



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

MECHANIKOS FAKULTETAS

MAŠINŲ GAMYBOS KATEDRA

Giedrius Augustinavičius

**EKSKAVATORIAUS KAUŠO DANTŲ ABRAZYVINIO
DILIMO TYRIMAS**

**EXCAVATOR BUCKET TEETH ABRASIVE
WEAR TEST**

Baigiamasis magistro darbas

Pramonės inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 62408T204

Pramonės inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2008

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

MECHANIKOS FAKULTETAS

MAŠINŲ GAMYBOS KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas

(parašas)

Mindaugas Jurevičius
(vardas, pavardė)

(data)

Giedrius Augustinavičius

**EKSKAVATORIAUS KAUŠO DANTŲ ABRAZYVINIO
DILIMO TYRIMAS**

**EXCAVATOR BUCKET TEETH ABRASIVE
WEAR TEST**

Baigiamasis magistro darbas

Pramonės inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 62408T204

Pramonės inžinerijos studijų kryptis

Vadovas dr. doc. A. Čereška
(Moksl. laipsnis, vardas pavardė)

(Parašas)

(Data)

Konsultantas lekt. A. Petrėtienė
(Moksl. laipsnis, vardas pavardė)

(Parašas)

(Data)

Konsultantas

(Moksl. laipsnis, vardas pavardė)

(Parašas)

(Data)

Vilnius, 2008

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS FAKULTETAS
MAŠINŲ GAMYBOS KATEDRA

Technologijos mokslo sritis
Pramonės inžinerijos studijų kryptis
Pramonės inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 26408T207
Pramonės technologijos specializacija

TVIRTINU
Katedros vedėjas

(Parašas)
Mindaugas Jurevičius
(Vardas, pavardė)

(Data)

**BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO
UŽDUOTIS**

.....Nr.
Vilnius

Studentui (ei)

Giedriui Augustinavičiui
(Vardas, pavardė)

Baigiamojo darbo tema: Ekskavatoriaus kaušo dantų abrazyvinio dilimo tyrimas
patvirtinta 200...m. d. dekanų potvarkiu Nr.

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas 200...m. d.

BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

1. Atlikti ekskavatoriaus kaušo dantų abrazyvinio dėvėjimosi tyrimų literatūros apžvalgą.
2. Atlikti apvirintų ir neapvirinto ekskavatoriaus dantų dilimo tyrimą.
3. Atlikti gautų tyrimo rezultatų analizę, suformuluoti išvadas, rekomendacijas

Baigiamojo darbo rengimo konsultantai:

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

Vadovas
(Parašas)

doc. dr. A. Čereška
(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

Užduotį gavau

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

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

Mechanikos fakultetas

Mašinų gamybos katedra

ISBN

ISSN

Egz. sk. 1

Data 2008 – 05 - 30

Pramonės inžinerijos studijų programos baigiamasis magistro darbas

Pavadinimas **Ekskavatoriaus kaušo dantų abrazyvinio dilimo tyrimas**

Autorius **Giedrius Augustinavičius**

Vadovas doc. dr. **Audrius Čereška**

Kalba

lietuvių

užsienio

Anotacija

Baigiamajame magistro darbe apžvelgti laboratoriniai ir praktiniai abrazyvinio dėvėjimosi tyrimų metodai. Sumontuotas ekskavatoriaus kaušo dantų abrazyvinio dėvėjimosi stendas, sudaryta nauja tyrimo metodika. Tyrimas buvo atliktas su šešiais ekskavatoriaus kaušo dantimis: trys aplydyti „Anykščių vario“, du ESAB firmų elektrodais, vienas dantis neaplydytas. Darbe ištirtos neaplydyto ir aplydytų skirtingais elektrodais ekskavatoriaus kaušo dantų abrazyvinio dėvėjimosi charakteristikos, pateiktos išvados ir rekomendacijos.

Darbą sudaro penkios dalys: įvadas, literatūros analizė, eksperimentiniai tyrimai, tyrimų rezultatai, išvados, literatūros sąrašas.

Darbo apimtis – 62 p. teksto, 38 pav., 17 lent., 17 bibliografinių šaltinių.

Prasminiai žodžiai: abrazyvinis dėvėjimasis, ekskavatoriaus kaušo dantys, aplydimas.

Vilnius Gedimino technical university

Mechanics faculty

Machine Engineering department

ISBN ISSN

Egs. nr. 2

Data 2008 – 05 - 30

Mechanical engineering study programme final magistracy work

Title **Excavator bucket teeth abrasive wear test**

Author **Giedrius Augustinavicius**

Supervisor doc. dr. **Audrius Cereska**

Language

 lithuanian

 foreign (English)

Annotation

The final magistracy work review laboratory and field abrasive wear test methods. New excavator bucket teeth abrasive wear tester was mounted and new research method was created. Research was developed with six excavator bucket's teeth: three teeth were coating with "Anyksciu varis" company electrodes, two teeth were coating with ESAB company electrodes and one tooth wasn't coating. In this work are analysing teeth that are coating with several types electrodes or without them, abrasive wear performances. It was present conclusion and recommendation

Work contains of five parts: introduction, literatures analysis, experimental investigation, deduction, literature list, addition.

Work size– 66 p. texts without accessory, 38 iliustr, 17 tables, and 17 literature sources. Separate added work accessories.

Links: abrasive wear, excavator bucket teeth, coating.

TURINYS

ĮVADAS.....	5
1. PROBLEMOS ANALIZĖ IR FORMULAVIMAS.....	7
1.1. PROBLEMINĖS SRITIES BENDRAS APTARIMAS.....	7
1.2. LABORATORINIŲ ABRAZYVINIO DĖVĖJIMOSI METODŲ TYRIMAI: METODŲ TYRIMAS IR LYDINIŲ KORELIACIJA	8
1.2.1. Sausas smėlio, guminio rato dėvėjimosi tyrimas (DSRW).....	8
1.2.2. Smeigės ant būgno „pin – on – drum“ abrazyvinio dėvėjimosi tyrimas.....	10
1.2.3. Smūginio rotoriaus – vartytuvo abrazyvinio dėvėjimosi tyrimas.....	12
1.2.4. Žiauninio trupintuvo (angl. jaw crusher) abrazyvinio dėvėjimosi tyrimas	14
1.2.5. Rezultatai ir jų aptarimas.....	16
1.2.6. Dėvėjimosi duomenų koreliacija.....	19
1.3. LABORATORINIŲ IR PRAKTINIŲ ABRAZYVINIO DĖVĖJIMOSI TYRIMŲ PALYGINIMAS.....	25
1.3.1. Schemiškai išdėstyto praktinio dėvėjimosi tyrimo (PAFWT) plokštelė.....	26
1.3.2. Praktiniai dėvėjimosi tyrimai.....	27
1.3.3. Laboratoriniai dėvėjimosi tyrimai.....	27
1.3.4. Rezultatai ir jų aptarimas.....	29
1.4. MEDŽIAGŲ PARINKIMAS EKSKAVATORIAUS KAUŠO DANTIMS KASYBOS PRAMONĖJE.....	29
1.4.1. Medžiagos.....	30
1.4.2. Laboratoriniai bandymai.....	32
1.4.3. Bandymai realiomis darbo sąlygomis.....	33
1.4.4. Laboratorinių tyrimų ir tyrimų, atliktų realiomis darbo sąlygomis rezultatai.....	35
1.5. DANTŲ ĮTAKA ŽEMĖS DARBŲ KASYBOS PROCESUI.....	37
1.5.1. Eksperimento rezultatai.....	37
1.6. GRUNTO ĮTAKA KASIMO PROCESUI.....	41
1.6.1. Bendrosios žinios apie gruntus.....	41
1.6.2. Fizinės ir mechaninės gruntų savybės.....	41
1.6.3. Darbo padargų sąveika su gruntu.....	46
1.6.4. Grunto kasimas.....	46
1.7. PROBLEMOS FORMULAVIMAS.....	47
2. EKSKAVATORIAUS KAUŠO DANTŲ DILIMO TYRIMAS.....	49

2.1. TYRIMO OBJEKTAS.....	49
2.2. TYRIMO STENDAS.....	54
2.3. TYRIMO METODIKA.....	56
2.4. MATAVIMO PRIEMONĖS.....	57
3. TYRIMO REZULTATAI IR JŲ APTARIMAS.....	58
IŠVADOS.....	65
LITERATŪRA.....	66

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1.1 pav. DSRW tyrimo mašinos schema.....	9
1.2 pav. (POD) abrazyvinio dėvėjimosi tyrimo stendo schema.....	11
1.3 pav. Smūginio rotoriaus – vartytuvo abrazyvinio dėvėjimosi tyrimo stendo schema.....	13
1.4 pav. Žiauninio trupintuvo abrazyvinio dėvėjimosi tyrimo stendo schema.....	15
1.5 pav. Prarasto medžiagos tūrio ir medžiagos kietumo pagal Brinelį (HB) serijai martensitinių lydinių santykis: (a) DSRW tyrime; (b) POD tyrime; (c) smūginio rotoriaus – vartytuvo tyrime.....	20
1.6 pav. Prarasto medžiagos tūrio ir medžiagos kietumo pagal Brinelį (HB) įvairių plienų, ketaus lydinių, įrankinių plienų ir kompozitų serijai santykis: (a) DSRW tyrime; (b) POD tyrime; (c) smūginio rotoriaus – vartytuvo tyrime.....	22
1.7 pav. Prarasto medžiagos tūrio ir medžiagos kietumo pagal Brinelį (HB) įvairių plienų ir ketaus lydinių santykis.....	23
1.8 pav. Medžiagos dėvėjimosi koreliacijos grafikai: (a) POD su DSRW; (b) DSRW su ID; (c) POD su ID.....	24
1.9 pav. Schemiškai išdėstyto praktinio dėvėjimosi tyrimo bandinių plokštelių.....	26
1.10 pav. Aplydytų sluoksnių vaizdas per mikroskopą.....	31
1.11 pav. Bandinių paviršiai (1 – prieš tyrimą be defektų; 2 – prieš tyrimą su defektais; 3 – bandinys 1 po tyrimo).....	32
1.12 pav. Medžiagų prarasto svorio vidurkis.....	33
1.13 pav. Ekskavatoriaus rotorius.....	34
1.14 pav. Ekskavatoriaus kaušo danties schema.....	34
1.15 pav. 42 dantų pozicijos ant septynių kaušų.....	35
1.16 pav. Koreliacija tarp dėvėjimosi ir dantų pozicijos kauše.....	36
1.17 pav. Ekskavatoriaus kaušas su tiriamais dantimis.....	38
1.18 pav. Horizontalios jėgos variacija, kai kauše sumontuoti penki trijų nusidėvėjimo lygių dantys.....	39
1.19 pav. Horizontalios jėgos variacija, kai dantų skaičius kintamas.....	39
1.20 pav. Horizontalios jėgos variacija, kai sumontuoti penki dantys ir skirtingas grunto tankis.....	40
2.1 pav. Danties matmenys.....	49
2.2 pav. Neaplydytas dantis.....	50
2.3 pav. Dantis, aplydytas APL AV 60 markės elektrodais.....	50
2.4 pav. Dantis, aplydytas 677 markės elektrodais.....	51

2.5 pav. Dantis, aplydytas 687 markės elektrodais.....	51
2.6 pav. Dantis, aplydytas OK 83.50 markės elektrodais.....	52
2.7 pav. Dantis, aplydytas OK 84.52 markės elektrodais.....	52
2.8 pav. Tyrimo stendas.....	54
2.9 pav. Dantų pozicijos keitimas.....	56
2.10 pav. Svarstyklės KERN 573 – 46.....	57
3.1 pav. Danties, aplydyto 677 markės elektrodais, dilimas.....	59
3.2 pav. Danties, aplydyto APL AV 60 elektrodais, dilimas.....	60
3.3 pav. Neaplydyto danties dilimas.....	60
3.4 pav. Danties, aplydyto 687 markės elektrodais, dilimas.....	61
3.5 pav. Danties, aplydyto OK 84.52 markės elektrodais, dilimas.....	61
3.6 pav. Danties, aplydyto OK 83.50 markės elektrodais, dilimas.....	62
3.7 pav. Prarastas dantų svoris.....	63
3.8 pav. Dantų dilimo kreivės.....	63

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1.1 lentelė. Standartinės DSRW abrazyvinio dėvėjimosi tyrimo sąlygos.....	10
1.2 lentelė. DSRW abrazyvinio dėvėjimosi tyrimo duomenys.....	17
1.3 lentelė. POD abrazyvinio dėvėjimosi tyrimo duomenys.....	17
1.4 lentelė. Smūginio rotoriaus - vartytuvo abrazyvinio dėvėjimosi tyrimo duomenys.....	18
1.5 lentelė. Žiauninio trupintuvo abrazyvinio dėvėjimosi tyrimo duomenys naudojant kvarcitą	18
1.6 lentelė. Žiauninio trupintuvo abrazyvinio dėvėjimosi tyrimo duomenys naudojant skirtingus gruntus.....	18
1.7 lentelė. Abrazyvo dalelių matmenys ir jų santykis.....	28
1.8 lentelė. Tiriamų medžiagų prilydyto metalo cheminė sudėtis ir kietumas.....	29
1.9 lentelė. Makrokietumas (HRC).....	30
1.10 lentelė. Medžiagos trukmės palyginimas su MR5, kasykloje ir laboratorijoje.....	36
2.1 lentelė. Ekskavatoriaus kaušo danties cheminė sudėtis, %.....	52
2.2 lentelė. Apvirinimo elektrodų gryno prilydyto metalo cheminė sudėtis, %.....	52
2.3 lentelė. Dantų svoris prieš tyrimą.....	53
2.4 lentelė. KERN 573 – 46 svarstyklių techniniai duomenys.....	57
3.1 lentelė. Dantų svoris tyrimo metu.....	58
3.2 lentelė. Prarastas dantų svoris tyrimo metu.....	58
3.3 lentelė. Prarastas dantų svoris.....	59

ĮVADAS

Tyrimo objektas. Daugelis žemės darbų mašinų detalių praranda savo darbinės charakteristikas dėl abrazyvinio dilimo. Abrazyviškumas – gruntų savybė veikti darbo padargus ir važiuklių mazgus taip, kad jie intensyviai dėvisi, dėl to kinta jų matmenys ir forma.

Vienas iš labiausiai pažeidžiamų abrazyvinio dilimo komponentų yra ekskavatoriaus kaušo dantis. Dažniausiai jie gaminami iš sunkiųjų lydinių, kurie ne visada turi pakankamai geras antidėvėjimosi charakteristikas. Ekskavatorių darbas yra labai sudėtingas procesas su apkrautais ir neapkrautais ciklais. Dėl tos priežasties, medžiagos, iš kurių gaminami dantys, turi turėti santykinai geras savybes tarp gero kietumo ir pakankamo atsparumo priešintis abrazyviniams veiksniams. Apvirinimas yra gera alternatyva šiems tikslams pasiekti.

Šiame darbe tiriamos ekskavatoriaus kaušo dantų, apvirintų apvirinimui skirtais „Anykščių vario“ ir ESAB firmų elektrodais ir neapvirinto danties dilimo charakteristikos.

Darbo tikslas ir uždaviniai. Suprojektuoti ekskavatoriaus kaušo dantų dilimo stendą, sudaryti tyrimo metodiką. Atlikti ekskavatoriaus kaušo dantų dilimo tyrimą, kai dantis:

- neapvirintas;
- apvirintas „Anykščių vario“ APL AV 60 markės elektrodais;
- apvirintas „Anykščių vario“ 677 markės elektrodais;
- apvirintas „Anykščių vario“ 687 markės elektrodais;
- apvirintas ESAB OK 84.52 markės elektrodais;
- apvirintas ESAB OK 83.50 markės elektrodais.

Išnagrinėti dėvėjimosi charakteristikas, suformuluoti išvadas ir rekomendacijas.

Temos naujumas. Ekskavatoriaus danties dilimo tyrimo metodas realiomis darbo sąlygomis yra gan brangi ir daug laiko reikalaujanti procedūra. Kasant negalime garantuoti vienu ar keliu grunto tikimybes, taipogi sunku įvertinti ekskavatoriaus ciklą skaičių, kadangi jų trukmė nėra vienoda, dėl to gauti duomenys gali būti netikslūs. Yra sukurti laboratoriniai abrazyvinio dėvėjimosi metodai, tačiau jie neatitinka realaus darbo dėvėjimosi sąlygų. Reikalinga tyrimo metodika, leidžianti pakankamai tiksliai įvertinti medžiagos dilimą konkrečiomis darbo sąlygomis. Tam tikslui sukuriamas tyrimo stendas ir sudaryta tyrimo metodika.

Temos aktualumas. Ekskavatoriaus su 0,4 m³ tūrio kaušu danties vidutinė rinkos kaina apie 50 Lt, tačiau tokios pat formos, bet dvigubai didesnio dydžio danties kaina siekia net 500 Lt, todėl jų dėvėjimosi charakteristikų pagerinimas yra labai aktuali problema. Dėvėjimosi charakteristikų pagerinimui buvo taikomas aplydymas „Anykščių vario“ ir ESAB firmų elektrodais.

Tyrimo metodai. Apžvelgti ir išnagrinėti laboratoriniai bei praktiniai abrazyvinio dilimo tyrimo metodai. Nustatyti jų privalumai bei trūkumai.

Darbo mokslinė vertė. Suprojektuotame stende tyrimo sąlygos labai artimos realioms darbo sąlygoms. Išnagrinėtos apvirintų ir neapvirinto ekskavatoriaus kaušo dantų dėvėjimosi charakteristikos. Atlikta tyrimo rezultatų analizė padės pasirinkti apvirintą tam tikrais elektrodais ar neapvirintą dantį naudoti kasimo procese.

Darbo aprobacija. Augustinavičius G. Ekskavatoriaus kaušo dantų dilimo tyrimas. Dešimtoji jaunųjų mokslininkų konferencija „Lietuva be mokslo – Lietuva be ateities“, 2008 m. balandžio 24–25 d. Vilnius.

1. PROBLEMOS ANALIZĖ IR FORMULAVIMAS

1.1. PROBLEMINĖS SRITIES BENDRAS APTARIMAS

Daugelis žemės darbų mašinų detalių praranda savo darbines charakteristikas dėl abrazyvinio dilimo. Vienas iš pagrindinių veiksnių, apibūdinančių dirbančių detalių abrazyvinį dilimą, yra abrazyvinės gruntų savybės. Iki šių dienų nėra bendrai priimtose metodikos tiriant kaip veikia medžiagos abrazyvinis dilimas, todėl sunku sulyginti gautus rezultatus. Abrazyviškumas – gruntų savybė veikti darbo padargus ir važiuoklių mazgus taip, kad jie intensyviai dėvisi, dėl to kinta jų matmenys ir forma. Pažeidžiamos projektinės mašinos darbo sąlygos, smarkiai padidėja kasimo jėgos, o kartu ir energijos imlumas, didėja mašinų elementų apkrovos. Todėl projektuojant ir eksploatuojant žemės darbų mašinas, būtina įvertinti gruntų abrazyviškumą. Būtina naudoti dilimui atsparius metalus bei jų dangas. Šio tipo nusidėvėjimas atsiranda dėl aštrių dalelių slydimo metalo paviršiumi besikeičiančiu greičiu ir kintant prispaudimo jėgai, tokiu būdu šios dalelės nušlifuoja metalo paviršių kaip maži pjovikliai. Kuo kietesnės jos briaunos, tuo didesnė trintis. Tiesioginis metalo kontaktas su gruntu reikalauja lydinių, kurie turi abi šias pritaikymo savybes, t. y. atsparumą abrazyviniam dilimui ir kietumą.

Vienas iš labiausiai pažeidžiamų abrazyvinio dilimo komponentų yra ekskavatoriaus kaušo dantis. Dažniausiai jie gaminami iš sunkiųjų lydinių, kurie ne visada turi pakankamai geras antidėvėjimosi charakteristikas. Ekskavatorių darbas yra labai sudėtingas procesas su apkrautais ir neapkrautais periodais. Dėl tos priežasties, medžiagos, iš kurių gaminami dantys, turi turėti santykinai geras savybes tarp gero kietumo ir pakankamo atsparumo priešintis abrazyviniams veiksniams.

Apvirinimas taikomas tam tikroms, greitai nusidėvinčioms metalinėms detalėms padengti danga iš kito metalo, sustiprinant paviršiaus atsparumą ir kitas specifines savybes. Nors dažniausiai apvirinamos jau nusidėvėjusios dalys, atkuriant jų formas ir savybes, tačiau ši technologija yra naudojama ir naujų gaminių paviršiams sustiprinti ar savybėms pakeisti. Didesnis metalo kietumas ne visada reiškia geresnį atsparumą trinčiai ir nusidėvėjimui ir pailgina įrankio eksploatavimo laikotarpį. Daugelis lydinių turi to paties lygio kietumą, bet labai skiriasi jų atsparumas nusidėvėjimui.

1.2. LABORATORINIŲ ABRAZYVINIO DĖVĖJIMOSI METODŲ TYRIMAI: METODŲ TYRIMAS IR LYDINIŲ KORELIACIJA

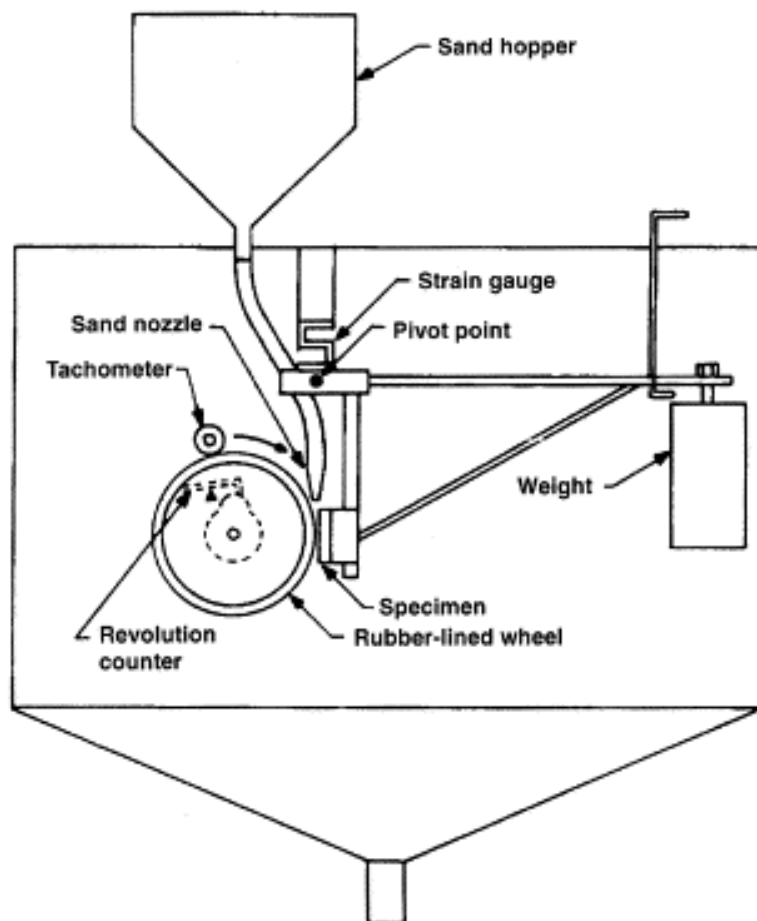
Dėvėjimasis – pagrindinė žemės darbų mašinų problema. Detalių dėvėjimasis, remonto kaina ir šių detalių pakeitimas, taip pat laiko prastovos, susijusios su šiais veiksniais, sukelia didelius nuostolius. Siekiant sumažinti bandymų ir naujų lydinių parinkimo išlaidas buvo kuriami dėvėjimosi tyrimai. Daugelis šių tyrimų prieinami tik šioje srityje dirbančioms kompanijoms ir duomenys surinkti ne per keletą, o netgi per keliasdešimt metų. Visi šie duomenys yra kompanijos patirties „vaisius“, todėl dažniausiai visuomenei jie nėra prieinami. Laboratorinių abrazyvinio dėvėjimosi tyrimų rinkinys su dėvėjimosi įrenginiais buvo tobulinamas Albany tyrimų centre, JAV. Šiame darbe aprašomi įvairūs laboratoriniai dėvėjimosi tyrimai ir dėvėjimosi tyrimų procedūros, sukurtos per daugelį metų.

