

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE
Materiālzinātnes un lietišķās ķīmijas fakultāte
Dizaina tehnoloģiju institūts

Galina Terlecka

Doktora studiju programmas “Apģērbu un tekstila tehnoloģija” doktorante

**CILVĒKA KUSTĪBU ENERĢIJAS
PĀRVEIDOTĀJA INTEGRĒŠANA
APĢĒRBĀ**

Promocijas darbs

Zinātniskie vadītāji:
profesore *Dr. sc. ing.*
AUSMA VIĻUMSONE
profesors *Dr. phys.*
JURIS BLŪMS

RTU Izdevniecība
Rīga 2019



Šis darbs daļēji izstrādāts saistībā ar Eiropas Sociālā fonda līdzfinansēto projektu “Starptozaru zinātniskās grupas izveidošana viedo tekstiliju jaunu funkcionālo īpašību attīstīšanai un integrēšanai inovatīvos izstrādājumos”, vienošanās Nr. 2009/0198/1DP/1.1.1.2.0/09/APIA/VIAA/148.

This work has been partly supported by the European Social Fund within the project “Establishment of interdisciplinary research groups for new functional properties of smart textiles development and integrating in innovative products” (ESF No. 2009/0198/1DP/1.1.1.2.0./09/APIA/VIAA/148).

ANOTĀCIJA

Promocijas darba galvenais pētniecības mērķis: integrēt tekstilijās elektromagnētisko enerģijas pārveidotāju.

Promocijas darbs sastāv no ievada, trijām pamatnodaļām, secinājumiem un četriem pielikumiem.

Ievadā pamatota veikto pētījumu aktualitāte, formulēts darba mērķis un uzdevumi, raksturota darba aprobācija.

Darba pirmajā nodaļā veikts viedās tekstilijas un to enerģijas avotu apskats, aprakstīti valkājami vai portatīvie enerģijas pārveidotāji viedizstrādājumos, aprakstīta magnētu ietekme uz cilvēka veselību.

Otrajā nodaļā aprakstīti pētījumu metodes un materiāli.

Darba trešajā nodaļā prezentēti elektromehāniskā pārveidotāja pētījumu rezultāti: pārveidotāja konstrukcijas elementu parametru optimizācija, noteikts pārveidotāja konstrukcijas elementiem piemērotākais novietojums apģērbā, testēta pārveidotāja darbība apģērbā, izpētīti induktīvā elementa dažādi viedi, noteikta induktīvā elementa ilgmūžība apģērba kopšanas procesā.

Promocijas darba secinājumi apkopoti darba noslēguma nodaļā.

ABSTRACT

The main research aim of the doctoral thesis is to explore the possibilities of integrating electromagnetic energy converters into the clothes.

The thesis consists of three chapters, an introduction, conclusions and four appendixes.

In the introduction, the actuality of the performed researches is substantiated, the goals and tasks of the work are formulated, the approbation of the work is described.

The first chapter includes the review of intelligent textiles products and their energy sources, describes wearable or portable power converters for smart products, describes the effects of magnets on human health.

The second chapter describes the methods and materials of the research.

The third chapter of the paper presents the research results of the electromechanical converter: the parameters optimization of the converter elements, locations determination of the converter elements in clothing, the converter work testing in clothing, research the various kinds of the inductive element and the durability of the inductive element in the garment care process.

The conclusions of the doctoral thesis are summarized in the final section of the work.

SATURS

Attēlu saraksts	7
Tabulu saraksts	10
Skaidrojumi, saīsinājumi	11
Ievads.....	12
1. Literatūras apskats.....	17
1.1. Viedās tekstilijas un to enerģijas avotu analīze	17
1.2. Valkājamie vai portatīvie enerģijas pārveidotāji viedizstrādājumos	26
1.2.1. Fotovoltaiskie elementi	27
1.2.2. Termoelektriskie ģeneratori	29
1.2.3. Elektromehāniskie ģeneratori.....	33
1.2.3.1. Induktīvo elementu veidi un to iestrādāšana viedapģērbā	44
1.2.4. Citu veidu ģeneratori	45
1.3. Magnētu ietekme uz cilvēka veselību	48
Kopsavilkums	49
2. Materiāli un metodes.....	51
2.1. Elektromagnētiskā enerģijas pārveidotāja izveides materiāli.....	52
2.2. Mērīšanas un testēšanas metodes.....	54
2.2.1. Induktīvo elementu veidošanas tehnoloģija	54
2.2.2. Elektromagnētiskā enerģijas pārveidotāja darbības princips.....	59
3. Rezultāti un diskusijas	66
3.1. Elektromagnētiskā pārveidotāja konstrukcijas elementu pētījumi	66
3.1.1. Sprieguma atkarība no spoles vijumu skaita	66
3.1.2. Sprieguma atkarība no slāņu skaita plakanajā induktīvajā elementā un tā novietojuma	67
3.1.3. Sprieguma atkarība no attāluma starp spoli un magnētu.....	70
3.1.4. Pārveidotāja efektivitātes salīdzinājums izmantojot dažādas formas un dažādos veidos izgatavotus induktīvos elementus	70
3.2. Elektromagnētiskā pārveidotāja parametru optimizācija.....	72
3.3. Elektromagnētiskā enerģijas pārveidotāja ievietošana valkājamās tekstilijās	78
3.3.1. Elektromagnētiskā enerģijas pārveidotāja ievietošana žaketē.....	78
3.3.2. Iespējamo elektromagnētiskā enerģijas pārveidotāja ievietošanas vietu analīze un testēšana	83
3.3.3. Enerģijas atkarība no magnēta kustības ātruma	89

3.4. Induktīvā elementa ilgmūžības prognoze	90
3.5. Salīdzinošā enerģijas pārveidotāja ģenerētās enerģijas, attīstītās jaudas un ģeometriskās formas analīze.....	93
Kopsavilkums	96
Visparīgi Secinājumi	97
Literatūras saraksts	99
Pielikumi.....	117
1.pielikums. Patenti un patenta pieteikumi	118
2.pielikums. Enerģijas pārveidotāja veidi	132
3.pielikums. Plakanas struktūras elektromagnētiskā enerģijas pārveidotāja raksturlielumu un tā precizitātes aprēķinu piemērs.....	135
4.pielikums. Apģērbu un aksesuāru ar ievietoto enerģijas pārveidotāju kopskats	137

ATTĒLU SARAKSTS

1.1. att. Viedā e-tekstilizstrādājuma izgatavošana.....	17
1.2. att. Apģērba evolūcija.....	18
1.3. att. Valkājamās viedā tekstila sistēmas piemērs	19
1.4. att. E-tekstilizstrādājumu darbības shēma	20
1.5. att. Pieejamo mobilo barošanas līdzekļu stratēģijas apskats	21
1.6. att. Cilvēka ķermeņa pasīvās darbības enerģijas daudzuma/ jaudas sasniedzamās augšējās robežas	23
1.7. att. Izstrādājumi ar fotovoltiskiem elementiem	27
1.8. att. Drānā integrēts (ieausts) amorfs plānkārtiņu fotovoltiskais elements	28
1.9. att. Dažāda diametra fotovoltiskās šķiedras.....	28
1.10. att. Mazie, sfēriskie fotovoltiskie elementi <i>Sphelar® cells</i>	29
1.11. att. Lokanā optiskā fotovoltiskā šķiedra	29
1.12. att. Lokanās saules baterijas - "uzlīmes"	29
1.13. att. Ultraplāna, viegla un elastīga organiskā saules baterija	29
1.14. att. Seiko Thermic pulkstenis ar iebūvētu termogeneratoru	30
1.15. att. Integrētais termogenerators	30
1.16. att. Krekls ar integrētu TEG	31
1.17. att. Gumijas zābaki <i>Orange Power Wellies</i> ar iestrādātu TEG	32
1.18. att. Plakans TEG ar 50 termopāriem	32
1.19. att. Guļammaiss <i>Recharge Sleeping Bag</i>	32
1.20. att. Enerģiju ģenerējoša drāna – <i>PowerFelt</i>	32
1.21. att. Svārku <i>Sp4kl3</i> prototips.....	33
1.22. att. Svārku prototips no iekšpuses, svārku detaļa ar elektrodiem.....	33
1.23. att. Šorti <i>Power Pocket Shorts</i>	34
1.24. att. Cilvēka ķermeņa enerģijas pārveidošana	34
1.26. att. Apavi ar elektromagnētiskiem enerģijas pārveidotājiem	35
1.25. att. Apavos ievietoti enerģijas pārveidotāji	36
1.27. att. Biomehāniskie ceļgalu uzliku ģeneratori	37
1.28. att. Elektromagnētiskā ceļgalu uzlikas <i>PowerWalk™</i>	37
1.29. att. Enerģiju ģenerējoša mugursoma	38
1.30. att. Elektromagnētiskā ģeneratora shēma	38
1.31. att. Pjezoelektriskā sprādze.....	39
1.32. att. Parametriskais elektrostatiskais nerezonējošais ģenerators.....	40
1.33. att. Ģeneratora izvietojuma punkti testējamai personai.....	40
1.34. att. Ģenerators ar plakanām spolēm	40
1.35. att. Elektromagnētiskais ģenerators ar ekscentru	41
1.36. att. Lineārais elektromagnētiskais ģenerators.....	41
1.37. att. Sfēriskais elektromagnētiskais ģenerators.....	42
1.38. att. Magnetohidrodinamiskais ģenerators.....	42

