



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

MECHANIKOS FAKULTETAS

MAŠINŲ GAMYBOS KATEDRA

Donatas Lukšys

**LAIŲ IZOLIACIJOS NUĖMIMO DVIEJŲ BĖSUKANČIŲ BŲGNŲ
MAŠINA TECHNOLOGINIŲ REŽIMŲ TYRIMAI**

**RESEARCH OF TECHNOLOGICAL CONDITIONS OF REMOVAL OF
PLASTIC INSULATOR FROM CABLES BY TWO ROTATING ROLLS
MACHINE**

Baigiamasis magistro darbas

Technologijos mokslo sritis

Mechanikos inžinerijos mokslo kryptis

Pramonės inžinerijos studijų kryptis

Pramonės inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 62408T207

Pramonės technologijos specializacija

Vilnius, 2009

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

MECHANIKOS FAKULTETAS

MAŠINŲ GAMYBOS KATEDRA

TVIRTINU

Katedros vedėjas

(Parašas)

M. Jurevičius

(Vardas, pavardė)

2009 06 02

(Data)

Donatas Lukšys

**LAIŲ IZOLIACIJOS NUĖMIMO DVIEJŲ BŪGNŲ MAŠINA
TECHNOLOGINIŲ REŽIMŲ TYRIMAI**

**RESEARCH OF TECHNOLOGICAL CONDITIONS OF REMOVAL OF
PLASTIC INSULATOR FROM CABLES BY TWO ROTATING ROLLS
MACHINE**

Baigiamasis magistro darbas

Technologijos mokslo sritis

Mechanikos inžinerijos mokslo kryptis

Pramonės inžinerijos studijų kryptis

Pramonės inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 62408T207

Pramonės technologijos specializacija

Vadovas doc. Vadim Mokšin
(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

(Parašas)

2009 06 02
(Data)

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

(Parašas)

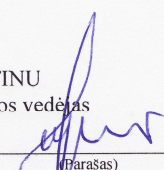
09-05-29
(Data)

Vilnius, 2009

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS FAKULTETAS
MAŠINŲ GAMYBOS KATEDRA

Technologijos mokslo sritis
Mechanikos inžinerijos mokslo kryptis
Pramonės inžinerijos studijų kryptis
Pramonės inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 62408T207
Pramonės technologijos specializacija

TVIRTINU
Katedros vedėjas


(Parašas)
Mindaugas Jurevičius
(Vardas, pavardė)
2009 05 26
(Data)

BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO

UŽDUOTIS

2009 03 16 Nr. 06
Vilnius

Studentui (ei) Donatui Lukšui
(Vardas, pavardė)

Baigiamojo darbo tema: Laidų izoliacijos nuėmimo dviejų besisukančių būgnų mašina technologinių
režimų tyrimai.....

patvirtinta 2008 m. gruodžio 11 d. dekanų potvarkiu Nr. 474 me.

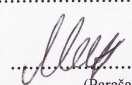
Baigiamojo darbo užbaigimo terminas 2008 m. gegužės 20 d.

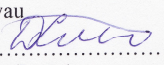
BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

Ištirti būgnų temperatūros ir apskritiminio greičio įtaką aliuminio ir vario ir laidų izoliacijos nuėmimo
kokybei. Laidų šerdies storis yra $2 \div 10$ mm.....

Baigiamojo darbo rengimo konsultantai:

Lekt. A. Petrėtienė.....
(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

Vadovas  Doc. Vadim Mokšin.....
(Parašas) (Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

Užduotį gavau 
(Parašas)

..... Donatas Lukšys
(Vardas, pavardė)
2009 m. kovo 16 d.
(Data)

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

Mechanikos fakultetas

Mašinų gamybos katedra

ISBN ISSN

Egz. sk.

Data 2009-05-19

Pramonės inžinerijos studijų programos baigiamasis magistro darbas

Pavadinimas **Laidų izoliacijos nuėmimo dvejų besisukančių būgnų mašina technologinių režimų tyrimai**

Kalba

x

lietuvių

užsienio

Anotacija

Darbe analizuojami viengyslių varinių ir aliumininių elektros laidų izoliacijos nuėmimo technologiniai režimai, kai šie laidai utilizuojami terminiu būdu patobulinta dvejų besisukančių būgnų mašina. Eksperimentas buvo atliekamas Vilniaus Gedimino technikos universiteto Mašinų ir technologijų laboratorijoje. Šio darbo pagrindinis tikslas – nustatyti optimaliausius elektros laidų izoliacijos sluoksnio nuėmimo, nepažeidžiant laidininko vielos, režimus priklausomai nuo laidų storio dydžio.

Bandymo metu gauti rezultatai būtų naudingi smulkioms laidų gamybos, taupant ribuotas žaliavas, atliekų perdirbimo, elektros įrenginių remonto ir gamybos įmonėms efektyviau išnaudoti tokias mašinas.

Darbą sudaro šios dalys: įvadas, literatūros apžvalga, tyrimo metodika, įranga, tyrimo rezultatai, išvados, literatūros sąrašas, priedai.

Darbo apimtis – 49 p. teksto be priedų, 27 pav., 13 lent., 18 literatūros šaltinių.

Atskirai pridedami darbo priedai.

Prasminiai žodžiai: izoliacija, nuėmimas, kaitinimas, storis, apskritiminis greitis.

Vilnius Gediminas technical university

Faculty of Mechanics

Department of Machines building

ISBN ISSN

Egz. sk.

Data 2009-05-19

Industrial engineering study program Master's final work

Title **Research of technological conditions of removal of plastic insulator from cables by two rotating rolls machine**

Languages

x	lithuanian
	english

Summary

This work presents results of investigations of technological conditions of removal of plastic insulator from single – core cables, when the cable placed between two rotating rolls and surface of the one roll is heated below the melting temperature of thermoplastic insulator. Experiments were carried out in the Laboratory of machines and technologies of Vilnius Gediminas technical university. The main aim of investigations was to obtain the optimal insulator removal conditions (speed of the roll and temperature of the hot roll) for different core diameter cables.

The experimental research results are presented as the optimal peripheral velocity of rolls (or cable speed) required to complete removal of polyvinylchloride insulator from the conductor versus the thickness of copper and aluminum conductor of the single-core cable. The results of investigations can be interesting for small cable manufacturers, waste utilization enterprises and electric equipment repair workshops.

Work consists of following chapters: Introduction, Review of scientific literature, Experiment method and equipment, Result of experiments, Conclusions, References

There are 49 pages without appendix, 27 images, 13 tables, 18 positions of literature in Master's thesis.

Key words: insulator, removal, heating, thickness, peripheral velocity.

TURINYS

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS.....	7
LENTELIŲ SĄRAŠAS.....	8
SANTRUMPOS.....	9
ĮVADAS.....	10
1. LITERATŪROS APŽVALGA.....	11
1.1. Perdirbimo įrengimai.....	13
1.1.1. Pjaustymo – kapojimo mašinos.....	13
1.1.2. Granuliatoriai ir malimo agregatai.....	15
1.1.3. Automatizuota linija.....	24
1.2. Perdirbimo metodai.....	22
2. TYRIMO UŽDAVINIŲ FORMULAVIMAS.....	30
3. EKSPERIMENTINIAI TYRIMAI.....	31
3.1. Laidų izoliacijos nuėmimo mašinos, dviejų besisukančių būgnų konstrukcijos ir veikimo principo aprašymas	31
3.2. Temperatūros regulatoriaus kalibravimas.....	37
3.3. Tyrimo medžiagos.....	40
3.4. Temperatūros regulatoriaus kalibravimas.....	40
3.5. Optimalių technologinių režimų nustatymas.....	42
IŠVADOS.....	47
LITERATŪRA.....	48
PRIEDAI.....	50

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1 pav. Stalinė pjaustymo – kapojimo mašina CRM 2000.....	13
2 pav. Antžeminė pjaustymo – kapojimo mašina ADDAX.....	14
3 pav. Mobili pjaustymo – kapojimo mašina KAB 90.....	14
4 pav. Granuliatorius FG 476.....	15
5 pav. Malimo agregatai.....	16
6 pav. ГМ-02 tipo granuliatorius.....	17
7 pav. ГМ-02 tipo granuliatoriumi pagaminta produkcija.....	18
8 pav. CT01 įrengimas.....	19
9 pav. Automatizuotos linijos ЛПЦМ-01 bendras vaizdas.....	21
10 pav. Izoliacijos atskyrimo nuo laidininko proceso veikimo schema.....	23
11 pav. Po apdorojimo gautų PE (a) ir laidininko (b) vaizdai.....	23
12 pav. Laidų ir kabelių pjaustymas.....	24
13 pav. Radioaktyvių laidų ir kabelių perdirbimo schema.....	25
14 pav. Šarvuoto laido perdirbimo schema.....	25
15 pav. Atliekamų kabelių ir laidų perdirbimas Prancūzijoje	28
16 pav. Laidų judėjimo greičio priklausomybės nuo laidų storio.....	29
17 pav. Tyrimui naudojamos laidų izoliacijos nuėmimo mašinos pagrindinės darbinės dalies modelio schema.....	31
18 pav. Laidų izoliacijos nuėmimo mašinos bendras vaizdas.....	32
19 pav. Laidų izoliacijos nuėmimo mašinos kinematinė schema.....	33
20 pav. Laido izoliacijos nuėmimo schema.....	34
21 pav. Elektros variklio prijungimo per dažnuminę pavarą schema.....	35
22 pav. Variklio rotoriaus sukimosi dažnio priklausomybė nuo maitinimo tinklo dažnio.....	36
23 pav. Dažnuminės pavaros priekinės dalies vaizdas.....	37
24 pav. Įtampos priklausomybė nuo temperatūros.....	39
25 pav. Aliumininių laidų laido judėjimo greičio priklausomybė nuo laido storio.....	44
26 pav. Varinių laidų laido judėjimo greičio priklausomybė nuo laidų storio, kai kaitinamojo būgno paviršiaus įkaitinimo temperatūra yra 160 °C.....	45
27 pav. Aliumininių (1) ir varinių (2) laidų optimaliausių technologinių režimų palyginimo grafikas.....	46

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1 lentelė. Kabelių ir laidų laužo sudėties palyginimas.....	12
2 lentelė. Granuliatoriaus ГМ-02 techninės charakteristikos.....	18
3 lentelė. Kabelių izoliacijos nuėmimo įrengimo CT01 techninės charakteristikos.....	19
4 lentelė. Automatizuotos linijos ЛПЦМ-01 techninės charakteristikos.....	20
5 lentelė. Trifazio asinchroninio elektros variklio techniniai duomenys.....	34
6 lentelė. Dažnuminės pavaros techniniai duomenys.....	34
7 lentelė. Dažnuminės pavaros priekinės dalies mygtukų paskirtis.....	36
8 lentelė. Laboratorinio autotransformatoriaus kalibravimo duomenys.....	38
9 lentelė. Bandymams paruoštų viengyslių aliumininių ir varinių laidų parametrai.....	40
10 lentelė. Viengyslių 3 mm storio aliumininių bandymų rezultatai.....	42
11 lentelė. Viengyslių 4,4 mm storio aliumininių bandymų rezultatai.....	43
12 lentelė. Viengyslių 6,8 mm storio aliumininių bandymų rezultatai.....	43
13 lentelė. Viengyslių varinių laidų parametrai ir optimaliausių bandymų rezultatai.....	43

SANTRUMPOS

PVC – vinilo poli chloridas.

Si-XLPE – vulkanizuotas silano polietilenas.

XLPE – vulkanizuotas polietilenas.

PE – termoplastinis polietilenas.

IVADAS

Tyrimo objektas

Šiame darbe pateikta informacija apie naujų nekokybiškai pagamintų arba netinkamų jau naudojamų elektros laidų efektyvų perdirbimą, taikant šiuolaikinius perdirbimo metodus, analizuojami viengyslių varinių ir aliumininių elektros laidų izoliacijos nuėmimo technologiniai režimai, kai šie laidai apdirbami dviejų besisukančių būgnų mašina.

Darbo tikslas ir uždaviniai

Darbo pagrindinis tikslas – nustatyti optimaliausius elektros laidų izoliacijos sluoksnio nuėmimo, nepažeidžiant laidininko vielos, režimus priklausomai nuo laidų skerspjūvio storio dydžio. Bandymo metu gauti rezultatai būtų naudingi smulkioms laidų gamybos, atliekų perdirbimo, elektros įrenginių remonto ir gamybos įmonėms efektyviau išnaudoti tokias mašinas. Tyrimas leidžia nustatyti tinkamiausius laidų izoliacijos nuėmimo režimus, nes laidas ir kabelius, kaip ir kitos rūšies atliekas, yra sudėtinga perdirbti ar utilizuoti. Pagrindinis laidų perdirbimo sunkumas yra tas, kad labai brangiai kainuoja įsigyti laidų smulkinimo ar kapojimo įrangą, o ir ta ne visada būna tinkama bei patikima. Todėl tyrimas pagerins išlaidų pasiskirstymą, darbo našumą ir kokybę, suteikdamas daugiau privalumų ir galimybių, leis optimaliai planuoti laidų izoliacijos nuėmimo procesą, nes bus išvengta didelių prastovų.

Kadangi šiuo metu yra gana svarbūs aplinkosaugos elektros laidų utilizavimo reikalavimai, todėl labai aktualūs yra šių atliekų valdymo ir kontrolės gerinimo uždaviniai. Vienas iš pagrindinių uždavinių yra laidų izoliacijos nuėmimo efektyvumo užtikrinimas. Norint sėkmingai sureguliuoti gamybą, reikia didinti gaminamos produkcijos augimą ir užtikrinti norimą kokybę. Sprendžiant šiuos klausimus reikia atsižvelgti ne tik į gaminamo gaminio panaudojimą reikiamiems tikslams, bet ir numatyti produkto utilizavimą, kai jis bus nebetinkamas arba antrinę perdirbimą taikant tokias gamybos technologijas, kuriose nebebūtų atliekų. Tai leidžia visas produkto sudedamąsias dalis vėl panaudoti pakartotinėje gamyboje. Šių tikslų siekti yra skatinamos visos įmonės, nes tai leidžia racionaliau panaudoti gamybos resursus, kurie vėliau atsispindi prekės savikainoje.