Paprastai abrazyvinio dėvėjimosi procesai skirstomi pagal apkrovų režimus į dvi grupes: didelių ir mažų apkrovų. Didelių apkrovų - kai abrazyvo dalelės yra suspaudžiamos tarp dviejų plokščių paviršių. Trintis veikia labai mažame kontakto plote, ir didelis kontakto spaudimas sukelia išsigilinimą ar įbrėžimus paviršiuje ir sutraiško abrazyvo daleles. Mažų apkrovų - kai lengvai apkrautos dalelės tik įrėžia paviršių, bet pačios nesuyra [1].

1.2.1. Sausas smėlio, guminio rato dėvėjimosi tyrimas (DSRW)

„Dry – sand, rubber – wheel“ (DSRW) tyrimas simuliuoja mažų apkrovų, trijų kūnų abrazyvinį dėvėjimąsi. DSRW tyrimu gaunamas gana neblogas koreliacijos koeficientas su tyrimais realiomis darbo sąlygomis. Kadangi šis dėvėjimosi tipas yra gan lėtas, taigi bandymai realiomis darbo sąlygomis užtruktų per daug ilgai, kad būtų galima įvertinti naujų medžiagų charakteristikas. Šis tyrimo būdas tapo JAV medžiagų tyrimo standartu (G65 – 81) 1980 metais ir buvo naudojamas daugelyje laboratorijų. Pradedant 1980 metais jis tapo pačiu populiariausiu abrazyvinio dėvėjimosi tyrimu JAV [1].

DSRW įranga ir bandiniai. Tyrimo mašina susideda iš guma aplieto plieninio rato, kurio spindulys 228 mm, plotis 12,7 mm, bunkerio, pripilto smėlio ir sujungto vamzdžiu, kurio gale yra antgalis, leidžiantis byrėti smėliui 250–350 g/min. greičiu, apsisukimų skaitiklio, leidžiančio sustabdyti variklį, apsisukus nustatyta apsisukimų skaičių ir sverto peties, kuris laiko bandinį ir jį apkrauna horizontalia į rata, kuriuo byra smėlis. Birioji medžiaga – kvarcinis smėlis. Tyrimo mašina pavaizduota 1.1 pav.



1.1 pav. DSRW tyrimo mašinos schema

Bandinys – stačiakampio formos plokštelė 25 x 75 mm, storis 3–13 mm. Dėvėjimosi paviršius – šlifluota plokštuma, leistinas paviršiaus šiurkštumas 0,8 μm . Bandomos medžiagos tankis turi būti žinomas, kad vėliau būtų galima apskaičiuoti prarastos medžiagos tūrį [16].

DSRW tyrimo procedūra. Tyrimo mašina keičiami du bandymo parametrai: slydimo atstumas (t. y. rato apsisukimų skaičius) ir bandinio apkrova. DSRW tyrimo mašina vykdomos keturios procedūros su šių dviejų bandymo parametrų keitimu (1.1 lentelė).

1.1 lentelė. Standartinės DSRW abrazyvinio dėvėjimosi tyrimo sąlygos

Tyrimo procedūra	Jėga į bandinį (N)	Rato apsisukimai	Nueitas atstumas (m)
A	130	6000	4309
B	130	2000	1436
C	130	100	71,8
D	45	6000	4309

Bandymas susideda iš aštuonių pakopų: (1) bandinio nuvalymas ir svėrimas; (2) bandinio montavimas prie sverto peties ir apkrovos nustatymas; (3) smėlio srovės tiekimas per antgalį; (4) rato pavaros paleidimas; (5) sverto peties rankenos atpalaidavimas, - bandinys kontaktuoja su kaučiukiniu ratu, - pradeda sukstis apsisukimų skaitiklis; (6) variklio ir smėlio srovės sustabdymas (automatinis); (7) bandinio nuėmimas; (8) bandinio nuvalymas ir pasvėrimas iš naujo, kad būtų palyginta bandinio masė prieš ir po eksperimento. Medžiagos masės praradimas ir tankio žinojimas leidžia apskaičiuoti prarastą tūrį. Eksperimentas atliekamas vieną arba keletą kartų. Medžiagos variacijos koeficientas tarp dviejų ar daugiau bandymų neturi viršyti 7 % [2].

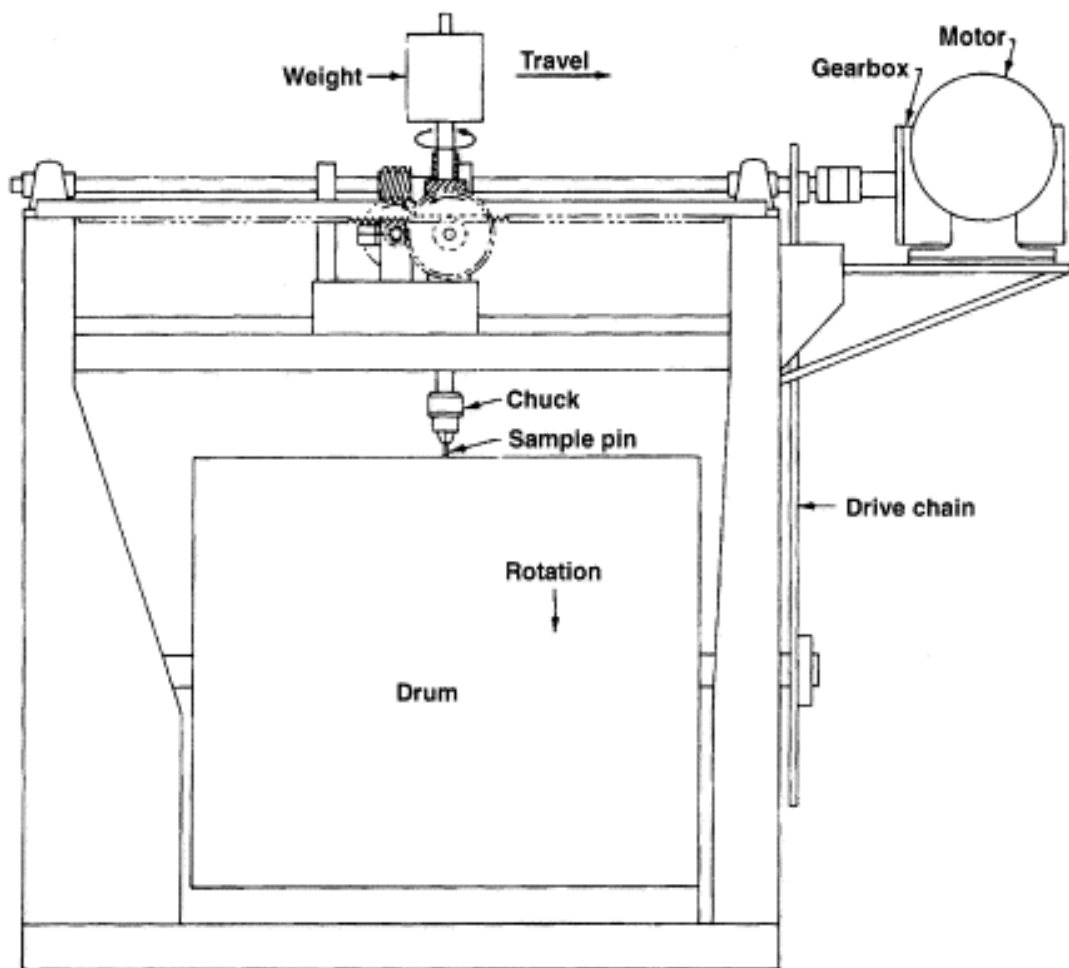
1.2.2. Smeigės ant būgno „pin – on – drum“ abrazyvinio dėvėjimosi tyrimas

Smeigės ant būgno „pin – on – drum“ (POD) abrazyvinio dėvėjimosi tyrimo būdas priskiriamas prie didelių apkrovų, dviejų kūnų abrazyvinio dėvėjimosi tyrimo būdo. Vienas cilindrinės smeigės bandinio galo paviršius juda abrazyviniu popieriumi, šlifuodamas bandinio medžiagą ir traiškydamas nejudamas abrazyvo daleles.

Smeigės abrazyvinio dėvėjimosi tyrimų (POD) įranga buvo pradėta kurti mokslininko Robino 1910 metais. Šios mašinos veikimas buvo panašus į patefono veikimą, kai smeigės funkcija buvo panaši į patefono adatos funkciją, o abrazyvinis popierius sukosi kaip patefono plokštelė. Tačiau smeigė judėjo viena ir ta pačia trajektorija. Mokslininkas Chruščiovas patobulino tyrimo mašiną, smeigę priversdamas judėti spiralės trajektorija, tai leido smeigėi slysti vis nauju abrazyvinio popieriaus paviršiumi. Klimaksas Molibdenas sukūrė „smeigės ant stalo“ tyrimo mašiną. Šiuo atveju judėjo stalas, tai suteikė smeigėi pastovų judėjimo greitį. Naudojant darbinius Klimakso mašinos parametrus, Mutonas, Melburno tyrimų laboratorijoje sukūrė „smeigės ant būgno“ abrazyvinio dėvėjimosi mašiną, kurioje judamas stalas buvo pakeistas sukamuoju būgnu. Albany tyrimo centre (POD) mašina labai panaši į Melburno mašiną, išskyrus kelis nežymius pakeitimus [3].

(POD) įranga ir bandiniai. (POD) tyrimo mašina pavaizduota 1.2 pav. Įranga susideda iš galvutės, kuri laiko bandinį ir juda išilgai būgno paviršiaus, kuris sukasi ir yra dengtas

abrazyviniu popieriumi. Galvutė atlieka tris funkcijas. Pirma, ji apkrauna bandinį. Antra, ji lėtai juda išilgai būgno, tai leidžia bandinio smeigai slysti vis nauju abrazyviniu popieriaus paviršiumi. Trečia, ji sukasi apie savo ašį, kad bandinio įbrėžimai pasiskirstytų tolygiai visame paviršiuje. Paprastai bandinys apkraunamas 66,7 N jėga. 0,5 m skersmens būgnas dengtas abrazyviniu audeklu, Al_2O_3 , SiC , arba norimų matmenų abrazyviniu popieriumi (dažniausiai nominalus dalelių matmuo 100 μm). Smeigė juda išilgai 12,7 mm lygiagrečiai būgno ašiai, dėvėjimosi takelis 1,6 m kol būgnas apsisuka vieną kartą. Būgnas sukasi 1,7 aps/min greičiu, tada paviršiaus judėjimo greitis 2,7 m/min. Smeigės bandinys apie vertikalią ašį sukasi 1,7 aps/min greičiu. Vienas variklis suka pavarą, kuri po nustatyto būgno apsisukimų skaičiaus automatiškai išsijungia [3].



1.2 pav. (POD) abrazyviniu dėvėjimosi tyrimo stendo schema

Bandinys – 6,35 mm skersmens smeigė, 20–30 mm ilgio. Bandiniai paruošiami tekinimo staklėmis. Sunkiųjų lydinių ir trapiųjų metalų bandiniai yra išpjaunami galvaniniu būdu, po to apdirbami tekinimo staklėmis.

(POD) tyrimo procedūra. Naujam bandiniui nusidėvėti reikia apytiksliai keturių būgno apsisukimų. Apsisukimų skaičius gali būti parenkamas pagal dėvėjimosi mastą, t. y. apytiksliai apie 40 mg svoriui prarasti. Jei geležies ir plienų kietumas viršija 5,2 GPa (500 HB) būgnui apsisukti reikėtų šešis kartus (slydimo atstumas 9,6 m). Kietesnėms medžiagoms reikėtų dar ilgesnio atstumo. Smeigės dėvėjimosi tyrimas gali būti atliktas su standartiniu etaloniniu bandiniu, arba be jo. Kai naudojamas etaloninis bandinys, reikalingi du bandymai – vienas su tiriamuoju bandiniu, kitas su etaloniniu bandiniu. Po tiriamojo bandinio bandymo, etaloninis bandinys sukasi tą patį apsisukimų skaičių ir juda trajektorija, kuri yra šalia praeitos tiriamojo bandinio trajektorijos. Albany tyrimų centre naudotas etaloninis bandinys A514, sunkusis lydinys DPH 2,6 GPa (269 HB). Etaloninio bandinio dėvėjimasis patikslina nuokrypius dėl abrazyvinio audinio netikslumų [3].

Patikslinta bandinio prarasta masė skaičiuojama pagal formulę:

$$WF = \frac{V_x}{V_r}, \quad (1.1)$$

V_x – prarastas tiriamojo bandinio medžiagos tūris;

V_r – prarastas etaloninio bandinio tūris.

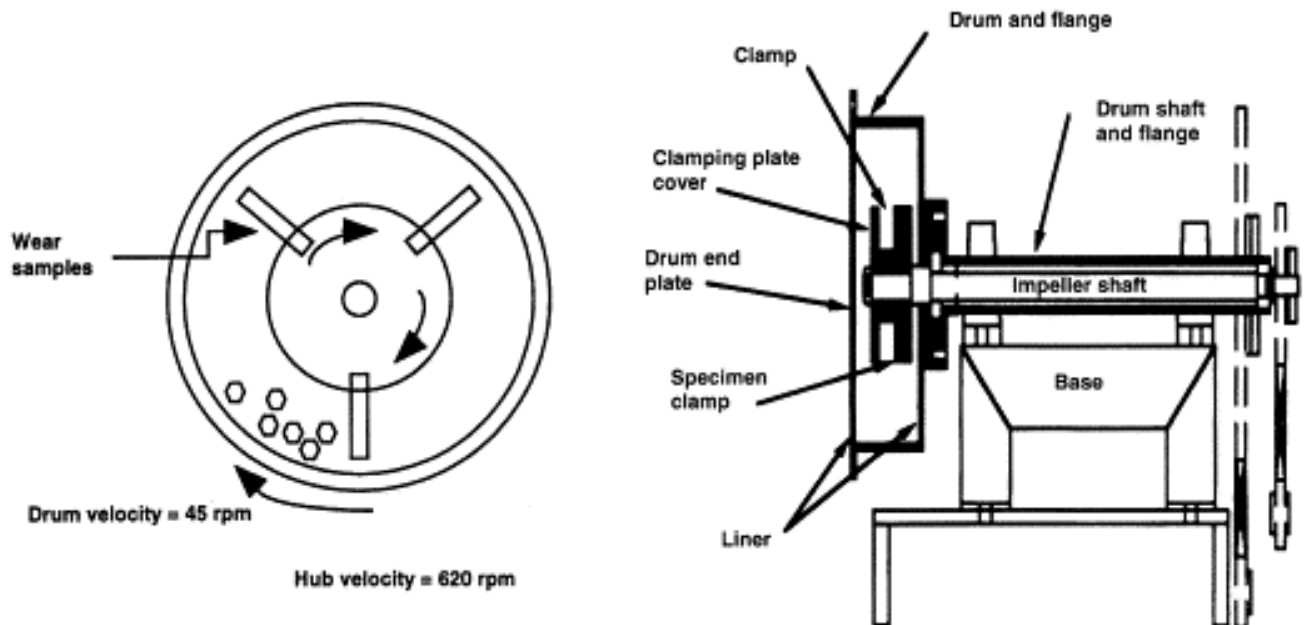
(POD) bandymo rezultatų variacija sudaro mažiau nei 5 % homogeniniams metalams ir lydiniams, o kai kuriais atvejais mažiau nei 1%. Sunkiesiems metalams tarp 5–7 %, atsižvelgiant į armavimo būdą ir įtempimus tarp matricos ir armavimo.

1.2.3. Smūginio rotoriaus – vartytuvo abrazyvinio dėvėjimosi tyrimas

Bandymui naudojama mašina – smūginis smulkintuvas, kuriame buvo smulkinama 1,6 kg rūdų sparčiai besisukančių menčių smūgiais, pagamintų iš standartinio plieno (AISI 4325, kietumas 5,2 GPa (500 HB)). Menčių dėvėjimasis matuojamas sveriant [1].

Smūginio rotoriaus – vartytuvo abrazyvinio dėvėjimosi tyrimo įranga ir bandiniai. Smūginio rotoriaus – vartytuvo abrazyvinio dėvėjimosi tyrimo stendo schema pavaizduota (1.3 pav.). Smūginis rotorius - vartytuvas susideda iš viduje būgno besisukančio rotoriaus. Centrinis rotorius laiko mentės, kurios smūgiuoja rūdų daleles. Rotorius ir rūda yra uždareme, lėtai besisukančiame, platesniame būgne. Būgnas ir rotorius sukasi į tą pačią pusę, todėl būgnas, kuris yra padengtas guma (kad sumažintų triukšmą ir pagerintų trintį tarp būgno ir rūdų) sukasi lėtai, pakeldamas rūdą, kol tai dar neįveikia trinties jėgos guminio išlyginimo ir krenta ant sparčiai besisukančių rotoriaus menčių. Albany tyrimo įrenginys kaip bandinius naudoja trijų rūšių

metalų mentes, vietoj vieno bandinio, naudojamo Bondo tyrimuose. Šių menčių matmenys 75 x 25 x 12,5 mm. Bandymo metu, mentės sukasi 620 aps/min. greičiu (greitis mentės gale ≈ 6 m/s) ir smūgiuoja kietus abrazyvo gabalus, t. y. kvarcą, granitą ar klintis. Šie smūgiai sukelia menčių paviršių dėvėjimąsi. Duomenys apie dėvėjimąsi gaunami pasvėrus tris bandinius, t. y. mentes prieš ir po tyrimo.



1.3 pav. Smūginio rotoriaus – vartytuvo abrazyvinio dėvėjimosi tyrimo stendo schema

Smūginio rotoriaus – vartytuvo abrazyvinio dėvėjimosi tyrimo procedūra. Tyrimo procedūra prasideda rūdos dalelių kalibravimu intervale nuo -25 mm iki +19 mm. Po šio žingsnio, apskaičiuojama, kiek dalelių sudaro 600 g rūdos. Paprastai 600 g silicio kvarco rūdos sudaro nuo 38 iki 44 dalelių. Šis turinys patalpinamas rotoriuje ir uždaromas. Tuščias maišas pritvirtinamas po loveliu, kuriuo nepagautos skeveldros išleidžiamos iš būgno per išmetimo sistemą. Tarp būgno ir dangos yra tarpas, kuriuo rūdos skeveldros gali palikti būgną. Tada būgnas ir rotorius paleidžiami. Tai pradžia vieno iš dviejų vienos valandos trukmės bandymų. Pirmajam 15 minučių intervalui rotoriaus greitis nustatomas 620 ± 5 aps/min. Kai baigiasi pirmojo intervalo trukmė, bandymas stabdomas, būgnas atidengiamas ir rūda išvaloma. Naujas 600 g turinys pakraunamas į būgną antrajam 15 min. intervalui ir procedūra kartojama. Tas pats padaroma dar du kartus, kad bendras bandymų intervalų laikas prilygtų vienai valandai. 2,4 kg rūdos pereina per sistemą. Po keturių 15 min. trukmės bandymų bandiniai yra išimami, nuvalomi ir išdžiovinami sausu, karštu oru. Tada jie pasveriami ir nustatomas prarastas svoris. Bandiniai apskaitami, pritvirtinami kitu galu rotoriuje ir vėl kartojama ta pati, keturių 15 min. trukmės bandymų procedūra. Dviejų bandymo serijų rezultatai yra palyginami, apskaičiuojamas vidurkis,

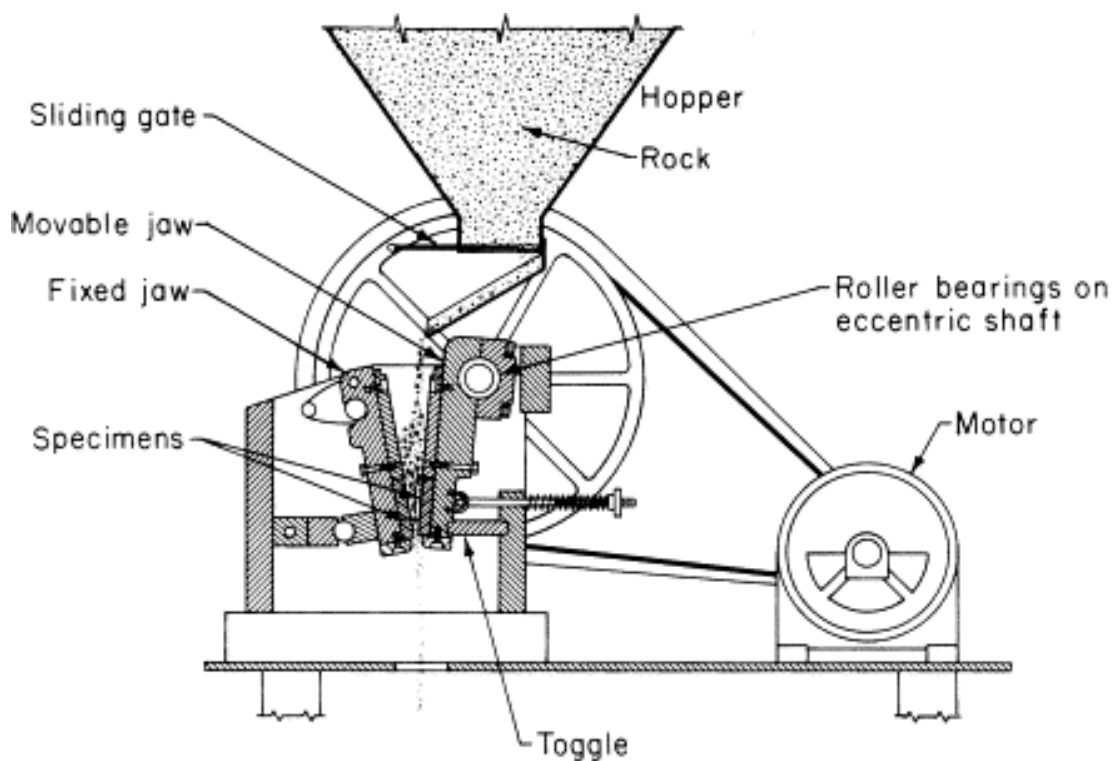
taip pat standartinis deviacijos nuokrypis. Šiuos bandymus gana lengva atlikti. Bandymų vidutinė trukmė - apie tris valandas [4].

1.2.4. Žiauninio trupintuvo (angl. jaw crusher) abrazyvinio dėvėjimosi tyrimas

Skaptuojamasis dėvėjimasis yra toks dėvėjimasis, kurio procese panaikinamas žymus medžiagos kiekis nuo dėvėjimosi objekto po susidūrimo su abrazyvo objektu, kuris patiria pažeidimus. Tai yra didelių apkrovų dėvėjimosi tipas. Žiauninio trupintuvo bandymų tyrimas yra didelių apkrovų, trijų kūnų dėvėjimosi tyrimas. Žiauninio trupintuvo bandymų pradininkai - Borik ir Sponceler. Žiaunos, kurios trupina rūdą, yra tyrimo bandiniai. Kai kurie mokslininkai mano, kad tyrimas žiauniniu trupintuvu teikia artimiausią dėvėjimosi koreliaciją, su žemės kasimo mašinų komponentais: ekskavatorių dantimis, kaušais, greiderių ašmenimis [1].

Albany tyrimų centre žiauninio trupintuvo bandymų įranga ir bandiniai yra gerokai mažesni negu tie, kurie aprašomi literatūroje. Mažesni matmenys duoda didesnę ekonominių uolienu sunaikinimą ir mažesnius bandinių matmenis. Šių bandymų reikšmės palyginamos su tipinėmis reikšmėmis, naudotomis ankstesniuose tyrimuose – sunaikinta uoliena, 91 kg / 910 kg; bandinio matmenys 75 x 25 x 12,5 mm / 150 x 70 x 20 mm; bandinio svėrimo tikslumas - $\pm 1mg / \pm 100mg$.

Žiauninio trupintuvo tyrimo įranga ir bandiniai. Pora tiriamos medžiagos dėvėjimosi plokščių ir pora etaloninės medžiagos dėvėjimosi plokščių buvo sumontuotos į žiauninį trupintuvą. Viena bandinio plokštė ir viena etaloninė plokštė įtvirtinamos stacionariose žiaunose, o kitos bandinio ir etaloninė plokštės įtvirtinamos judamose žiaunose, tiriamoji plokštė ir etaloninė plokštė sumontuotos viena priešais kitą. Uolienos bunkeris ir lovelis yra virš žiauninio trupintuvo. Žiauninio trupintuvo schema pavaizduota 1.4 pav. Žiauninis trupintuvas sukasi 260 cikl/min. greičiu [4].