1.39. att. nPower PEG ģenerators.....	43
1.40. att. Magnētiskais ģenerators	43
1.41. att. Pjezoelektriskās šķiedras	44
1.42. att. Spirālveidīgais induktīvais elements	45
1.43. att. Vēja ģeneratori	46
1.44. att. Krekls ar integrētu elektrokardiogrāfijas sistēmu.....	46
1.45. att. Hibrīdās enerģijas pārveidotājs no trim avotiem.....	47
1.46. att. Hibrīdā ierīce	47
1.47. att. Plānkārtiņu fotovoltaisais un pjezoelektriskais hibrīda enerģijas pārveidotājs	48
2.1. att. Eksperimentu struktūra.....	51
2.2. att. Magnētu formas	53
2.3. att. Hipocikloīdas, spoles vijuma dizaina formas varianti.....	54
2.4. att. Epicikloīdas, spoles vijuma dizaina formas varianti	54
2.5. att. Vienslāņa spole.....	54
2.6. att. Spoles slāņu veidi.	56
2.7. att. Induktīvais elements ar dažādiem aizsargpārklājumiem.	56
2.8. att. Automatizēti izšūtas plakanās spoles (taisnstūra, astroīdas, hipocikloīdas un spirālveida forma).....	57
2.9. att. Izšūšanas process.....	57
2.10. att. Automatizēti uzšūtas plakanās spoles.....	58
2.11. att. Uzšūšanas process	58
2.12. att. Spoles ar <i>PCB (Printed Circuit Board)</i> tehnoloģiju.....	58
2.13. att. Elektromagnētiskā enerģijas pārveidotāja sastāvdaļas.	59
2.14. att. Plakanā induktīvā elementā ģenerētais elektrodzinējspēks	61
2.15. att. Pārveidotāja attīstītā momentānā jauda	61
2.16. att. Spriegums uz R_{pap}	62
2.17. att. Elektromagnētiskā enerģijas pārveidotāja detaļu izvietojuma vietas	63
2.18. att. Magnēta trajektorijas līkne žaketē	63
2.19. att. Reflektējošo marķieru izvietojums uz ķermeņa.	64
2.20. att. Elektriskās pretestības mērīšana	64
3.1. att. Sprieguma impulsu amplitūdas atkarība no spoles vijumu skaita un ģenerētā sprieguma impulsa shēma.....	66
3.2. att. Sprieguma impulsu amplitūda kā spoļu slāņu skaita funkcija.....	67
3.3. att. Jaudas grafiki	68
3.4. att. Sprieguma grafiki	69
3.5. att. Sprieguma impulsu amplitūda kā attāluma funkcija starp spoli un magnētu un ģenerētā sprieguma impulsa shēma	70
3.6. att. Ģenerējamā enerģija atkarībā no attāluma starp spolēm	73
3.7. att. Ģenerējamā sprieguma un attīstītās jaudas atkarība no attāluma starp spolēm.....	74
3.8. att. Ģenerētās jaudas atkarība no spoles diametra D un magnēta garuma L attiecības ...	75
3.9. att. Spoļu savienojuma veids.	76

3.10. att. Kopējā attīstītā jauda divām virknē savienotām spolēm kā funkcija attālumam starp spoļu malām.....	76
3.11. att. Pretējas polaritātes sprieguma impulsu evolūcija, mainoties attālumam starp spolēm un izmantojot 4. magnētu ar dubulto magnētisko lauku.....	77
3.12. att. Pretējas polaritātes sprieguma impulsu evolūcija, mainoties attālumam starp spolēm un izmantojot 5. magnētu.	77
3.13. att. Elektromagnētiskā enerģijas pārveidotāja elementi un to izvietojums apgērbā.....	79
3.14. att. Ģenerējamā sprieguma impulsu evolūcija deviņos pilnos soļošanas ciklos un viena cikla impulsi pie kustības ātrumā 6 km/h..	80
3.15. att. Ģenerējamā sprieguma impulsi pie kustības ātruma 4,5km/h prototipa labajā pusē.	82
3.16. att. Elektromagnētiskā enerģijas pārveidotāja detaļu izvietojuma vietas.	84
3.17. att. Elektromagnētiskā enerģijas pārveidotāja darbības testēšana	85
3.18. att. Spoļu novietojuma pozīcija.	88
3.19. att. Spoles pozīcijas attiecībā pret sānu vīli.	88
3.20. att. Virtuālais modelis EMP elementu kustības ātruma analīzē	89
3.21. att. Enerģijas atkarība no magnēta ātruma.....	90
3.22. att. Induktīvo elementu destrukcija.	92
3.23. att. Induktīvais elements pirms un pēc pilnveidošanas	92
3.24. att. Maksimālā jauda kā izmēru un frekvences izmaiņas funkcija. Izmērs un enerģijas patēriņš dažādiem iespējamiem pielietojumiem.....	94

TABULU SARAKSTS

1.1. tabula. Enerģijas avotu raksturojums.....	25
1.2. tabula. Enerģijas pārveidošanas ierīces	26
1.25. att. Apavos ievietoti enerģijas pārveidotāji	36
1.3. tabula Enerģijas daudzums dažādiem ģeneratoru veidiem.....	36
2.1. tabula Spoļu materiāli.....	52
2.2. tabula Magnētu raksturojums	53
2.3. tabula Manuāli izgatavotas spoles raksturojums	55
2.4. tabula Spoļu raksturojums.....	55
2.5. tabula Spoļu ar dažādajiem dizaina risinājumiem raksturojums	57
2.6. tabula Eksperimentu vispārinātais raksturojums	62
3.1. tabula Eksperimentāli noteiktie izšūto induktīvo elementu darbības parametri.....	71
3.2. tabula Eksperimentāli noteiktie nošūto induktīvo elementu darbības parametri.....	71
3.3. tabula Eksperimentāli noteiktie induktīvo elementu, kas iegūti ar <i>PCB</i> tehnoloģiju, darbības parametri	72
3.4. tabula Enerģijas pārveidotāja ar plakanu struktūru darbības parametri	75
3.5. tabula Enerģijas pārveidotāja ģenerētā jauda pie dažāda kustības ātruma	80
3.6. tabula Enerģijas pārveidotāja ar 4 un 5 slāņu induktīviem elementiem raksturojumi.....	81
3.7. tabula Enerģijas pārveidotāja raksturojumi atšķirīgās ievietošanas vietās.....	81
3.8. tabula Pārveidotāja darbības parametri.....	82
3.9. tabula Enerģijas daudzums pie dažādiem testēšanas nosacījumiem (sieviešu apģērbā) ...	86
3.10. tabula Enerģijas daudzums pie dažādiem testēšanas nosacījumiem (vīriešu apģērbā) ...	86
3.11. tabula Momentānās jaudas procentuālās izmaiņas	88
3.12. tabula Pārveidotāja darbības parametri.....	89
3.13. tabula Elektrisko pretestību vērtības spolēm pirms un pēc mazgāšanas	91
3.14. tabula Enerģijas patēriņš ar bateriju darbināmās ierīcēs	93
3.15. tabula Plakanas formas elektromagnētiskā enerģijas pārveidotāja raksturlielumi.....	94
3.16. tabula Roku kustību enerģijas pārveidotāju raksturlielumi	95