Temos naujumas ir aktualumas

Lietuvoje elektrotechnikos bei elektronikos laužo, kabelių, laidų perdirbimas nėra populiarus, tačiau elektronikos, radioaktyvių kabelių, laidų perdirbimas yra artimiausioje perspektyvoje, nes šių produktų Lietuvoje vis gausėja. Tai ypač skatina energetikos įmonių

rekonstravimas ar uždarymas. Ignalinos atominės jėgainės uždarymo metu neišvengiamai gausės šių atliekų mastai, todėl verta tinkamai apdoroti susidariusias atliekas.

Dabartiniu metu yra sparčiai plečiama laidų ir kabelių infrastruktūra. Tai atliekama tada, kai yra keičiami seni ar klojami nauji laidai. Todėl būtina tinkamai tvarkyti šiame procese susidariusias laidų atliekas, atskiriant jų izoliacijos sluoksnį nuo laidininko.

Tyrimo metu gauti rezultatai padeda tikslingiau parinkti laidų izoliacijos nuėmimo režimus skirtingų dydžių laidams. Tokiu būdu bus užtikrinamas našus darbo procesas. Perdirbant laidus reikia įvertinti perdirbimo proceso darbo našumą, gamybos savikainą bei galutinio produkto kainą, sudėtinga taisyklingai parinkti perdirbimo proceso veiksnius, kuriuose būtų tik geriausi gamybos rodikliai. Priklausomai nuo darbo tikslų, galime parinkti tinkamiausią gamybos technologiją. Perdirbant laidus, gautos kokybiškos vario granulės yra vertinga žaliava gaminant įvairius lydinius ar folgą, laidų izoliacija gali būti naudojama kelių atitvarų ar statybinių medžiagų gamybai. Ypač gauta izoliacija gerai tinka termoplastinių kompozitinių medžiagų gamybai, t. y. čerpių, šaligatvių plytelių ir t. t. gamybai. Šios gamybos procese izoliacija dedama kaip rišančioji medžiaga, kuri suriša smėlį.

Pavyzdžiui, perdirbant senus švino turinčius kabelius ir laidus, gauname labai didelį vertingų metalų kiekį, lyginant su turinčiais plastikinių izoliacijos sluoksnį [10]. Šis palyginimas pateiktas 1 lentelėje.

1 lentelė. Kabelių ir laidų laužo sudėties palyginimas

Medžiaga	Švino kabelis	Kabelis su plastikine izoliacija
Laidininkas (švinas, varis, aliuminis, geležis)	70–80 %	40–60 %
Kitos medžiagos (bitumas, popierius, plastikas)	20–30 %	40–60 %

Sėkmingai perdirbus tokio tipo laidus gaunama vertinga metalų PVC, PE, gumos ir kt produkcija.

Kabelių ir laidų perdirbimo technologija yra paremta šiais pagrindiniais strateginiais tikslais:

- ✓ perdirbant šias atliekas bus mažinama aplinkos tarša;
- ✓ turi būti sukurtos perdirbimo sistemos, kurios galėtų utilizuoti įvairias kabelių ir laidų rūšių atliekas;
- ✓ atlikti efektyvius tyrimus, siekiant užtikrinti apdirbimo metu didžiausią našumą;
- ✓ turi būti laikomasi saugaus atliekų tvarkymo ir perdirbimo reikalavimų;

✓ perdirbimo sistema turi būti mobili, t. y. reikiamu metu galėtų funkcionuoti nustatytoje vietoje.

Šių strateginių tikslų realizavimas leistų sutaupyti laiko, atsisakyti atliekų tvarkymo, saugojimo, specialių kontenerių ir transportavimo išlaidų.

Kadangi kabelių ar laidų laidininkas yra paslėpti po apsauginiu izoliacijos sluoksniu, todėl vertingiausia medžiaga yra laidininkas, kurį galime naudoti pakartotinėje gamyboje.

Tyrimo metodai

Perdirbti laidų ir kabelių laužą, ypač kai jie yra supainioti, dar įvairių ilgių bei storių, įmanoma įvairiais metodais; o perdirbti laidus, kai jie pagaminti nekokybiškai arba kai jie yra atskirti vienas nuo kito, būna daug sudėtingiau, nes izoliaciją nuimti nuo kabelio ar atskiro laido reikia nepažeidžiant laidininko vielos. Galima perdirbti laidus taip, kad jų vielą galima būtų vėliau panaudoti gamyboje. Pagrindiniai šių atliekų tiekėjai yra įmonės, kurios gamina laidus ar naudoja šią produkciją savo veikloje.

Dabar svarbiausia pramonėje vykdyti gamybą, kurioje būtų šiuolaikiniai ekologiškai švarūs įrengimai ir gamintų produkcija, kuri mažiau terštų aplinką. Lietuvoje siekti šių tikslų yra sudėtinga, nes norint vykdyti ekologiškai švarią gamybą, reikia didelių investicijų perkant bei konstruojant modernius įrengimus. Taip pat vienas iš pagrindinių teršalų, kuris susidaro gamybos procese, yra atliekos, kurias reikia tinkamai tvarkyti. Su jomis yra susiję labai daug įmonės problemų. Todėl reikia konstruoti ir gaminti tokius įrengimus, kurie savo gamybos procese gautas atliekas čia pat panaudotų kitame procese kaip žaliavą. Tokiu būdu vykdant gamybą sumažinamos nepageidaujamos išlaidos, vėliau gautos atliekos panaudojamos kaip žaliavos, taip sumažinama aplinkos tarša atliekomis, t. y. mažiau atliekų pateks į sąvartynus. Tokiu principu dirbanti įmonė didina savo potencialą pasaulinėje rinkoje.

Darbo mokslinė vertė

Gauti tyrimo rezultatai padėjo nustatyti būgnų temperatūros ir apskritiminio greičio įtaką viengyslių aliuminio ir vario laidų izoliacijos sluoksnio nuėmimo kokybei.

Darbo aprobacija

Varinių viengyslių laidų izoliacijos sluoksnio nuėmimo dvejų besisukančių būgnų mašina būgnų apskritiminio greičio priklausomybė nuo laidų storio tyrimo rezultatai buvo skelbti 12-ojoje jaunųjų mokslininkų konferencijoje „Mokslas – Lietuvos ateitis“, kuri buvo įvykusi Vilniuje Vilniaus Gedimino technikos universitete Mechanikos fakultete Mašinų gamybos katedroje 2009 m. balandžio 24 d.. Šioje konferencijoje skaityta medžiaga pateikta 2 priede.

1. LITERATŪROS APŽVALGA

1.1. Perdirbimo įrengimai

1.1.1. Pjaustymo – kapojimo mašinos

Laidus ir kabelius, kaip ir kitos rūšies atliekas, yra sudėtinga perdirbti ar utilizuoti. Pagrindinis laidų perdirbimo sunkumas yra tas, kad labai brangiai kainuoja įsigyti laidų smulkinimo ar kapojimo įrangą, o ir ta ne visada būna tinkama bei patikima. Dažniausiai laidams perdirbti yra naudojamos pjaustymo – kapojimo mašinos, kurios labiausiai paplitusios išsivysčiusiose šalyse, taip pat laidus ir išvyniotus kabelius smulkina granulatoriuose arba mala įvairiais metodais. Pjaustymo – kapojimo mašinos būna labai įvairių modifikacijų, jos yra skirstomos pagal tai, kokį laidų kiekį reikės susmulkinti, ir kokį laidų storį gali apdirbti [16].



1 pav. Stalinė pjaustymo – kapojimo mašina CRM 2000

Ši mašina gali apdirbti laidus, kurių išorinis skersmuo yra nuo 1,5 iki 22 mm, o laido padavimo greitis sudaro 2810 cm/min.



2 pav. Antžeminė pjaustymo – kapojimo mašina ADDAX

Ši mašina gali apdirbti laidus, kurių išorinis skersmuo yra nuo 10 iki 160 mm, o laido padavimo greitis sudaro 35 m/min.



3 pav. Mobili pjaustymo – kapojimo mašina KAB 90

Ši mašina gali apdirbti laidus, kurių išorinis skersmuo yra nuo 2 iki 90 mm, o laido padavimo greitis sudaro 50 m/min.

Jeigu laidai ir kabeliai nėra labai skirtingų storių, tuomet galima naudoti vienos modifikacijos pjaustymo – kapojimo įrengimą. Pavyzdžiui, praleidus laidus ir kabelius pro įrengimą gaunami 10 centimetrų ilgio laidų ar kabelių gabalai, kurie po to yra vežami į granuliatorių arba malimo mašiną. Laidų ir kabelių kapojimo įrengimai dažniausiai yra statomi

atskirai nuo kitų, kur yra patogiau didelius kiekius atvežti transportu, iškrauti ir perdirbti į smulkesnę, kurios toliau reikia transportuoti tolimesniam perdirbimui. Toks pirminis kabelių ir laidų paruošimas atliekamas tam, kad būtų paprastesnis laido perdirbimas ir rūšiavimas.

1.1.2. Granuliatoriai ir malimo agregatai

Sukapotus laidus reikia praleisti pro granuliatorių, kad būtų gauti kuo smulkesni laido ir kabelio gabalėliai. Granuliatoriai taip pat skirstomi pagal tai koks laidų kiekis ir kokie laidų storiai bus apdirbami [16].



4 pav. Granuliatorius FG 476

Šio įrenginio apdirbimo kokybė labai priklauso nuo apdirbamo kabelio kokybės bei jo švarumo. Ekonominis efektyvumas priklauso nuo kabelių rūšiavimo. Geriausiai apdirbti pagal tipą ir kokybę jau išrūšiuotus kabelius ir stengtis be reikalo jų nemaišyti. Kietas kabelis, kurio išorinis skersmuo didesnis negu 40 mm turi būti prieš tai supjautas gabaliukais apie 0,7 m ilgio. Granuliatoriaus FG 476 našumas yra:

- sumaišytas varinio kabelio – 700 kg/h;
- ryšio kabelio – 650 kg/h;
- jėgos kabelio – 1100 kg/h.

Taip susmulkintus laidus ir kabelius galima toliau siųsti į malimo mašinas. Jose laidų ir kabelių gabaliukai yra sumalami ir specialiais vibraciniais separatoriais yra atskiriama izoliuojanti medžiaga nuo metalo. Izoliacijos atskyrimo metodų yra labai įvairių: geležies gabaliukus galima atskirti magnetiniais separatoriais, kitas medžiagas galima atskirti vibro-pneumatinuose separatoriuose, elektrostatinuose separatoriuose arba vandenyje.

Labiausiai yra paplitęs laidų ir kabelių perdirbimas juos sumalant į labai smulkias frakcijas, t. y. atliekama malimo įrenginiuose, kuriais labai gerai yra sumalamas laidas ir atskiriamas metalas nuo plastmasės. Prieš laidui patenkant į šį įrengimą reikia jį susmulkinti jau anksčiau minėtu kapojimo metodu.



a) Sincro 315C (našumas – 100 kg/h)



b) Sincro 415C (našumas – 200 kg/h)



c) Sincro 530C (našumas – 400 kg/h)



d) Sincro 950C (našumas – 1100 kg/h)

5 pav. Malimo agregatai

Šiuose malimo agregatuose dėl laidininko izoliacijos ir metalinės gyslos tankių skirtumo yra atskiriama izoliacija nuo laidininko. 5 paveikslėlyje pavaizduoti technologiniai įrengimai

negali apdoroti lipnių, suteptų alyva, labai užterštų laidų. Gauta po apdorojimo izoliacija gali būti naudojama šildymui, klojiniams, pramonės statybai.

Nedideli, kompaktiški leidžia apdoroti ne tik laidus, bet ir kabelius. Šie įrengimai susmulkina laidą ir toliau atskiria izoliacijos sluoksnį. Darbo išdavoje gauname produkciją metalinių granulių (drožlių ir sukapotų metalo gabaliukų) ir susmulkintos izoliacijos pavidalo. Daugiausiai šie įrengimai skirti automobilinių, telefonų, kontrolinių, vidinių jėgos, buityje naudojamų laidų bei kabelių apdorojimui. SINCRO įrengimai negali apdirbti alyva užpildytą į naftoje panardintą kabelį, kuris padengtas plieniniu šarvu ar turintį švino sluoksnį. Apdirbant reikia vengti, kad į malimo agregatą nepatektų plieniniai daiktai, pavyzdžiui, gnybtai ir pan.

Minimalus apdirbamo laido gyslos skersmuo priklauso nuo nustatyto įrengime tarpelio tarp kapojimo peilių. Šis tarpelis turi sudaryti 0,4 mm. Apdirbti smulkesnį laidą įmanoma tuomet, kai naudosime specialų įtaisą – aglomeratorių. Aglomeratorius susuka smulkius laidus į ritinėlius, tai leidžia efektyviau atskirti laidininką nuo jį gaubiančio izoliacijos sluoksnio. Maksimalų apdirbamo viengyslio laido skersmenį ribuoja smulkintuvo galingumas. Apdirbant laidus reikia įvertinti, kad kuo didesnio skersmens laidą apdorosime, tai turės neigiamos įtakos smulkintuvo peiliams, dėl to jie greičiau atšimpa ir sumažėja darbo našumas. Norint apdoroti didesnio skersmens laidus, agregate turi būti sumontuota galingesnis laido padavimo įtaisas. Šis įtaisas sujungtas bendrame korpuse su smulkintuvu, separatoriumi ir oro filtru.

Gauto po apdorojimo metalo (vario ir aliuminio) švarumas būna iki 99 %. Siekiant padidinti apdirbimo našumą, reikia naudoti skirtingo tipo malimo agregatus, t .y. didesnio skersmens laidams naudoti masyvius smulkintuvus, o apdirbant mažesnio skersmens laidus, naudoti aglomeratorius [14].



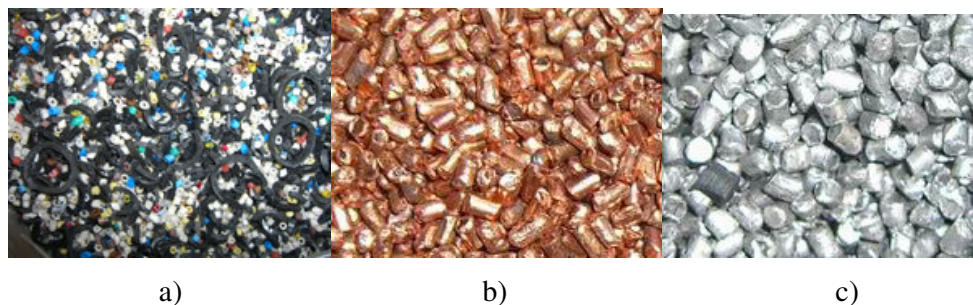
6 pav. ГМ-02 tipo granulatorius

ГМ-02 tipo granuliatoriaus techninės charakteristikos pateiktos 2 lentelėje.