1.4 pav. Žiauninio trupintuvo abrazyvinio dėvėjimosi tyrimo stendo schema

Žiauninis trupintuvas buvo sukonstruotas iš paprasto laboratorinio trupintuvo. Žiaunoms prasivėrus, buvęs 75 mm pločio tarpas buvo sumažintas iki 50 mm, todėl numatomas bandinio plotis 25 mm. Buvo įmontuotas platesnio skersmens ekscentrinis velenas. Naujos žiaunos bandiniams suimti buvo pagamintos su žiaunų tarpo reguliatoriumi. Originalus 1,1 kW variklis buvo pakeistas į 3,7 kW variklį. Tiriamos ir etaloninės plokštės buvo nusmailintos 15° kiekviename gale, kad suspaustų jas žiaunose. Visų bandinių paviršiai buvo apdirbti šlifavimo staklėmis. Mažų bandinių matmenų pranašumas yra tas, kad jie gali būti paruošiami iš bandinių, jau bandytų tiriant DSRW abrazyvinį dėvėjimąsi iš naujo juos nušlifavus.

Bandymai duoda prarastos masės ir tūrio vidurkį tiriamų plokščių, viena iš kurių įmontuota stacionarioje ir judamoje žiaunoje bandymų mašinoje. Žiauninio smulkintuvo duomenys yra pristatomi kaip proporcija bandinio prarastos masės su etalono medžiagos prarasta mase [4].

Žiauninio trupintuvo tyrimo procedūra. Keturios dėvėjimosi tyrimo plokštės yra nuvalomos ir pasveriamos ($\pm 0,1\text{mg}$), tada priveržiamos prie žiaunų (vienas bandinių rinkinys, A ir B, nejudamose žiaunose ir kitas bandinių rinkinys, B ir A, judamose žiaunose). Viena bandinio plokštelė nejudamoje žiaunoje (A) stovi priešais kitą bandinio (B) plokštelę judamoje žiaunoje. Minimalus žiaunų atsidarymas $\approx 3,2$ mm ir 11,35 kg silicio kvarco perdirbami žiauniniu trupintuvu. Po to bandiniai išimami ir nuvalomi šepečiu. Tada patalpinami į ultragarsiniam valymui muiliname vandenyje papildomoms 10 min., kad būtų pašalintos bet kokios

mikroskopinės dėvėjimosi ar sutrintos rūdos daleles. Bandiniai dar skalaujami etanolyje ir tada išdžiovinami karštu oru. Nustatomas kiekvienos iš keturių bandinių plokštelių prarastas svoris. Bandiniai tada apverčiami žiaunose, t. y. plokštelė iš A pozicijos stacionarioje žiaunoje dabar įtvirtinama A pozicijoje judamoje žiaunoje, o kita, judamoje žiaunoje, perkeliama į stacionarią žiauną, viena priešais kitą. Žiaunos įtvirtinamos smulkintuve, nustatomas tarpas 3,2 mm ir pradedamas antras bandymas (t. y. kitas 11,35 kg rūdos kiekis paleidžiamas perdirbti). Bandiniai vėl išimami, kruopščiai nuvalomi, nusausinami ir pasveriami. Tyrimo metu apskaičiuojamas tos pačios medžiagos prarasto svorio vidurkis kiekvienai iš dviejų plokštelių. Ši reikšmė paverčiama į prarastą tūrį, dalinant prarastą svorį iš medžiagos tankio reikšmės.

Kitas žiauninio smulkintuvo bandymų etapas buvo klinčių ir granito smulkinimas. Šiais atvejais viso 45,4 kg uolienos buvo perleista dvejomis partijomis po 22,7 kg (reikėjo didesnio svorio, kadangi kvarcas abrazyviškesnis). Dėvėjimosi rezultatai buvo užregistruoti: medžiagos tūrio praradimas, praėjus kilogramui rūdos. Šiuo atveju, medžiagos dalelių atsparumas kalimui – dilimui gali būti įvertinamas pagal gruntų įvairovę [4].

1.2.5. Rezultatai ir jų aptarimas

(*DSRW*). Dauguma geležinių medžiagų bandomos apkraunant 130 N apkrova, 2000 guminio rato apsisukimų (procedūra B), tūrio praradimas nuo 20 iki 120 mm³. Tiksliausi bandymai, kai prarastas tūris nuo 20 iki 100 mm³.

Kai prarandama mažiau nei 20 mm³ medžiagos, bet koks medžiagos nevienarūšiškumas labai padidina paklaidą, taigi, kad bandymai būtų tikslesni, reikia arba ilgesnės slydimo distancijos arba didesnės apkrovos. Kai prarandama daugiau kaip 100 mm³ medžiagos, susidėvėjimas toks didelis, kad gali įvykti kontaktas su guminio rato kraštu ir sukelti rezultatų netikslumus.

DSRW bandymai naudojami tik įvairioms medžiagoms vertinti, o ne absoliučioms dėvėjimosi reikšmėms nustatyti. Pavyzdžiui, medžiaga, kuri dėvisi perpus mažiau, nei kita medžiaga bandymo metu, tikriausiai nebus dukart stipresnė realiomis darbo sąlygomis, kadangi bandymai turi tendenciją padidinti skirtumus. Dėvėjimosi duomenys pateikti 1.2 lentelėje.

1.2 lentelė. DSRW abrazyvinio dėvėjimosi tyrimo duomenys

Lydinys	Kietumas (HB)	Prarastas tūris (mm ³)	
		Procedūra A	Procedūra B
Nerūdijantis plienas, 304	153	408,0	170,8
Legiruotas plienas, ASTM A 514	269	-	134,1
Legiruotas plienas, AISI 4340	515	-	74,0
Įrankinis plienas, D2	608	45,3	14,6
Baltasis ketus	698	31,5	12,7
Anglinis plienas, AISI 1060	716	-	32,1

DSRW tyrimo trūkumas yra tas, kad kontakto plotas keičia tyrimo eigą. Tai yra, kai dylant padidėja prarandamas medžiagos tūris, paviršiaus kontakto plotas tarp guminio rato ir DSRW bandinių padidėja. Taigi, vykstant bandymui, efektyvus kontakto plotas nuolat didėja. Dėl šių aplinkybių negalima tiesiogiai palyginti prarasto bandinių svorio, ypač tais atvejais, kur prarastas bandinio svoris didesnis negu 20 mm³ [1].

Smeigė ant būgno. Papildant medžiagų vertinimą, (POD) abrazyvinio dėvėjimosi tyrimas yra labai efektyvus tūrio dėvėjimosi ir plačiam metalų, lydinių, kompozitų, keramikų ir polimerų dėvėjimosi mechanizmų rangui. Tyrimo metu paviršiaus plotas išlieka pastovus, todėl gali būti tiesiogiai palyginamos skirtingos medžiagos. (POD) tyrimo rezultatai pateikiami 1.3 lentelėje.

1.3 lentelė. POD abrazyvinio dėvėjimosi tyrimo duomenys

Lydinys	Kietumas (HB)	Abrazyvinis dėvėjimasis	
		Koeficientas WF	(mm ³ /m)
Nerūdijantis plienas, 304	153	0,73	0,86
Legiruotas plienas, ASTM A 514	269	0,98	1,11
Legiruotas plienas, AISI 4340	515	0,73	0,95
Įrankinis plienas, D2	608	0,42	0,49
Baltasis ketus	698	0,27	0,31
Anglinis plienas, AISI 1060	716	0,50	0,56

Smūginis rotorius – vartytuvas. Smūginio rotoriaus – vartytuvo dėvėjimosi rezultatai pateikiami (1.4 lentelėje). Tiriant Metalinius lydinius tūrio praradimas mažėja, kai didėja lydinių kietumas.

1.4 lentelė. Smūginio rotoriaus - vartytuvo abrazyvinio dėvėjimosi tyrimo duomenys

Lydinys	Kietumas (HB)	Prarastas tūris (mm ³ /h)
Nerūdijantis plienas, 304	153	104,7
Legiruotas plienas, ASTM A 514	269	94,7
Legiruotas plienas, AISI 4340	515	89,7
Įrankinis plienas, D2	608	69,5
Baltasis ketus	698	67,1
Anglinis plienas, AISI 1060	716	63,9

Yra įdomu tai, kad tiriant smūginio rotoriaus – vartytuvo dėvėjimąsi, vertinamos medžiagos pagal jų kietumą, nors dėvėjimosi greičio pokytis yra mažas dideliems lydinių kietumo pokyčiams. Negalima interpretuoti, kad taip būna visais atvejais, o didelis dėvėjimosi duomenų sklaidos mastas yra tipiškas šiems bandymams. Kai nagrinėjami baltasis ketus ar kitų tipų metaliniai lydiniai ir kompozitai, koreliacija tarp kietumo ir dėvėjimosi koeficiento tampa mažiau aiški [1].

Žiauninis trupintuvas. Žiauninio trupintuvo dėvėjimosi tyrimų rezultatai pateikti (medžiagoms parinkti naudojant silicio kvarcą 1.5 lentelėje) ir (medžiagų dėvėjimosi palyginimas, naudojant skirtingas rūdas 1.6 lentelėje).

1.5 lentelė. Žiauninio trupintuvo abrazyvinio dėvėjimosi tyrimo duomenys naudojant kvarcیتą

Lydinys	Kietumas (HB)	Prarastas tūris (mm ³ /kg)
Nerūdijantis plienas, 304	160	27,7 ± 4,9
Austensitinis plienas, 13% Mn	207	13,2 ± 2,1
Legiruotas plienas, ASTM A 514	251	23,9 ± 3,3
Legiruotas plienas, AISI 4340	515	13,8 ± 1,4
Įrankinis plienas, D2	657	15,9 ± 2,5
Baltasis ketus	753	15,5 ± 2,2

1.6 lentelė. Žiauninio trupintuvo abrazyvinio dėvėjimosi tyrimo duomenys naudojant skirtingus gruntus

Lydinys	Prarastas tūris (mm ³ /kg)		
	Kvarcas	Klintys	Granitas
Nerūdijantis plienas, 304	27,7 ± 4,9	6,3 ± 0,1	6,3 ± 1,0
Legiruotas plienas, ASTM A 514	23,9 ± 3,3	6,1 ± 1,0	6,9 ± 0,5
Legiruotas plienas, REM 500	11,3 ± 1,5	1,2 ± 0,0	0,8 ± 0,0
Legiruotas plienas, AISI 4340	13,8 ± 1,4	1,5 ± 0,2	0,9 ± 0,1

Nėra aiškios tendencijos tūrio praradimo su medžiagos kietumu, kas buvo kitais abrazyvinio dėvėjimosi bandymų atvejais. Bendrai, kai medžiagos kietumas didėja, dėvėjimosi greitis turi tendenciją mažėti. Tačiau, jei tiriamos medžiagos trapi antroji fazė kaip D2 įrankinio plieno ir baltojo ketaus, dėvėjimosi greitis auga santykinai medžiagų kurios buvo vienodos būklės, kaip sukietintas AISI 4340 plienas. Kitas lydinys, kuris turi labai gerą kalamąjį dėvėjimosi atsparumą yra 13% Mn plienas, kuris turi mažesnę tūrio praradimą nei medžiagos tiriamos šiame darbe [1].

Žiauninio trupintuvo rezultatai naudojant skirtingas rūdas 1.6 lent. Matomas didelis dėvėjimosi skirtumas tarp kvarco ir klinčių - granito medžiagų.

1.2.6. Dėvėjimosi duomenų koreliacija

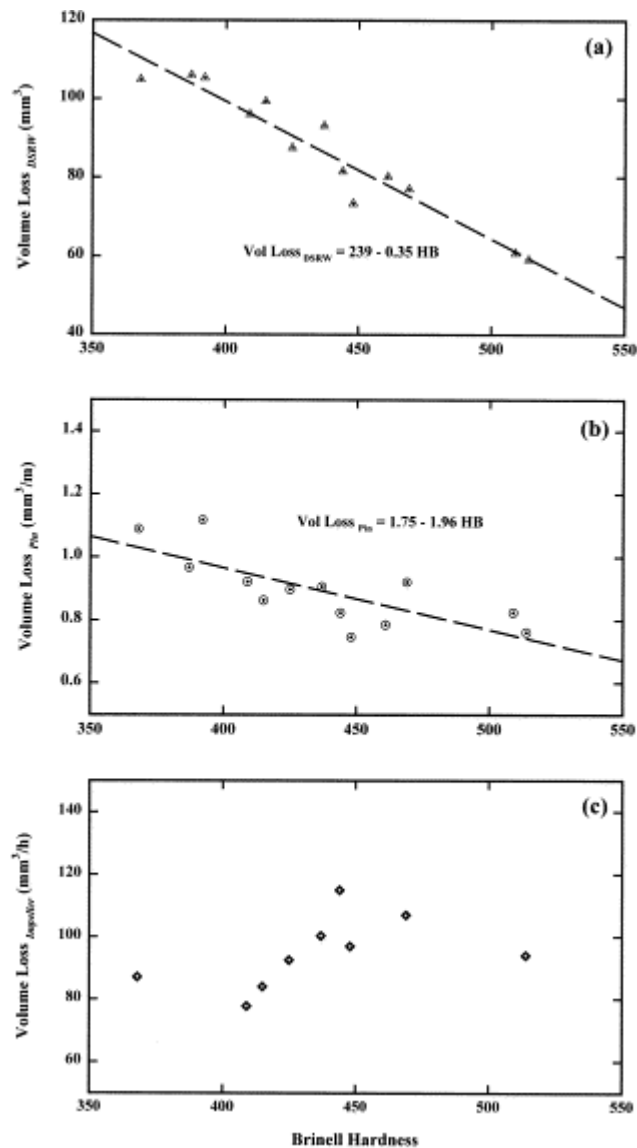
Metalinių lydinių ir kompozitų medžiagos buvo tiriamas laboratorijoje, kad palyginti jų dėvėjimąsi, naudojant DSRW, POD, rotorius – vartytuvo ir žiauninio smulkintuvo dėvėjimosi tyrimo įrengimus.

Šios medžiagos skirstomos į penkias grupes: austenitinių plienų, martensitinių plienų ir baltojo ketaus, įrankinių plienų, AISI 4340 – tipo plienų, TiC sustiprintų, armuotų metalinių kompozitų. Buvo palygintas kiekvienos medžiagos kietumas pagal Brinelį.

Trys grafikai 1.5 pav. vaizduoja komercijoje gaunamų plienų dėvėjimosi atsparumą. Jų sudėtis nėra svarbi, tačiau jų visų kietumas yra tarp 3,8 ir 5,4 GPa (360 ir 520 HB). Grafikas (a) - medžiagos tūrio praradimas, tiriant DSRW abrazyvinio dilimo metodu; grafikas (b) - medžiagos tūrio praradimas, medžiagai slystant vieną metrą abrazyviniu popieriumi, taikant smeigės ant būgno abrazyvinio dilimo metodą. Abejais atvejais medžiagos praradimas mažėja, didėjant medžiagos kietumui. Kaip rodo grafikai, - ar DSRW, ar POD tyrimų metodas bus taikomas, abu jie tinkami medžiagų parinkimui [1].

Grafikas rodo visai kas kitą 1.5 pav.(c), kai keičiasi dėvėjimosi aplinka, smūginis trinties metodas, t. y. smūginis rotorius – vartytuvas. Šios grupės lydiniams, smūginė trintis nekoreliuoja su kietumu, faktiškai, jei kokia nors tendencija ir egzistuoja, tai su dėvėjimosi greičio didėjimu, didėja kietumas. Todėl, parenkant medžiagas, reikia būtina gerai apsispręsti kokį naudoti abrazyvinio dilimo tyrimo metodą konkrečiai dėvėjimosi aplinkai.

Trys grafikai (kiekvienam laboratoriniam tyrimui) 1.6 pav. rodo kaip keičiasi plataus diapozono medžiagų tūrio praradimas priklausomai nuo kietumo, pagal Brinelį. Buvo tiriamos medžiagos iš austenitinių plienų, miltelinės metalurgijos įrankinių plienų, TiC armuotų sustiprintų kompozitų ir įvairių kitų plienų bei ketaus lydinių.

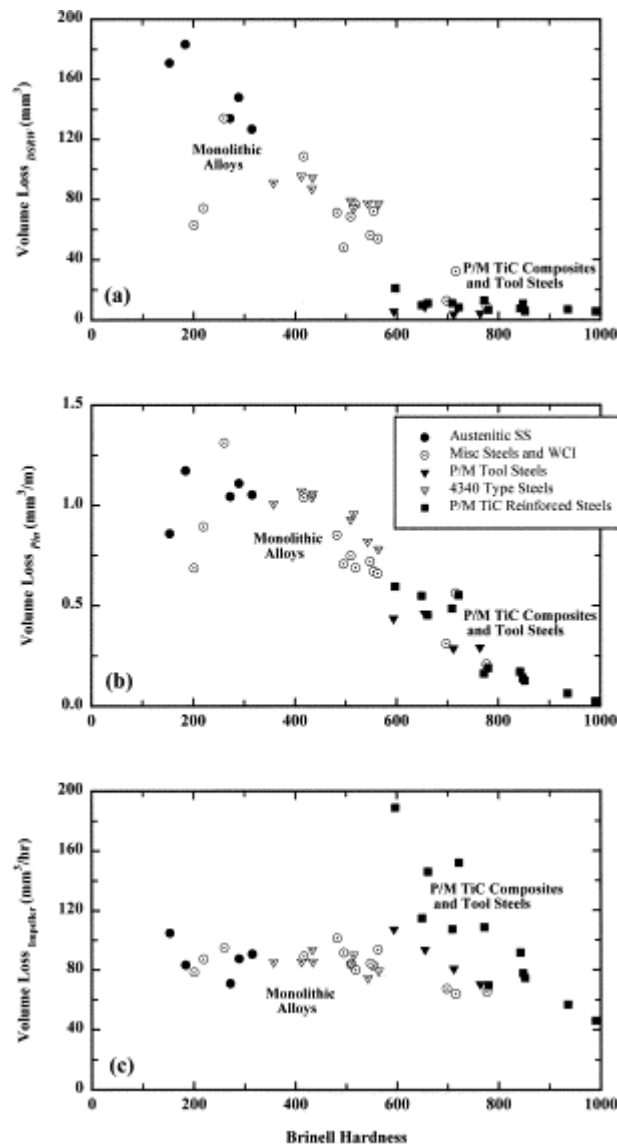


1.5 pav. Prarasto medžiagos tūrio ir medžiagos kietumo pagal Brinelį (HB) serijai martensitinių lydinių santykis: (a) DSRW tyrime; (b) POD tyrime; (c) smūginio rotoriaus – vartytuvo tyrime

Grafike 1.6 pav.(a) pastebime, kad medžiagos tūrio praradimo tendencija, keičiantis medžiagos kietumui, tokia pati kaip ir plieno 1.5 pav.(a), išskyrus P/M įrankinių plienų ir TiC sustiprintų armuotų kompozitų charakteristikas. Šios medžiagos turi skirtingą reakciją į braižomąją trintį, t. y. sunkieji karbidai yra labai efektyvūs tūrio dėvėjimuisi sumažinti. Kaip matome grafike, reikšmių kreivės nuolydis yra labai nežymus. Rezultatai POD abrazyvinio dilimo tyrime yra labiau pastovūs 1.6 pav. (b), nematome ryškaus nuolydžio, koks buvo nustatytas DSRW tyrime. Bendrai kalbant, medžiagos tūris mažėja, didėjant lydinių ir kompozitų kietumui. Pagrindinis skirtumas tarp gautų duomenų yra tas, kad duomenys 1.6 pav., labiau išsisklaidę negu 1.5 pav. Tai atsitinka pirmiausiai dėl to, kad bandomi įvairūs lydiniai ir kompozitai, kurių daugelis sustiprinti sunkiaisiais karbidais. Tai ypač pastebima 1.6 pav. (a) DSRW tyrime, kur medžiagų kietumas buvo aukštesnis nei (>6,9 GPa ar 650 HB) vaizduoja

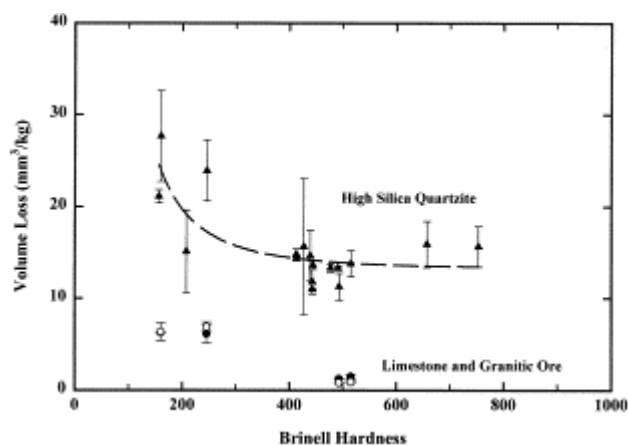
mažą medžiagos tūrio mažėjimo kitimą, esant dideliame medžiagos kietumui. POD gauti duomenys taip pat rodo tą pačią tendenciją, tačiau čia, esant dideliame medžiagos kietumui, medžiagos dėvėjimasis nėra toks nežymus kaip DSRW atveju. Tai atsitinka dėl to, kad POD tyrimas yra šlifavimo trinties tipo tyrimas ir abrazyvo dalelės gali suskilti ir atsipalaiduoti karbido gabaliukai. Viso šito neatsitinka DSRW tyrime [1].

Smūginio rotoriaus - vartytuvo abrazyvinio dilimo tyrimo rezultatai pavaizduoti 1.6 pav.(c). Šiuo atveju duomenys yra žymiai plačiau išsisklaidę negu dviejuose prieš tai aptartuose tyrimuose. Pastebima netaisyklinga dėvėjimosi reakcija, nepriklausomai nuo medžiagos kietumo. Visi duomenys išsidėstę vienos kreivės lauke, tačiau keletą tendencijų vis tiek būtų galima pastebėti. Pavyzdžiui, P/M medžiagų su armuotais sustiprintais karbidais duomenų išsibarstymas yra daug didesnis nei kitų austenitinių ir martensitinių plienų bei ketaus lydinių. Tai galima būtų paaiškinti tuo, kad karbidai yra mažiau efektyvus dėvėjimosi sumažinimui smūginėje ir abrazyvioje aplinkoje. Reikia pastebėti, kad pati mažiausia medžiagos tūrio susidėvėjimo reikšmė buvo užregistruota kaip tik medžiagai iš P/M plieno, tačiau taip pat ir didžiausia.