SKAIDROJUMI, SAĪSINĀJUMI

V – volts, elektriskā sprieguma mērvienība

Ω – oms, elektriskās pretestības mērvienība

dB – decibeli, skaņas mērvienība, raksturo skaņas spiediena un intensitātes līmeni

dtex – deciteksi, pavediena lineārais blīvums (masa gramos uz 10000 metriem)

T – tesla, magnētiskā lauka indukcijas (magnētiskās plūsmas blīvuma) mērvienība

W – vats, jaudas mērvienība

J – džouls, enerģijas mērvienība

°C – Celsija grāds, temperatūras mērvienība pēc Celsija skalas

W/cm³ – jaudas tilpuma blīvums (jaudas daudzums, kas ir noteiktā tilpumā vienībā)

mW/cm² – jaudas virsmas blīvums (jaudas daudzums, kas izdalīts noteiktā laukumā vienībā)

m/s – metri sekundē, ātruma mērvienība

km/h – kilometri stundā, ātruma mērvienība

Hz = s⁻¹ – hercs, frekvences mērvienība

EDS – elektrodzinējspēks, V

EMP – elektromagnētiskais enerģijas pārveidotājs

TEG – termoelektriskais ģenerators

PIE – plakanais induktīvais elements

PCB (en: *Printed Circuit Board*) kodinātās mātes plates

LED – gaismu izstarojoša diode

RFID (en: *Radio Frequency Identification*) - radio frekvences identifikācija

RF (en: *radio frequency*) - radio frekvences

GSM (en: *Global System for Mobile communications*) - mobilo telefonu standarts

PTFE – politetrafluoretilēns

PVDF – polivinilidēnfluorīds

PZT – svina cirkonāta titanāts, pjezokeramiskais kompozītais materiāls

NdFeB / neodīma magnēts – dzelzs, bora un neodīma sakausējums, pastāvīgā magnēta materiāls

CDRG (*Coulomb-Damped Resonant Generator*) kulona spēka rezonējošs ģenerators, parasti īstenots kā elektrostatiskais ģenerators

CFPG (*Coulomb-Force Parametric Generator*) - kulona spēka parametriskais ģenerators, nerezonējoša ierīce parasti īsteno kā elektrostatisko ģeneratoru

VDRG (*Velocity-Damped Resonant Generator*) - Rimšanas/ izdzišanas rezonanses ģenerators, parasti īsteno kā elektromagnētisko vai piezoelektrisko ģeneratoru

IEVADS

Attīstoties tehnoloģijām, rodas arī jauni risinājumi to lietojumam. Elektronikas funkcionālo iespēju paplašināšanās un elementu ģeometrisku izmēru, masas un patērējamās jaudas strauja samazināšanās, kā arī jauna veida materiālu lietojums to izgatavošanā rada iespēju tekstilizstrādājumos, apavos un aksesuāros ievietot vai integrēt elektroniskas sistēmas, padarot tās mobilas un piešķirot izstrādājumiem papildu funkcijas.

Apģērbā integrētai elektroniskai sistēmai, līdzīgi kā jebkurai elektroiekārtai, nepieciešams enerģijas avots. Šim nolūkam lielākoties izmanto atkārtoti uzlādējamus akumulatorus vai vienreiz lietojamās, maināmas baterijas. Lai gan šādi enerģijas avoti ir efektīvi, tomēr tie ne vienmēr ir ekoloģiski un ekonomiski. Baterijas pēc ekspluatācijas ir jāmaina, nepieciešama arī speciāla pārstrāde pēcekspluatācijas fāzē, savukārt akumulatori ir jāuzlādē no kāda cita enerģijas avota, tērējot elektroenerģiju un arī dabas resursus. Lai taupītu neatjaunojamās dabas resursus un samazinātu piesārņojumu, tiek pētītas iespējas par enerģijas avotiem izmantot atjaunojamās resursus, piemēram, vēja vai Saules enerģiju. Apģērbā integrētu elektronikas ierīču darbināšanai par enerģijas avotu iespējams izmantot arī cilvēka radītu enerģiju. Šis virziens ir jauns, līdz ar to paver plašas pētījumu iespējas.

Viena no iespējām izveidot apģērbā integrētai elektroniskai sistēmai ekoloģisku, ekonomisku un mobilu enerģijas avotu ir cilvēka mehānisko kustību radītās enerģijas pārvēršana strāvā un tālāka tās uzkrāšana akumulatorā. Par šādu enerģijas pārveidotāju var kalpot indukcijas spole un magnēts, kuru darbība pamatojas uz elektromagnētiskās indukcijas rašanos vadītājā, mainoties magnētiskā lauka plūsmai. Līdz šim veiktajos pētījumos ir aprakstīti šāda veida trīsdimensionālas formas elementi, tomēr apģērbam telpiskas formas elementi nav piemēroti, tādēļ zinātniskā darba ietvaros plānots izpētīt iespējas integrēt apģērbā plakanas indukcijas spoles, noskaidrot tām piemērotāko novietojumu apģērbā, tāpat arī noskaidrot piemērotākās tekstiltehnoloģijas šim nolūkam, pārbaudīt elementa efektivitāti darbībā, kā arī izpētīt apģērbā ievietota enerģijas pārveidotāja īpašību noturību valkāšanas un apģērba kopšanas procesā.

Promocijas darba tēmas aktualitāte:

Pēdējā desmitgadē apģērba funkcijas būtiski paplašinājušās. Apģērbā tiek integrētas elektroniskas sistēmas, kas veic veselības stāvokļa kontroli, vides piesārņojuma pārraudzības, komunikācijas, atrašanās vietas noteikšanas un citas funkcijas. Praktiski visu sistēmu pamatā ir dažādu sensoru un aktuatoru integrēšana apģērba elementos. To sekmīgai darbībai ir nepieciešams mobils un vienkārši lietojams enerģijas avots. Lai integrēto elektronisko sistēmu padarītu neatkarīgu no ārējiem avotiem un to apkopes/mainas, tiek pētīta iespēja tās darbināšanai izmantot cilvēka kustību enerģiju.

Darba mērķis:

Integrēt tekstilijās elektromagnētisko enerģijas pārveidotāju.

Darba uzdevumi:

- Veikt analītisko apskatu par viedizstrādājumiem ar integrētiem elektroģeneratoriem/ pārveidotājiem un to attīstības tendencēm.
- Izveidot elektromagnētiskos enerģijas pārveidotājus ar plakanu arhitektūru kas būtu integrējami apgērbā un optimizēt to parametrus.
- Izpētīt iespējamās elektromagnētisko enerģijas pārveidotāju integrēšanas vietas apgērbā.
- Izpētīt hidrotermiskās apstrādes ietekmi uz pārveidotāja induktīviem elementiem.
- Izveidot induktīvos elementus, lietojot vairākas tehnoloģijas.
- Noteikt enerģijas pārveidotāja ģenerētās enerģijas daudzuma atkarību no induktīvā elementa formas.
- Izveidot viedā tekstilizstrādājuma prototipus, integrējot tajos elektromagnētisko enerģijas pārveidotāju.

Aizstāvamās tēzes:

- Izveidotais cilvēka kustību enerģijas pārveidotājs ir divdimensionāls un ir integrējams apgērbā, nemainot tā ārējo izskatu un funkcionalitāti.
- Izveidotā apgērba ar integrētiem enerģijas pārveidotājiem testēšanas metodika ļauj noteikt optimālo elementu izvietošanu un skaitu;
- Termoplastisko adhēzijas pārklājumu izmantošana ļauj izveidot pārveidotāja induktīvos elementus, kas iztur vairākkārtēju mazgāšanu.

