimų ekonominius skaičiavimus darysime 9000 buldozerio darbo motovalandų laikotarpyje. Tokį darbo motovalandų skaičių mašina teoriškai galėtų išdirbti kiek daugiau nei per 4,5 metus, jei būtų dirbama 8 valandos per dieną ir 5 dienos per savaitę. Turėdami keitimų intervalus (1000 ir 599 mh), galime apskaičiuoti kiek kartų per 9000 mašinos darbo motovalandas bus atliekamas važiuoklės varančiųjų žvaigždučių segmentų keitimas:

$$R = \frac{H_d}{H}, \quad (5)$$

čia: H_d – buldozerio išdirbtų motovalandų skaičius, priimame $H_d = 9000 \text{ mh}$;
 H – varančiosios žvaigždutės segmentų keitimo intervalas, mh. Originaliems žvaigždučių segmentams – $H_o = 1000 \text{ mh}$, neoriginaliems – $H_n = 599 \text{ mh}$.

Per 9000 buldozerio darbo motovalandas originalūs varančiosios žvaigždutės segmentai bus keičiami:

$$R_o = \frac{H_d}{H_o} = \frac{9000}{1000} = 9 \text{ kartus.}$$

Per 9000 buldozerio darbo motovalandas neoriginalūs varančiosios žvaigždutės segmentai bus keičiami:

$$R_n = \frac{H_d}{H_n} = \frac{9000}{599} = 15,025 \approx 15 \text{ kartų.}$$

Per 9000 buldozerio darbo motovalandas, norint pakeisti varančiųjų žvaigždučių segmentus, originalioms atsarginėms dalims išleidžiama:

$$S_o = R_o \cdot K_o = 9 \cdot 490 = 4410 \text{ Eur,} \quad (6)$$

čia: R_o – originalių varančiųjų žvaigždučių segmentų keitimų kiekis per 9000 buldozerio darbo motovalandas, $R_o = 9$; K_o – originalių atsarginių detalių, įskaitant ir tvirtinimo varžtus, kaina atliekant varančiųjų žvaigždučių segmentų keitimą, $K_o = 490$ Eur.

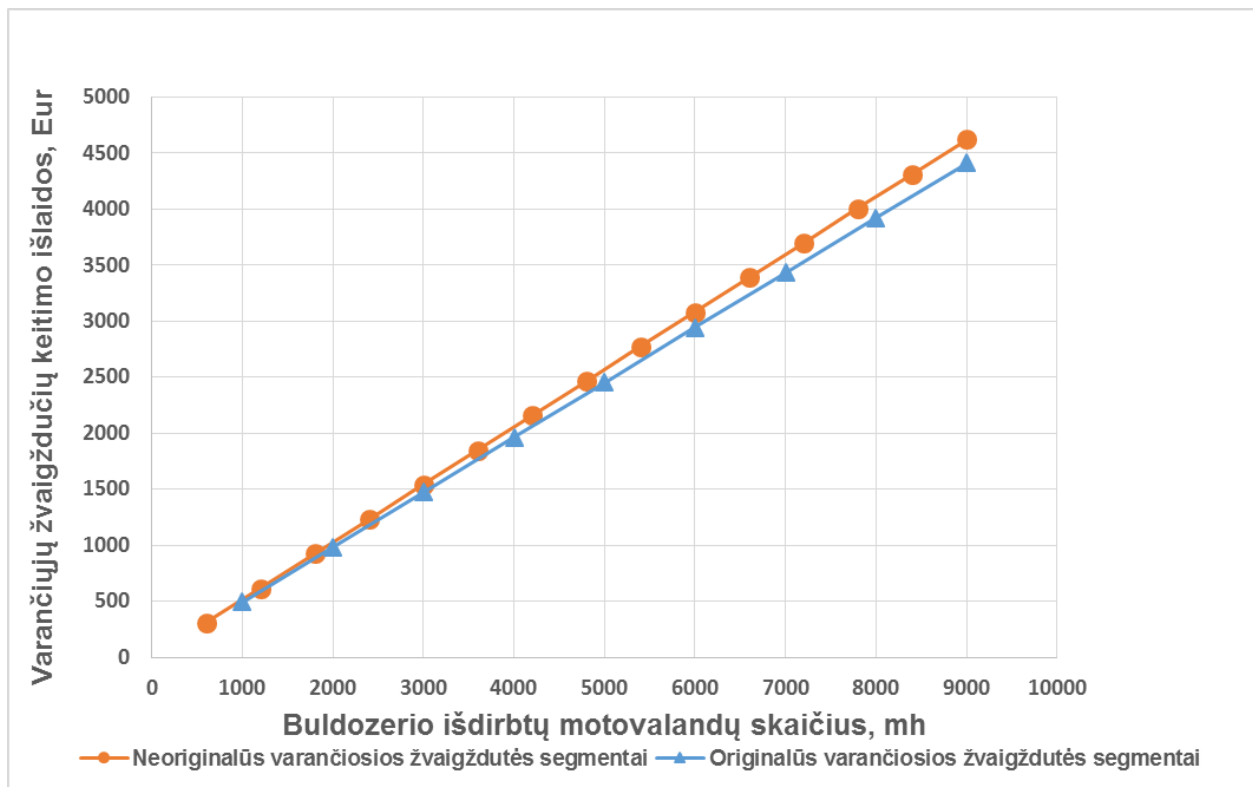
Per 9000 buldozerio darbo motovalandas, norint pakeisti varančiųjų žvaigždučių segmentus, neoriginalioms atsarginėms dalims išleidžiama:

$$S_n = R_n \cdot K_n = 15 \cdot 308 = 4620 \text{ Eur,} \quad (7)$$

čia: R_n – neoriginalių varančiųjų žvaigždučių segmentų keitimų kiekis per 9000 buldozerio darbo motovalandas, $R_n = 15$; K_n – neoriginalių atsarginių detalių, įskaitant ir tvirtinimo varžtus, kaina atliekant varančiųjų žvaigždučių segmentų keitimą, $K_n = 308$ Eur.

Iš skaičiavimų matyti jog eksploatuojant neoriginalius varančiosios žvaigždutės segmentus per 9000 buldozerio darbo motovalandas yra išleidžiama 4620 eurų suma atsarginėms detalėms, kai tuo tarpu originalūs varančiosios žvaigždutės segmentai per tą patį laiką kainuotų 4410 eurai.

Nubraižomas palyginamasis grafikas (4.1 pav.), kuriame atspindi originalių ir neoriginalių varančiųjų žvaigždučių segmentų kainos 9,3 tonas sveriančio, Šiaurės Amerikoje pagaminto buldozerio 9000 darbo motovalandų eksploatacijos laikotarpiu.



4.1 pav. Neoriginalių ir originalių varančiųjų žvaigždučių segmentų keitimo išlaidos atsarginėms dalims per 9000 buldozerio darbo motovalandas

Iš grafiko (4.1 pav.) matyti, jog buldozerį eksploatuoti su originaliais varančiosios žvaigždutės segmentais, mašinai išdirbus daugiau nei 2000 darbo motovalandų, tampa ekonomiškiau nei naudojant neoriginalius varančiosios žvaigždutės segmentus. Per 9000 buldozerio darbo motovalandas, naudojant neoriginalias atsargines dalis varančiosios žvaigždutės segmentams yra išleidžiama beveik 5 procentais didesnė pinigų suma (210 eurai) nei eksploatuojant mašiną su originaliomis atsarginėmis dalimis. Pažymėtina, jog jei būtų atsižvelgta dar į buldozerio prastovų (vidutinė buldozerio valandos nuomos kaina – 35 eurai), serviso darbo išlaidas (oficialaus serviso valandos darbo įkainis – 40 eurai), varančiųjų žvaigždučių segmentų keitimo metu (keitimas užtrunka vidutiniškai 4 valandas), skirtumas tarp eksploatacijos išlaidų, naudojant originalias ir neoriginalias atsargines detales, žymiai išaugtų originalių atsarginių detalių naudai.

Įvertinus šio tyrimo rezultatus, galima daryti išvadą, jog 9,3 tonas sveriančio buldozerio vikšrinei važiuoklei pats patikimiausias bei kainos atžvilgiu patraukliausias gaminys yra originalūs varančiosios žvaigždutės segmentai.

IŠVADOS

1. Iš atliktų matavimų pastebėta, jog originalaus gaminio matmenys beveik visuose matavimuose (išskyrus darbinį plotį) mažesni nei neoriginalaus gaminio.
2. Atlikus abiejų varančiųjų žvaigždučių segmentų ir varančiosios grandinės įvorės kietumo bandymus, nustatyta, jog originalus segmento vidutinis kietumas yra 46,63 HRC (patikimumo intervalas 95 % [46,04 – 47,22]), o neoriginalaus – 49,61 HRC (patikimumo intervalas 95 % [49,06 – 50,16]). Grandinės įvorės vidutinis kietumas siekė 60,14 HRC (patikimumo intervalas 95 % [59,86 – 60,42]).
3. Spektrinės analizės metodu, pasinaudojant lydinių analizatoriumi „PMI-MASTER PRO“ atliktas bandinių cheminės sudėties nustatymas. Pastebėta, jog didžiausią kiekį legiruojančių elementų turi originalus varančiosios žvaigždutės segmentas, jo sudėtyje yra 4,7839 % elementų, pagerinančių gaminio fizines savybes (stiprumą, atsparumą smūgiams, dilimui, nuovargiui). O, neoriginaliame segmente legiruojantys elementai sudaro tik 1,945 % visos lydinio sudėties. Varančiosios grandinės įvorėje, geležies aptikta 97,24 %, legiruojančių elementų – 1,9753 %, anglies – 0,7847 %.
4. Atlikus abiejų varančiųjų žvaigždučių segmentų dilimo tyrimą, nustatyta, jog originalusis segmentas per tą pačią bandymo trukmę nudilo 1,67 karto mažiau nei neoriginalusis gaminys.
5. Iš tyrimo rezultatų ekonominių įvertinimų matyti, jog eksploatuojant neoriginalius varančiosios žvaigždutės segmentus per 9000 buldozerio darbo motovalandų yra išleidžiama 4620 eurų suma vien tik atsarginėms detalėms, o originalūs varančiosios žvaigždutės segmentai per tą patį laiką kainuotų 4410 eurai.