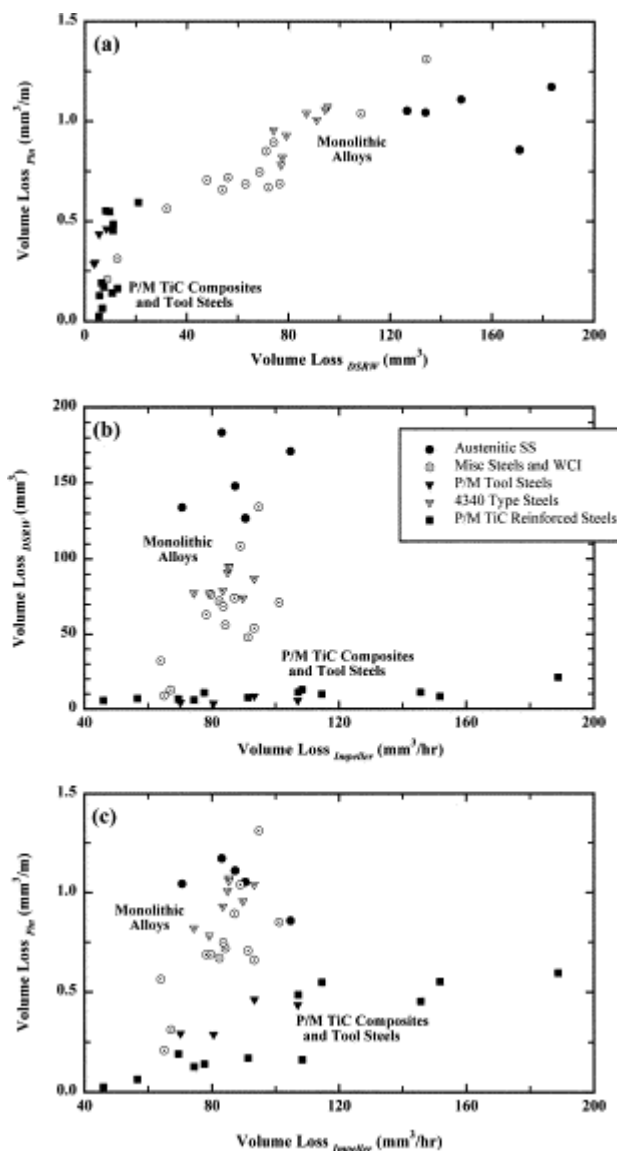
1.6 pav. Prarasto medžiagos tūrio ir medžiagos kietumo pagal Brinelį (HB) įvairių plienų, ketaus lydinių, įrankinių plienų ir kompozitų serijai santykis: (a) DSRW tyrime; (b) POD tyrime; (c) smūginio rotoriaus – vartytuvo tyrime

Medžiagos tūrio praradimo pokyčio nuo medžiagos kietumo pagal Brinelį grafikas žiauninio trupintuvo tyrimo metodu kaip abrazyvą naudojant silicio kvarcą pavaizduotas 1.7 pav. Pagal duomenis pastebime, kad pagrindinė tendencija - tūris mažėja, kai kietumas didėja ir žemos kietumo reikšmės (150–250 HB), ne daugiau 250 HB. Medžiagos tūrio susidėvėjimo padidėjimas pastebimas D2 įrankiniams plienams ir Cr WCI, tikriausiai dėl karbido dalelių sutrupėjimo tyrimo metu. Ta pati tendencija pastebima ir ribotam bandinių skaičiui tyrimuose, naudojant vietoj silicio kvarco klintis ir granitą [1].



1.7 pav. Prarasto medžiagos tūrio ir medžiagos kietumo pagal Brinelį (HB) įvairių plienų ir ketaus lydinių santykis

Koreliaciją tarp skirtingų laboratorinių dėvėjimosi tyrimų (nėra žiauninio trupintuvo) vaizduoja 1.7 pav. 1.8 pav. (a) grafikas vaizduoja medžiagos tūrio susidėvėjimo santykį tarp POD ir DSRW tyrimo duomenų. Nors santykis tarp dviejų dėvėjimosi tyrimų akivaizdus, yra ir skirtumų, žiūrint į karbidais sustiprintas medžiagas, o ne į vienarūšes. 1.7 pav. (b) pavaizduotas smūginio rotoriaus – trupintuvo tyrimo ir DSRW tyrimo koreliacijos grafikas, o 1.7 pav. (c) smūginio rotoriaus trupintuvo ir POD tyrimo koreliacijos grafikas. Abejais atvejais P/M įrankiniai plienai išsiskiria netaisyklinga elgsena iš kitų duomenų kontrasto. Taip pat galima būtų pastebėti, kad martensitinių ir austenitinių plienų duomenys turi vieną panašią tendenciją, o Cr WCI ir P/M medžiagos turi visai kitą, tačiau joms abejiems panašią tendenciją. Santykinis medžiagos tūrio praradimo pasikeitimas POD ir DSRW tyrimų atvejais yra labai kuklus, palyginti su smūginiu dėvėjimosi tyrimu. Kitu atveju Cr WCI ir P/M lydinių ir kompozitų pasikeitimas yra tikėtinas. Šiuo atveju maži pasikeitimai abrazyviniame procese gali atitikti labai didelius pasikeitimus smūginiame trinties procese. Todėl P/M medžiagos neturėtų būti naudojamos smūginėje aplinkoje be kruopštaus tyrimo, siekiant įsitikinti, ar karbidai lieka nepažeisti [1].



1.8 pav. Medžiagos dėvėjimosi koreliacijos grafikai: (a) POD su DSRW; (b) DSRW su ID; (c) POD su ID

Laboratorinių tyrimų rinkinys buvo aprašytas siekiant ištirti geležinių lydinių ir kompozitų savybes. Šie laboratoriniai tyrimai imituoja įvairias trinties formas: abrazyvinę; smūginę abrazyvinę; kalimo abrazyvinę trintį ir siūlo patikimą ir greitą kelią medžiagų dėvėjimosi savybėms nustatyti. Medžiagų reakcijų tendencijos šioms aplinkoms gali taip pat skirtis. Naudojant šiuos arba kitus laboratorinius abrazyvinio dilimo tyrimus, klasifikacija „reali“ tribologinė aplinka turi būti kruopščiai įvertinta, kad būtų galima matyti, kuriuo veiksmu varijuoti. Tai padės racionaliai pasirinkti laboratorinį tyrimą, kuris labiausiai atitiks tiriamos medžiagos „realią“ dėvėjimosi aplinką.

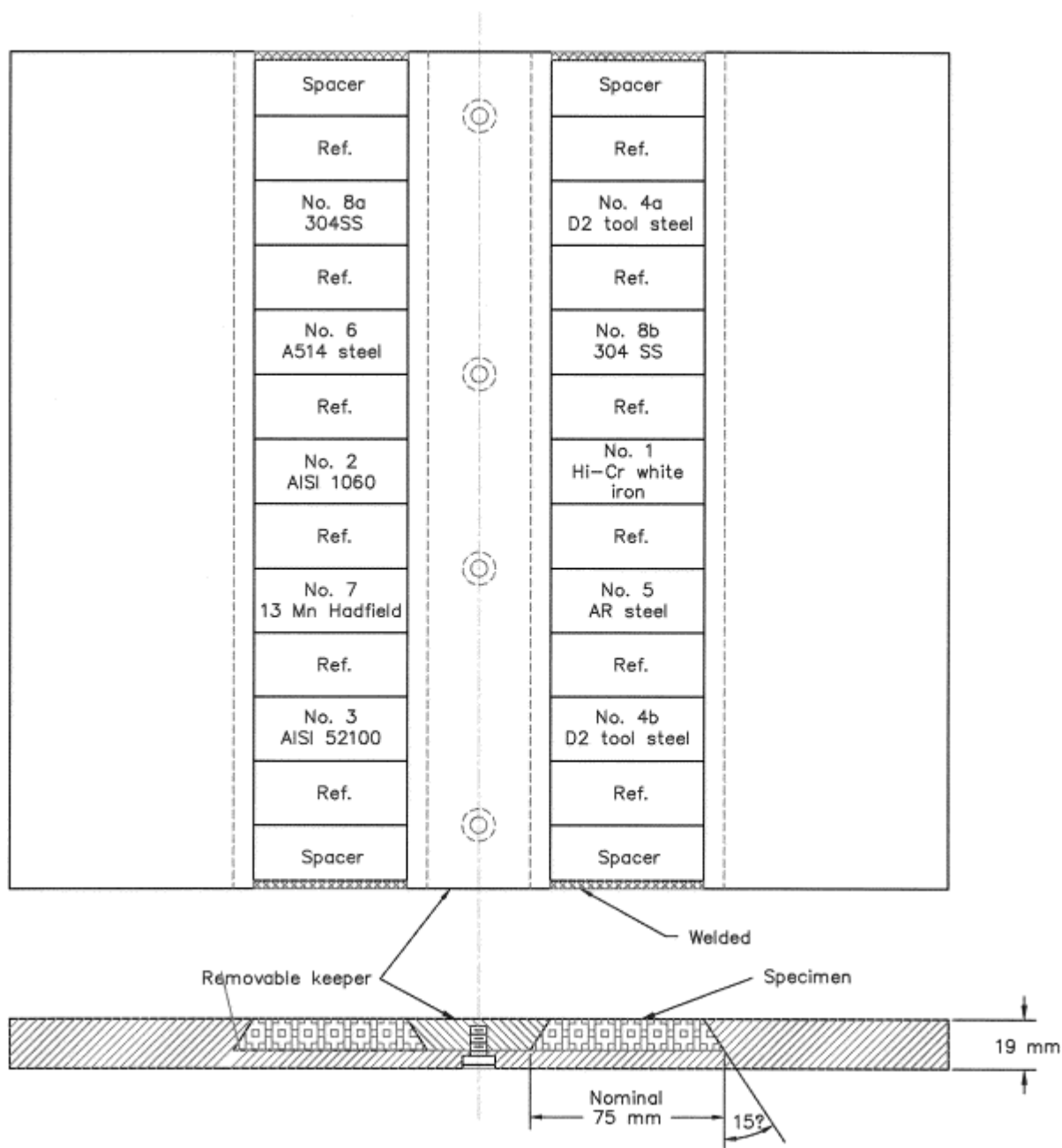
Galima pastebėti, kad duomenų sklaidos laukas gana didelis, funkcinio santykio tarp atskirų dėvėjimosi tyrimų nėra.

1.3. LABORATORINIŲ IR PRAKTINIŲ ABRAZYVINIO DĖVĖJIMOSI TYRIMŲ PALYGINIMAS

Vykstant kovai su dėvėjimusi, laboratoriniai tyrimai yra vienas iš įrankių įvertinti dėvėjimosi procesą, kitas, sudėtingesnis įrankis – praktinis dėvėjimosi tyrimas. Buvo tiriama keturi skirtingi laboratoriniai abrazyvinio dėvėjimosi tyrimai (POD, DSRW, žiauninio trupintuvo, ir smūginio rotoriaus vartytuvo) ir gauti rezultatai palyginami su praktiniais dėvėjimosi tyrimais, gautais Albany tyrimų centre [5].

Daugelis laboratorinių dėvėjimosi tyrimų buvo tobulinama, kad įvertinti ir modeliuoti dėvėjimosi procesą, aplinką ir sąlygas. Šių tyrimų panaudojimo problema yra ta, kad jie turi tendenciją tiksliai ir pilnai neatitikti realių modeliujamų sąlygų. Nepasitikėjimas laboratoriniais tyrimais ir veda prie praktinių dėvėjimosi tyrimų, atliekamų realiose darbo sąlygose. Blogai suplanuotas praktinis dėvėjimosi tyrimas gali sukelti dideles laiko sąnaudas, tačiau gerai suplanuotas jis gali būti vertingų duomenų šaltiniu.

Praktiniai dėvėjimosi tyrimai yra brangūs, reikalaujantys didelių laiko sąnaudų ir sunkiai kontroliuojami. Temperatūra, drėgmė, greitis, abrazyvinių dalelių matmenys ir tipas, grunto tipas ir kt. gali įtakoti abrazyvinį dėvėjimąsi ir apriboti analitinę konkrečių praktinių dėvėjimosi tyrimų vertę. Nepaisant šių kliūčių, praktiniai dėvėjimosi tyrimai įneša vertingą dalį dėvėjimosi tyrimuose. Laboratoriniai dėvėjimosi tyrimai turi pranašumą prieš praktinius dėvėjimosi tyrimus laiko ir išlaidų atžvilgiu, tačiau visada yra rizika, kad gauti duomenys pakankamai gerai nekoreliuos su medžiagos darbu realiose sąlygose. Jei dėvėjimosi įranga, naudojama laboratoriniame dėvėjimosi tyrime, nekopijuos praktinio dėvėjimosi sąlygų, tai gauti duomenys bus beverčiai. Statistinių koreliacijų tarp praktinių ir laboratorinių dėvėjimosi tyrimų duomenų įvertinimas turi svarbią įtaką ateities dėvėjimosi programų sudarymui. Praktiniam dėvėjimosi tyrimui buvo panaudota plokštelė, kurioje įtvirtinti bandiniai „planar array field wear tests (PAFWT)“ 1.9 pav. Laboratoriniai dėvėjimosi tyrimai buvo šie: DSRW; POD; JC; IW [5].



1.9 pav. Schemiškai išdėstyto praktinio dėvėjimosi tyrimo bandinių plokštelė

1.3.1. Schemiškai išdėstyto praktinio dėvėjimosi tyrimo (PAFWT) plokštelė

Dėvėjimosi tyrimo bandinių plokštelė pavaizduota 1.9 pav. Plieninėje plokštelėje, kurios matmenys 280 x 330 x 20 mm, su dviem sujungtais grioveliais bandiniams įtvirtinti. PAFWT plokštelė pakeičia kietą metalinę apsauginę plytą grunto pervežimo sistemoje ir leidžia įvairių matmenų uolienai, ar gruntui slysti plokštele ar kaip kitaip ją veikti įvairiais greičiais, kampais ir apkrovos lygiais.

Tiriami bandiniai yra įstatomi į griovelius, prieš tai nušlifuojami. Kiekvieno bandinio susidėvėjimo gylis buvo nustatytas pagal prarastą svorį, tankį ir susidėvėjimo plotą. Po bandymo,

bandiniai buvo nuriebalinti, nuvalyti šepetėliu, nuvalyti ultragarsu muiliname vandenyje, nuplauti vandeniui, skalauti alkoholyje ir nusausinti karšto oro džiovintuvu. PAFWT tyrimams buvo naudojami bandiniai, kurių matmenys 25 x 75 x 12 mm, dėvėjimosi paviršiaus plotas 25 x 75 mm, kuriuo slysta gruntas ar uolienos. Tiriami bandiniai į PAFWT plokštę buvo įtvirtinti atsitiktine tvarka [6].

1.3.2. Praktiniai dėvėjimosi tyrimai

Pirma PAFWT plokštė buvo paleista Asarco Troy kasykloje, Montanoje. Tai aukso/sidabro kasykla kur kasamas gruntas, - silicio skalūnas. Bandinio plokštė buvo sumontuota 52 dienoms, per kurias buvo iškasta 225,000 tonų grunto, kurio slydimo greitis plokštės paviršiumi buvo apie 1 m/s. Grunto dalelių matmenys nuo 50 iki 100 mm.

Antroji PAFWT plokštė buvo sumontuota Vulkaninių medžiagų kasykloje, Helenoje. Šiuo atveju, buvo parinktas klinčių karjeras, kadangi mažiau abrazyvi aplinka turėtų duoti skirtingus dėvėjimosi duomenis negu Asarco Troy kasykloje. Ši plokštė buvo paleista 274 dienų periodui, per kurį buvo iškasta 200,000 tonų grunto bandinių paviršiumi. Rūdų slydimo greitis apie 3 m/s. Gruntas buvo sausas, grunto dalelių matmenys nuo 20 iki 30 mm [6].

1.3.3. Laboratoriniai dėvėjimosi tyrimai

Buvo taikomi keturi laboratoriniai dėvėjimosi tyrimai, kad sulyginti abrazyvinio dėvėjimosi duomenis. Buvo surinkta informacija, kad matyti ar turi praktiniai tyrimai tas pačias tendencijas, kurias turi laboratoriniai dėvėjimosi tyrimai.

Pirmasis buvo atliktas POD tyrimas, kuris aprašytas ankstesniuose skyriuose. Tiriama 6,35 mm besisukanti bandinio smeigė, spaudžiama prie 500 mm skersmens būgno 66,7 N apkrova. Būgnas dengtas abrazyviniu audiniu (abrazyvo dalelių matmenys 100 μm). Bandymo trukmė parinkta 40 mg medžiagos svoriui prarasti. Prarastas svoris perskaičiuojamas į prarastą tūrį, per abrazyvo ilgio vienetą mm³/m [1].

Antrasis buvo atliktas DSRW dėvėjimosi tyrimas. Jis susideda iš guminio rato, kurio skersmuo 228 mm, storis 12,7 mm, sukasi 200 aps/min. Silicio smėlio abrazyvo dalelės, kurių matmenys 200–300 μm teka srove tarp guminio rato ir stačiakampio formos bandinio, 25x75x12 mm. Bandinys spaudžiamas prie guminio rato 130 N jėga. Tyrimas truko tol kol bandinys įveikė 1436 m distanciją. Detaliau tyrimas yra aprašytas ankstesniuose skyriuose. Dėvėjimasis matuojamas tūrio praradimu ilgio vienetui (mm³/m).

Trečiasis buvo atliktas žiauninio trupintuvo (JC) tyrimas. Manoma, kad JC tyrimai, pateikia geriausią dėvėjimosi koreliaciją, kuri apima žemės darbų įrangą, kaip ekskavatoriaus dantys, kaušai, greiderių ašmenys, kas atitinka žiauninio trupintuvo dėvėjimąsi .

Šiame tyrime naudojamas žiauninis trupintuvas buvo mažesnis nei aprašytas ankstesniuose skyriuose. Jame sumontuotos 50 mm pločio žiaunos. Įrenginys naudojo panašių matmenų ir panašios formos bandinius kaip ir DSRW tyrime.

Tyrimo eigoje buvo keičiamas grunto tipas, skirtingas jo kiekis ir rezultatai buvo pateikiami sekančiai: prarastas medžiagos tūris, praleidus grunto masės vienetą (mm^3/kg). Tyrime kaip gruntas buvo naudojamas silicio kvarcitas, kurio dalelių vidutinis skersmuo $\text{Ø}25,4$ mm (tyrime taip pat gali būti naudojami ir kiti gruntai: klintys, granitas ir kt.). Kiekviename žiauninio trupintuvo bandyme, tiriamos dvi medžiagos iš keturių dėvėjimosi plokštelių - dvi kiekvienam bandymui yra paleidžiamos. Bandyme vienas bandinys kiekvienos tiriamos medžiagos montuojamas ant judamos žiaunos ir vienas ant stacionarios žiaunos. Praleidus žiaunomis 11,4 kg silicio kvarcito, bandiniai yra sveriami, kad palyginti prarastą svorį, tada jie vėl montuojami prie žiaunų, tačiau atvirkščia tvarka, - tas bandinys, kuris buvo tvirtinamas prie judamos žiaunos, dabar tvirtinamas prie stacionarios, o tas kuris buvo tvirtinamas prie stacionarios, dabar tvirtinamas prie judamos. 11,4 kg silicio kvarcito leidžiama žiaunomis ir bandiniai dar kartą sveriami. Dėvėjimosi reikšmė yra šių dviejų bandymų prarasto svorio vidurkis.

Ketvirtas buvo atliktas smūginio rotoriaus – vartytuvo (ID) dėvėjimosi tyrimas. Šis laboratorinis tyrimas turi pranašumą, kadangi jame kaip abrazyvai gali būti naudojami įvairūs gruntai. Bendra tyrimo procedūra prasideda abrazyvo dalelių kalibravimu intervale nuo – 25 mm iki + 19 mm. Po šio etapo paskaičiuojama kiek tokių matmenų dalelių telpa į 600 g rūdos. Paprastai 600 g silicio kvarcito sudaro nuo 38 iki 44 tokių matmenų dalelių. 600 g silicio kvarcito pakraunama į būgną ir uždaroma. Tada būgnas paleidžiamas suktis. Prasideda pirmasis iš dviejų vienos valandos trukmės bandymų. Būgno greitis 620 ± 5 suk/min pirmam 15 minučių intervalui. Po pirmų 15 minučių, bandymas stabdomas, atidaromas dangtis ir surenkamas gruntas. Naujas (šviežias) 600 g masės gruntas patalpinamas į būgną ir procedūra kartojama antram 15 minučių trukmės intervalui. Tai kartojama dar du kartus. Per 1 val. sistema praeina 2,4 kg grunto. Po keturių 15 min trukmės intervalų, bandiniai yra išmontuojami, kruopščiai nuvalomi, išdžiovinami ir pasveriami. Jų prarastas svoris palyginamas miligramų dešimtuju tikslumu. Tada bandiniai apverčiami ir procedūra kartojama ta pačia seka, antrajam vienos valandos trukmės bandymui. Paskaičiuojamas dviejų bandymų rezultatų vidurkis ir standartinis nuokrypis. Dėvėjimosi reikšmė pateikiama tokiu vienetu: prarastas medžiagos tūris per vieną valandą, praėjus 2,4 kg grunto (mm^3/kg) [1].

1.3.4. Rezultatai ir jų aptarimas

Šių tyrimų rezultatai parodo keletą tendencijų .

Pirma, bendri abrazyvinio dėvėjimosi požymiai mažėjant medžiagos kietumui DSRW, POD ir PAFWT tyrimuose. Tačiau buvo ir išimčių. Pavyzdžiui, kiekvieną kart kai medžiagą veikdavo slydimo trintis, 13% Mn plienas rodydavo geresnes savybes nei tikėtasi, tačiau smūginės trinties tyrimo atveju, abrazyvo dalelės taip intensyviai veikdavo medžiagą, kad jos lydinio kietumas nebepadėjo prarandamo svorio sumažinimui.

Antra, kad laboratoriniams tyrimams su panašiais medžiagos trynimo būdais, pavyzdžiui DSRW ir POD atvejais, tyrimai parodė panašią dėvėjimosi normą. Padidėjęs lydinio kietumas nedavė abrazyvo dalelėms įlysti giliau į medžiagos paviršių taip sulėtindamas medžiagos praradimą.

Praktiniai dėvėjimosi tyrimai parodė panašius rezultatus kaip DSRW ir POD tyrimų atvejais. Smūginės trinties (JC) atveju rezultatai buvo labiau išsibarstę, pirmiausiai dėl to, kad skiriasi dėvėjimosi mechanizmas. Toks pat atvejis ir su rotoriumi – vartytuvu. Tai reiškia, kad jei laboratoriniai ir praktiniai tyrimų mechanizmai yra panašūs, tai ir gauti rezultatai taipogi bus panašūs.

1.4. MEDŽIAGŲ PARINKIMAS EKSKAVATORIAUS KAUSO DANTIMS KASYBOS PRAMONĖJE

Abrazyvinis dėvėjimasis sukelia ankstyvą daugelio komponentų pašalinimą iš įrengimų, tai lemia žymius ekonominius kaštus. Daugelio mineralų abrazyvinė prigimtis yra reikšmingo mašinų dėvėjimosi priežastis. Skirtingi dėvėjimosi procesai yra susiję pagal abrazyvinę medžiagos savybę, apkrovos tipą ir būklę, kurioje atliekamas darbas.

Tiesioginis metalinių komponentų kontaktas su gruntu reikalauja lydinių pritaikymo, kurie turi gerą kietumą ir abrazyvinį atsparumą. Dėl šių priežasčių atliekama tiksli analizė, siekiant atrinkti būdingas šiai sferai medžiagas [8].

Vienas iš labiausiai pažeidžiamų abrazyvinio dėvėjimosi komponentų yra ekskavatoriaus kaušo dantis. Šie elementai dažniausiai gaminami iš sunkiųjų lydinių, kurie ne visada turi pakankamai geras antidėvėjimosi charakteristikas. Ekskavatorių darbas - labai sudėtingas procesas su apkrautais ir neapkrautais periodais, dėl tos priežasties medžiaga iš kurios gaminami dantys, turi turėti balansinį kriterijų tarp gero kietumo ir pakankamo atsparumo abrazyviniam dilimui. Aplydymas yra gera alternatyva šiems tikslams pasiekti. Pagal padengimo

medžiagas, taikomi du padengimo tipai: plieno lydiniai su chromu, vanadžiu, niobiu ir medžiagos, apvirintos ferito matrica, sudaryta iš kintamų formų ir matmenų volframo karbido.

Deja, vienintelis metodas tiksliai įvertinti komponento savybes yra darbas realiomis sąlygomis, tai yra labai varginanti ir brangi procedūra.

Šis darbas yra Oviedo universiteto ir Ispanijos kompanijos „Endesa“ tiriamojo projekto rezultatas, kuriame pagrindinis objektas yra laboratorinių abrazyvinio dėvėjimosi tyrimų ir tyrimų, atliktų realiomis darbo sąlygomis, palyginimas, kad būtų parinktas tinkamiausias apsauginio padengimo medžiagos ekskavatoriaus dantims. Jei rezultatai gaunami teigiami, tai laboratoriniai dėvėjimosi tyrimai gali būti naudojami kaip pigesnis tyrimo metodas [8].

Todėl buvo atliekami du tyrimo etapai. Pirmiausia buvo atlikta abrazyvinių tyrimų programa laboratorijoje, naudojant standartinę bandymo mašiną. Buvo pasirinktas standartinis tyrimo metodas abrazyviniam dilimui nustatyti ASTM G 105 – 89 (DSRW). Vėliau, kai laboratoriniai tyrimai buvo baigti, tolimesnė tyrimų programa buvo atliekama atviroje kasykloje. Abiejose tyrimo programose buvo palygintos naudojamos medžiagos.