Promocijas darba pētījuma metodes:

Promocijas darba izstrādes procesā ir pielietotas teorētiskās un eksperimentālās pētījumu metodes.

Zinātniskās literatūras par enerģijas avota un enerģijas pārveidotāju veidiem, par viedajiem izstrādājumiem ar integrētiem elektroģeneratoriem/ pārveidotājiem un to attīstības tendencēm analīze un sistematizācija; patentu apkopošana par apgērbu, apaviem un aksesuāriem ar integrētu vai portatīvo enerģijas pārveidotāju;

Eksperimentālās pētījumu metodes balstās uz vienfaktoru un divfaktoru fizikāliem eksperimentiem, novērošanu un rezultātu salīdzināšanu.

Elektromagnētiskā enerģijas pārveidotāja ar plakanu arhitektūru izstrāde, optimizācija un testēšana veikta laboratorijas apstākļos. Iespējamo elektromagnētiskā enerģijas pārveidotāja integrēšanas vietu analīze un testēšana veikta laboratorijas apstākļos. Dati apstrādāti un analizēti, izmantojot matemātiskās statistiskās, salīdzinošās, grafiskās un aprakstīšanas metodes.

Induktīva elementa ilgmūžība pētīta modelējot apgērba ar integrētu enerģijas pārveidotāju kopšanas iedarbību (mazgāšanu). Hidrotermiskā apstrāde veikta saskaņā ar ISO 6330:2012 standartu. Iegūtie rezultāti apstrādāti ar monogrāfisko (aprakstošo) metodi un novērtēti ar kvalitatīvo metodi.

Tekstilizstrādājuma prototipu izgatavošana veikta ar šūšanas rūpniecības specializētām metodēm.

Pētījumu rezultāti sakopti tabulās, grafikos un ilustrēti ar attēliem.

Mērījumu veikšanai izmantota programmatūra PicoScope.

Datu reģistrēšanai lietoti: digitālais multimetrs Velleman DVM860BL induktīvas elementa elektriskās pretestības mērīšanai; digitālais osciloskops Tektronix TDS 2014 un Picoscope 2205 elektriskā sprieguma mērīšanai; Qualisys sistēma EMP elementu pārvietošanas ātrumu noteikšanai (kameru parametri: ProReflex MCU 240 Motion Capture).

Datu apstrādei izmantotas datorprogrammas OriginPro 8.5 un Excel.

Promocijas darba zinātniskais jauninājums, praktiskais lietojums:

Pētījuma rezultātā izstrādāts apģērbā integrējams, plakans elektrodinamiskais mehāniskās cilvēka kustību enerģijas pārveidotājs elektriskajā enerģijā ar minimālu tilpumu un masu.

Eksperimentāli noteikta optimāla ģenerators daļu konfigurācija un izvietojums apģērbā.

Promocijas darba aprobācija:

Par promocijas darba galvenajiem rezultātiem ziņots starptautiskās zinātniskās konferencēs, semināros un izstādēs.

1. Inter-Academia 2010, 9.–12. augusts, 2010, Rīga, Latvija.
2. RTU Izgudrotāju dienas izstāde, 16. decembris 2010, Rīga, Latvija.
3. Smart Textiles Salon 2011 Beļģija, Gente, 18.–21. aprīlis, 2011.
4. 11th World Textile Conference AUTEX 2011 “150 Years of Research and Innovation in Textile Science”, Milūza, Francija, 8.–10. jūnijs, 2011.
5. 52. RTU starptautiskā zinātniskā konference, 12. oktobris, 2011 Rīga, Latvija.
6. Apvienotais Pasaules latviešu zinātnieku III kongress un Letonikas IV kongress “Zinātne, sabiedrība un nacionālā identitāte”, Rīga, Latvija 2011. gada 24.–27. oktobrī.
7. 3rd International Workshop on Flexible and Stretchable Electronics, Berlīne, Vācija, 15.–17. novembris, 2011.
8. Rīgas Stradiņa universitātes 2012. gada Zinātniskā konference, Rīga, Latvija, 29.–30. marts, 2012.
9. Energy Harvesting & Storage Europe 2012, Berlīne, Vācija, 15.–16. maijs, 2012.
10. 12th World Textile Conference AUTEX 2012 “Innovative Textile For High Future Demands”, Zadara, Horvātija, 13.–15. jūnijs, 2012.
11. 53. RTU starptautiskā zinātniskā konference / 1. pasaules inženieru un RPI-RTU absolventu kongress, Rīga, Latvija, 10.–12. oktobris, 2012.
12. 4th International Interdisciplinary Scientific Conference “SOCIETY. HEALTH. WELFARE”, Rīga, Latvija, 22.–23. novembris, 2012.

Promocijas darba autore ir strādājusi par pētnieci zinātniskās pētniecības projektā “Starpnozaru zinātniskās grupas izveidošana viedo tekstiliju jaunu funkcionālo īpašību attīstīšanai un integrēšanai inovatīvos izstrādājumos”. Promocijas darba rezultāti daļēji iekļauti šī zinātniskā projekta atskaitē.

Promocijas darbā veikto pētījumu rezultāti ir atspoguļoti publikācijās starptautiskos zinātniskos izdevumos.

Blūms J., **Terļecka G.**, Viļumsone A. The Electrodynamic Human Motion Energy Converter with Planar Structure // Advanced Materials Research. - 222. (2011) 36.-39. lpp. (Scopus)

Blūms, J., **Terļecka, G.**, Gorņevs, I., Viļumsone, A. Flat Inductors for Human Motion Energy Harvesting. SPIE Proceedings, 2013, Vol. 8763: Smart Sensors, Actuators, and MEMS VI, 876311.-876318.lpp. ISSN 0277-786X. Pieejams: doi:10.1117/12.2016995 (Scopus)

J. Blums, A. Vilumsone, V. Jurkans, **G. Terlecka** and I. Gornevs, «Wearable electromagnetic human motion energy harvesters,» in *Energy Harvesting*, D. R. Manyala, Ed., Rijeka: InTechOpen, 2018.

Terļecka G., Viļumsone A., Blūms J. The Electrodynamic Human Motion Energy Harvester in Smart Clothes // 150 Years of Research and Innovation in Textile Science: Book of Proceedings. Vol. 2, Francija, Mulhouse, 8.-10. jūnijs, 2011. - 866.-870. lpp.

Terļecka G., Viļumsone A., Blūms J., Gorņevs I. The Structure of the Electromechanical Converter and Its Integration in Apparel // RTU zinātniskie raksti. 9. sēr., Materiālzinātne. - 6. sēj. (2011), 123.-129. lpp.

Terļecka G., Viļumsone A., Blūms J. Washability for the Inductive Elements of the Energy Harvester Integrated into Clothing // 12th World Textile Conference AUTEX 2012 "Innovative Textile for High Future Demands": Book of Proceedings, Horvātija, Zadora, 13.-15. jūnijs, 2012. - 1459.-1464. lpp.

Viļumsone, A., **Terļecka, G.**, Blūms, J., Dāboliņa, I. Placement of Flat Generator in Garment. No: XIIIth International Izmir Textile and Apparel Symposium, Turcija, Izmir, 2.-5. aprīlis, 2014. Izmir: 2014, 67.-72.lpp. e-ISBN 978-606-33-8043-6.

Terļecka, G., Blūms, J., Viļumsone, A., Pavāre, Z. Wearable Power Harvester for Medical Applications. No: 4th International Interdisciplinary Scientific Conference „Society. Health. Welfare”, Latvija, Rīga, 22.-23. novembris, 2012. Scranton: Marywood University, 2014, 00046-1.-00046-8.lpp. ISBN 978-2-7598-0801-4. Pieejams: doi:10.1051/shsconf/20141000046

Eglīte, L., **Terļecka, G.**, Blūms, J. Energy Generating Outerwear. Materiālzinātne. Tekstila un apģērba tehnoloģija. Nr.10, 2015, 67.-71.lpp. ISSN 1691-3132. e-ISSN 2255-8888. Pieejams: doi:10.7250/mstct.2015.010

Blūms J., **Terļecka G.**, Viļumsone A. The Electrodynamic Human Motion Energy Converter with Planar Structure // The 9th International Conference on Global Research and Education: Inter Academia 2010: Digest, Latvija, Rīga, 9.-12. augusts, 2010. - 80.-81. lpp.