2 lentelė. Granuliatoriaus ГМ-02 techninės charakteristikos

Techninės charakteristikos	
Kabelio padavimo greitis, m/min	9
Apdorojamo kabelio maksimalus skersmuo, mm	iki 40
Laidininko gyslos skersmuo, mm	0,4–4,0
Kapojimo peilių užgalandimo periodas	vykdomas apdorojus 6–10 tonų varinio kabelio
Didžiausias kapojimo peilių užgalandimų skaičius	apie 10 kartų
Granulių ilgis, mm	3,0
Bendras galingumas, kW	15
Maitinimo šaltinis, V/Hz	380/50
Maksimali maitinimo elektros srovė, A	25
Granuliatoriaus išmatavimai: ilgis, plotis, aukštis; mm	825, 1450, 2060
Svoris, kg	apie 1020

Prie šio granuliatoriaus pakanka vieno žmogaus darbo. Gauta po apdorojimo žaliava yra aukštos klasės metalo granulės, kurias galima panaudoti pakartotinam lydymui, pakartotino šių žaliavų apdirbimo nereikia, siekiant gauti aukštos kokybės produktą. Įrengimo galutinis produktas atvaizduotas 7 paveikslėlyje.



a)

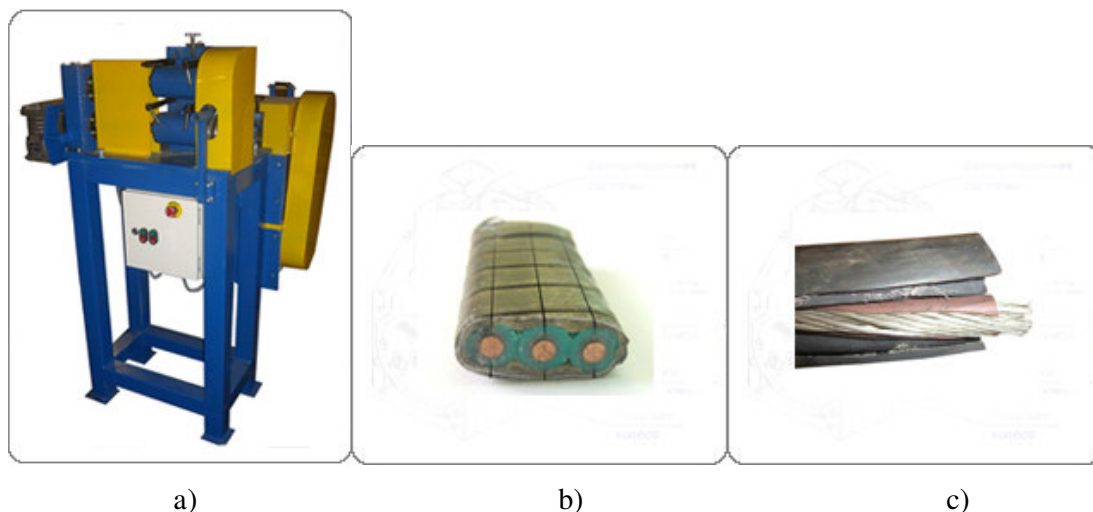
b)

c)

7 pav. ГМ-02 tipo granuliatoriumi pagaminta produkcija (a – izoliacijos atliekos, b – vario granulės, c – aliuminio granulės)

Kabelių su plieniniu šarvu apdorojimui gali būti naudojamas įrengimas – CT01. Jis skirtas varinių ir aliumininių kabelių su gumine, plastikine bei šarvuotą izoliaciją apdirbimui.

Izoliacijos atskyrimas nuo laidininko vielos vyksta, kai kabelis suspaudžiamas (8 pav. b) tarp besisukančių velenėlių ir specialiais pjovimo peiliais nuimamas izoliacijos sluoksnis. (8 pav. c) Taip apdorojant kabelį lieka nepažeistas laidininko varinė ar aliumininė gysla [14]. CT01 įrengimo vaizdas pateiktas 8 a paveikslėlyje.



8 pav. CT01 įrengimas (a – įrengimo bendras vaizdas, b – suspaustas kabelis, c – supjautas kabelis)

3 lentelė. Kabelių izoliacijos nuėmimo įrengimo CT01 techninės charakteristikos

Techninės charakteristikos	
Darbo našumas, m/min	27
Apdorojamo kabelio skersmuo, mm	3–50
Laidininko gyslos skersmuo, mm	1,0–10,0
Kapojimo peilių užgalandimo periodas	vykdomas apdorojus 6–10 tonų varinio kabelio
Didžiausias kapojimo peilių užgalandimų skaičius	apie 10 kartų
Bendras galingumas, kW	2,2
Maitinimo šaltinis, V/Hz	380/50
Maksimali maitinimo elektros srovė, A	25
Granuliatoriaus išmatavimai: ilgis, plotis, aukštis; mm	900, 600, 1550
Svoris, kg	apie 230

1.1.3. Automatizuota linija

Laidų ir kabelių izoliacijos nuėmimo technologinis procesas gali vykti automatizuotoje linijoje ЛПЦМ-01 [14]. Šią liniją sudaro tokie pagrindiniai sudedamieji junginiai:

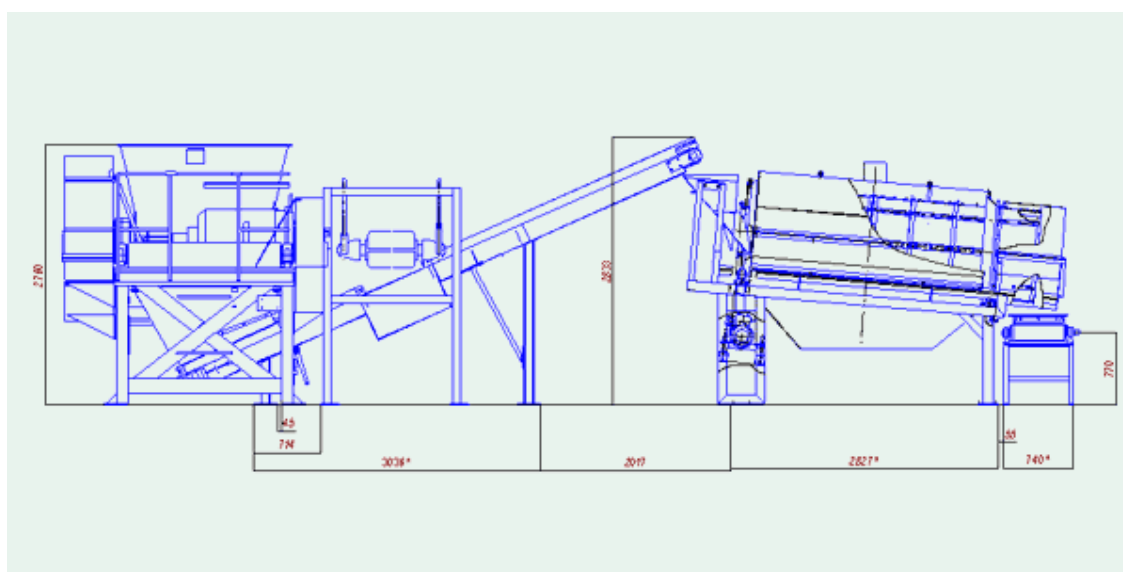
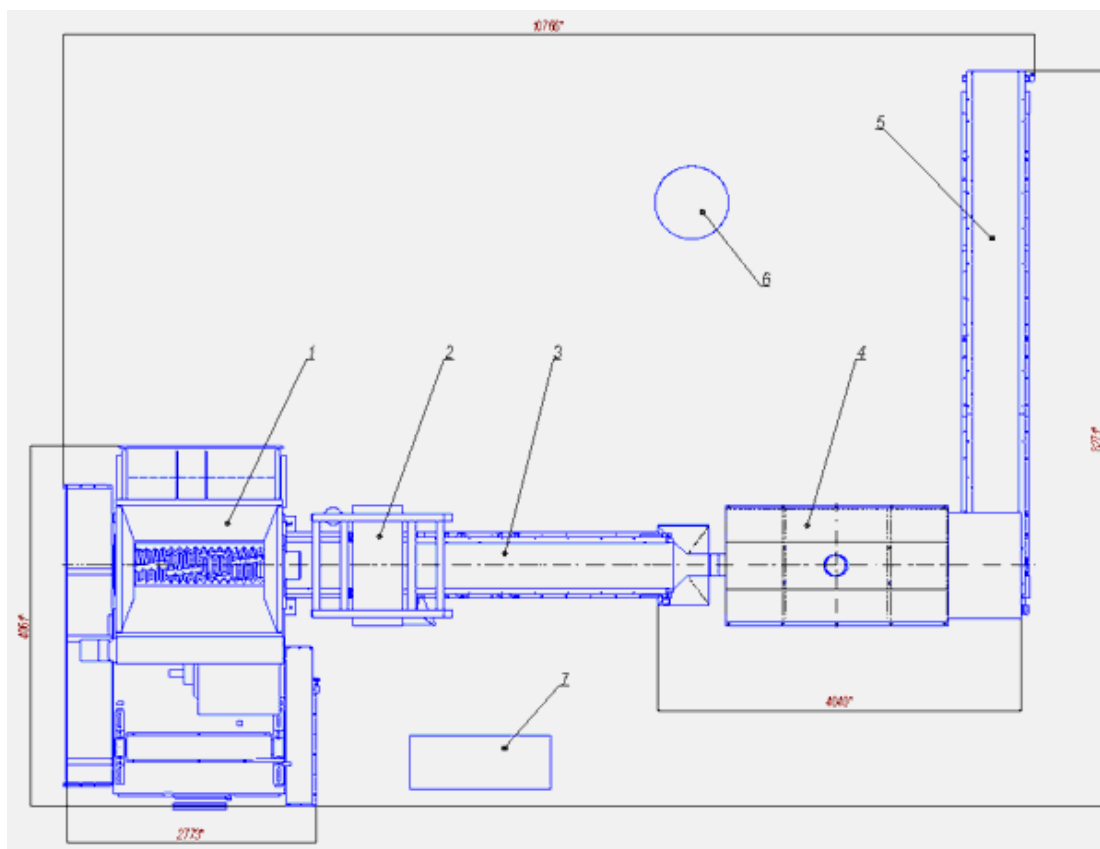
- ✓ laidų ar kabelių smulkintuvas;
- ✓ pakreiptas transportavimo įrengimas;
- ✓ skalperatorius;
- ✓ magnetinis separatorius;
- ✓ horizontalus transportavimo įrengimas;
- ✓ valdiklis;
- ✓ pagamintos produkcijos talpa.

Pirmiausiai, vykdant automatizuotą technologinį procesą, laidai ar kabeliai yra tiekiami į smulkintuvą, vėliau pakreiptu transportavimo įrengimu (konvejeriu) iš smulkintuvo apatinio bunkerio ruošiniai tiekiami į magnetinį separatorių, iš jo patenka į skalperatorių, o iš skalperatoriaus pagaminta produkcija horizontaliu transportavimo įrenginiu patenka į pagamintos produkcijos tarą.

Proceso eigą kontroliuoja valdiklis, smulkintuvas atlieka kapojimo darbus, magnetiniame separatoriuje nuo susmulkinto spalvoto metalo laužo atskiriamos plieninės medžiagos, skalperatorius reikalingas laidininko, izoliacijos bei kitų gamybos produktų atskyrimui.

4 lentelė. Automatizuotos linijos ЛПЦМ-01 techninės charakteristikos

Techninės charakteristikos	
Bendras linijos galingumas, kW	116,1
Darbo našumas, 1 pamainai	iki 10 tonų
Didžiausias ruošinio skersmuo, mm	16,0
Maksimalus linijinis judėjimo greitis, m/min	150



9 pav. Automatizuotos linijos JIIIQM-01 bendras vaizdas (1 – smulkintuvas, 2 – magnetinis separatorius, 3 – pakreiptas transportavimo įrengimas, 4 – skalperatorius, 5 – horizontalus transportavimo įrengimas, 6 – valdiklis, 7 – pagamintos produkcijos talpa

Perdirbant laidus reikia įvertinti perdirbimo proceso darbo našumą, gamybos savikaina bei galutinio produkto kainą, sudėtinga taisyklingai parinkti perdirbimo proceso veiksnius, kuriose

būtų tik geriausi gamybos rodikliai. Priklausomai nuo darbo tikslų, galime parinkti tinkamiausią gamybos technologiją.

Perdirbant laidus, gautos kokybiškos vario granulės yra vertinga žaliava gaminant įvairius lydinius ar folgą, laidų izoliacija gali būti naudojama kelių atitvarų ar statybinių medžiagų gamybai. Ypač gauta izoliacija gerai tinka termoplastinių kompozitinių statybinių medžiagų gamybai, t. y. čerpių, šaligatvių plytelių ir t. t. gamybai. Šios gamybos procese izoliacija dedama kaip ryšiančioji medžiaga, kuri suriša smėlį.