1.7 lentelė. Abrazyvo dalelių matmenys ir jų santykis

Dalelių matmenys	Santykis,%
> 0,7	2,5
0,7 – 0,3	77,5
0,3 – 0,18	15,0
< 0,18	5,0

1.4.1. Medžiagos

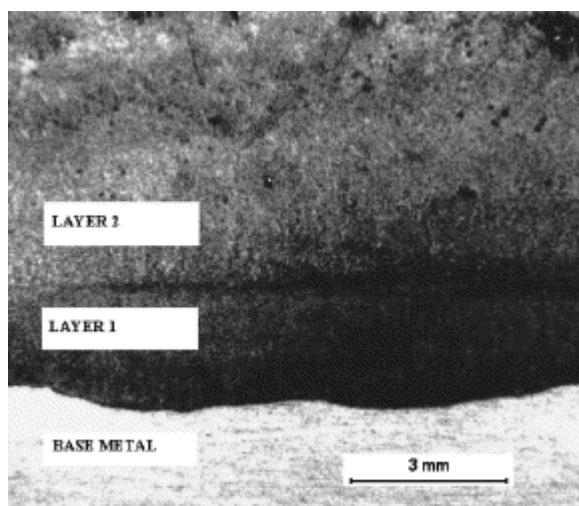
Tirti dėvėjimosi savybes ir eksploatacines savybes realiomis darbo sąlygomis buvo pasirinkta keletas ketaus tipų. Tiriamų medžiagų charakteristikos pateiktos 1.9 lentelėje ir 1.10 lentelėje. Paviršius buvo aplydytas pusiau automatine elektrine suvirinimo mašina pagal specifikacijas, numatytas gamintojo. Suvirinimo procesas atliekamas dviem sluoksniais: pirmasis sluoksnis buvo tiesiogiai padengtas ant metalinės bazės, tačiau tai turėjo didelį procentinį atskiedimą ir tai nepristatė tikros padengiamosios medžiagos kompozicijos. Taigi, antrasis sluoksnis buvo padengtas ant pirmojo, išvengiant atskiedimo problemų. Todėl realiai bandomas yra antrasis sluoksnis [8].

1.8 lentelė. Tiriamų medžiagų prilydyto metalo cheminė sudėtis ir kietumas

Kodas	Prilydyto metalo cheminė sudėtis, %	Kietumas (HRC)
MR1	5C – 20Cr – 6Nb	60,8
MR3	5,3C – 11Cr – 6,5Nb – 6V	64,7
MR4	4,8C – 4,9B – 2Ni – 1,5Mn – 0,8Si	65,0
MR5	5,2C – 22Cr – 7Nb	62,1
MR8	5,6C – 20,5Cr – 6,5Nb - < 1Si - < 1Mn	62,7
MR9	5,7C – 20,2Cr – 6,1Nb – 6,8Mo – 1,8W	62,7
MR14	2,2C – 7,5Cr – 1Mo – 0,9B – 0,9V	61,5

1.9 lentelė. Makro kietumas (HRC)

Medžiaga	Pirmojo sluoksnio vidurkis	Antrojo sluoksnio vidurkis
MR1	57,8	62,2
MR3	66,4	64,7
MR4	64,1	65,6
MR5	58,8	62,1
MR8	61,6	62,7
MR9	61,2	62,7
MR14	64,3	66,1



1.10 pav. Aplydytų sluoksnių vaizdas per mikroskopą

Prieš abrazyvinius bandymus buvo atlikti matavimai kai kurioms kitoms medžiagų charakteristikoms nustatyti. Kietumo bandymai buvo atlikti naudojant *Macromet* duometrą su

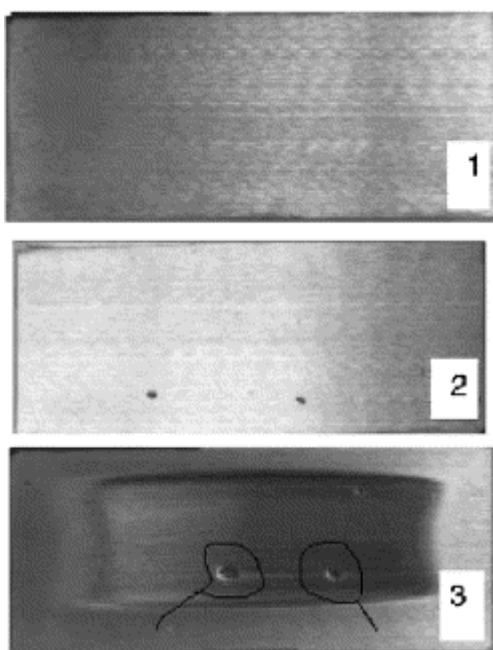
Rokvelo C skale (apkrova 150 kg). Apskaičiuojamas trijų matavimų makrokietumo reikšmių vidurkis pirmajam ir antrajam aplydytiems sluoksniams.

1.4.2. Laboratoriniai bandymai

Eksperimento detalės. DSRW laboratorinis abrazyvinio dėvėjimosi tyrimas buvo atliekamas tokia tvarka: buvo naudojami trys plieniniai ratai, vulkanizuoti skirtingo kietumo guma (50, 60, 70), bandinys prispaustas pastovia (220 N) apkrova. Į tribologinės poros kontakto vietą buvo pilamas smėlio ir vandens mišinys.

Bandymo trukmė (4 min 5 s, lygus 1000 ciklų, 245 aps/min.). Laikas tas pats visiems trims ratams. Po kiekvieno intervalo (3000 ciklų, 1000 su kiekvienu iš trijų guminių ratų) bandinys sveriamas, kad nustatyti prarastą svorį.

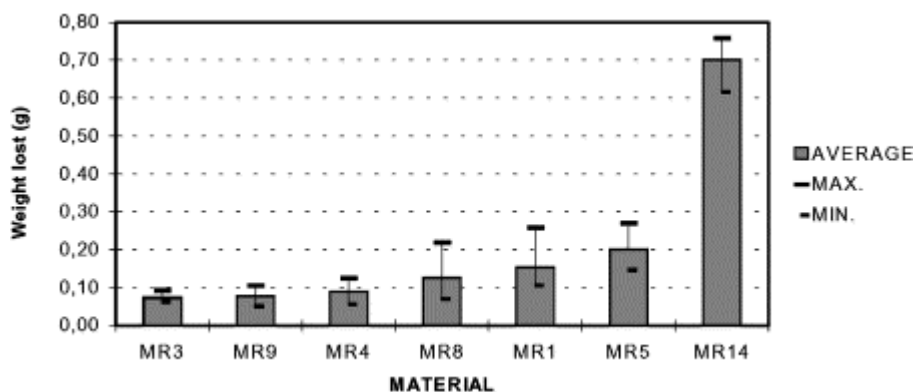
Pasirinkti bandiniai - prizminiai blokai 54 mm ilgio, 20 mm pločio ir 20–24 mm storio. Jie buvo atpjauti iš plieno plokštelių, kurių matmenys 120 mm x 100 mm x 15 mm ir aplydyti pagal anksčiau aprašytą procesą. Bandiniai buvo atpjauti metalo pjūvimo pjūkle, o apvirintas paviršius buvo nušlifluotas [9].



1.11 pav. Bandinių paviršiai: 1 – prieš tyrimą be defektų; 2 – prieš tyrimą su defektais; 3 – bandinys 1 po tyrimo

Laboratoriniai rezultatai. 1.12 pav. pavaizduota kiekvienos medžiagos prarasto svorio vidurkis. Šių eksperimentinių rezultatų analizė leidžia daryti šias prielaidas:

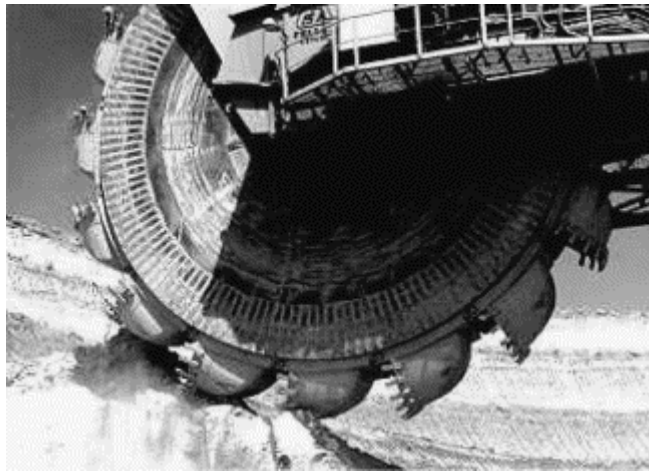
- paviršiaus struktūros poveikis: keletas bandinių turi defektus dėl netinkamo apvirinimo proceso, t. y. turi ertmes ar kitus defektus, kurie labai keičia dėvėjimosi charakteristiką;
- boro poveikis: boras pagerina apvirinto sluoksnio kietumą, taip pat pagerėja atsparumas dėvėjimuisi;
- Cr – Nb lydinių skirtingų komponentų poveikis: skirtingų komponentų pridėjimas nerodo kietumo padidėjimo, nors ir volframo karbido buvimas turi teigiamą efektą mikrokietumui;
- dėvėjimosi mechanizmas: šio tipo tyrimų dėvėjimosi mechanizmo charakteristika nėra aiški, kadangi susidėvėję paviršiai yra labai panašūs visais atvejais. Tai yra galima dėl abrazyvinių dalelių kintamų matmenų (0–0,7 mm). Šių matmenų pasiskirstymo atvejais mažesnės abrazyvo dalelės rieda bandinio paviršiumi šlifudamos ir lygindamos kraštus (briaunas)



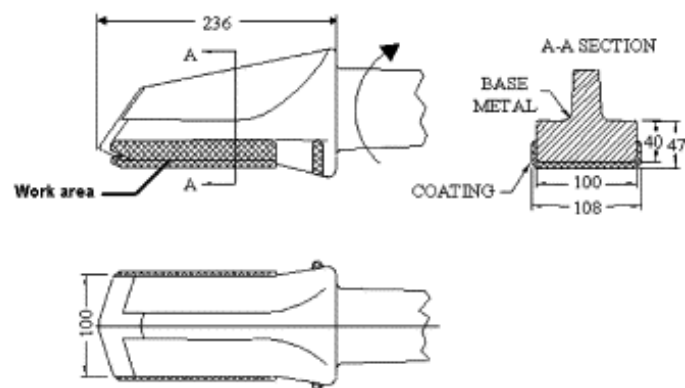
1.12 pav. Medžiagų prarasto svorio vidurkis

1.4.3. Bandymai realiomis darbo sąlygomis

Iš pradžių, analizė buvo atliktas tyrimas su 126 dantimis (18 iš kiekvienos medžiagos), kurie buvo sumontuoti ant pirmų septynių dvidešimties rotorius kaušų eilių (1.13 pav). Dantys buvo montuojami ant voverės, kurios kasimo skersmuo 11,7 m ir sukimosi greitis 4,3 aps/min. 1.14 pav. pavaizduota ekskavatoriaus danties schema [17].



1.13 pav. Ekskavatoriaus rotorius



1.14 pav. Ekskavatoriaus kaušo danties schema

Buvo atlikti trys bandymai (P1: 75 h 14 min; P2: 96 h 43 min; P3: 146 h 58 min). Kiekviename bandyme šeši kiekvienos medžiagos dantys buvo iš eilės sumontuoti ant skirtingų kaušų 1.15 pav., kad sumažinti kaušo pozicijos poveikį. Kiekvienam bandymui Likusiose ant rato 13 semtvių iš 20 buvo sumontuoti nauji dantys, kad paskirstyti pjovimo įtempimus visai voverei. Visi dantys buvo sužymėti pagal jų poziciją.

Bucket position in the wheel						N° bucket
Tooth position in the bucket						
6	4	2	1	3	5	
MR1	MR3	MR4	MR5	MR8	MR9	i
MR14	MR1	MR3	MR4	MR5	MR6	ii
MR9	MR14	MR1	MR3	MR4	MR5	iii
MR8	MR9	MR14	MR1	MR3	MR4	iv
MR5	MR8	MR9	MR14	MR1	MR3	v
MR4	MR5	MR8	MR9	MR14	MR1	vi
MR3	MR4	MR5	MR8	MR9	MR14	vii

1.15 pav. 42 dantų pozicijos ant septynių kaušų

Visų dantų padengimas buvo atliekamas to paties operatoriaus, kad sumažinti netikslumus. Įtampa, garai, išlydis ir kiti virinimo proceso parametrai buvo pilnai kontroliuojami [10].

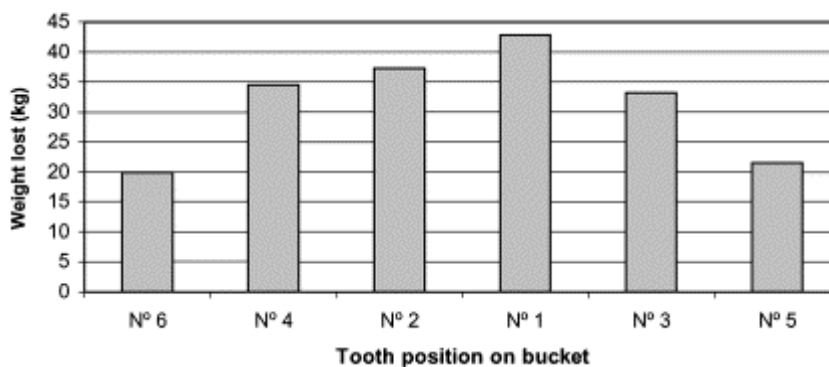
1.4.4. Laboratorinių tyrimų ir tyrimų, atliktų realiomis darbo sąlygomis rezultatai

Medžiagos tyrimo trukmės laboratorijoje ir realiomis darbo sąlygomis ir kietumo rezultatai (1.11 lentelė). Buvo apskaičiuotas tyrimo trukmės ir kietumo koreliacijos koeficientas tarp abiejų aplinkų, - laboratorijoje ir realiomis darbo sąlygomis. Laboratorijos – realių darbo sąlygų tyrimo trukmės koreliacija gana aukšta – 0,85. Tačiau kietumo koreliacijos yra labai žemos.

1.10 lentelė. Medžiagos trukmės palyginimas su MR5, kasykloje ir laboratorijoje

Medžiaga	Trukmės vidurkis (%MR5)		Kietumo vidurkis (HRC)
	Laboratorijoje	Kasykloje	
MR1	14866	9841	62,2
MR3	31139	14199	64,7
MR4	21954	12579	65,6
MR5	10000	10000	62,1
MR8	15830	10136	62,7
MR9	26152	11506	62,7
MR14	3005	9869	66,1

1.16 pav., pavaizduotas 21 danties svorio praradimas kiekvienai medžiagai atitinkamose pozicijose. Pastebėta, kad pozicija kauše daro didelę įtaką dėvėjimuisi



1.16 pav. Koreliacija tarp dėvėjimosi ir dantų pozicijos kauše.

Kiekvienai medžiagai buvo apskaičiuotos antidėvėjimosi charakteristikos.

Atlikus eksperimentinį tyrimą, padarytos sekančios išvados:

1. Ketis su mažu anglies turiniu (MR14) yra ne geriausias pasirinkimas abrazyviniam medžiagų atsparumui;
2. Dangos bazuojamos Cr – Nb neturi gero atsparumo abrazyviniam dilimui ir duomenų išsibarstymas labai didelis;
3. Matome, kad lydiniai bazuojami Cr – Nb – V (MR3) ir boru (MR4) turi gan žemą dėvėjimosi koeficientą. Tai gali būti paaiškinama kietumo padidėjimu dėl vanadžio ir boro.
4. Trukmės skirtumai medžiagai (MR5) žymiai labiau pastebimi laboratoriniuose tyrimuose, o ne tyrimuose realiomis darbo sąlygomis. Šie skirtumai gali būti dėl:
 - a) apvirinimo procese naudojamų bandinių, kurių medžiagos – bazės tūris mažesnis, nei kaušo dantų;

- b) realių darbo sąlygų bandiniai yra didesni, nei bandiniai laboratoriniuose tyrimuose;
 - c) bandymo trukmė ilgesnė tyrimuose realiomis darbo sąlygomis, nei laboratorijoje.
5. Abrazyvinio dilimo charakteristika labai priklauso nuo apvirinimo proceso kokybės. Buvo pastebėta, kad paviršiaus struktūra gali žymiai paveikti tyrimo rezultatus. Kai bandinys turi paviršutinius defektus, kaip antai maži įtrūkimai, arba kitų tipų trūkiai (poros, skylės ir t. t.) masės praradimas yra labai didelis;
6. Priimtas santykis tarp laboratorinių tyrimų ir tyrimų realiomis darbo sąlygomis 0,85 (koreliacijos koeficientas). Galima teigti, kad jei medžiaga rodo geras antidėvėjimosi savybes realiomis darbo sąlygomis tai tokias pat savybes ji rodys ir laboratorijoje.

1.5. DANTŲ ĮTAKA ŽEMĖS DARBŲ KASYBOS PROCESĖ

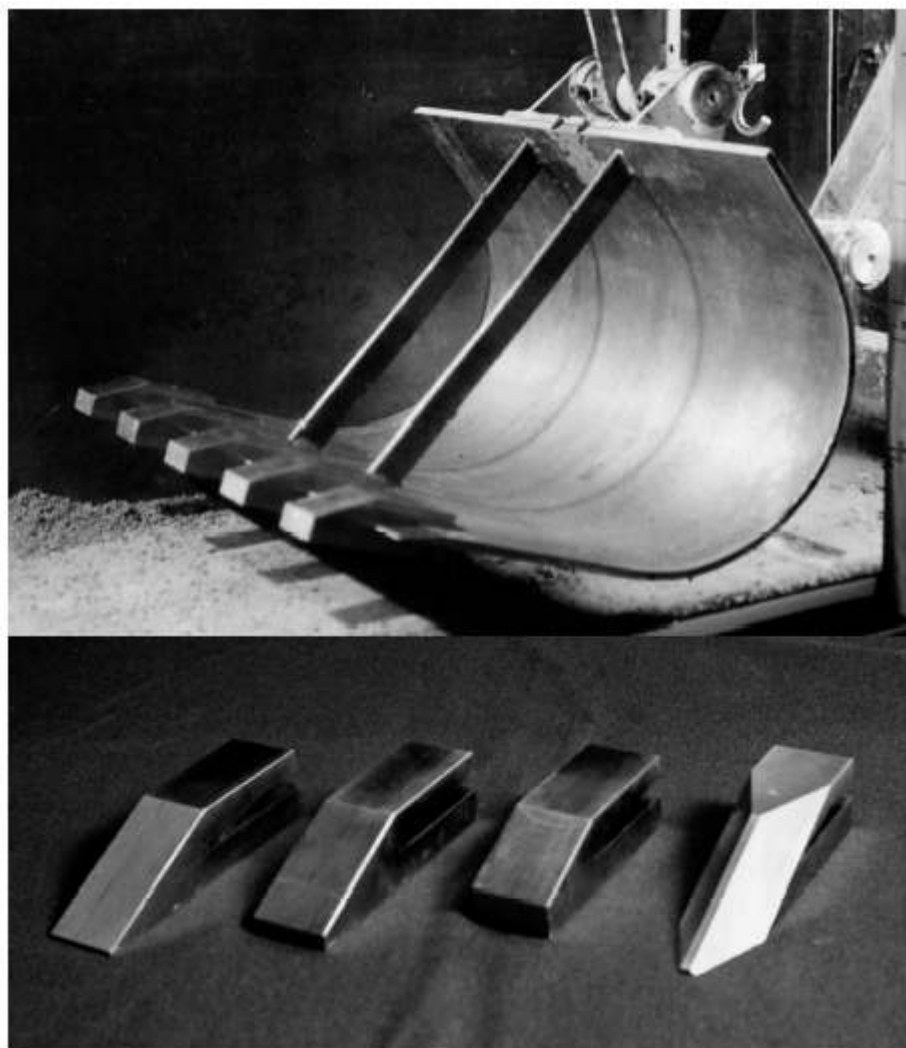
Buvo sudaryta nauja metodika laboratoriniams tyrimams atlikti dėžėje, pripildytoje rišlaus grunto. Šiame moksliniame tyrime buvo naudojamas ekskavatoriaus kaušo formos modelis su skirtingos formos dantimis. Tyrime aptariamas dantų įtakos efektyvumas kasimo procesui (dantų skaičius ir dantų pozicijos ant kaušo briaunos). Buvo naudojami trys skirtingi grunto tipai (tankus, vidutinio tankumo ir nerišlus) [11].

1.5.1. Eksperimento rezultatai

Tyrimas buvo atliktas specialioje laboratorijoje įrengtu stendu su grunto dėže. Dėžės matmenys: 2 m ilgis x 0,6 m plotis x 1,2 m gylis. Mišinys: cementas 50%; bentonitas 20%; žvirgždas 18% ir baltas vazelinai 12% buvo naudojama, kad imituoti priemolio gruntą. Vanduo mišinyje nebuvo naudojamas. Buvo naudojami trys skirtingų grunto tankių mišiniai: purus, vidutinio tankumo ir tankus. Puraus grunto bandinys buvo charakterizuojamas Kulono modeliu su sekančiais parametrais: $\gamma = 16,2kN/m^3$; $\phi = 27^\circ$ ir $c \approx 15kPa$; vidutinio tankumo grunto mišiniui: $\gamma = 16,8kN/m^3$; $\phi = 27^\circ$ ir $c \approx 30kPa$; tankaus grunto mišiniui: $\gamma = 17,2kN/m^3$; $\phi = 27^\circ$ ir $c \approx 45kPa$;

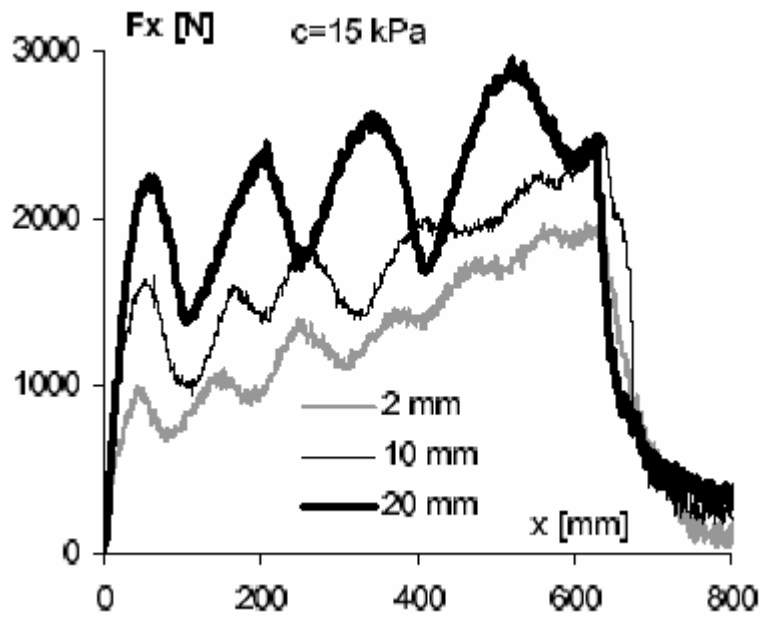
Eksperimente ekskavatoriaus kaušo modelio plotis buvo lygus grunto dėžės pločio reikšmei. Ant kaušo briaunos buvo sumontuoti dantys. Kiekvieno danties forma ir matmenys atitiko ekskavatoriaus K – 111 kaušo danties, kuris gaminamas Warynskio kompanijoje formą ir matmenis. Jų plotis buvo $w = 46$ mm, išsikišimas nuo vidinės briaunos 95 mm. Buvo naudojamas modelis su 1, 2, 3, 4, 5 ir 6 simetriškai išdėstytais dantimis, taip pat

modelis be dantų ir modelis su vienu plačiu dantimi, kurio plotis buvo kaip grunto dėžės (0,6m) [11].