Blūms J., **Terļecka G.**, Gorņevs I., Viļumsone A. Apģērbā integrējamais cilvēka kustību enerģijas pārveidotājs // Apvienotais pasaules latviešu zinātnieku III kongress un Letonikas IV kongress: sekcija "Tehniskās zinātnes": tēžu krājums, Latvija, Rīga, 24.-27. oktobris, 2011. - 26.-26. lpp.

Viļumsone, A., Blūms, J., Vališevskis, A., Baltiņa, I., Krieviņš, I., Ziemeļe, I., Šitvjenkins, I., **Terļecka, G.**, Parkova, I., Šahta, I., Ābele, I., Dāboliņa, I., Grecka, M. Viedie apģērbi cilvēka drošībai un veselībai. No: Apvienotais pasaules latviešu zinātnieku III kongress un Letonikas IV kongress "Zinātne, sabiedrība un nacionālā identitāte": tēžu krājums:

Apvienotais pasaules latviešu zinātnieku III kongress un Letonikas IV kongress "Zinātne, sabiedrība un nacionālā identitāte", Latvija, Rīga, 24.-27. oktobris, 2011. Rīga: RTU Izdevniecība, 2011, 25.-25.lpp. ISBN 9789934102271.

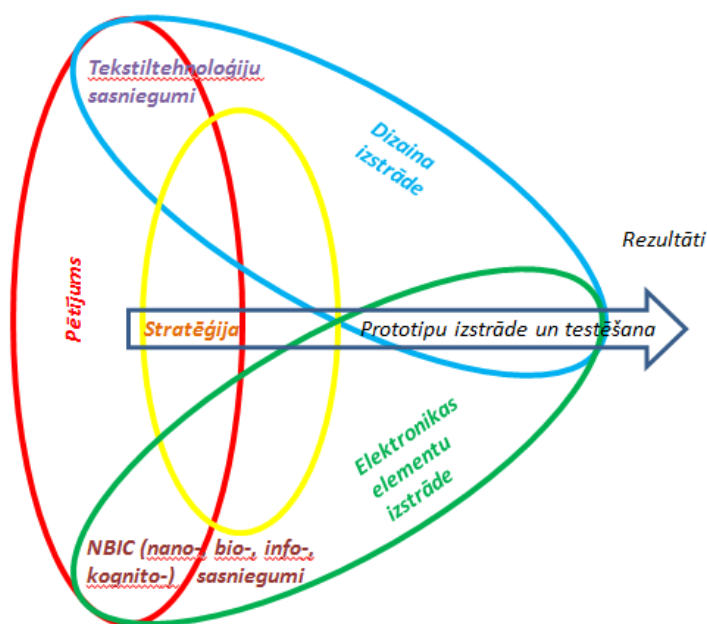
Terļeckā, G., Baltiņa, I., Viļumsone, A., Blūms, J. Durability for Smart Clothing with Wearable Energy Source. No: Riga Technical University 53rd International Scientific Conference : Dedicated to the 150th Anniversary and the 1st Congress of World Engineers and Riga Polytechnical Institute / RTU Alumni: Digest, Latvija, Riga, 11.-12. oktobris, 2012. Riga: RTU Publishing House, 2012, 285.-285.lpp. ISBN 9789934103605.

Blūms, J., **Terļeckā, G.**, Gorņevs, I., Viļumsone, A. Human motion energy harvesters for wearables. No: 9th International Symposium on Flexible Organic Electronics. Workshop on Smart Textiles. Greece, Thessaloniki, 4-7 July 2016. ISFOE16, Book of Abstracts, p.80.

1. LITERATŪRAS APSKATS

1.1. Viedās tekstilijas un to enerģijas avotu analīze

Pēdējos 10-15 gados arvien straujāk attīstās tekstilnozare gan apģērbu tehnoloģiju, gan tekstilmateriālu jomā. Viedo tekstiliju attīstības tendences nosaka gan augstā mode un māksla, gan tehnoloģijas un sabiedrības vajadzības [1]. Jaunās paaudzes šķiedru, viedo tekstiliju un apģērbu ražošana kļuva iespējama, pateicoties tradicionālo tehnoloģiju apvienošanai ar NBIK (nano, bio, info, kognito) tehnoloģijām [2]. (1.1. att.) Viedtekstilam ir plašs lietojumu potenciāls dažādās sfērās: medicīna (uzraudzība, apmācība, tālvadības diagnostika), profesionālais sports (apmācība, darbības mērījumi), profesionāla darbība (vajadzība pēc "brīvo roku" funkcijas, drošība, aizsardzība, datu apmaiņa), izklaides/atpūta (estētiskā personalizācija, tīkla spēles), ikdienas dzīve (komunikācija, veselība) [3], augstā mode un dizains (estētika, komunikācija), enerģijas pārveidošana (*harvesting*, *scavenging*) no apkārtējās vides (alternatīva vienreizējām baterijām, enerģijas avots attālinātām elektroniskām ierīcēm (*wireless sensors for smart ambient*) un valkājamām (nēsājamajām) elektroniskām ierīcēm [4]–[7] utt.

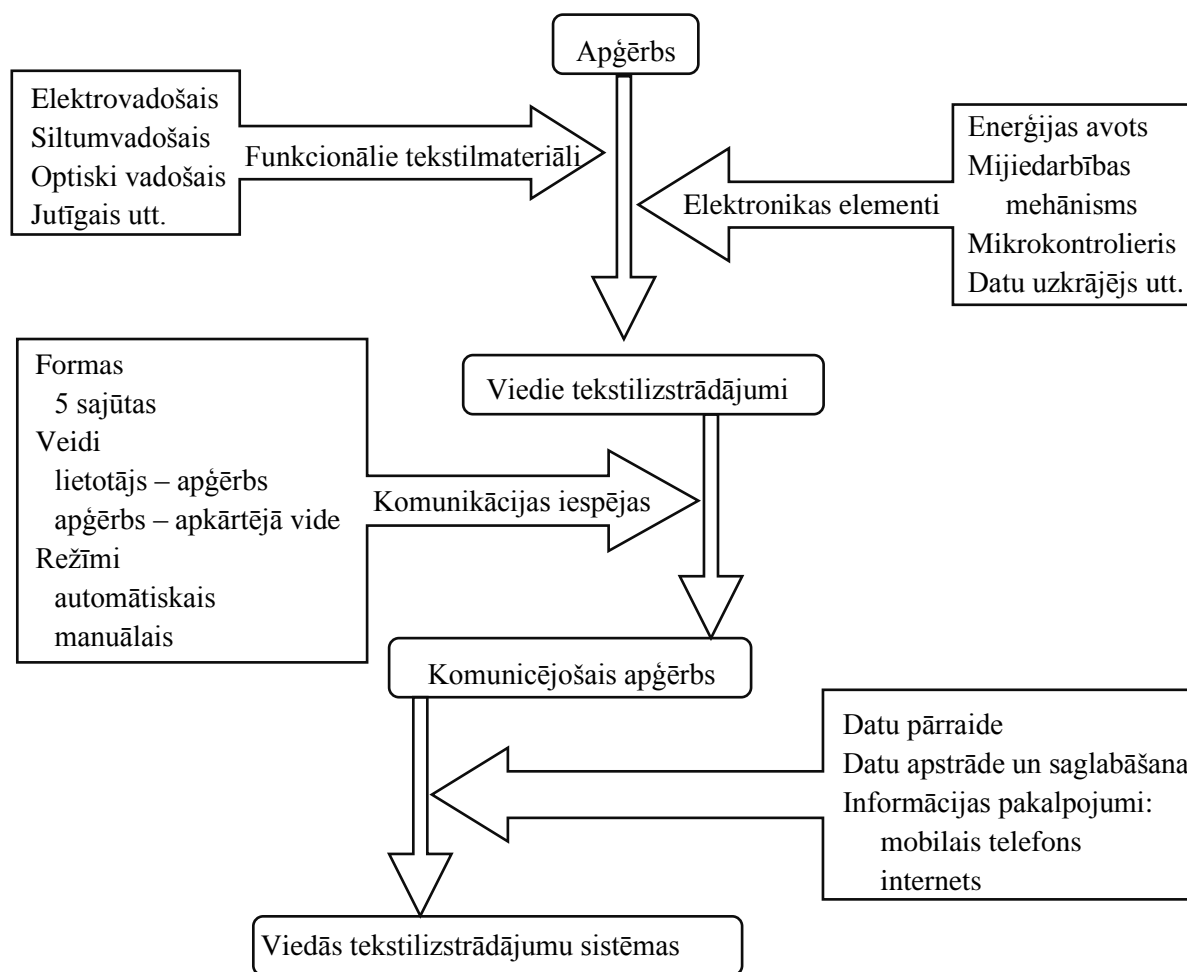


1.1. att. Viedā e-tekstilizstrādājuma izgatavošana, attēls adaptēts pēc [1], [8]