Konkrečios technologinės schemos pasirinkimas priklauso nuo laidų perdirbimo atliekų, reikalingo darbo našumo ir galutinės produkto kokybės. Pavyzdžiui, naftoje panardinto kabelio perdirbimo technologinė linija, kai gamybos apimtys sudaro 100–200 tonų per mėnesį, gali būti sudaryta iš:

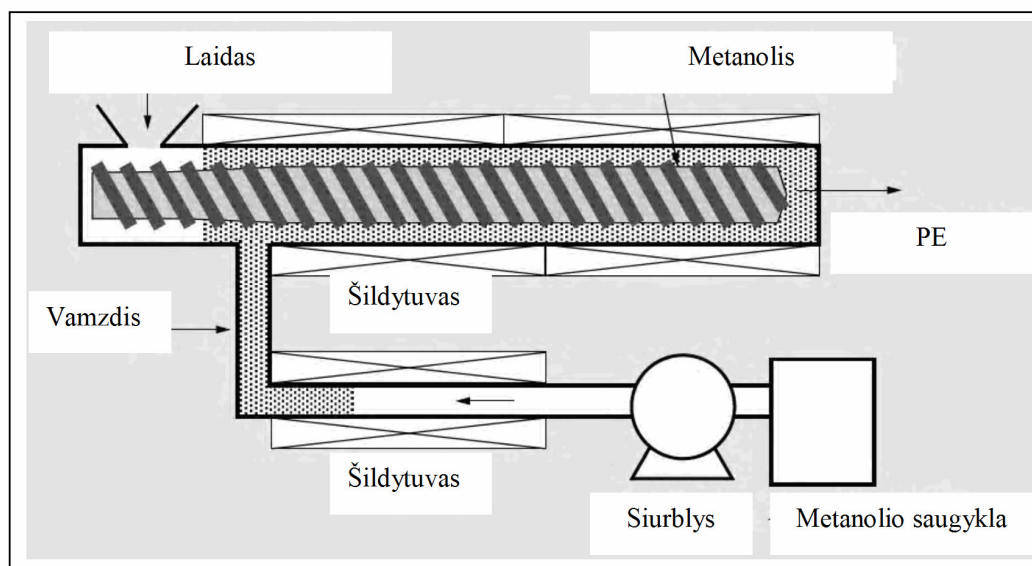
- ✓ smulkintuvo, juo galima smulkinti iki 20–40 mm skersmens kabelį;
- ✓ geležies atskyriklio, kuris pašalina nuo kabelio plieninį šarvą;
- ✓ bunkerio – kaupiklio, kuris skirtas palaikyti nenutrūkstamą procesą;
- ✓ granulatoriaus, kuriame turi būti užtikrinamas reikiamas tarpas tarp kapojimo peilių ir tinklelio, turi jis atskiria izoliaciją nuo laidininko;
- ✓ separatoriaus, jį kurio užtikrina perdirbto produkto kokybę.

1.2. Perdirbimo metodai

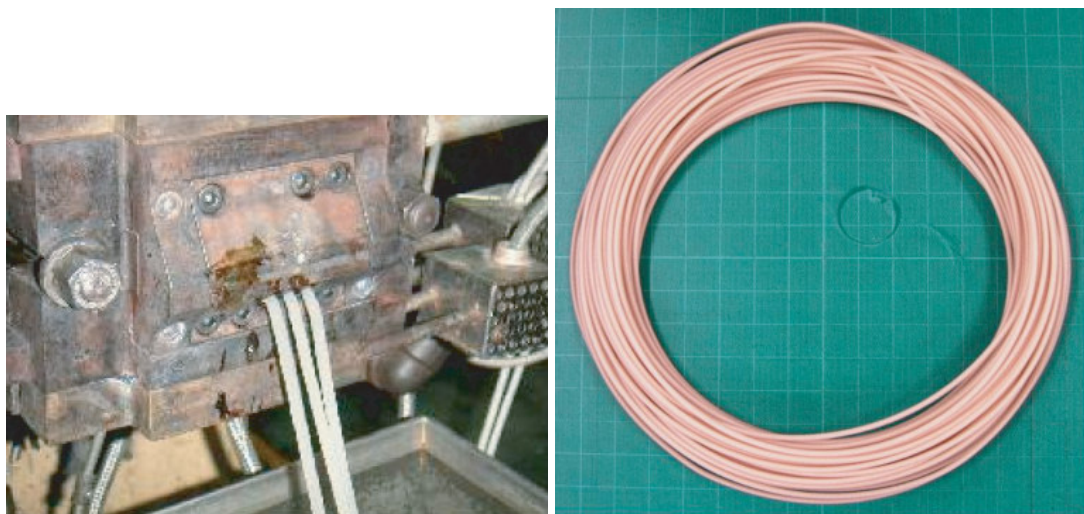
Laidų su Si-XLPE izoliacija perdirbimo metodas

Si – XLPE – tai viena iš plačiausiai naudojamų laidų ir kabelių gamyboje naudojamų medžiagų, kurios naudojamos laidininko izoliacijos sluoksnio formavimui. Šis metodas leidžia cheminių reakcijų dėka išgauti iš Si-XLPE geros kokybės PE, kuris gali būti naudojamas kaip žaliava skirta laidų ir kabelių gamybai.

Izoliacijos atskyrimo nuo laidininko veikimo schema pateikta 10 pav. Šio metodo esmė yra tai, kad į uždarą kamerą yra sudedami ir užpilami metanoliu laidai. Vėliau šioje kameroje argono dujomis yra sudaromas vakuumas, šildytuvu palaikoma maždaug 320 °C esant 10 MPa slėgiui [5]. Darbo zonoje Si-XLPE izoliacijos sluoksnis yra ištirpinamas metanolyje. Taip gaunami du atskiri produktai – PE ir laidininkas, kurie po apdorojimo pavaizduoti 11 pav.



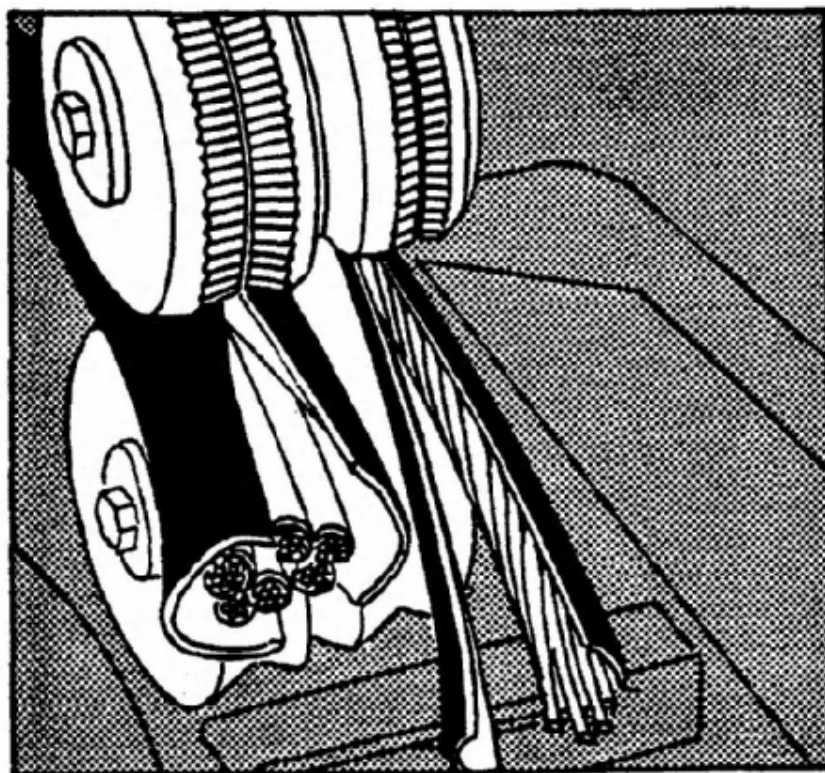
10 pav. Izoliacijos atskyrimo nuo laidininko proceso veikimo schema



11 pav. Po apdorojimo gautų Pe (a) ir laidininko (b) vaizdai

Pjovimo metodas

Laidų ir kabelių pjaušymo technologija (12 pav.) gali būti realizuojama mechaniniu būdu. Izoliacijos sluoksnis yra atskiriamas pjovimo peiliu [10]. Šis metodas netinka mažo skersmens laidų pjaušymui. Pjaustant laidai ir kabeliai yra nukreipiami rankiniu būdu, dėl to pasiekiamas nedidelis darbo našumas.

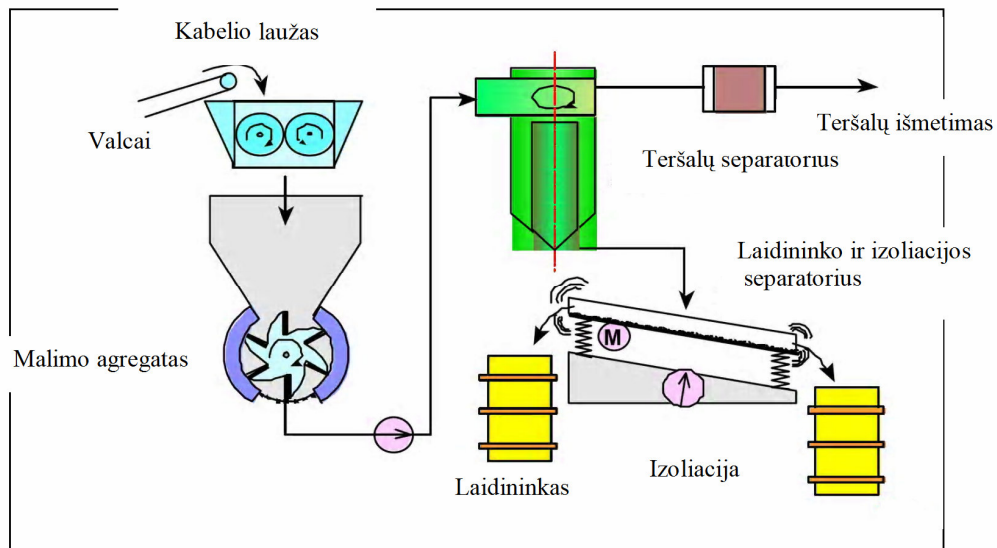


12 pav. Laidų ir kabelių pjaustymas

Radiacijos užterštų laidų ir kabelių perdirbimas

Šių laidų ir kabelių perdirbimas leidžia atskirti radiacijos paveiktą izoliacijos sluoksnį nuo laidininko. Todėl po apdirbimo galima tiekti švarų laidininką į metalo laužą. Taip yra sutaupomos radioaktyvių atliekų saugojimo išlaidos. JAV buvo sukurta ir plačiai taikoma Varinio kabelio perdirbimo sistema (CCRS) [7]. Radioaktyvių laidų ir kabelių perdirbimo CCRS schemoje (13 pav.) radioaktyvios atliekos tiekiamos konvejeriu į perdirbimo sistemą. Pirmiausiai jos praeina pro suspaudimo valcų, toliau keliauja į malimo agregatą. Malimo agregate atliekų masė yra sumalama į 3–5 mm ilgio gabaliukus tam, kad būtų lengviau separatoriuose atskirti teršalus (dulkes), izoliacija ir laidininką.

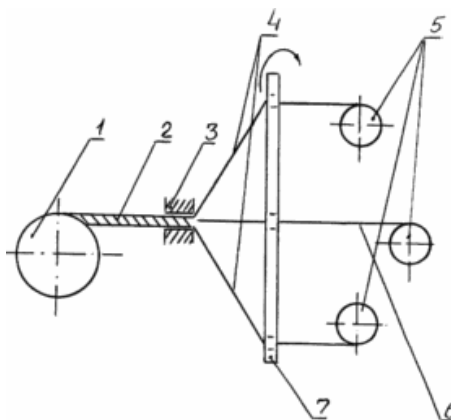
Perdirbimo sistemos operatorius turi nuolat ir reguliariai tiekti atliekas tam, kad neviršyti sistemos pajėgumų normos. Perdirbimo sistema pajėgi perdirbti iki 6 tonų kabelių ir laidų atliekų per dieną. Tokia perdirbimo sistema ypač praverstų uždariant ar rekonstruojant branduolines elektros gamybos jėgaines.



13 pav. Radioaktyvių laidų ir kabelių perdirbimo schema

Laidų, kurių izoliacija yra sustiprinta apsauginių šarvo sluoksniu, perdirbimas

Šarvuoto laido perdirbimui gali būti proceso pradžioje naudojamas metodas [12], kurio įrengimo veikimo schema pateikta 14 pav.



14 pav. Šarvuoto laido perdirbimo schema

Šarvuoto laido atliekos suvyniojamos ant būgno 1, iš kurio kabelis 2 patenka prie pjaustiklių 3, čia įvyksta kabelio plieninės dalies 4, t. y. šarvo ir elektrai laidžios gyslos 6 atskyrimas. Vėliau kabelio šarvuota dalis juda linijiniu greičiu L besisukdama aplink kabelio 2

ašį greičiu W ir juda per diską 7 ir suvyniojama ant ritinėlio 5. Elektrai laidai gysla 6 juda tik linijiniu greičiu ir suvyniojama ant ritinėlio 5.

Šarvo linijinio greičio L ir jo sukimosi dažnio W priklausomybė yra tokia:

$$W = \frac{L}{t}, \text{ aps/min}, \quad (1)$$

čia:

W – šarvo sukimosi dažnis, aps/min;

L – šarvo linijinis greitis, m/min;

t – suvynioto laido ant ritinio 1 vijų žingsnis, m.

Pavyzdžiui, jeigu reikia apdirbti šarvuotą kabelį, kurio išorinis skersmuo yra 5,0 mm, suvynioto kabelio ant ritinio 1 vijų žingsnis: $t = 40,0$ mm, šarvo ir laidininko judėjimo greitis: $L = 10$ m/min, tuomet šarvo sukimosi dažnis bus lygus: $W = 250$ aps/min.

Ant ritinio 1 suvynioto kabelio ilgis nustatomas iš formulės:

$$L = 2\sqrt{\frac{D \cdot t}{n}}, \text{ m}, \quad (2)$$

čia:

L – laido ilgis, m;

D – laido skersmuo, m;

t – suvynioto laido vijų žingsnis, vnt;

n – bendras vijų skaičius, vnt.

Suvyniota ant ritinių 5 šarvuota laido dalis gali būti naudojama betono armavimui. Apdorojant šarvuotą laidą tokiu būdu padidėja apdorojimo efektyvumas, proceso metu sumažinami atskiriamų medžiagų nuostoliai ir dėl to tampa geresnė galutinio produkto kokybė. Šis metodas tinka ilgų, suvyniotų ant būgnų šarvuotų laidų perdirbimui. Proceso metu gaunama atskira, naudinga medžiaga – šarvas.