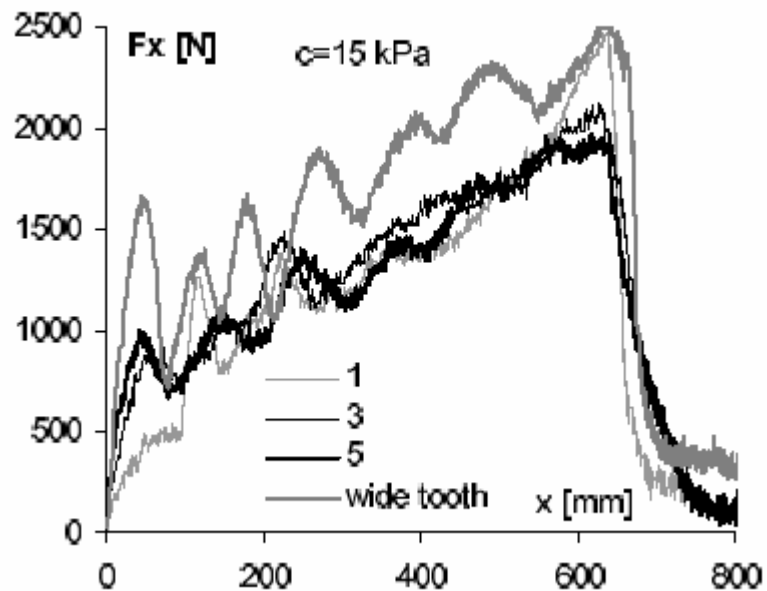
1.17 pav. Ekskavatoriaus kaušas su tiriamais dantimis

Naudojami dantys buvo skirtingų formų: „aštrus dantis“ (nusidėvėjimas 2 mm); nusidėvėjimas 10 mm; nusidėvėjimas 20 mm; 3D formos dantis 1.17 pav. Visi bandymai buvo atliekami ta pačia trajektorija, kuri susideda iš dviejų linijinių etapų. Pirmame etape kaušas judėjo horizontaliai, pjovimo gylis 175 mm, kol kaušas užsipildė gruntu. Kaušo nuolydis 5° . Šiame etape generuojamas žemės kasimo procesas, kuris sukuria šlyties juostą ir tos šlyties juostos viduje medžiagos suminkštėjimas yra stebėjimo objektas. Antrame etape kaušas buvo kilnojamas ir ištraukiamas iš grunto dėžės [11].



1.18 pav. Horizontalios jėgos variacija, kai kauše sumontuoti penki trijų nusidėvėjimo lygių dantys

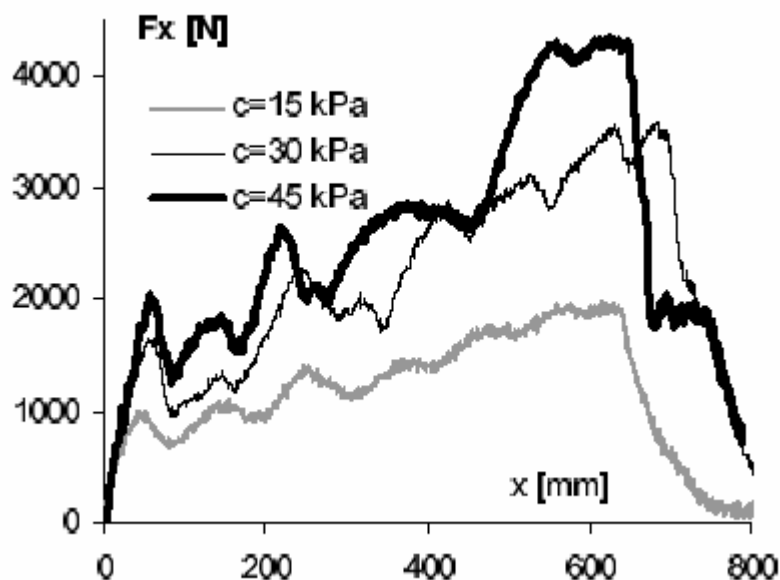
1.18 pav., horizontalios jėgos variacija veikianti įrankį, kai sumontuoti penki dantys ir grunto mišinys purus, vaizduojanti dėvėjimąsi penkiems skirtingų nusidėvėjimo lygių dantis. Progresuojant dantų dėvėjimuisi vis didesnę reikšmę turi horizontali jėga.



1.19 pav. Horizontalios jėgos variacija, kai dantų skaičius kintamas.

1.19 pav., horizontalios jėgos variacija, kai dantų skaičius kintamas (1, 3 ir 5) yra palyginami rezultatai su plataus danties (0,6 m). Šių tyrimų atveju buvo naudojamas „aštrus dantis“ (nusidėvėjimas 2mm) ir tyrimai atliekami su puriu mišiniu. Kaip buvo aprašyta

ankstesniame Maciejewski darbe, jei kaušo dantų skaičius didesnis nei keturi, tai pirmas ir einantis po šlyties juosta buvo generuojami nuo linijos jungiančios briauną ir dantis (atstumas tarp dantų l buvo mažesnis nei $3,24 w$, kur w yra vieno danties plotis). Kai dantų skaičius viršija 3, linija, jungianti dantų antgalis turi didelę reikšmę vidinei briaunai. Tai buvo pastebėta, kai tyrimas buvo atliekamas su plačiu dantimi [11].



1.20 pav. Horizontalios jėgos variacija, kai sumontuoti penki dantys ir skirtingas grunto tankis.

1.20 pav., horizontalios jėgos variacija, kai kaušui sumontuoti penki aštrūs dantys ir grunto mišiniai yra skirtingo tankio.

Kasimo proceso periodinė charakteristika (rišlaus grunto) akivaizdžiai rodo virpesinį jėgos komponentų būdą ir kilimas, einantis po šlyties ruožu yra nepriklausomas nuo įrankio formos, dantų skaičiaus ir įrankio dėvėjimosi laipsnio.

Buvo pastebėta, kad esant konkrečiam rišliam gruntui, atitinkančiam priemolį, kai atstumas tarp dantų l/w mažesnis nei $3,26$, tai dantų antgalių jungimosi linija daro įtaką vidinei briaunai. Dantys neveikė kaip atskiri trimačiai objektai, bet kaip vienas platus instrumentas sudarytas iš kelių keičiamų elementų. Taigi deformacijos būdas priekyje kaip antai dantų surinkimas buvo panašus į plokštumos apkrovos deformacijos būdą.

Dantų dėvėjimasis, artimas paprastam jų geometrijos pakeitimui, turi didelę įtaką maksimaliai žemės darbų jėgos reikšmei. Dantų dėvėjimosi įtaka žemės darbų jėgai platiems dantims yra stebima visai kasimo proceso sričiai ne tik jėgos reikšmių maksimumui. Tiriamam reiškiniui yra nepriklausomas grunto tankis. Tačiau didesnio tankio (didesnio rišlumo) skirtumai tarp maksimalių ir minimalių jėgos reikšmių yra reikšmingesni [11].

1.6. GRUNTO ĮTAKA KASIMO PROCESUI

1.6.1. Bendrosios žinios apie gruntus

Pasaulyje įsigalėjo keletas grunto klasifikavimo sistemų – pagal kilmę, stiprumą, granulimetrinę sudėtį. V. A. Prikonskis pasiūlė skirstyti gruntus pagal kilmę, būklę ir mechaninį atsparumą į penkias klases: uoliniai, pusiau uoliniai, gabaliniai, smėlingieji ir molingieji.

Uoliniams priskiriami sucementuoti, atsparūs vandeniui, praktiškai nedeformuojami gruntai, kurių stiprumo riba gniuždymui – ne mažiau kaip 5 MPa (pvz., smiltainiai, klintys).

Pusiau uoliniai – sucementuotos kalnų uolienos, kurių atsparumas gniuždymui siekia iki 5 MPa. Jos būna deformuojamos (tankinamos) – mergeliai, suakmenėję moliai, ir neatsparios vandeniui – gipsas ir jo konglomeratai [12].

Gabalinius gruntus sudaro nesucementuoti gabalai uolienu, kurios yra pirmųjų dviejų klasių gruntai.

Smėliniai gruntai sudaryti iš nesucementuotų kalnų uolienu dalelių (grūdelių, smiltelių), kurių matmuo yra 0,05-2 mm. Tai natūraliai suardyti uoliniai gruntai arba mineralizavusios, tačiau nesuakmenėjusios nuosėdos.

Molingieji gruntai taip pat yra produktas natūraliai suardytų ir pakitusių pirminių kalnų uolienu, sudarančių uolinius ir pusiau uolinius gruntus, tačiau dalelių skersmuo paprastai mažesnis nei 0,005 mm.

Mūsų šalyje dažniausiai aptinkami smėliniai, molingieji ir gabaliniai gruntai.

1.6.2. Fizinės ir mechaninės gruntų savybės

Gruntai apdorojami žemkasėmis, žemės kasimo ir transportavimo bei tankinimo mašinomis. Jų darbo padargai nuolatos arba cikliškaį sąveikauja su gruntais. Mašinu efektyvumas daug priklauso nuo to, kaip teisingai projektuojant mašiną atsižvelgta į gruntų savybes. Itin svarbu žinoti pasipriešinimus, kurie atsiranda apdorojant gruntą mašinu darbo padargais, taip pat pasipriešinimų priklausomumą nuo įvairių veiksnių – kasimo ir tankinimo greičių, darbo padargo formos, mašinu tipo ir kt. Tiktai visiškai įvertinus gruntų savybes, galima suskurti didelio našumo ir ekonomišką mašiną.

Gruntas tai sistema, susidedanti iš mineralinių dalelių, erdvė tarp kurių pripildyta vandens ir oro. Todėl skiriamos trys gruntų fazės: kietoji, skystoji ir dujinė. Kietąją fazę sudaro įvairių matmenų ir formų dalelės, kurios pagal stambumą skirstomos į molio (mažiau nei 0,005 mm), dulkių (0,05–0,005 mm) ir smėlio (2– 0,5mm) dalelės. Molio dalelės – tai be galo plonos

plokštelės, dulkių dalelių forma artima sferai, o smėlio dalelės (atsižvelgiant į jų kilmę) gali būti apvalios arba kampuotos. Gruntų savybės labai daug priklauso nuo šių dalelių santykio. Ypač didelę įtaką turi molio dalelės [13].

Vienos ar kitos rūšies kietųjų dalelių kiekis gruntuose vadinamas granulimetrine arba mechanine grunto sudėtimi. Gamtinių gruntų granulimetrinė sudėtis labai įvairi. Paprastai gruntų granulimetrinė sudėtis lemia ir jų pavadinimą. Antai moliais vadinami gruntai, į kurių sudėtį įeina daugiau kaip 30% molio dalelių, priemoliais – nuo 3 iki 10 % molio dalelių, o smėlio dalelių daugiau negu dulkių, smėliais – kai molio dalelių mažiau kaip 3 %.

Kietosios grunto dalelės sąveikauja su jame esančią skystąja faze – vandeniu. Vandens molekulės absorbuojasi ant dalelių paviršiaus ir sudaro stipriai laikomas plėveles, kurios, skirtingai nuo laisvojo vandens savybių, įgauna atsparumą šlyčiai ir takumą. Toks vanduo vadinamas stipriai sujungtu vandeniu. Šiek tiek toliau nuo dalelės paviršiaus (prie pirminių plėvelių) išsidėsto vanduo, kuris laikomas dalelės molekulinėmis jėgų silpniau – tai silpnai sujungtasis vanduo. Toliau esančiam vandeniui mineralinių dalelių jėgos nedaro jokios įtakos ir jis vadinamas laisvuju.

Dalelėms sąveikaujant vienai su kita ir su vandeniu, gruntai įgauna tam tikro rišlumo, kuris didina jėgas, būtinas jiems ardyti ir tankinti. Smulkios grunto dalelės sudaro pakankamai atsparius gruntinius agregatus. Gruntų rišlumą daugiausia lemia granulimetrinė sudėtis ir drėgnumas. Smėliai, kad ir drėgni, nepasižymi rišlumu ir todėl jie priskiriami prie nerišliųjų. Priesmėliai gali būti laikomi mažai rišliais gruntais. Rišlumu itin pasižymi moliai ir priemoliai, todėl jie ir vadinami rišliaisiais gruntais. Toks gruntų suskirstymas patogus nagrinėjant gruntų apdirbimo procesus.

Didelę įtaką gruntų fizinėms ir mechaninėms savybėms turi jų būklė, kurią iš esmės apibūdina drėgnumas ir tankis.

Drėgnumas (W) yra santykis grunte esančio vandens kiekio (g_v) ir sauso grunto kiekio (g_{gr}) tame pačiame tūryje, išreikštas procentais, t. y.:

$$W = \frac{g_v}{g_{gr}} \cdot 100\%, \quad (1.2)$$

Tankis (δ) nustatomas kietosios fazės (skeleto) tūrio mase ir randamas pagal formulę:

$$\delta = \frac{\delta'}{1 + \frac{W}{100}}, g/cm^3, \quad (1.3)$$

čia δ' – drėgno grunto masė, g/cm^3 .

Ypatingą reikšmę drėgnumas turi rišliams gruntams, kurie atsižvelgiant į vandens kiekį gali būti kietieji, plastiškieji arba takieji. Plastiškumas – tai grunto, veikiamų išorinių jėgų, savybė keisti formą nekeičiant tūrio ir nesuyrant.

Grunto priešinimasis apkrovoms iki tam tikros ribos gali būti apibūdinamas deformacijos moduliu. Deformuojant gruntą standžiu apvaliu štampu, deformacijos modulis E_0 nustatomas pagal šią formulę:

$$E_0 = \frac{\sigma \cdot d_{st}}{\lambda}, N/m^2, \quad (1.4)$$

čia $\sigma = \frac{P}{F}$ – įtempimai grunto paviršiuje po štampu, N/m^2 (P – štampo apkrova, N ; F – štampo plotas, m^2);

d_{st} – štampo skersmuo, m ;

λ – štampo įgilinimas į gruntą, m .

$$\sigma = \frac{\lambda}{d_{st}} \cdot E_0 = \varepsilon \cdot E_0, N/m^2, \quad (1.5)$$

Išraiška analogiška Huko dėsniai, jeigu santykinę deformaciją laikysime

$\varepsilon = \frac{\lambda}{d_{st}}$ ir imsime ne tampriąją, bet visą grunto deformaciją, t. y. štampo įgilinimą.

Lipnumas – grunto savybė prilipti prie mašinų darbo padargų, važiuoklių. Šia savybe pasižymi daugelis plastinių gruntų, kai drėgnumo ir molio dalelių pakanka (moliai, priemoliai). Grunto prilipimo jėgos, kurias reikia nugalėti kasant gruntą, randamos taip:

$$P_{pr} = p_{pr} \cdot F, N, \quad (1.6)$$

čia p_{pr} - lyginamoji prilipimo jėga;

$$\text{molių } p_{pr} = (7 - 8) \cdot 10^3 N/m^2, \quad (1.7)$$

$$\text{priemolių } p_{pr} = (5 - 7) \cdot 10^3 \text{ N/m}^2, \quad (1.8)$$

F – darbo padargo paviršiaus sąlyčio plotas su gruntu, m².

Gruntai apkrovą perduoda ne tik mineralinėmis dalelėmis, bet ir vandeniu. Nustatyta, kad stambiagrūdžiai gruntai apkrovą perduoda per daleles, o smulkiagrūdžiai – per grunto daleles gaubiančias vandens plėveles. Apkrovų pasiskirstymas tarp dalelių ir vandens plėvelių taip pat priklauso nuo grunto drėgnumo. Pirmiausia jie susiliečia su juos gaubiančiomis vandens koloidinėmis plėvelėmis, kurios sąlyčio vietoje suplonėja. Spaudžiant, vanduo plėvelėse pasislenka iš labiau apkrautų į mažiau apkrautas vietas. Todėl bet kokia grunto deformacija susijusi su vandens migracija. Sujungtasis vanduo yra didesnės klampos kaip dėl to, kad stipriai laikomas molekulinėse jėgų ant dalelių paviršiaus, taip pat ir dėl koloidinių plėvelių. Laisvasis vanduo, stengdamasis pasišalinti iš įtemptosios zonos, turi pereiti pro plonus kapiliarus ir sutinka didelį pasipriešinimą. Dėl viso to vandens judėjimas, o kartu ir grunto deformacija vyksta lėtai. Todėl gruntai priskiriami prie tampriųjų, plastiškųjų ir klampiųjų medžiagų, t. y. tokių kūnų, kurių deformacija priklauso ne tik nuo apkrovos dydžio, bet ir nuo jos laikinųjų parametrų [14].

Įtempiai, kuriems esant grunto struktūra ima irti, vadinami stiprumo riba σ_b .

Žemkasių mašinų padargai dirba viršydami gruntų stiprumo ribas, todėl būtina žinoti, nuo kokių veiksnių priklauso gruntų stiprumo ribos, o kai kuriais atvejais ir mokėti nustatyti jų skaitines reikšmes.

Stiprumo riba priklauso nuo grunto rūšies ir drėgnumo. Drėgnumas turi ypatingą reikšmę stiprumo ribai. Tai itin aktualu rišliems gruntams, kuriuose, mažėjant drėgnumui, stiprumo riba progresyviai didėja.

Grunto atsparumas šlyčiai. Projektuojant grunto kasimo mašinas ir jų darbo padargus, naudojamos vidinės trinties koeficientu $\mu_2 = \text{tg}\varphi_2$ ir grunto sankibos C reikšmėmis, kurios lemia grunto atsparumą šlyčiai.

Pagrindu apskaičiuoti gruntų atsparumą šlyčiai imamas Kulono dėsnis:

$$\tau = \sigma \cdot \text{tg}\varphi_2 + C = \sigma \cdot \mu_2 + C, \quad (1.9)$$

čia μ_2 - vidinės trinties koeficientas;

C – lyginamojo grunto sankiba esant šlyčiai, N/m².

Nerišliųjų gruntų (pvz., smėlių) $C = 0$, tuomet;

$$\tau = \sigma \cdot \mu_2, \quad (1.10)$$

Vidinę gruntų trintį apibūdina vidinės trinties kampo φ_2 reikšmė, kurios tangentas lygus vidinės trinties koeficientui

$$\operatorname{tg} \varphi_2 = \mu_2, \quad (1.11)$$

Grunto trinties į plieną koeficientas μ_1 priklauso nuo grunto rūšies ir būklės, taip pat nuo plieno paviršiaus. Jo reikšmė svyruoja nuo 0,25 iki 1. Kai plieniniai darbo padargų paviršiai nelygūs, grunto drėgnumas mažas, normalinis grunto slėgis didelis, šio koeficiento reikšmė didėja. Labai didelę įtaką šiam koeficientui turi grunto drėgnumas. To paties grunto, bet skirtingo drėgnumo trinties koeficiento reikšmė gali sumažėti iki 2 ir daugiau kartų. Trinties į plieną koeficiento reikšmę, atsižvelgiant į drėgnumą, galima nustatyti taip:

$$\mu_1 = f_0 \cdot \frac{\ln w}{A}, \quad (1.12)$$

čia w grunto drėgnumas, %;

f_0 ir A – pastovūs parametrai: priemolio $f_0 = 10,1$, $A = 4,08$; molio $f_0 = 0,95$, $A = 5,33$.

Grunto atsparumas pjovimui (lyginamoji pjovimo varža) paprastai apibūdinamas švaraus pjovimo lyginamuoju pasipriešinimu (k , N/m^2), t. y. jėga, tenkančia pjaunamos drožlės skerspjuvio ploto vienetui. Ši reikšmė labai kinta, nes priklauso nuo darbo režimo ir grunto parametrų: tūrio svorio, vidinės ir išorinės trinties kampų, lyginamosios sankibos jėgos. Išvardytų grunto parametrų reikšmės daugiausia priklauso nuo granulimetrinės sudėties, drėgnumo, tankio ir temperatūros.

Kadangi žemkasių padargai labai įvairūs (kabliai, peiliai, verstuvai, kaušai, frezos), todėl kasimo jėgos skaičiavimui supaprastinti dažnai naudojamos lyginamuoju pasipriešinimu kasimui (lyginamoji kasimo varža) $k_1 \text{ N/m}^2$. Jos reikšmės nustatomos eksperimento būdu kiekvienam mašinų tipui pagal grunto rūšis.

Abrazyviškumas – gruntų savybė veikti darbo padargus ir važiuoklių mazgus taip, kad jie intensyviai dėvisi, dėl to kinta jų matmenys ir forma. Pažeidžiamos projektinės mašinos darbo

sąlygos, smarkiai padidėja kasimo jėgos, o kartu ir energijos imlumas, didėja mašinų elementų apkrovos. Todėl projektuojant ir eksploatuojant žemės darbų mašinas, būtina įvertinti gruntų abrazyviškumą. Būtina naudoti dilimui atsparius metalus bei jų dangas, greitai pakeisti ar sutaisyti detales.

Negalima sukurti efektyvių grunto kasimo mašinų darbo padargų išsamiai neišnagrinėjus jų sąveikos su gruntu. Dabar egzistuojančias grunto pjovimo teorijas galima suskirstyti į dvi grupes:

- teorijos, kurių pagrindą sudaro eksperimentinių tyrimų rezultatai, atskleidžiantys fizinę pjovimo esmę ir pateikiantys tam tikrą kiekybinę priklausomybę.
- teorijos, kurių pagrindą sudaro kietojo kūno ir stiprumo teorijos teiginiai, patikrinti eksperimentiniu būdu.

1.6.3. Darbo padargų sąveika su gruntu

Būtina skirti dvi sampratas: grunto pjovimas ir grunto kasimas. Pjovimas – grunto atskyrimo nuo masyvo darbo padargu procesas. Kasimas – kompleksinis procesas, apimantis grunto pjovimą, stūmimą darbo padargu ir prieš jį, įvertinantis vidinės ir išorinės trinties jėgas.

Grunto pjovimas, t. y. jo dalies atskyrimas nuo pagrindinio masyvo, yra pagrindinė kiekvienos grunto kasimo mašinos operacija. Neatsižvelgiant į mašinos tipą ir atliekamo darbo pobūdį, darbo padargas visų pirma turi būti pritaikytas gruntui pjauti.

Tyrimai parodė, kad lyginamasis pasipriešinimas kasimui priklauso nuo grunto rūšies ir būklės, darbo įrankio geometrinės formos, drožlės skerspjuvio ploto bei jos storio ir pločio santykio, kasimo greičio, pjovimo briaunos konstrukcijos, taip pat nuo darbo įrankio judėjimo trajektorijos.

Ekskavatorių kaušų pjovimo briaunos turi nagus. Iškišti priekyje pjovimo briaunos nagai turi supurenti gruntą ir padėti pjovimo briaunai įsigilinti į grunto masyvą. Sutankintuose rišliuosiuose gruntuose nagai sumažina bendrą pasipriešinimą kasimui 6–15 %. Jie labiau apsaugo pjovimo briauną nuo dilimo. Montuojant nagus (rišliųjų kietųjų gruntų atveju) rekomenduojama parinkti 1,2–1,3 nago pločio atstumus tarp jų. Nago plotis (skerspjuvis) parenkamas pagal stiprumo sąlygas. Apkrova imama iki 7 kN 10 mm pjovimo briaunos ilgio.

1.6.4. Grunto kasimas

Kasant gruntą ekskavatoriumi jėga, veikianti kasimo trajektorijos liestinės kryptimi P_{01} , gali būti išskaidyta į tirs jėgas:

$$P_{01} = P_p + P_{tr} + P_{pr}, \quad (1.13)$$

čia P_p - grunto pjovimo jėga;

P_{tr} - darbo įrankio trinties į gruntą jėga;

P_{pr} - grunto prizmės prieš kaušą stūmimo jėga.

Greičio įtaka papildomiems pasipriešinimams grunto kasimui atsirasti nėra iki galo ištirta. Tačiau įvertinant tai, kad gruntai priklauso tampriesiems, klampiesiems, plastiškiesiems kūnams, t. y. deformacijos atsilieka nuo apkrovų, didinant apkrovų greitį, didėja laikinas grunto stiprumas.

Grunto pjovimo greičio įtaka pasipriešinimo didėjimui galima apskaičiuoti pagal formulę:

$$P_v = k_v \cdot P_p + \Delta P_v, \quad (1.14)$$

čia P_p – pjovimo jėga, kai pjovimo greitis labai mažas (artimas nuliui);

k_v – koeficientas, įvertinantis fizinius pjovimo veiksnius, nustatytus bandymais:

$v, m/s$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
k_v	1,0	1,04	1,05	1,08	1,1	1,15	1,19	1,24	1,3	1,7

Nustatyta, kad padidinus pjovimo greitį nuo 1 iki 7 m/s, kai $\delta = 40^\circ$, pasipriešinimas pjovimui padidėja 28 %, o kai $\delta = 55^\circ$, tai 78 % [15].