Elektronikas un elektrisko sistēmu integrācija apģērbā (apģērbs ar e-tekstiliju) ir viens no svarīgākajiem un relatīvi jauniem tekstilnozares segmentiem. Valkājamās elektronikas un elektriskās sistēmas koncepcijas rašanās un attīstība saistīta ar starpdisciplīnu (tekstiltehnoloģiju, materiālzinātņu, elektrotehnikas un elektronikas, kā arī datorzinātņu un citu jomu) sadarbības radītām tehnoloģiskām iespējām (1.2. att.):

- sasniegumi elektronisko komponentu izmēru miniaturizācijā (pārejot no mikro- uz nanoelektroniku), kas nēsājamām ierīcēm nodrošina mazo svaru un gabarītus;
- elektronisko ierīču patērējamās jaudas samazinājums;

- mobilo sakaru ierīču un jauno tehnoloģiju tirgus attīstība, kā arī jauno ierīču izmantošanas sfēru un servisa funkciju paplašināšanās;
- uz šķiedras pamata izveidotu daudzfunkcionālo elastīgo miniatūro jaunās paaudzes harmoniski integrējamu tekstila struktūrā sensoru radīšana;
- sasniegumi miniatūro enerģijas pārveidotāju/spēka pievadu veidošanā, pielietojot jaunās paaudzes viedos polimērus, kas spējīgi reaģēt uz visdažādākajiem ārējiem impulsiem - siltumu, aukstumu, gaismu, spiedienu, elektrisko vai magnētisko lauku, u.c.;
- sasniegumi bezvadu telekomunikāciju, nanotehnoloģiju un bionikas attīstībā utt.



1.2. att. Apģērba evolūcija [3]

Jēdzieni - viedtekstilijas un viedapģērbs - raksturo tekstilizstrādājumus, kas spēj uztvert ārēja faktora iedarbību, veidot atbildes reakciju uz kādu ārēju kairinājumu vai tam pielāgoties, integrējot tekstilmateriāla struktūrā jaunas funkcijas [9]. Stimuls, kā arī atbildes reakcijas var būt elektriskās, mehāniskās, termiskās, ķīmiskās, magnētiskās, optiskās vai citas izcelsmes [10], [11].

Savukārt viedtekstils un viedapģērbs, iegūstot jaunas un būtiski uzlabojot tradicionālās īpašības, paplašina tekstila izmantošanas iespējas, galvenokārt, tehniskajās, aizsardzības un medicīniskajās sfērās.

Lai uzlabotu cilvēka dzīves kvalitāti, veidots speciāls ārstnieciskais apģērbs (apģērbs, kas spējīgs radīt noteiktu spiedienu uz cilvēka ķermeni, ja nepieciešama noteikta kompresija, vai arī apģērbs, kas piesūcināts ar speciālām ārstnieciskām vielām). Šajā kategorijā ietilpst arī apģērbi ar biomonitoringa iespējām: apģērbā un tekstilijās integrētas komunikācijas, vides piesārņojuma identifikācijas, atrašanās vietas noteikšanas un citas sistēmas [12], [13].

Arī tradicionālajās jomās ir paplašinājušās viedā tekstila un apģērba izmantošanas iespējas: apģērbs ar jauniem, vadāmiem estētiskajiem efektiem (krāsu vai izmēru izmaiņa, vai gaismu norāde atkarībā no stimuliem) un IT-funkcijām (informējošie un komunicējošie tekstilizstrādājumi), uz ķermeņa vai vides temperatūras izmaiņām, garastāvokli reaģējošais apģērbs utt., mājas tekstils ar aizsardzības un brīdināšanas funkcijām, kā arī citi pielietojumi [14]–[16]. Lai nodrošinātu valkātājiem optimālu nepārtrauktu komfortu un drošību viedos apģērbos ir arī jābūt nodrošinātam līdzsvaram starp apģērba funkcionālajām īpašībām un tā ergonomiku, integrētajiem elektroniskajiem un elektriskajiem komponentiem [17]. Tiem jābūt pēc iespējas viegliem un nepamanāmiem, tie nedrīkst zaudēt darbaspējas apģērba ekspluatācijas laikā un kopšanas procesā [12], [13].

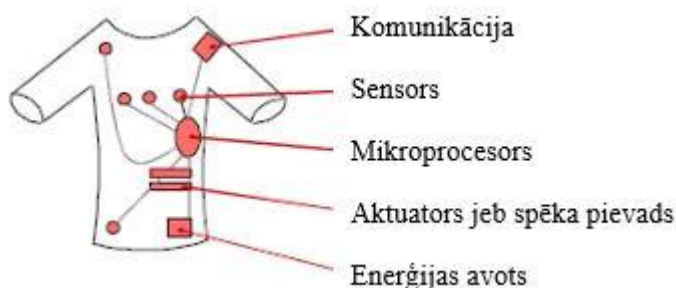
Nosacīti viedapģērbu var iedalīt apģērbos, kuru izgatavošanā izmantoti viedie tekstilmateriāli un apģērbos, kuros izmantotas jaunas e-tehnoloģijas (nepieciešamas atsevišķas ierīces ar barošanas avotiem) jeb intelektiskā tekstilsistēma.

Viedtekstilmateriāls – funkcionālais tekstilmateriāls, kas aktīvi mijiedarbojas ar apkārtni, t. i., reaģē uz apkārtnes izmaiņām vai tām pielāgojas. Intelektiskā tekstilsistēma – tekstilsistēma, kas parāda iepriekš iepļānotu/paredzētu un pielietojamu atbildes reakciju uz kāda vides faktora izmaiņām vai ārēju signālu [18].

Atbilstoši funkcijām, viedos tekstilizstrādājumus iedala trīs kategorijās:

- apģērbs ar integrētu sistēmu, kas saglabā atmiņā informāciju un veic sarežģītus aprēķinus;
- monitoringa apģērbs, kas reģistrē valkātāja uzvedību un veselības stāvokļa izmaiņas;
- regulējošais apģērbs, kas pielāgojas noteiktiem parametriem, piemēram, temperatūrai vai ventilācijai [3].

Standartā LVS CEN/TR 16298:2012 dots shematisks paraugs, kā izskatās intelektiskā tekstilsistēma (1.3. att.) [11]. Intelektiskā tekstilsistēmas sastāv no dažādiem sensoriem, izpildmehānismiem, mikroprocesora, raidzuvērējiem utt.



1.3. att. Valkājamas viedā tekstila sistēmas piemērs [11]

Sensori var uztvert cilvēka biomonitoringa un kustības parametrus, apkārtējās vides parametrus utt.