Kiti metodai

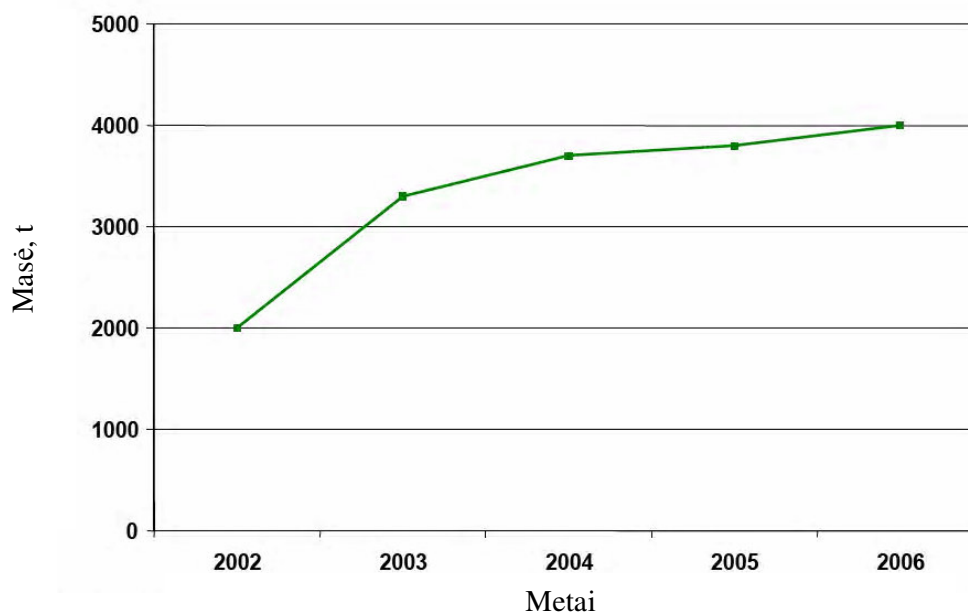
Izoliacijai atskyrimui nuo laidininko gali būti taikomas naudojamas metodas, kuriame izoliacija atskiriama karštame vandenyje [9]. Taip apdirbant nereikia smulkinti laidus į mažus gabalėlius. Metodas paremtas medžiagų terminio plėtimosi koeficientais. Apdorojant laidų atliekas, jie patalpinami karšto vandens vonioje ir maišomi joje tol, kol įvyks visiškas izoliacijos atskyrimas. Tai pasiekama kontroliuojant vandens temperatūrą, maišymo greitį ir tinkamai susmulkinant laidus. Proceso pabaigoje izoliacinė medžiaga ir laidininkas yra surenkami atskirai. Toks būdas leidžia perdirbti įvairių rūšių laidų atliekas, įskaitant naftoje panardintus laidus.

Laidininkas gali būti atskirtas deginant laidus specialiuose krosnyse [11]. Juos neleidžia susidaryti patvariems organiniams teršalams. Planai statyti naujas arba plėsti esamas dažnai iššaukia visuomenės nepasitenkinimą. Nors deginimo technologija yra paprasta ir efektinga, bet šiame procese išskiriami sunkieji metalai, pavojingos dulkės, dioksidai, vandenilio chloridai, furanai ir t.t. Specializuotose krosnyse išvengiama naudingų metalų oksidacija. Tai realizuojama kontroliuojant ir užtikrinant reikiamas degimo sąlygas.

Izoliacijos nuėmimo procesas gali būti įgyvendinamas pasinaudojus kreogenine technologija [10]. Atliekant šį procesą laidų izoliacija pasidaro trapi, vėliau užšaldytas laidininkas praleidžiamas pro valcų, taip lengviau atsiskiria izoliacijos sluoksnis nuo laidininko, mažiau reikia energijos sąnaudų izoliacijos atskyrimui. Platų šio metodo panaudojimą nulemia suskystinto azoto kaina, be kurio neįmanomas šis procesas. Šiuo proceso metu gauta miltelių pavidalo izoliacija yra geresnės kokybės, negu sukapota.

PVC, PE laidų izoliacija gali būti atskiriama nuo metalų taikant išcentrinės jėgos technologiją [11]. Tai atlieka hidrociklonai arba specialios atskyrimo centrifugos, kuriuose medžiagos atskiriamos atsižvelgiant į medžiagų tankį. Laidų izoliacija nuo vielos gali būti atskiriama mikrobangų spinduliuotės, cheminiais – krekingo, dujiniais, hidrolizės, pirolizės ir kitais metodais.

Prancūzijoje senų kabelių ir laidų perdirbimas per pastaruosius metus nuolat augo (15 pav.) [4]. Po šio utilizavimo pagrindinės išgaunamos medžiagos yra izoliacija (PE, PVC) ir laidininkas.

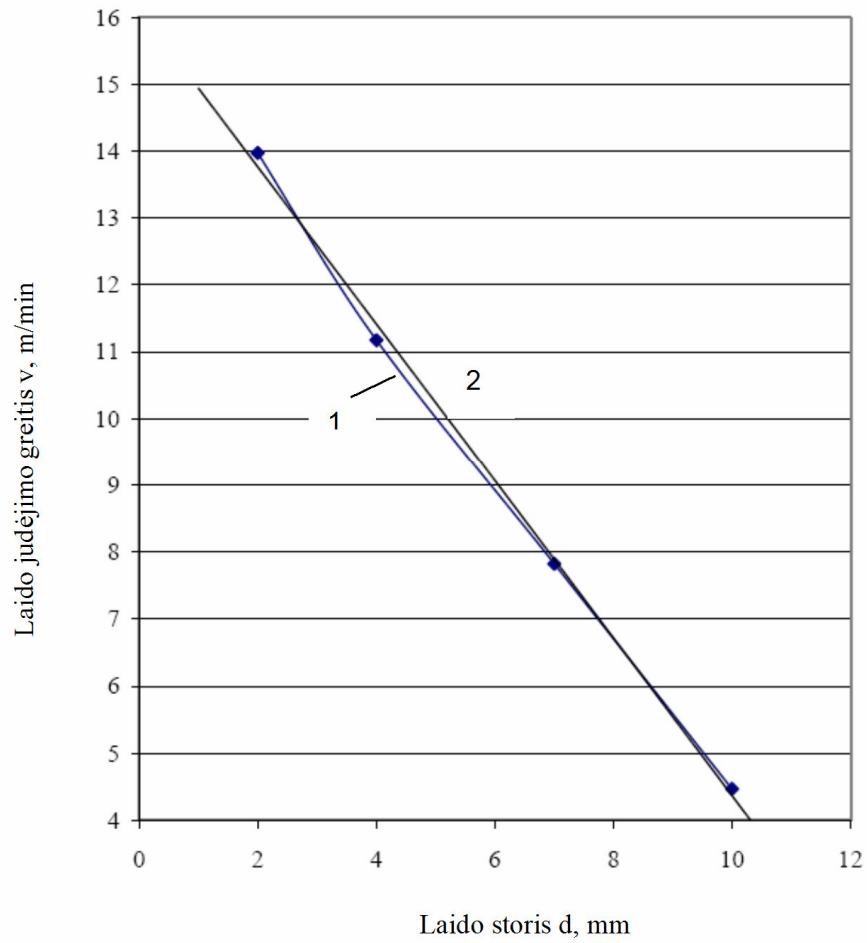


15 pav. Atliekamų kabelių ir laidų perdirbimas Prancūzijoje

Ši augimą lėmė šie faktoriai:

- ✓ pažangūs izoliacijos nuėmimo metodai;
- ✓ medžiagų suderinamumo siekimas;
- ✓ polimerų revalvacija;
- ✓ plastmasės perdirbimas.

Nuimant izoliacijos sluoksnį nuo viengyslių 2, 4, 7 ir 10 mm storio varinių elektros laidų gali būti taikomas šiluminio poveikio metodas [3]. Laidų izoliacijos sluoksnio nuėmimą atlieka dvejų besisukančių būgnų mašina, kuriai laido judėjimo apskritiminio greičio išraiška pasiskirsto pagal šią priklausomybę, kuri pavaizduota 16 paveiksle. Tolimesnė šio metodo apžvalga ir tyrimai yra atliekami šiame darbe



16 pav. Laidų judėjimo greičio priklausomybės nuo laidų storio: 1 – bandymų rezultatų priklausomybė; 2 – aproksimotos priklausomybės išraiška

Šiuo atveju varinio laido judėjimo greitis izoliacijos nuėmimo metu nustatomas pagal aproksimotos kreivės (tiesės) išraišką, kuri aprašoma taip:

$$v_{vl} = -1,2 \cdot d_{vl} + 16,1, \text{ m/min}, \quad (3)$$

čia:

v_{vl} – laido judėjimo greitis, m/min;

d_{vl} – apdirbamo varinio laido storis, mm.

2. TYRIMO UŽDAVINIŲ FORMULAVIMAS

Literatūros apžvalgoje išanalizuoti įvairūs laidų ir kabelių laidų izoliacijos nuėmimo būdai yra tinkamiausi didelėms bei specializuotoms įmonėms, kurių veikla yra tiesiogiai susijusi su kabelių ir laidų atliekų tvarkymu. Todėl jų gamybos procesuose taikomi didelių gabaritų, pažangūs, našūs, gerai žinomi, bet, svarbiausia, brangūs įrengimai. Tokia įmonių veikla reikalauja didelių gamybos kaštų ir geriausiai apsimoka tuomet, kai apdirbami dideli laidų ir kabelio atliekų kiekiai.

Vykdamy statybos darbus, kai yra rekonstruojant keičiami nebetinkantys tolimesniam vartojimui viengysliai elektros laidai, reikia racionaliai elgtis su šiais vertingais laidais. Viengyslių laidų izoliacijos nuėmimo metodas, kuris būtų priimtinas (lengvai realizuojamas) ir tiktų nedideliais rekonstravimo darbais užsiimančioms įmonėms, nėra žinomas.

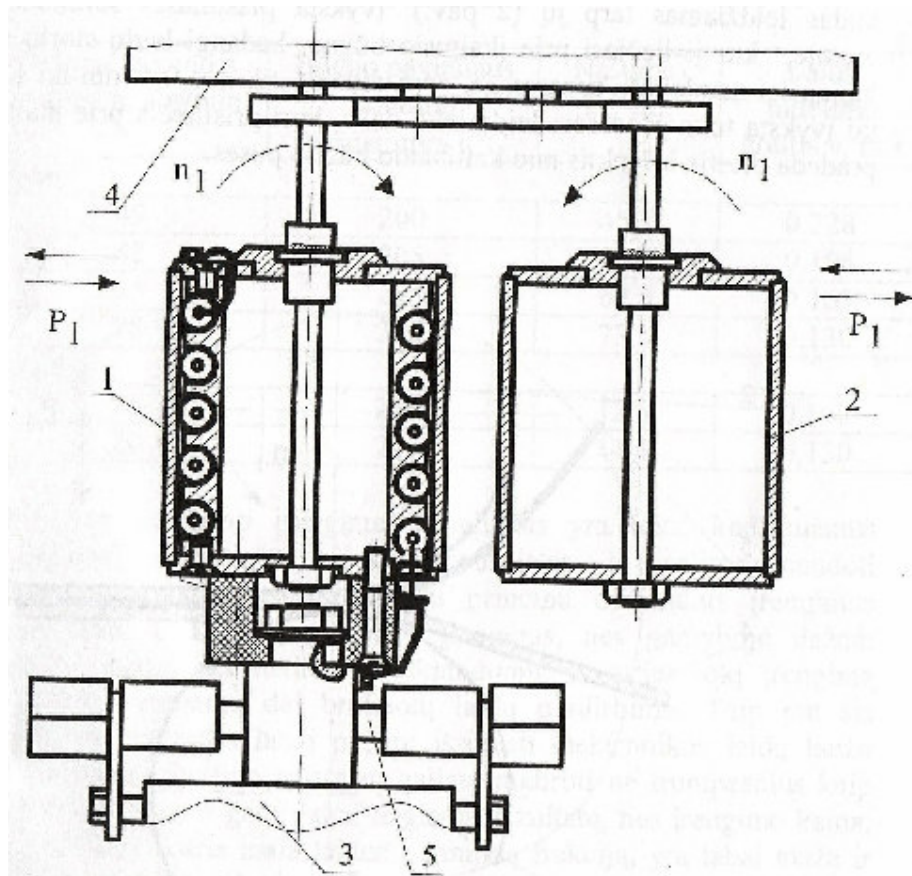
Šio darbo pagrindinis tikslas – ištirti viengyslių varinių ir aliumininių laidų, nepažeidžiant laidininko gyslos, izoliacijos nuėmimo technologiją. Tyrimas turi būti atliekamas dviejų besisukančių būgnų mašina taip, kad nagrinėjant šią technologiją, būtų optimizuojami laidų izoliacijos sluoksnio nuėmimo režimai.

Kadangi dviejų besisukančių būgnų mašina nuima laido izoliacijos sluoksnį terminiu būdu, todėl nuėmus izoliacijos sluoksnį laidininkas lieka nepažeistas ir jį galima naudoti pakartotiniam izoliacijos apliejimui. Tokiu veikimo principu dirbanti mašina praverstų mažoms laidų gamybos įmonėms, nes jų gamyboje dažnai atsiranda didelių problemų dėl brokuotų laidų perdirbimo. Ši mašina gali užtikrinti nenutrūkstamą laidų izoliacijos nuėmimo procesą nereikalaujant didelių investicijų. Nuėmus izoliacijos sluoksnį nuo laidininko gauname du atskirus produktus – laidininką ir izoliaciją. Dėl mažų mašinos gabaritų, išplečia jos panaudojimo galimybes, nes galime sumontuoti šią mašiną nedidelėje darbo vietoje, yra paprastos konstrukcijos ir dėl to jos pardavimo ir eksploatavimo kainų sąmata yra nedidelė. Dėl šių privalumų šis izoliacijos nuėmimo būdas yra priimtinausias platesniam vartotojų ratui, kuriems reikia kokybiškai nuimti izoliacijos sluoksnį nuo laidininko.