LITERATŪRA

- Bartulis, V. 2012. *Kasybos inžinerija. Mineralinių žaliavų gavybos mašinos ir įrenginiai*. Vilnius: Technika. 80 p. ISBN 978-609-457-277-7.
- Brezina, R.; Filipeki, J.; Štenberger. 2004. Application of ductile iron in the manufacture of ploughshares, *Research Plan* 50(2): 75–80.
- Caterpillar 2013. *Custom track service handbook. 17th edition*. U.S.A. PEKP9400-05.
- Caterpillar 2001. *Undercarriage. Tough steel sprocket segments*. U.S.A. PEHP9558.
- Huzij, R.; Spano, A.; Bennet, S. 2014. *Modern Diesel Technology: Heavy Equipment Systems, 2nd Edition*. Delmar: Cengage Learning. 583 p. ISBN-13: 978-1-1336-9336-9.
- Yazici, A. 2011. Investigation of the reduction of mouldboard ploughshare wear through hot stamping and hardfacing processes, *Turk J Agric For* 35(2011): 461–468.
- Juodelis, V.; Bendikas, J.; Valiukis, A.V. 2004. *Metalotyros pagrindai*. Vilnius: Technika. 159 p. ISBN 9986-05-702-7.
- LST EN ISO 14577-1:2003 *Metalai. Bandymas kietumui ir medžiagų charakteristikoms nustatyti naudojant išpaudo matavimo priemones. 1 dalis. Bandymo metodas (tapatus ISO 14577-1:2002)* Vilnius, 2003. 28 p.
- LST EN ISO 6508-1:2006 *Metalai. Rokvelo kietumo nustatymas. 1 dalis. Bandymo metodas (A, B, C, D, E, F, G, H, K, N, T skalės) (tapatus ISO 6508-1:2005)* Vilnius, 2006. 26 p.
- LST CR 10322:2004 *Juodųjų metalų cheminė analizė. Nurodymai, kaip standartizuotuose geležies ir plieno cheminės analizės metoduose taikyti liepsnos atominę absorbcinę spektrometriją* Vilnius, 2004. 19 p.
- Muller, M.; Hrabe, P. 2013. Overlay materials used for increasing lifetime of machine parts working under conditions of intensive abrasion, *Research in Agricultural Engineering* 59(1): 16–22.
- Nakaishi, H.; Maeda, K. 2011. Development of PLUS (Parallel Link Undercarriage System), *Komatsu technical report* 57(164): 2–7.
- Qi, P.; Jones, M.; Llewellyn, R. J. 2008. Rolling contact abrasion (RCA) assessment of materials for track-type vehicle undercarriages. *Wear & Corrosion Group, National Research Council*. Vancouver: Canada. Formerly with NRC.
- Rudzinskas, V.; Černašėjus, O. 2012. *Aviacinės medžiagos. Mokomoji knyga*. Vilnius: Technika. 107 p. ISBN 978-609-457-194-7.
- Sarhan, H.; Nofal, A.; Issa, S.; Alia, M. 2010. Abrasive wear of digger tooth steel, *International Journal of Engineering (IJE)* 4(6): 478–490.

Singla, S.; Shibel, V.; Grewal, J. S. 2011. Performance evaluation of hard faced excavator bucket teeth against abrasive wear using MMAW process, *International Journal of Mechanical Engineering Applications Research* 2(2): 73–77.

Sokolski, P.; Sokolski, M. 2014. Evaluation of resistance to catastrophic failures of large-size caterpillar chain links of open-pit mining machinery, *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability* 16(1): 80–84.

Sorokin, G. M.; Malyshev, V. N. 2012. Criterion of wear resistance for ranking steels and alloys on mechanical properties, *International Journal of Material and Mechanical Engineering* 1(6): 114–120.

Višniakas, I.; Slivinskas, K. 2005. *Patikimumo teorija. Objektų kokybės vertinimo ir patikimumo skaičiavimų metodikos nurodymai*. Vilnius: Technika. 90 p. ISBN 9986-05-824-4.

PRIEDAI