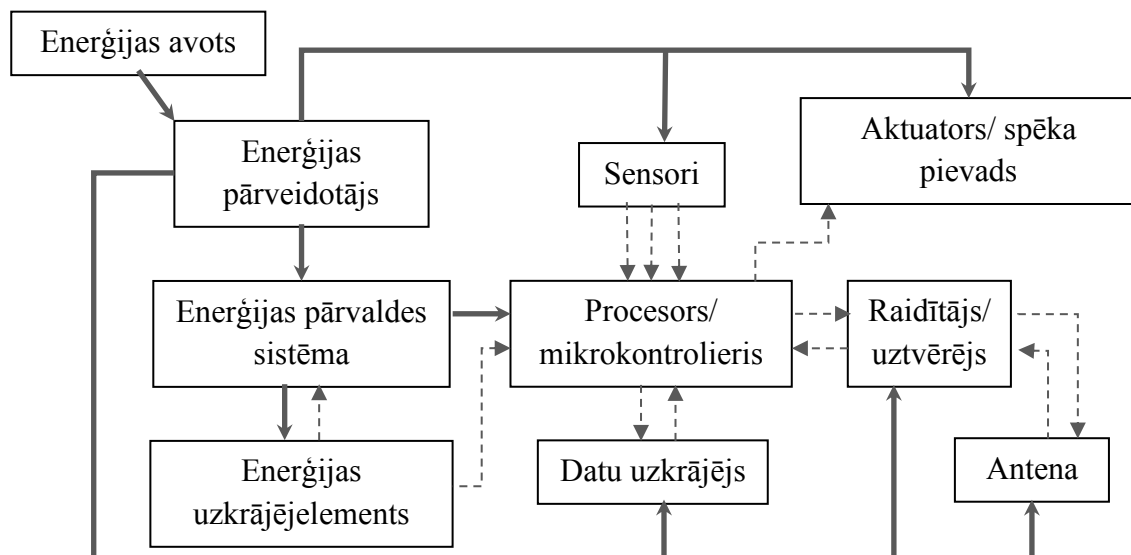
Aktuatori – ierīces, kas reaģē uz ārējās vides ietekmēm un var veikt mehāniskas manipulācijas, radīt skaņas signālu, tās var uzsilt un atdzist, mainīt savu krāsu un veikt daudzas citas manipulācijas. Svarīga ir ātra reakcija uz stimuliem un spēja atgriezt materiālu sākotnējā stāvoklī tiklīdz stimulss noņemts.

Viedā tekstila komunikēšanās iespējas var tikt izmantotas vismaz četros dažādos veidos nodrošinot:

- sakarus starp apģērba elementiem;
- sakarus starp lietotāju un apģērba norādījumu saņemšanai no raidītāja;
- sakarus starp dažādu apģērba elementiem;
- sakarus starp apģērba un tā lietotāju vai ar apkārtējo vidi informācijas (datu) pārraidei vai norādījumu saņemšanai [19].

Apģērba iekšējie sakari tiek realizēti ar optisko šķiedru, strāvu vadošu pavedienu, diegu vai parasto tievo elektrisko vadu un utt. palīdzību. Visos gadījumos, šo materiālu izmantojamību nosaka iespējas tos integrēt tekstilijā, nemainot tās ārējo izskatu un nepasliktinot tās būtiskākās īpašības. Spiedienjutīgas tekstilijas arī var izpildīt atsevišķas sakaru funkcijas komandas.

1.4. attēlā ir parādīti e-tehnoloģiju viedizstrādājumu elementi. Apkopojot informāciju par viedapģērba un viedtekstiliju komponentiem [10], [19]–[22], var secināt, ka viedizstrādājumu sekmīgai darbībai ar sensoru un aktuatoru klātbūtni vien nepietiek, ir nepieciešams autonomi ģenerēt, akumulēt un izmantot enerģiju, pirmkārt, elektrisko enerģiju, kas nepieciešama sensoru un spēka pievada darbības nodrošināšanai, procesora darbībai, sakaru nodrošināšanai (komunikācijai) ar apkārtējo vidi.

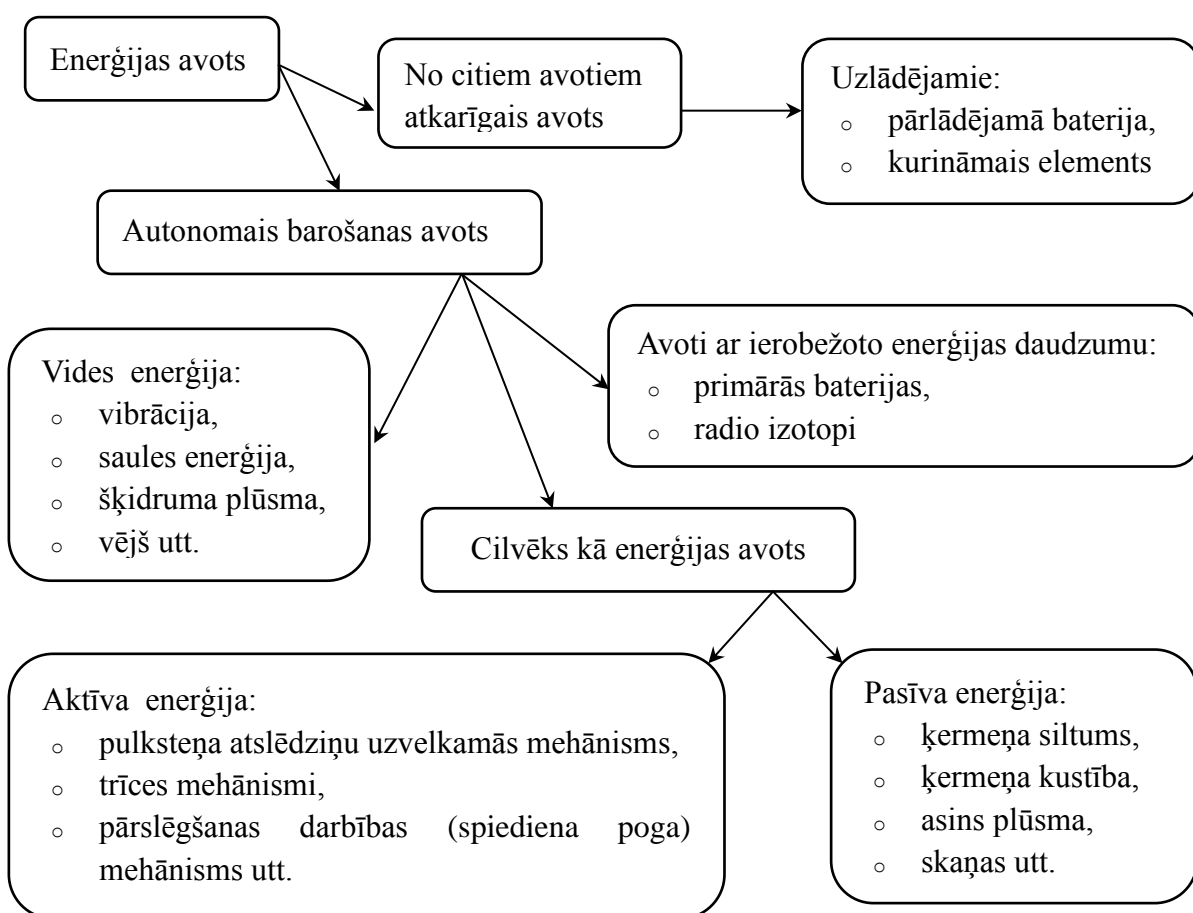


1.4. att. E-tekstilizstrādājumu darbības shēma: —> enerģijas piegādes ceļi un - - -> iekšējie sakari. Autores attēls

No iepriekš aprakstītā izriet, ka enerģijas avots ir svarīga viedo tekstilizstrādājuma sastāvdaļa.

Ir vairākas stratēģiskās pieejas mobilo ierīču un e-tekstilizstrādājumu barošanas nodrošināšanai, turklāt, dažas no tām ir autonomas, bet citu izmantošana atkarīga no papildus infrastruktūras (1.5. att.).

Elektronisko ierīču darbināšanai patlaban pārsvarā izmantotas vienreizējās baterijas vai uzlādējamie akumulatori [23], [24]. Par vienreizējo un pārlādējamo bateriju būtiskākajiem trūkumiem uzskata ekspluatācijas izdevumus un laika patēriņu, kas ir saistīts ar to nomaiņas un uzlādēšanas nepieciešamību ierobežotā ekspluatācijas laika dēļ, viedā tekstilizstrādājuma ierobežotā mobilitāte, kas saistīta ar baterijas ilgmūžību, un ekoloģiskā bīstamība, kas saistīta ar baterijas ķīmiskā sastāva negatīvo ietekmi uz apkārtējo vidi. Neraugoties uz to, ka pēdējo 15 gadu laikā ķīmisko bateriju ietilpība pieaugusi aptuveni 3 reizes, virknē gadījumu bateriju izmantošana būtiski palielina valkājamā ierīču apjomu, svaru un cenu [25].