3. EKSPERIMENTINIAI TYRIMAI

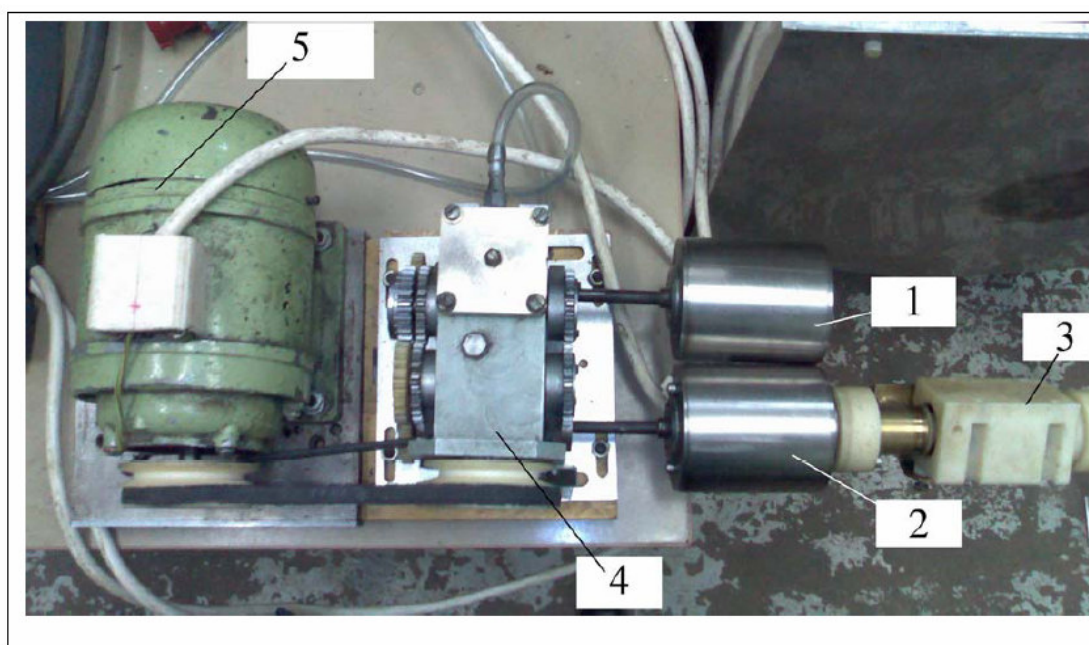
3.1. Laidų izoliacijos nuėmimo mašinos, dviejų besisukančių būgnų konstrukcijos ir veikimo principo aprašymas

Šiam eksperimentiniam tyrimui atlikti buvo naudojama patobulinta viengyslių laidų izoliacijos nuėmimo mašina (17 pav.), kurios pagrindinė darbinė dalis susideda iš dviejų specialių mangano nerūdijančio plieno medžiagos būgnų 1, 2, kurių viename yra sumontuota kaitinimo sistema 3, srovę gaunanti sukimosi metu per grafitinius šepetėlius 5. Abu sukimosi būgnai yra pagaminti iš tokios medžiagos tam, kad būtų sumažintas apdirbimo metu laidų izoliacinės medžiagos sukibimo su būgnais efektyvumas. Kaitinimas reikalingas tam, kad būtų galima lengviau atskirti izoliaciją nuo laidininko. Būgnams sukimosi momentą perduoda variklio reduktoriaus sistemos 4 į priešingas puses. Reduktoriuje yra sumontuota pneumatinė, būgnų prispaudimo vieno prie kito, sistema [2].



17 pav. Tyrimui naudojamos laidų izoliacijos nuėmimo mašinos pagrindinės darbinės dalies modelio schema

Laidų izoliacijos mašinos pagrindinės darbinės dalies bendras vaizdas pavaizduotas 18 paveiksle. Tyrimas buvo atliekamas naudojant šį įrengimą. Įrengimas bus paruoštas darbui tuomet, kai bus tiksliai parinkta būgno kaitinimo temperatūra ir būgnų sukimosi greitis. Kaitinamo būgno paviršiaus temperatūra turi būti apie 185 °C, o nekaitinamo būgno temperatūra turi neviršyti kambario temperatūros (18–20 °C). Tokią temperatūrą paprastai reikia pasiekti tam, kad vyktų plastmasės suminkštėjimas, bet ne lydymasis. Taip pat temperatūra priklauso ir nuo laido izoliacijos, nes skirtingos medžiagos turi skirtingas lydymosi temperatūras, polietilenas ir polipropilenas pradeda lydytis apytiksliai esant 220–240 °C. o PVC esant šiek tiek mažesnei temperatūrai (212 °C) [13].

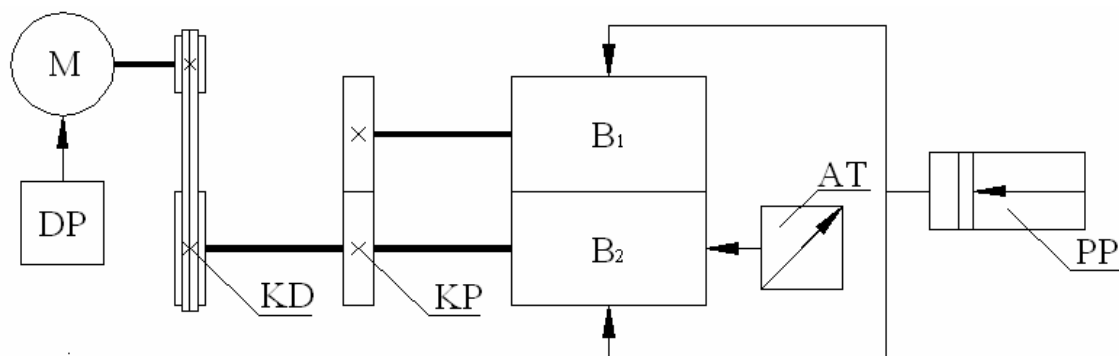


18 pav. Laidų izoliacijos nuėmimo mašinos bendras vaizdas: 1 – nekaitinamas būgnas; 2 – kaitinamas būgnas; 3 – kaitinimo elementas; 4 – reduktorius; 5 – elektros variklis

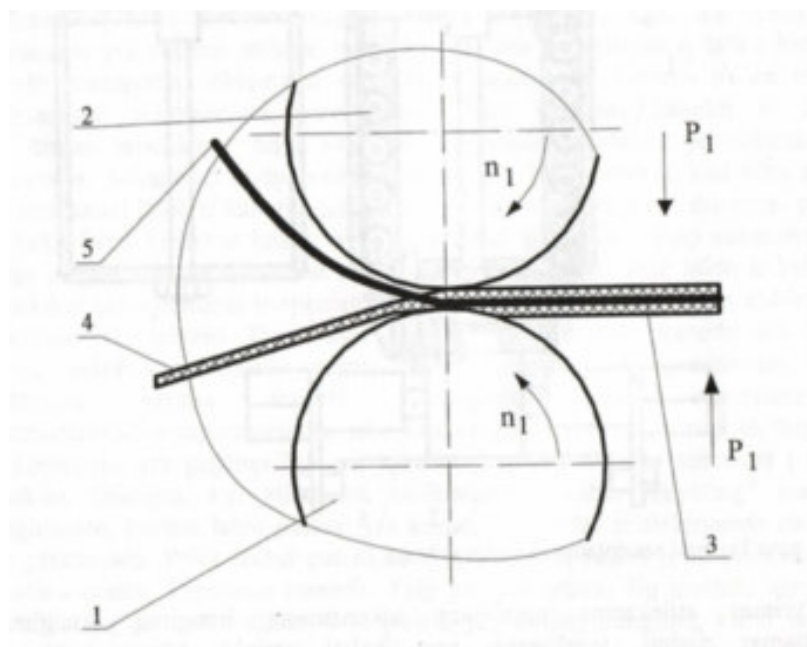
Izoliacijos nuėmimo režimai yra reguliuojami dažnumine pavara ir laboratoriniu autotransformatoriumi. Kaitinamojo būgno temperatūra reguliuojama laboratoriniu autotransformatoriumi, o būgnų sukimosi dažnį reguliuoja dažnuminė pavara. Bandymų metu laido judėjimo greitis fiksuojamas pagal stroboskopą. Būgnų prispaudimo jėga nustatoma oro kompresoriaus oro padavimo reguliavimo rankenėle. Pagrindinių dalių išsidėstymą paaiškina laidų izoliacijos nuėmimo mašinos kinematinė schema (19 pav.).

Po to reguliuojant būgnų sukimosi greitį dažnumine pavara reikia stebėti, kaip vyksta plastmasės atsiskyrimas nuo laidininko. Kai vyksta plastmasės minkštėjimas, reikia stebėti, kad

plastmasė nepradėtų lydytis, nes plastmasės lydymosi metu išsiskiria labai daug kenksmingų medžiagų: rūgštys, eteriai, angliavandeniai, anglies viendeginis, anglies dvideginis, ketonai, acetonas, alchejidai, sunkieji spiritai, o lydant polivinilchloridą į aplinką išsiskiria labai pavojingų medžiagų – chloro vandenilio, įvairių chloro junginių, dibutilftalato. Bandymo metu turi būti gerai įrengta oro nutraukimo sistema su oro valymo filtru. Įkaitus būgnui 1 iki reikiamos temperatūros paimamas laidas, kurį norime apdirbti, pagal jo storį sureguliuojamas būgnų sukimosi greitis. Būgnams suteikiama prispaudimo jėga, laidas leidžiamas tarp jų (20 pav.). Tada įvyksta plastmasės suminkštėjimas toje vietoje, kur ji liečiasi prie įkaitusio būgno, kadangi laidų storių gama, kurie labiausiai naudojami pramonėje, nėra didelė – tik nuo 0,5 mm iki 12 mm storio [3], tuomet įvyksta toks procesas: laidininko dalis, kuri prisiliečia prie įkaitusio būgno, pradeda plėstis ir lenktis nuo kaitinamo būgno pusės. Tokiu būdu įvyksta izoliacijos sluoksnio nuėmimas nuo laidininko, nes skiriasi plastinės laidininko savybės nuo jį gaubiančio izoliacijos sluoksnio.



19 pav. Laidų izoliacijos nuėmimo mašinos kinematinė schema: M – trifazis asinchroninis elektros variklis; DP – variklio dažnuminė pavara; KD – kylinio diržo pavara; KP – krumpliaratinė pavara; B₁ – nekaitinamas sukimosi būgnas; B₂ – kaitinamas sukimosi būgnas; AT – laboratorinis autotransformatorius; PP – pneumatinė pavara



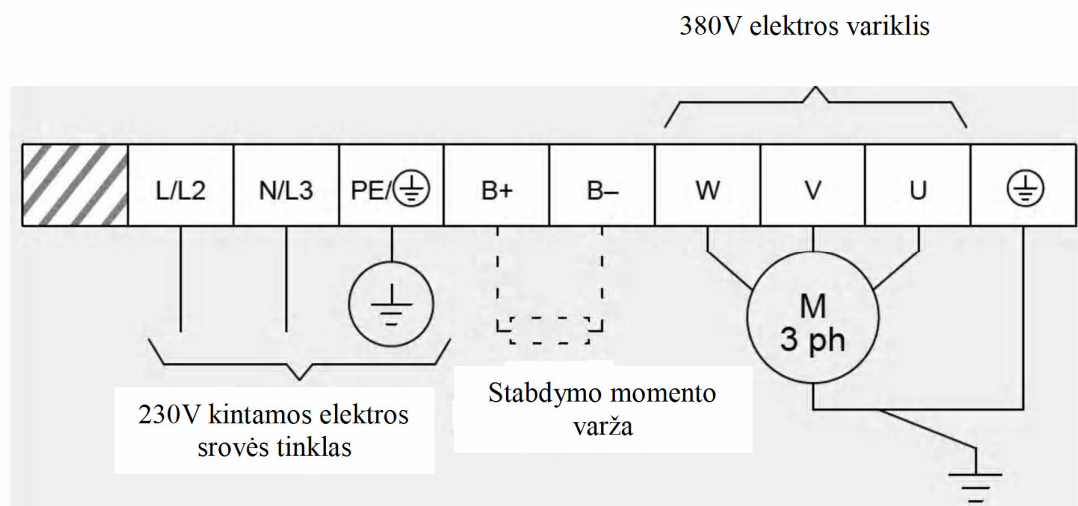
20 pav. Laido izoliacijos nuėmimo schema: 1 – kaitinamas būgnas; 2 – nekaitinamas būgnas; 3 – apdirbamas laidas; 4 – apdirbamo laido apvalkalas; 5 – laidininkas

5 lentelė. Trifazio asinchroninio elektros variklio techniniai duomenys

Techniniai duomenys	
Variklio tipas	AИP71A4Y3
Maitinimo tinklo dažnis, Hz	50
Vardinė įtampa, V	380
Galingumas, kW	0,55
Vardinė srovė, A	1,6
Rotoriaus sukimosi dažnis, aps/min	1360

6 lentelė. Dažnuminės pavaros techniniai duomenys

Techniniai duomenys	
Pavaros pavadinimas	230 V tinklo įtampos generavimo į 380 V įtampą MICRO MASTER MM75/2 dažnio keitiklis
Maitinimo tinklo įtampa, V	230
Maksimalus elektros variklio galingumas, W	750
Leistina elektros variklio srovė, A	3,4
Maitinimo tinklo dažnis, Hz	47–63
Tinklo dažnio keitiklio darbo diapazonas, Hz	0–650
Tinklo dažnio keitiklio darbo tikslumas, Hz	0,01



21 pav. Elektros variklio prijungimo per dažnuminę pavarą schema

Elektros tinklo dažnio reguliavimas atliekamas prie dažnuminės pavaros prijungtu 4,7 k Ω potenciomtru [8], o reikiamas tinklo dažnis programuojamas pavaros priekinėje dalyje esančiais mygtukais. Variklio rotorius sukimosi dažnio priklausomybė nuo tinklo dažnio pateikta 22 paveiksle. Priekinėje dalyje esantys mygtukai yra aprašyti 7 lentelėje.