1.7. PROBLEMOS FORMULAVIMAS

Vienas iš pagrindinių veiksnių, apibūdinančių dirbančių detalių abrazyvinį dilimą yra abrazyvinės gruntų savybės. Iki šių dienų nėra bendrai priimtose metodikos tiriant kaip veikia medžiagas abrazyvinis dilimas, todėl sunku sulyginti gautus rezultatus.

Kad sumažinti bandymų ir naujų lydinių parinkimo išlaidas buvo kuriami dėvėjimosi tyrimai. Daugelis laboratorinių dėvėjimosi tyrimų buvo tobulinama, kad įvertinti ir modeliuoti dėvėjimosi procesą, aplinką ir sąlygas. Šių tyrimų panaudojimo problema yra ta, kad jie turi tendenciją tiksliai ir pilnai neatitikti realių modeliujamų sąlygų. Nepasitikėjimas laboratoriniais

tyrimais ir veda prie praktinių dėvėjimosi tyrimų, atliekamų realiose darbo sąlygose. Blogai suplanuotas praktinis dėvėjimosi tyrimas gali sukelti dideles laiko sąnaudas, tačiau gerai suplanuotas jis gali būti vertingų duomenų šaltiniu.

Praktiniai dėvėjimosi tyrimai yra brangūs, reikalaujantys didelių laiko sąnaudų ir sunkiai kontroliuojami. Temperatūra, drėgmė, greitis, abrazyvinių dalelių matmenys ir tipas, grunto tipas ir kt. gali įtakoti abrazyvinį dėvėjimąsi ir apriboti analitinę konkrečių praktinių dėvėjimosi tyrimų vertę. Laboratoriniai dėvėjimosi tyrimai turi pranašumą prieš praktinius dėvėjimosi tyrimus laiko ir išlaidų atžvilgiu, tačiau visada yra rizika, kad gauti duomenys pakankamai gerai nekolerijuos su medžiagos darbu realiose sąlygose. Jei dėvėjimosi įranga, naudojama laboratoriniame dėvėjimosi tyrime, nekopijuos praktinio dėvėjimosi sąlygų, tai gauti duomenys bus beverčiai.

Reikalinga tyrimo metodika, leidžianti pakankamai tiksliai įvertinti medžiagos dilimą konkrečiomis darbo sąlygomis. Tuo tikslu reikia iš visų galimų veiksnių, apibendrinančių medžiagų veikimą ir būklę, išskirti pagrindinius veiksnius, kurie turės tiesioginę reikšmę detalės dilimui.

Vienas iš labiausiai pažeidžiamų abrazyvinio dėvėjimosi komponentų yra ekskavatoriaus kaušo dantis. Šie elementai dažniausiai gaminami iš sunkiųjų lydinių, kurie ne visada turi pakankamai geras anti dėvėjimosi charakteristikas. Ekskavatorių darbas labai sudėtingas procesas su apkrautais ir neapkrautais periodais, dėl tos priežasties, medžiaga iš kurios gaminami dantys turi turėti balansinį kriterijų tarp gero kietumo ir pakankamo atsparumo abrazyviniam dilimui. Aplydymas yra gera alternatyva šiems tikslams pasiekti. Apvirinimas taikomas tam tikroms, greitai nusidėvinčioms metalinėms detalėms padengti danga iš kito metalo, sustiprinant paviršiaus atsparumą ir kitas specifines savybes. Nors dažniausiai apvirinamos jau nusidėvėjusios dalys, atstatant jų formas ir savybes, tačiau ši technologija yra naudojama ir naujų gaminių paviršiaus sustiprinimui ar savybių pakeitimui. Padidintas metalo kietumas ne visada reiškia geresnį atsparumą trinčiai ir nusidėvimui ir prailgina įrankio eksploatavimo laikotarpį. Daugelis lydinių turi to paties lygio kietumą, bet labai skiriasi jų atsparumas nusidėvimui.

Šiame tiriamajame darbe projektuojame abrazyvinio dėvėjimosi stendą ekskavatoriaus kaušo dantims tirti, kuris kuo realiau atitiktų ekskavatoriaus realaus darbo sąlygas.

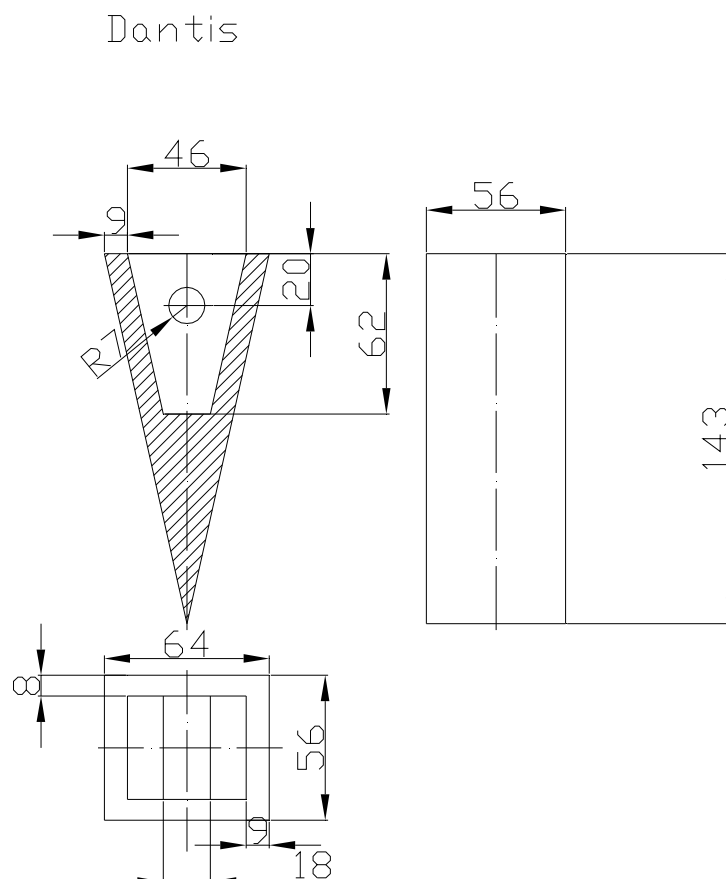
Šio darbo tikslas yra ištirti neapvirinto ir apvirintų apvirinimui skirtais elektrodais ekskavatoriaus kaušo dantų dilimo charakteristikas.

2. EKSKAVATORIAUS KAUŠO DANTŲ DILIMO TYRIMAS

2.1. TYRIMO OBJEKTAS

Vienas iš labiausiai pažeidžiamų abrazyvinio dėvėjimosi komponentų yra ekskavatoriaus kaušo dantis. Šie elementai dažniausiai gaminami iš sunkiųjų lydinų, kurie ne visada turi pakankamai geras anti dėvėjimosi charakteristikas. Aplydymas yra gera alternatyva šiems tikslams pasiekti. Apvirinimas taikomas tam tikroms, greitai nusidėvinčioms metalinėms detalėms padengti danga iš kito metalo, sustiprinant paviršiaus atsparumą ir kitas specifines savybes. Nors dažniausiai apvirinamos jau nusidėvėjusios dalys, atstatant jų formas ir savybes, tačiau ši technologija yra naudojama ir naujų gaminių paviršiaus sustiprinimui ar savybių pakeitimui.

Tyrimams buvo parinkti ekskavatoriaus 0,4 m³ talpos kaušo dantys. Jų matmenys pateikti 2.1 pav. Tokio danties vidutinė rinkos kaina apie 50 Lt, tačiau tokios pat formos, bet dvigubai didesnio dydžio danties kaina siekia net 500 Lt, todėl jų dėvėjimosi charakteristikų pagerinimas yra labai aktuali problema. Dėvėjimosi charakteristikų pagerinimui buvo taikomas aplydymas „Anykščių vario“ ir ESAB firmų elektrodais.



2.1 pav. Danties matmenys

Pirmasis dantis buvo neaplydytas 2.2 pav., (jo cheminė sudėtis pateikta 2.1 lentelėje).
Cheminė sudėtis nustatyta „Anykščių vario“ gamykloje. Kietumas ≈ 400 HRB.



2.2 pav. Neaplydytas dantis

Antrasis dantis buvo aplydytas „Anykščių vario“ APL AV 60 markės elektrodais, kurie yra skirti mašinų ir konstrukcijų dalių aplydymui, siekiant suteikti įrankių, pagamintų iš mažaanglių, mažai legiruotų ar liejininių plienų, paviršiams vidutinio atsparumo abrazyviniam poveikiui, smūgiams ir spaudimui savybes. Naudojami žemės dirbimo padargams, skreperiams, kaušams ir kaušų dantims, ekskavatorių dalims, kaltams, konvejerių sraigtams, pjovimo įrankiams, smulkintuvų kūgiams aplydyti. Glaisto tipas - rutilo bazinis, srovė - kintamoji, nuolatinė bet kokio poliškumo, srovės stiprumas 130–180 A. Prilydyto metalo kietumas pirmam sluoksniui – 48 HRC, antram sluoksniui – 54 HRC, trečiam sluoksniui – 57 HRC. Aplydytas dantis pavaizduotas 2.3. pav.



2.3 pav. Dantis aplydytas APL AV 60 markės elektrodais

Trečiasis ir ketvirtasis dantis buvo aplydyti „Anykščių vario“ eksperimentiniais elektrodais skirtais aplydymui, kurie nėra leidžiami gamyboje, kodiniais pavadinimais 677 ir 687 2.4 pav., ir 2.5 pav., (šių apvirinimo elektrodų gryno prilydyto metalo cheminė sudėtis pateikta 2.2 lentelėje).



2.4 pav. Dantis aplydytas 677 markės elektrodais



2.5 pav. Dantis aplydytas 687 markės elektrodais

Penktasis dantis buvo aplydytas ESAB firmos elektrodais OK 83.50, skirtais medžio apdirbimo instrumentų, smulkintuvų, ekskavatoriaus dantų, plūgų ir kitų detalių, dirbančių abrazyvinio dilimo sąlygomis. Prilydyto metalo kietumas 50–60 HRC (šių apvirinimo elektrodų gryno prilydyto metalo cheminė sudėtis pateikta 2.2 lentelėje). Aplydytas dantis pavaizduotas 2.6 pav.



2.6 pav. Dantis aplydytas OK 83.50 markės elektrodais

Šeštasis dantis buvo aplydytas ESAB firmos elektrodais OK 84.52, kurių savybės analogiškos OK 83.50, tačiau skiriasi prilydyto metalo sudėtis (šių apvirinimo elektrodų gryno prilydyto metalo cheminė sudėtis pateikta 2.2 lentelėje). Prilydyto metalo kietumas 50–56 HRC. Aplydytas dantis pavaizduotas 2.7 pav.



2.7 pav. Dantis aplydytas OK 84.52 markės elektrodais

2.1 lentelė. Ekskavatoriaus kaušo danties cheminė sudėtis, %

C	Si	Mn	P	S	C u	Al	Cr	Mo	Ni	V	Ti	Nb	Co	W	B	As
0,14	0,40	1,12	0,025	0,036	0,06	0,03	1,0	0,20	0,02	0,01	0,001	0,008	0,02	0,06	0,001	0,001

2.2 lentelė. Apvirinimo elektrodų gryno prilydyto metalo cheminė sudėtis, %

Elektrodo markė	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	Ti	B
677	1,54	1,69	1,00	2,07	0,02	0,14	0,40	0,54
687	0,63	1,81	1,03	21,80	0,05	0,15	0,13	0,81
AV APL 60	0,80	0,40	1,20	5,30	-	-	-	-
OK 83.50	0,4	0,7	0,5	0,6	0,6	-	-	-
OK 84.52	0,25	0,5	0,3	13,0	-	-	-	-

Apvirinimui naudojamas rankinis suvirinimas glaistytaisiais elektrodais, kas suteikia galimybę naudotis didele medžiagų įvairove, t. p. nebrangus. Abu dantis apvirino tas pats aukštos kvalifikacijos darbuotojas, laikantis elektrodų specifikacijose nurodytų sąlygų.

Prieš bandymus dantys pasveriami ir matavimų reikšmės pateiktos (2.3 lentelėje).

2.3 lentelė. Dantų svoris prieš tyrimą

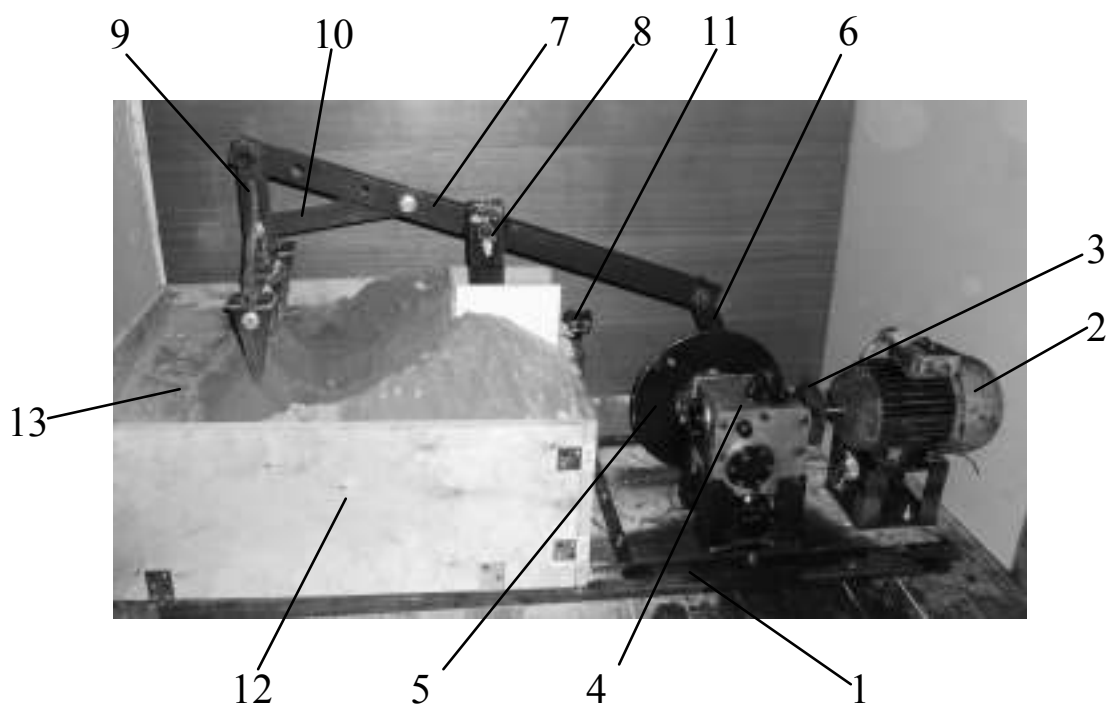
Dantis	Danties svoris, g
Neapvirintas	1211,8
677	1324,3
687	1458,8
AV APL 60	1312,1
OK 84.52	1326,3
OK 83.50	1355,1

2.2. TYRIMO STENDAS

Eksperimentiniams ekskavatoriaus kaušo dantų dilimo tyrimams atlikti suprojektuotas ir pagamintas spec. tyrimų stendas. Siekiant tyrimų sąlygas kuo labiau priartinti prie realių darbo sąlygų buvo pasirinkta konstrukcija pateikta 2.8 pav. Buvo analizuojami ir kiti konstrukcijos variantai, tačiau paskaičiavus ekonominius kaštus ir gaminio pagaminamumą buvo apsisistota ties šiuo variantu.

Ant stendo pagrindo - 1, kuris buvo išpjautas iš 18 mm storio faneros, iš šonų sustiprintos metaliniais kampuočiais, buvo sumontuotas 1,5 kW galingumo, 2840 suk/min asinchroninis elektros variklis - 2, kuris per tampriąją movą - 3 suka sliedinį reduktorių - 4, kurio perdavimo santykis 1 : 135. Šis, atitinkamai per smagratį - 5 ir švaistiklį - 6, priverčia svertą - 7, esantį ant stovo - 8, judėti lanku aukštyn - žemyn. Ant sverto pritvirtintas kronšteinas - 9 su trimis vietomis dantims, sutvirtintas stabilizatoriumi - 10, kuriuo reguliuojamas dantų smigimo kampas. Ant stendo pagrindo ir smagračio sumontuotas magnetinis skaitiklis - 11, kad registruoti darbo ciklų skaičių.

Iš 18 mm storio faneros buvo sumontuota dėžė gruntui - 12, kurios matmenys 300 x 670 x 800 mm. Gruntas buvo pasirinktas žvyras - 13, kurio dalelių dydis buvo nuo 0,1 iki 50 mm.



2.8 pav. Tyrimo stendas. 1 – stendo pagrindas; 2 - elektros variklis; 3 - mova; 4 - reduktorius; 5 - smagratis; 6 - švaistiklis; 7 - svertas; 8 - stovas; 9 - kronšteinas; 10 - stabilizatorius; 11 - skaitiklis; 12 - dėžė žvyru; 13 – žvyras

Stendo ciklų skaičiaus apskaičiavimas.

Pagal gruntu nueitą ekskavatoriaus kaušo danties kelią apskaičiuojame reikalingą atlikti stendo ciklų skaičių, kuris atitiktų vieną ekskavatoriaus kaušo ciklą:

ekskavatoriaus danties nueitas kelias per vieną ciklą: $S_{eks} = 80$ cm;

stendo danties nueitas kelias per vieną ciklą: $S_{st} = 20$ cm;

$$c = \frac{S_{eks}}{S_{st}} = \frac{80}{20} = 4. \quad (2.1)$$

Pagal ekskavatoriaus gamintojo „Caterpillar“ katalogą apskaičiuojame ekskavatoriaus darbo ciklo trukmę:

kaušo talpa – $0,4 \text{ m}^3$;

kaušo užkrovimas – 10 s;

eiga užkrautu kaušu – 6 s;

kaušo iškrovimas – 7 s;

eiga tuščiu kaušu – 5 s;

ekskavatoriaus ciklo trukmė:

$$t_{c.eks} = 10 + 6 + 7 + 5,7 = 27,7 \text{ s}; \quad (2.2)$$

ekskavatoriaus ciklų skaičius per darbo dieną:

$$c_{eks.d} = \frac{t_{d.eks}}{t_{c.eks}} = \frac{28800}{27,7} = 1039,7 \approx 1040; \quad (2.3)$$

stendo ciklų skaičius:

$$c_{d.st} = c_{eks.d} \cdot c = 1040 \cdot 4 = 4160 ; \quad (2.4)$$

laikas, reikalingas atlikti stendui vienos ekskavatoriaus darbo dienos ciklų skaičių:

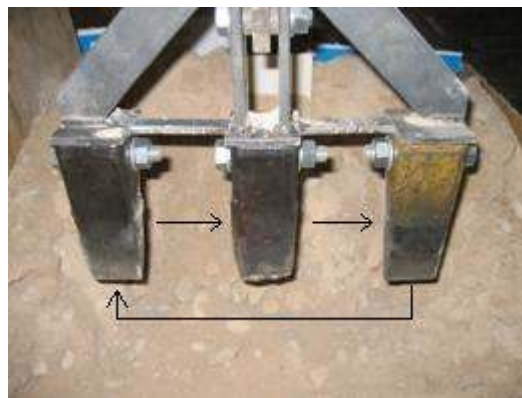
$$t_{st} = c_{d.st} \cdot t_{st.c} = 4160 \cdot 2,8 = 11700s = 3 \text{ val.}, 15 \text{ min.} \quad (2.5)$$

2.3. TYRIMO METODIKA

Kadangi mūsų suprojektuotame stende vienu metu galima tirti tik trijų ekskavatoriaus kaušo dantų dilimą tai mes eksperimentą atliekame dviem etapais. Pirmame etape stende sumontuojami trys ekskavatoriaus kaušo dantys: neaplydytas, AV APL 60 ir 687. Stendas paleidžiamas dešimčiai intervalų po 4160 darbo ciklų, po 3 val. 15 min. Eksperimentas atliekamas tokia tvarka:

- 1) dantų nuvalymas ir svėrimas;
- 2) dantų montavimas prie kronšteino;
- 3) stendo paleidimas (skaitiklis įsijungia ir pradeda registruoti ciklus);
- 4) stendo sustabdymas po 4160 ciklų;
- 5) dantų numontavimas nuo kronšteino;
- 6) dantų nuvalymas ir svėrimas.

Antrame etape sumontuojami kiti trys dantys: 677, OK 83.50 ir OK 84.52. Stendas vėl paleidžiamas dešimčiai intervalų po 4160 darbo ciklų, po 3 val. 15 min. Eksperimento tvarka tokia pati kaip ir pirmame etape. Kaskart, dantų pozicijos ant kronšteino buvo keičiamos eilės tvarka, kad nedarytų įtakos dilimo procesui 2.9 pav.



2.9 pav. Dantų pozicijos keitimas

2.4. MATAVIMO PRIEMONĖS

Įvairių sistemų mazgų elementų dilimo dydžiui nustatyti galimi įvairūs būdai. Ekskavatoriaus kaušo dantų dilimo dydžio nustatymui buvo naudojamas svėrimo būdas. Svėrimui buvo naudojamos Vokietijoje, Baden – Vurtenbergo žemėje, „Kern & Sohn“ kompanijoje gaminamos svarstyklės KERN 573–46, kurių techniniai duomenys pateikti (2.4 lentelėje). Svarstyklės KERN 573–46 pavaizduotos 2.10 pav.



2.10 pav. Svarstyklės KERN 573–46

2.4 lentelė. KERN 573–46 svarstyklių techniniai duomenys

Svėrimo tikslumas	0,1g
Minimalus svoris	5g
Maksimalus svoris	6500g
Stabilizacijos laikas	2s
Drėgmė	Max 80%
Veikimo temperatūra	+10°C iki 40°C
Svėrimo lėkštė	160mm–200mm
Anti vibracinis filtras	yra

3. TYRIMO REZULTATAI IR JŲ APTARIMAS

Kas 4160 darbo ciklų dantys numontuojami ir sveriami. Jų svėrimo rezultatai pateikti (3.1 lentelėje).

3.1 lentelė. Dantų svoris tyrimo metu

Dantis	Darbo ciklų skaičius									
	4160	8320	12480	16640	20800	24960	29120	33280	37440	41600
	Svoris, g									
Neaplydytas	1211,4	1211,1	1210,8	1210,6	1210,4	1210,2	1210,0	1209,8	1209,6	1209,3
677	1323,8	1323,4	1323,1	1322,8	1322,6	1322,4	1322,3	1322,2	1322,1	1322,0
687	1458,7	1458,6	1458,5	1458,4	1458,3	1458,2	1458,1	1458,0	1458,0	1458,0
AV APL 60	1311,8	1311,7	1311,6	1311,5	1311,4	1311,3	1311,2	1311,1	1311,0	1310,9
OK 84.52	1326,1	1326,1	1326,1	1326,0	1325,9	1325,8	1325,8	1325,7	1325,6	1325,6
OK 83.50	1355,0	1354,9	1354,8	1354,7	1354,6	1354,5	1354,4	1354,3	1354,2	1354,1

Kiekvienam dančiui, kiekvieno intervalo metu buvo apskaičiuota prarasto svorio reikšmė. Dantų svorio praradimas tyrimo metu pateiktas (3.2 lentelėje).