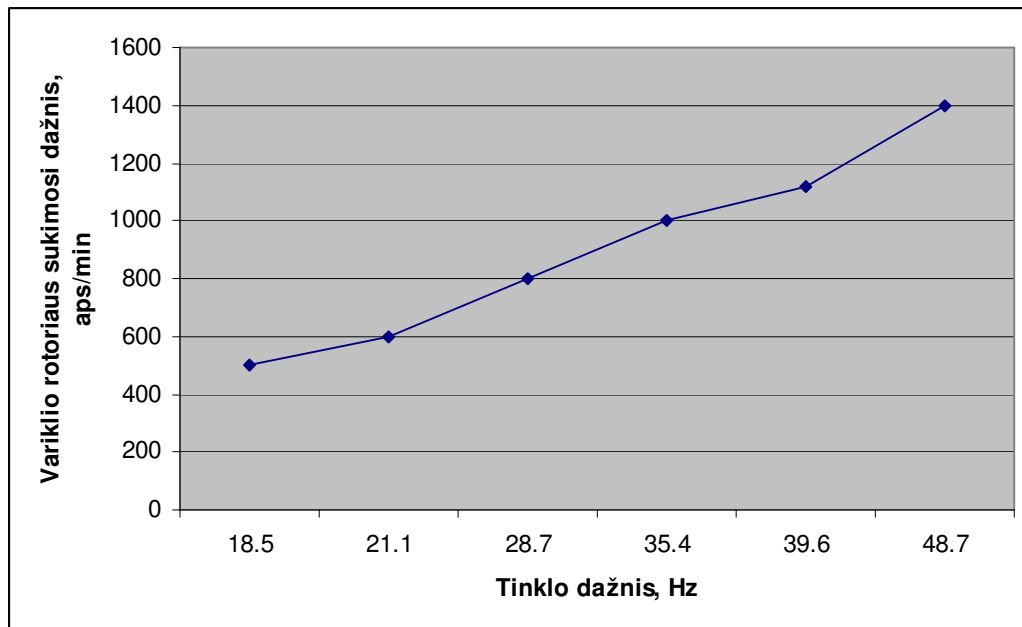
Dažnuminės pavaros MICRO MASTER MM75/2 parametrų kodai pateikti ir trumpai aprašyti 2 priede. Šiuos kodus sudaro P ir F kodai, kurie reikimu metu pavaizduojami LED ekrane. P kodai vartotojui yra prieinami, o F kodai vartotojui neprieinami. F kodai sustabdo variklio darbą, nes dėl susidariusio defekto tampa pavojinga tolimesnė variklio eksploatacija.

Ruošiant variklį darbui su šia dažnumine pvara reikia tiksliai programuojant įvesti šiuos pagrindinius kodus:

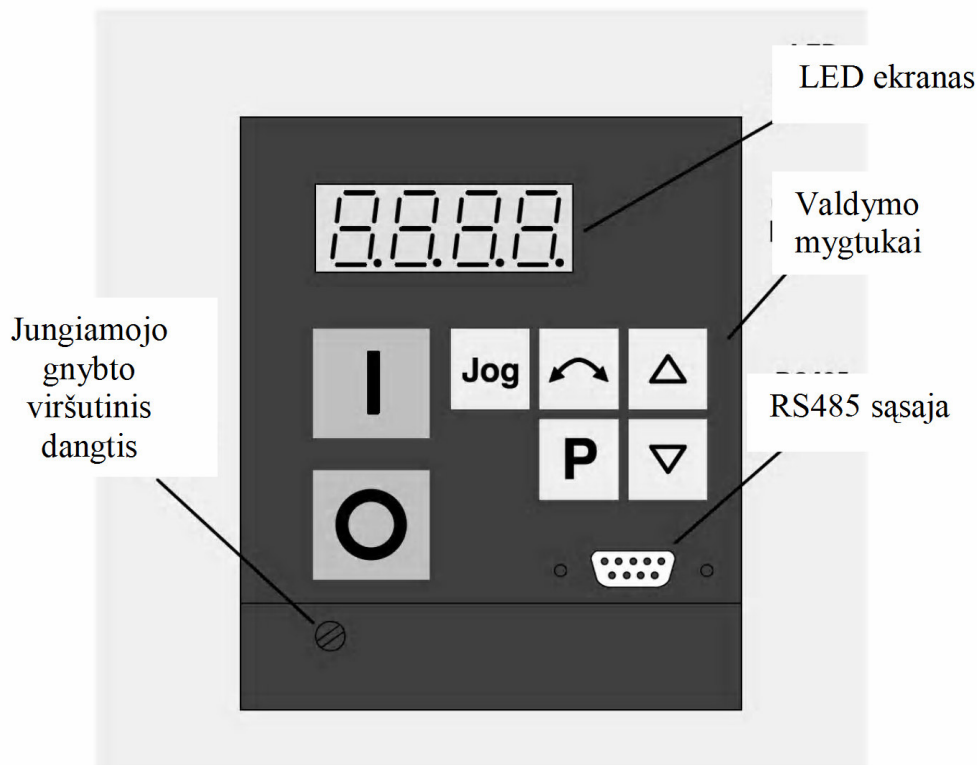
- ✓ P081 – elektros tinklo dažnį, Hz;
- ✓ P082 – variklio rotorius nominalaus sukimosi dažnį, aps/min;
- ✓ P083 – vardinę srovę, A;
- ✓ P084 – vardinę įtampą, V;
- ✓ P085 ir P111 – variklio nominalų galingumą, kW;
- ✓ P089 – statoriaus apvijų varžą, Ω .

7 lentelė. Dažnuminės pavaros priekinės dalies mygtukų paskirtis

Elementas		Paskirtis
Vaizdas	Pavadinimas	
	Paleidimo mygtukas	Pavaros darbo pradžia
	Išjungimo mygtukas	Pavaros darbo pabaiga
	Parametrų nustatymo mygtukas	Parametrų programavimo mygtukas, kuris leidžia pasirinkti reikiamą kodą ir pažiūrėti jo reikšmę
	Aukščiau esančio parametro išrinkimo mygtukas	Mygtukas leidžia nustatyti didesnius parametrų kodus ir jų reikšmes
	Žemiau esančio parametro išrinkimo mygtukas	Mygtukas leidžia nustatyti mažesnius parametrų kodus ir jų reikšmes
	JOG mygtukas	Šis mygtukas spaudžiamas tuomet, kai reikia sustabdyti pavarą paleisti variklio rotorį suktis kitu sukimosi dažniu
	Reversavimo mygtukas	Variklio rotoriaus sukimosi krypties pakeitimas



22 pav. Variklio rotoriaus sukimosi dažnio priklausomybė nuo maitinimo tinklo dažnio



23 pav. Dažnuminės pavaros priekinės dalies vaizdas

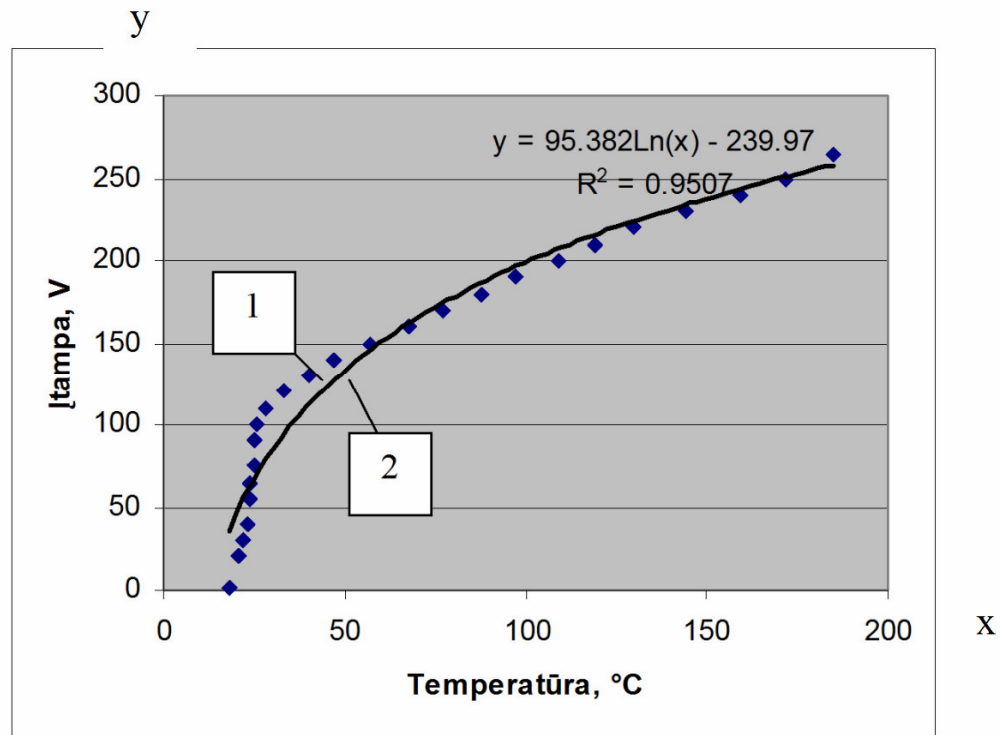
3.2. Temperatūros reguliatoriaus kalibravimas

Temperatūros reguliatoriaus kalibravimas reikalingas tam, kad būtų galima reikalingu laiko momentu sužinoti ir esant būtinybei keisti kaitinamojo būgno įkaitinimo temperatūrą.

Kalibravimas buvo atliekamas matuojant kaitinamojo būgno temperatūrą distanciniu būdu infraraudonųjų spindulių termometru „Fluke 62“. Matavimų metu buvo keičiama kas 10 minučių autotransformatoriaus transformuojama įtampa, kuri buvo nustatoma laboratorinio autotransformatoriaus įtampos reguliavimo rankenėle. Nustatyta įtampa vėliau tikrinama testeriu. Tokiu būdu matuojant gauti duomenys užfiksuoti 8 lentelėje, o grafiškai jie pavaizduoti 24 paveiksle.

8 lentelė. Temperatūros regulatoriaus kalibravimo duomenys

Matavimų eilės Nr.	Laboratorinio autotransformatoriaus įtampos rodmenys, V	Infraraudonųjų spindulių termometro rodmenys, °C
1	2	18
2	20	21
3	30	22
4	40	23
5	55	24
6	65	24
7	75	25
8	90	25
9	100	26
10	110	28
11	120	33
12	130	40
13	140	47
14	150	57
15	160	68
16	170	77
17	180	88
18	190	97
19	200	109
20	210	119
21	220	130
22	230	144
23	240	159
24	250	172
25	265	185



24 pav. Įtampos priklausomybė nuo temperatūros: 1 – matavimų rezultatų kreivė ir 2 – aproksimuota kreivė

Atlikus laboratorinio autotransformatoriaus kalibravimą buvo nustatyta, aproksimacijos būdu, įtampos logaritminė priklausomybė nuo temperatūros.

Šios priklausomybės lygtis yra:

$$U = 95,382 \ln(T) - 239,97, \text{ V}, \quad (4)$$

čia:

U – laboratorinio autotransformatoriaus įtampa, V;

T – kaitinamojo būgno paviršiaus temperatūra, °C.

3.3. Tyrimo medžiagos

Tyrimo atlikimui buvo paimti 3,0, 4,4 ir 6,8 mm storio viengysliai aliumininiai ir variniai elektros laidai, kurių parametrai pateikti 9 lentelėje

9 lentelė. Bandymams paruoštų viengyslių aliumininų ir varinių laidų parametrai

Laido storis, mm	Laidininko skersmuo, mm	Izoliacijos sluoksnio storis, mm	Izoliacijos sluoksnio medžiaga
3,00	1,85	0,58	PVC
4,40	2,80	1,60	PVC
6,80	4,60	2,20	PVC

3.4. Tyrimo metodika

Būgno įkaitimo temperatūra apskaičiuojama pagal formulę [3]:

$$T = T_{lyd} - (20 \div 30), ^\circ\text{C}, \quad (5)$$

čia:

T_{lyd} – laidų izoliacijos lydymosi temperatūra (kai laidų izoliaciją medžiagą sudaro PVC medžiaga, tuomet $T_{lyd} = 212 ^\circ\text{C}$ [13]), $^\circ\text{C}$.

Nustatant viengyslių varinių laidų judėjimo greitį, darbo pradžioje nustatoma pradinė įkaitinamojo būgno temperatūra, kuri apytiksliai būtų lygi $185 ^\circ\text{C}$, o pradinis būgnų sukimosi greitis pasirenkamas 35 aps/min.

Sukimosi būgnų prispaudimo jėga apskaičiuojama pagal formulę:

$$F = P \cdot S = 3 \cdot 10^5 \cdot 0,025 = 7500 \text{ N} = 7,5 \text{ kN}, \quad (6)$$

čia:

P – oro kompresoriaus sukuriamas slėgis, Pa;

$$S = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,032^2}{4} = 0,025 \text{ m}^2 - \text{pneumatinės pavaros cilindro skerspjūvio}$$

plotas, kai stūmoklio skersmuo yra $d = 32 \text{ mm}$, m^2 .

Laido judėjimo greitį galime rasti iš šios lygties:

$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}, \text{ m/min,} \quad (7)$$

čia:

$D = 89$ – būgno skersmuo, mm;

n – pagal stroboskopą nustatytas būgnų sukimosi dažnis, aps/min.

Šiam bandymui buvo paimti 3,0 mm išorinio skersmens laidai, kurių parametrai nurodyti 10 lentelėje. Šių laidų izoliacijos sluoksnio storis apskaičiuojamas pagal formulę:

$$b = \frac{d_{is} - d_l}{2}, \text{ mm,} \quad (8)$$

čia:

d_{is} – išorinis laido skersmuo (laido storis), mm;

d_l – laidininko gyslos skersmuo, mm.

3.5. Optimalių technologinių režimų nustatymas

Viengyslių aliumininių ir varinių laidų bandymas ir rezultatų palyginimas

Bandymai yra atliekami tam, kad nustatyti optimaliausią izoliacijos nuėmimo režimą. Iš gautų bandymų rezultatų (11–13 lentelių) galime teigti, kad esant 7,5 kN būgnų prispaudimo jėgai, optimaliausias darbo režimas bus tuomet, kai:

1. kaitinamojo būgno temperatūra bus 150 °C, o laido judėjimo greitis bus 1,64 m/min apdirbant 3 mm storio laidus;
2. kaitinamojo būgno temperatūra bus 160 °C, o laido judėjimo greitis bus 0,74 m/min apdirbant 4,4 mm storio laidus;
3. kaitinamojo būgno temperatūra bus 150 °C, o laido judėjimo greitis bus 0,29 m/min apdirbant 6,8 mm storio laidus.

Tai yra todėl, nes tada bus nuimta laido izoliacija esant optimaliai būgno paviršiaus įkaitinimo temperatūrai ir esant našiam laido judėjimo greičiui.

Palyginus aliuminių ir varinių laidų izoliacijos nuėmimo našumą, varinių laidų izoliaciją lengviau atsiskiria nuo laidininko. Tai yra todėl, kad vario šiluminio laidumo koeficientas yra $390 \text{ W}/(\text{K} \cdot \text{m})$, o aliuminio $160 \text{ W}/(\text{K} \cdot \text{m})$ [17].

10 lentelė. Viengyslių 3 mm storio aliumininių laidų bandymų rezultatai

Bandymo eilės Nr.	Būgno paviršiaus įkaitinimo temperatūra, °C,	Laido judėjimo greitis, m/min	Izoliacijos nuėmimo sėkmingumas, taip arba ne
1	138	0,82	Ne
2	130	1,19	Ne
3	130	1,29	Ne
4	140	1,23	Taip
5	140	1,32	Taip
6	140	1,64	Ne
7	150	1,64	Taip
8	193	1,74	Taip

11 lentelė. Viengyslių 4,4 mm storio aliumininių laidų bandymų rezultatai

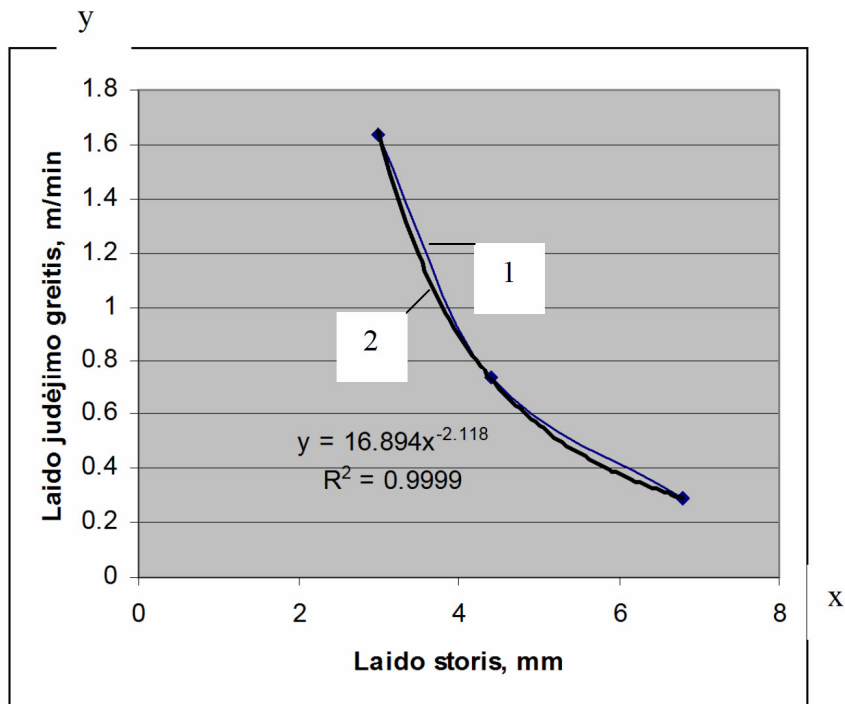
Bandymo eilės Nr.	Būgno paviršiaus įkaitinimo temperatūra, °C,	Laido judėjimo greitis, m/min	Izoliacijos nuėmimo sėkmingumas, taip arba ne
1	140	1,64	Ne
2	160	0,82	Ne
3	150	1,23	Ne
4	150	0,82	Ne
5	170	0,49	Taip
6	170	0,58	Taip
7	160	0,66	Taip
8	160	0,74	Taip

12 lentelė. Viengyslių 6,8 mm storio aliumininių laidų bandymų rezultatai

Bandymo eilės Nr.	Būgno paviršiaus įkaitinimo temperatūra, °C,	Laido judėjimo greitis, m/min	Izoliacijos nuėmimo sėkmingumas, taip arba ne
1	170	0,49	Ne
2	160	0,37	Ne
3	170	0,16	Taip
4	170	0,37	Taip
5	150	0,37	Ne
6	160	0,29	Taip
7	150	0,29	Taip
8	150	0,33	Ne

13 lentelė. Viengyslių varinių laidų parametrai ir optimaliausių bandymų rezultatai

Laido storis, mm	Laidininko skersmuo, mm	Izoliacijos sluoksnio storis, mm	Izoliacijos sluoksnio medžiaga	Bandymų rezultatai	
				Būgno paviršiaus įkaitinimo temperatūra, °C,	Laido judėjimo greitis, m/min
3,00	1,85	0,58	PVC	160	1,81
4,40	2,80	1,60	PVC	160	0,82
6,80	4,60	2,20	PVC	160	0,41



25 pav. Aliumininių laidų laido judėjimo priklausomybė nuo laido storio: 1 – matavimų rezultatų kreivė ir 2 – aproksimuota kreivė

Šiuo atveju aliumininio laido judėjimo greitis izoliacijos nuėmimo metu nustatomas pagal aproksimotos kreivės (tiesės) išraišką, kuri aprašoma taip:

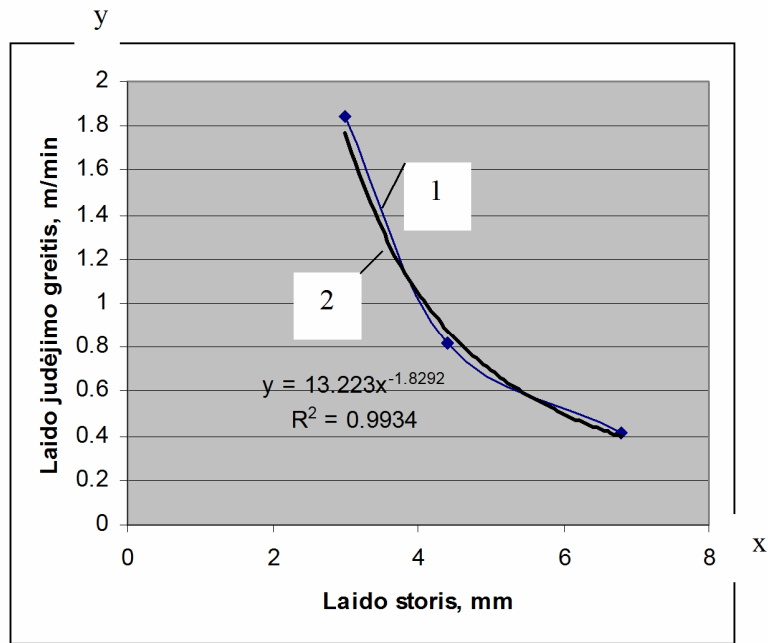
$$v_{al} = 16,894 \cdot d_{al}^{-2,118}, \text{ m/min}, \quad (9)$$

čia:

v_{al} – laido judėjimo greitis, m/min;

d_{al} – apdirbamo aliumininio laido storis, mm.

Varinių laidų laido judėjimo greičio priklausomybė nuo laido storio, kai kaitinamojo būgno paviršiaus įkaitinimo temperatūra yra 160 °C.



26 pav. Varinių laidų laido judėjimo greičio priklausomybė nuo laido storio, kai kaitinamojo būgno paviršiaus įkaitinimo temperatūra yra 160 °C (1 – matavimų rezultatų kreivė ir 2 – aproksimuota kreivė)

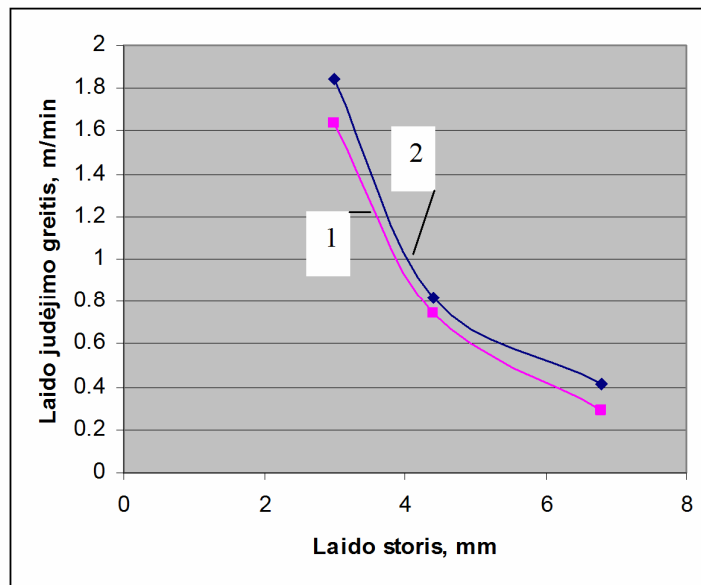
Šiuo atveju varinio laido judėjimo greitis izoliacijos nuėmimo metu nustatomas pagal aproksimotos kreivės (tiesės) išraišką, kuri aprašoma taip:

$$v_{v2} = 13,223 \cdot d_{v2}^{-1,8292}, \text{ m/min}, \quad (10)$$

čia:

v_{v2} – laido judėjimo greitis, m/min;

d_{v2} – apdirbamo aliumininio laido storis, mm.



27 pav. Aliumininių (1) ir varinių (2) laidų optimaliausių technologinių režimų palyginimo grafikas

IŠVADOS

1. Būgnų sukimosi dažnis mažėja, kai mažiname maitinimo tinklo dažnį. Taip yra todėl, nes kai elektros tinklo dažnis yra 48,7 Hz variklio rotorius sukimosi dažnis – 1400 aps/min, o esant 18,5 Hz tinklo dažniui variklio rotorius sukimosi dažnis – 500 aps/min.

2. Kaitinamojo būgno paviršiaus įkaitinimo temperatūra gali didėti nuo kambario temperatūros iki 185 °C temperatūros, kai didiname laboratorinio autotransformatoriaus įtampą nuo 0 V iki 265 V.

3. Laido judėjimo greitis, apdirbant viengyslius varinius įvairių storių elektros laidus, bus didžiausias, kai apdirbsime mažiausio storio laidus.

4. Optimaliausias darbo režimas, apdirbant viengyslius aliumininius įvairių storių elektros laidus, bus tuomet, kai bus pasiekta žemiausia būgnų įkaitinimo temperatūra esant didžiausiam laido judėjimo greičiui, su sąlyga, kad bus visiškai nuimtas izoliacijos sluoksnis nuo laidininko gyslos.

5. Viengyslių varinių laidų izoliacijos nuėmimo procesas bus efektyvesnis, apdirbant vienodų savybių (ilgio, storio, izoliacijos medžiagos ir pan.) varinius ir aliumininius laidus, už viengyslių aliumininių laidų izoliacijos nuėmimo procesą.

LITERATŪRA

1. BARZDŽIUKIENĖ L., CELIEŠIENIĖ V., KAULAKIENĖ A. Baigiamasis studijų darbas. Kalbininkų patarimai: teorija ir tvarkyba. 2 – asis pataisytas ir papildytas leidimas. Vilnius: Technika, 2005. 148 p.
2. MIKALAUSKAS J., MOKŠIN V. Nekokybiškų laidų perdirbimo technologija. 6 – osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Lietuva be mokslo – Lietuva be ateities“, įvykusios Vilniuje 2003 m. balandžio 15 – 16 d., medžiaga. Vilnius: Technika, 2003. 37 – 42 p.
3. STRIŠKA V., MOKŠIN V. Research into efficiency of plastic insulator removal single – core cables. Aplinkos tyrimai, inžinerija ir vadyba, nr. 1 (43). Kaunas: Technologija, 2008. 43 – 47 p. [žiūrėta 2009-04-25]. Prieiga per internetą: <http://www.ktu.lt>.
4. BARBEU S., GOUDEU J., DUPONT I., DAMILO S. Eco – Conception, Recycling and life cycle analysis in the cable industry. 2007. 5 p. [žiūrėta 2009-04-25]. Prieiga per internetą: <http://www.see.asso.fr>.
5. GOTO T. Material recycling of silane cross – linked polyethylene insulated cable using supercritical alcohol. EINA, nr.13 october, 2006. 39 – 40 p. [žiūrėta 2009-04-20]. Prieiga per internetą: <http://www.eina.wc>.
6. GOTO T., YAMAZAKI T. Recycling of silane cross – linked polyethylene for insulation of cables using supercritical alcohol. Hitachi cable review, nr 23 august, 2004. 24 – 27 p. [žiūrėta 2009-05-08]. Prieiga per internetą: <http://www.hitachi-cable.co.jp>.
7. MESERVEY R., CONNER C., ROSENBERGER S. Copper cable recycling sistem demonstration project. WM’01 conference february 25 – march 1, Tucson, AZ, 2001. 8 p. [žiūrėta 2009-04-20]. Prieiga per internetą: <http://www.wmsym.org>.
8. MICRO MASTER and MIDI MASTER operating instruction. 1996. 52 p. [žiūrėta 2009-04-25]. Prieiga per internetą: <http://www.automatyka.siemens.pl>.
9. SHEIN S., TSAI M. Hot water separation process for copper and insulating material recovery from electric cable waste. Waste management ant research, vol. 18, Iss. 5 october, 2000. 478 – 484 p. [žiūrėta 2009-05-08]. Prieiga per internetą: <http://www.interscience.wiley.com>.
10. SIJSTERMANS L. F. Recycling of cable waste. Proceedings of 14 th international conference and exhibition on electricity distribution – CIRED 1997 – UK, 2 – 5 June, 1997. 53 – 58 p. [žiūrėta 2009-04-25]. Prieiga per internetą: <http://www.ieeexplore.ieee.org>.
11. SOCOLOF L. M., COOPER D., AMARAKOON S. Wire and cable insulation and jacketing: Life – Cycle assessment for selected applications. United States environmental

protection agency. 2008. 311 p. [žiūrėta 2009-04-25]. Prieiga per internetą: <http://www.epa.gov>.

12. КАМАЛУТДИНОВ М. К., ШЕМЕТОВ Г. В., БИКТИМИРОВ Х. М., КАМАЛУТДИНОВ И. М. Способ обработки отходов кабельной продукции. 2007. [žiūrėta 2009-04-25]. Prieiga per internetą: http://www.ntpo.com/patents_waste/waste_1/waste_77.shtml.

13. МАКАРОВ Б. Г., КОПТЕНАРМУСОВ В. Б. Промышленные полимеры. Москва: Химия, 2003. 208 стр.

14. [žiūrėta 2009-04-16]. Prieiga per internetą: <http://www.czmp.ru>.

15. [žiūrėta 2009-04-18]. Prieiga per internetą: <http://www.emp.lt>.

16. [žiūrėta 2009-04-16]. Prieiga per internetą: <http://www.recyclers.ru>.

17. [žiūrėta 2009-04-16]. Prieiga per internetą: <http://www.spec.lt>.

18. [žiūrėta 2009-04-25]. Prieiga per internetą: <http://www.vgtu.lt>.

PRIEDAI

1 PRIEDAS. MOKSLINIS SRAIPSNIS