3.2 lentelė. Prarastas dantų svoris tyrimo metu

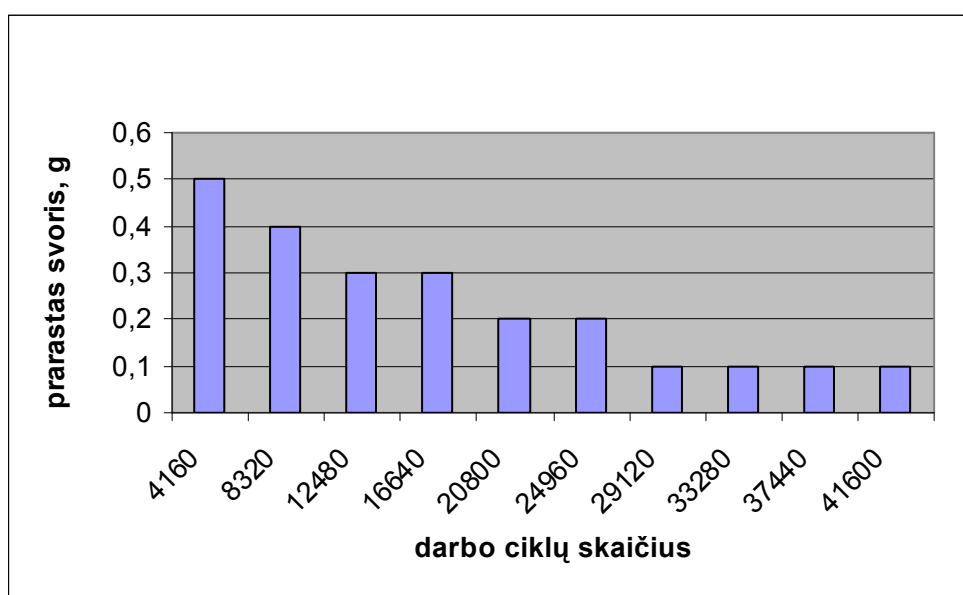
Dantis	Darbo ciklų skaičius									
	4160	8320	12480	16640	20800	24960	29120	33280	37440	41600
	Svoris, g									
Neaplydytas	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3
677	0,5	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
687	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0	0
AV APL 60	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
OK 84.52	0,2	0	0	0,1	0,1	0,1	0	0,1	0,1	0
OK 83.50	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

Gavus visų intervalų svėrimo rezultatus, buvo apskaičiuota prarasto svorio reikšmė viso tyrimo metu. Viso tyrimo metu apskaičiuotas prarastas dantų svoris pateiktas (3.3 lentelėje).

3.3 lentelė. Prarastas dantų svoris

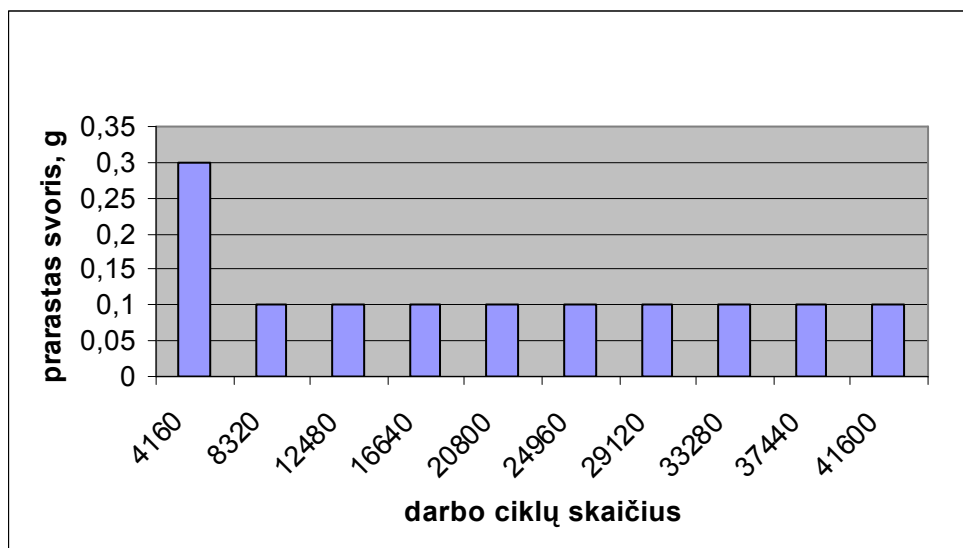
Dantis	Prarastas svoris, g
Neapvirintas	2,5
677	2,3
687	0,8
AV APL 60	1,2
OK 84.52	0,7
OK 83.50	1,0

3.1 pav., matyti, kad dantis, aplydytas 677 markės elektrodais, sparčiausiai dyla pirmuose darbo ciklų intervaluose. Vėliau dilimas sumažėja ir nusistovi. Tai gali būti dėl didelio šlako kiekio, gauto apvirinimo proceso metu dėl nekokybiškų elektrodų.



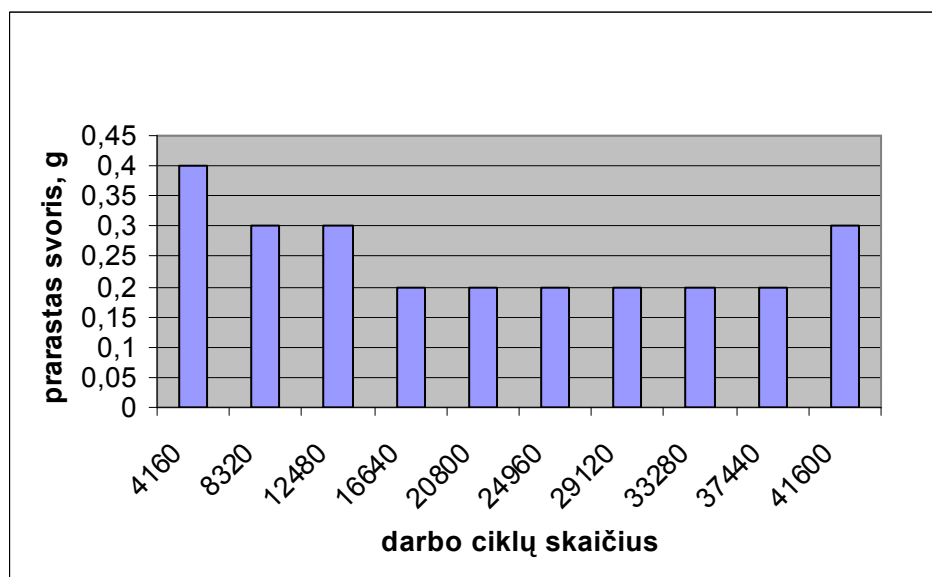
3.1 pav. Danties, aplydyto 677 markės elektrodais dilimas.

Dantis, aplydytas APL AV 60 markės elektrodais, pirmame darbo ciklų intervale dėvisi stipriau, visuose kituose intervaluose dėvėjimasis pastovus ir lygus 0,1 mg. Šlako kiekis labai nežymus. Aplydymo siūlės yra lygios, puikiai matoma siūlės kryptis. Vizualiai pagal aplydymo kokybę iš „Anykščių vario” elektrodų yra geriausi.



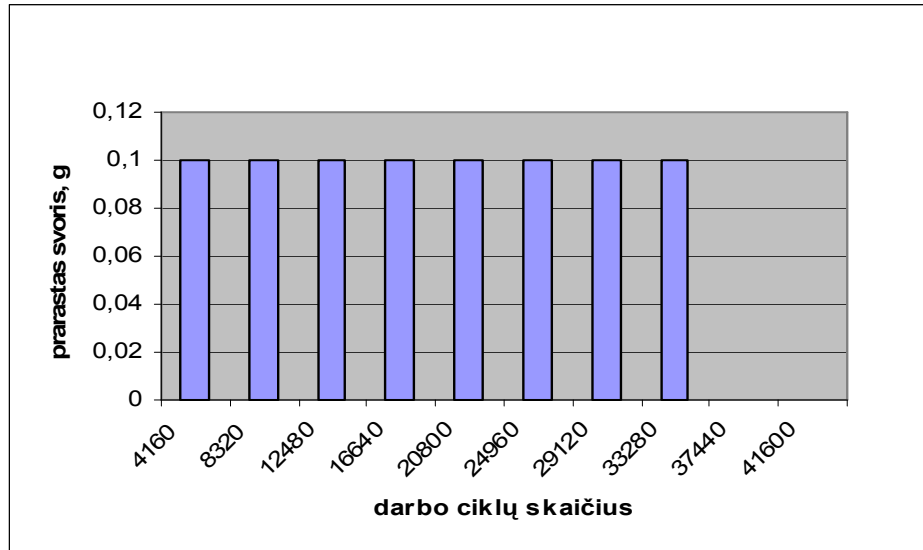
3.2 pav. Danties, aplydyto APL AV 60 elektrodais, dilimas

Neaplydyto danties dėvėjimasis pavaizduotas 3.3 pav. Kaip ir pirmais dviem atvejais taip ir šiame pastebimas stipresnis dėvėjimasis pirmuose darbo ciklų intervaluose. Vėliau dėvėjimasis sumažėja ir suvienodėja.



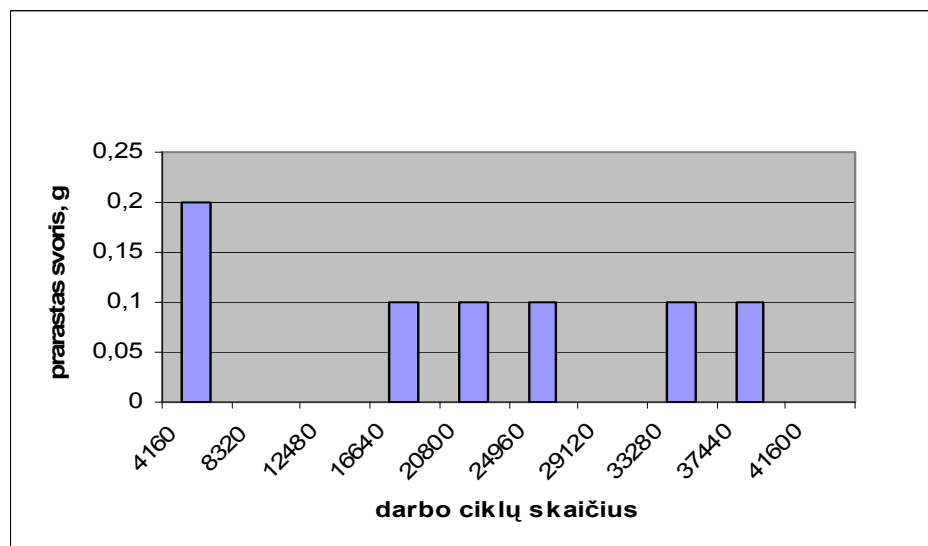
3.3 pav. Neaplydyto danties dilimas

Danties, aplydyto 687 markės elektrodais, dėvėjimasis pavaizduotas 3.4 pav. Kaip matyti grafike, dėvėjimasis labai menkas, yra net du intervalai, kai dėvėjimasis visiškai neužfiksuotas. Aplydymas labai prastos kokybės, paviršius korėtas. Į korių ertmės tyrimo metu prilenda žvyro, kurį labai sunku išvalyti, todėl prarasto svorio reikšmė šiam dančiui nėra objektyvi.



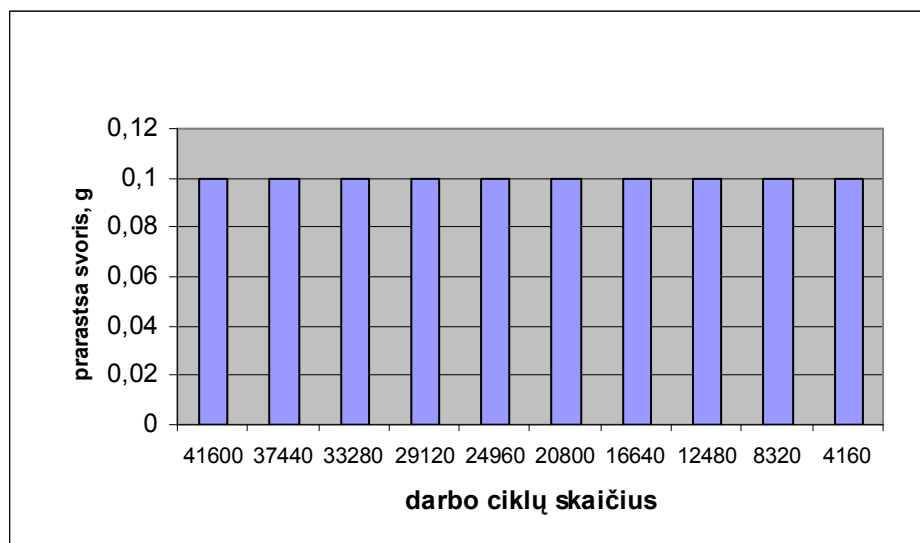
3.4 pav. Danties, aplydyto 687 markės elektrodais, dilimas

Danties, aplydyto OK 84.52 markės elektrodais, dėvėjimasis pavaizduotas 3.5 pav. Pirmame intervale kaip ir ankstesniais atvejais dėvėjimasis intensyvesnis, vėliau danties dėvėjimasis labai nežymus. Prarasto svorio reikšmė pati mažiausia iš visų tiriamų dantų. Net keturiuose intervaluose dėvėjimasis visiškai neužfiksuotas. Šlako nepastebėta visai. Apvirinimas labai lygus, puikiai matomos siūlės ir jų kryptis. Apvirinimo kokybė vizualiai labai stipriai skiriasi nuo „Anykščių vario“ elektrodų. Apvirinimo siūlės daug lygesnės.



3.5 pav. Danties, aplydyto OK 84.52 markės elektrodais, dilimas

Danties, aplydyto OK 83.50 markės elektrodais, dėvėjimasis pavaizduotas 3.6 pav. Dėvėjimasis labai tolygus visuose intervaluose. Gera apvirinimo kokybė, siūlės lygios, siūlių kryptis puikiai matoma.



3.6 pav. Danties, aplydyto OK 83.50 markės elektrodais, dilimas

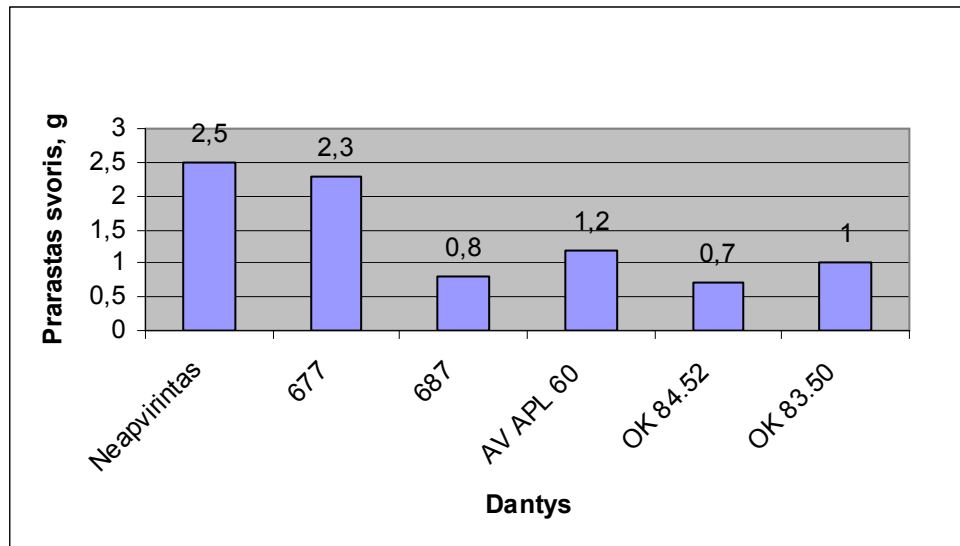
Pagal prarastą dantų svorį viso tyrimo metu aiškiai matyti, kad neaplydytas dantis dėvisi stipriausiai. Jo prarastas svoris net 2,5 g.

Danties, aplydyto „Anykščių vario“ 677 markės elektrodais, dėvėjimasis taip pat labai intensyvus. Jo prarastas svoris – 2,3 g. Šį reiškinį būtų galima paaiškinti taip: aplydymo metu dėl blogos elektrodų kokybės buvo gautas didelis šlako kiekis, kurio visiškai pašalinti nuo bandinio nepavyko. Taigi, pirmuose intervaluose, kol nudilo šlakas, dėvėjimosi reikšmė buvo didelė, vėliau ji sumažėjo ir paskutiniuose intervaluose ji buvo gana maža.

Danties, aplydyto APL AV 60 elektrodais, dėvėjimosi reikšmė jau gerokai mažesnė.

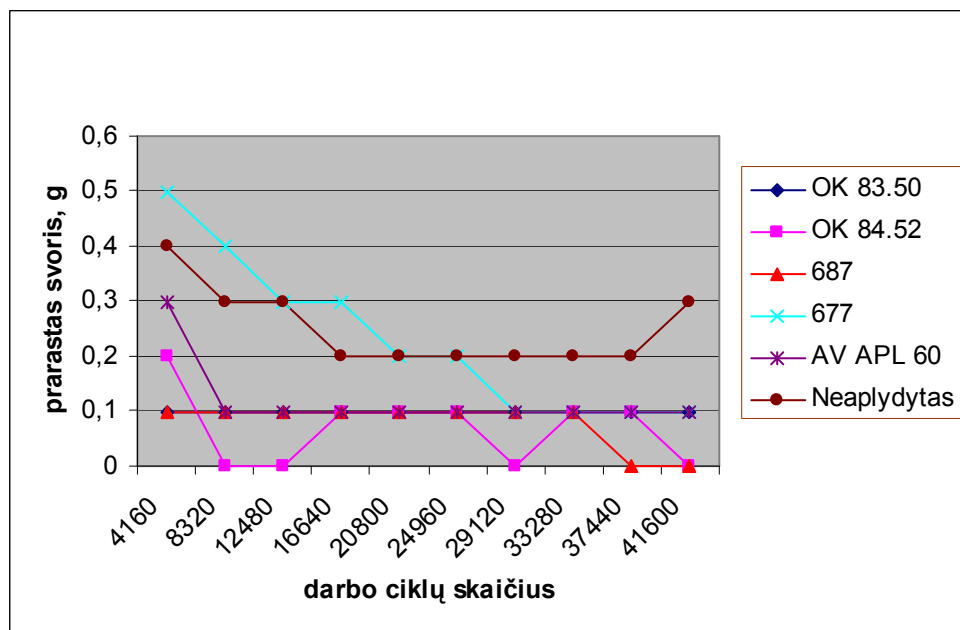
Danties, aplydyto OK 83.50 elektrodais, dėvėjimosi reikšmė labai panaši kaip ir danties, aplydyto APL AV 60 elektrodais.

Mažiausiai nusidėvėjo dantis, aplydytas OK 84.52 markės elektrodais, tik 0,7 g. Tik šiek tiek daugiau – 0,8 g nusidėvėjo dantis, aplydytas eksperimentiniais 687 markės elektrodais. Toks reiškinys būtų paaiškinamas tuo, jog didelis chromo kiekis apvirinimo elektrodų gryno prilydyto metalo cheminėje sudėtyje stipriai veikia dantų dėvėjimąsi.



3.7 pav. Prarastas dantų svoris

Dantų dilimo kreivės pavaizduotos 3.8 pav.



3.8 pav. Dantų dilimo kreivės

Eksperimentinio tyrimo metu išryškėjo kai kurie tyrimo trūkumai:

- iškilo stendo patikimumo problema. Projekte buvo numatyta, kad apkrovos bus didelės, tačiau tyrimo metu paaiškėjo, kad apkrovos buvo dar didesnės nei tikėtasi. Todėl reiktų stiprinti stendo konstrukciją;

- grunto dėžės aukštis buvo per mažas. Padidinus dėžės aukštį tyrimo rezultatai būtų patikimesni, kadangi dantys ilgesnį laiko tarpą kontaktuotų su gruntu;

- dantų aplydymo problema. Kai kurie dantys buvo aplydyti ne taip kaip nurodyta metodikoje. Buvo aplydyta darbinė danties plokštuma, tačiau užpakalinė danties plokštuma nebuvo aplydyta, kuri nors ir silpnai, tačiau vis tiek kontaktuoja su gruntu.;

- svėrimo problema. Reikėtų didesnio tikslumo svarstyklių, kadangi iš gautų rezultatų sunku daryti išvadas. Šią problemą galima būtų kompensuoti forsuojant bandymus, - didinant reduktoriaus perdavimų skaičių, arba didinant tyrimų trukmę.

IŠVADOS

Atlikus eksperimentinį tyrimą buvo padarytos šios išvados:

1. Neapvirintas dantis nudilo daugiausiai – 2,5 g, todėl jo naudojimas būtų ne pats geriausias pasirinkimas.

2. Pačią geriausią abrazyvinio dėvėjimosi charakteristiką parodė dantis, aplydytas ESAB firmos OK 84.52 markės elektrodais. Jis nudilo mažiausiai – 0,7 g. Taip pat labai gerą dėvėjimosi charakteristiką parodė dantis, aplydytas „Anykščių vario“ eksperimentiniais 687 markės elektrodais. Jis nudilo – 0,8 g. Šis reiškinys būtų paaiškinamas tuo, jog didelis chromo kiekis gryno prilydyto metalo cheminėje sudėtyje, stipriai veikia dantų dėvėjimosi procesą.

3. Atliekant eksperimentinius tyrimus buvo pastebėta, kad pirmuose intervaluose dantys dėvėjosi sparčiau nei vėlesniuose intervaluose.

4. Atlikus eksperimentinius tyrimus buvo nustatyta, kad aplydymas žymiai padidina danties atsparumą abrazyviniam dėvėjimuisi. Aplydyto danties atsparumas abrazyviniam dėvėjimuisi, lyginant su neaplydytu, padidėja apytiksliai net iki trijų kartų, todėl naudotus ar net nenaudotus ekskavatoriaus kaušo dantis būtų rekomenduojama aplydyti.

LITERATŪRA

1. Hawk, J. A.; Wilson, R. D.; Tylczak, J. H.; Dogan, O. N. Laboratory abrasive wear tests: investigation of test methods and alloy correlation. Volumes 225-229, Part 2, April 1999, p. 1031-1042.
2. Standard practice for conducting dry sand/rubber wheel abrasion tests: G65-94, Vol. 03.02: Wear and Erosion: Metal Corrosion, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA, 1996, p. 232–243.
3. Blickensderfer, R.; Laird, G. A pinion–drum abrasive wear test and comparison to other pin tests. *J. Test. Eval.* 16 (1988), p. 516–526
4. Sare, I. R.; Hall, W. B. The determination of gouging abrasion by jaw crusher tests, Conference on Lubrication, Friction, and Wear in Engineering, Melbourne, Australia, Dec. 1–5, 1980. Inst. Eng., Barton, A.C.T., Australia, 1982, p. 94–98.
5. Tylczak, J. H.; Hawk, J. A.; Wilson, R. D. A comparison of laboratory abrasion field wear results. *Wear*, Volumes 225-229, Part 2, April 1999, p. 1059-1069.
6. Blickensderfer, R.; Tylczak, J.H. Evaluation of the planar array field wear test, in: K.C. Ludema, R.G. Bayer (Eds.), *Wear of Materials 1991*, ASME, New York, NY, 1991, p. 339–344.
7. Sare, I. R.; Constantine, A.G. Development of methodologies for the evaluation of wear-resistant materials for the mineral industry. *Wear* 203 - 204 (1997), p. 671–678.
8. Fernández, J. E.; Vijande, R.; Tucho, R.; Rodríguez, J. ; Martín, A. Materials selection to excavator teeth in mining industry. *Wear*, Volume 250, Issues 1-12, October 2001, p. 11-18.
9. Richardson, R.C. D. Wear of metals by hard abrasives. *Wear* 10 (1967), p. 291–309.
10. Hrabec, P.; Choteborsky, R.; Medlin, R. Influence of overlay layers on the abrasive wear. *Res. Agr. Eng.*, T. 52, 2006, p.115 – 122.

11. Maciejewski, J.; Jarzebowski, A.; Trampczynski, W. Study on the efficiency of the digging process using the model of excavator bucket. *Journal of Terramechanics*, Volume 40, Issue 4, October 2003, p. 221-233.
12. Andreev, C H; Panchovski, I; Manchev, M; Stoyanov, K. Some Experimental Results From Study of Various Steel Used for Forged Teeth of Excavator Rotors. *Minno Delo*. Vol 55, No1, Jan. 1990., p. 12 – 13.
13. Lingaitis, L. P. Žemės darbų mašinos. Vilnius, „Technika“, 2004.
14. Evdokimov, A.; Kolesnikov, A. I; Teterin, A. V. Planirovanije i analiz eksperimentov pri reseniji zadac trenija i iznosa. Moskva, 1981.
15. Ikramov, U. A. Rascetnije metody ocenky abrazivnogo iznosa. Moskva. 1982.
16. Svanson, P. A. Review of Laboratory Abrasion Test. *Tribology. Wear Test Selection for Design and Application*. ASTM STP 1199, Philadelphia, 1993, p. 153 – 157.
17. Shumegi, I. Razvitie kovshei rotnovo ekskavatora tipa SRS – 1200. *International Conference on Mining Techniques*, 2001 Krakow – Krynica, 2001, September, p. 112 – 118.