1.5. att. Pieejamo mobilo barošanas līdzekļu stratēģijas apskats, attēls adaptēts pēc [26]

Vienreiz lietojamās standarta baterijas izvēlētas sakarā ar augstu enerģijas blīvumu, spēju ilgstoši uzglabāt enerģiju, kā arī sakarā ar to zemo cenu un plašo pieejamību [27]. Vienreiz lietojamās baterijas izmantošana viedtekstilizstrādājumā nozīmē to, ka lietotājam jānēsā līdzī papildus bateriju komplekts. Tajā pat laikā daudzkārt lietojamās baterijas izmantošana paredz iespēju izmantot elektrisko tīklu tās atkārtotai uzlādēšanai. Akumulatoru baterijas principā uzskatāmas par optimālu izvēli nēsājamajās sistēmās, jo tās iespējams uzlādēt, atsevišķos gadījumos arī neizņemot akumulatoru no sistēmas [28]. Akumulatoru bateriju ekspluatācijas

ilgums atkarīgs no akumulatora izlādēšanās ātruma un pārlādēšanas (atkārtotas uzlādēšanas) ciklu skaita. Turklāt, baterijas satur smagos metālus, kas ir kaitīgas kancerogēnās vielas, sakarā ar ko baterijas uzskatītas par bīstamajiem atkritumiem, kas būtiski piesārņo apkārtējo vidi un kuru pareizai izņemšanai no aprites nepieciešams ļoti dārgs un sarežģīts utilizācijas process [29].

Kā alternatīvu ķīmiskajām baterijām (vienreizējām baterijām vai uzlādējamajiem akumulatoriem) var izmantot kurināmos elementus (uz ūdeņraža vai metanola bāzes). Tie ir ekoloģiski nekaitīgi, tiem ir 6-7 reizes lielāks enerģijas blīvums nekā Li-ion baterijām un tie ir spējīgi uzglabāt lielāku enerģijas daudzumu nekā analogiska izmēra akumulatori, turklāt tie ir retāk jāuzlādē [30], [31].

Vēl viena enerģijas avota alternatīva ir enerģijas ieguve no apkārtējā vidē esošajiem enerģijas avotiem un kustībām, - tādām kā saules enerģija, vēja enerģija, temperatūras svārstību radītā siltuma plūsma, utt. [32]–[34] - potenciāli neizsmeļams enerģijas avots mazjaudīgām attālinātām vai valkājamām elektroniskām ierīcēm.

Cilvēka ķermenis ir milzīga enerģijas krātuve [34] un cilvēka ķermeņa radīto enerģiju aktīvas vai pasīvas darbības rezultātā ir iespējams izmantot kā enerģijas avotu portatīvām ierīcēm. Cilvēka aktīvo enerģiju var definēt kā cilvēka mehānisko enerģiju, kas iegūta no apzināti izpildītas, noteiktas muskuļu darbības vai kustības (kas nav atzīstama par ikdienišķu, dabisku ķermeņa kustību) un ir kontrolējama no cilvēka puses. Cilvēka pasīvā enerģija izdalās ikdienišķu, maznozīmīgu kustību rezultātā un nav kontrolējama [34], [35]. Savukārt, ikdienišķā dinamika var tikt definēta kā nepārtraukta darbība (elpošana un sirds darbība) un kā nepastāvīga darbība (gaita, ķermeņa augšējo ekstremitāšu kustības, u.c.) [31].

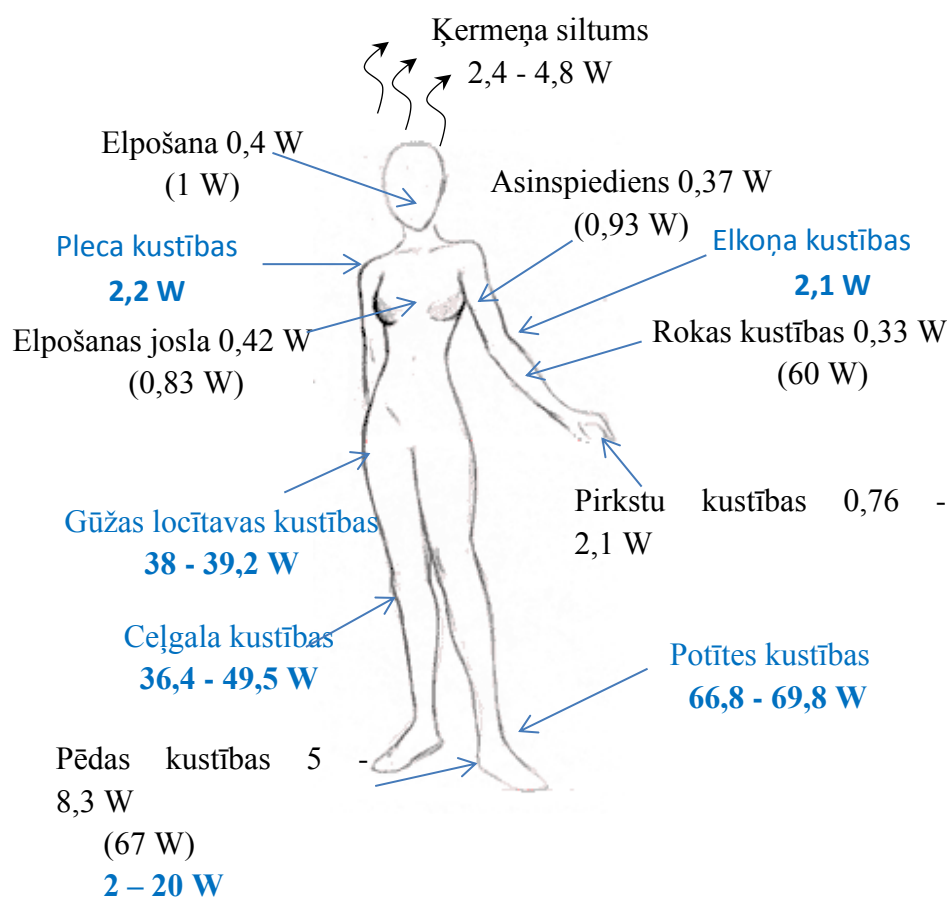
Pastāv vairākas ierīces, kas pārveido sava lietotāja aktīvo enerģiju elektriskajā enerģijā [36-39], bet lielākajai daļai no tām ir būtisks trūkums - tās prasa lietotāja īpašu uzmanību un lietotājam ir apzināti jāveic noteiktas muskuļu darbības: kā locīšana, grūšana, saspiešana vai citu kustību [40]. Šādas energoapgādes stratēģijas izmantotas tādos izstrādājumos kā mehāniskie uzvelkamie pulksteņi, uzvelkamie radioaparāti [41] un ar roku darbināmie kabatas lukturīši (pazīstami ar nosaukumu „Dinamo”, vai t.s. „dinamo lukturīši,”) utt. [42]. Jauda, kas iegūta, piemēram, spiežot slēdža pogu ar īkšķi (tāpat kā spiežot pogu lodīšu pildspalvā) ir 0,3 W. Rokas ģenerators (modelis *Alladin power*) saspiešanas kustību rezultātā rada jaudu, kas līdzvērtīga – 6 W, mehāniski darbināmais radio aparāts ar rotējošo rokturi (modelis *BayGen Freeplay*) rada 21 W jaudu, savukārt braucot ar velosipēdu (ar ātrumu 25 km/h) iespējams iegūt 100 W [40].

Komerčiāli pieejamās ierīces, kurās kā vienīgais enerģijas avots izmantota cilvēka aktīvā enerģija, piedāvā saprātīgu kompromisu starp pārveidotāja uzlādes laiku un ierīču iespējamo izmantošanas ilgumu [43].

Cilvēka organismā ir pietiekams pasīvās enerģijas daudzums dažādās formās – mehāniskā enerģija, kā arī cilvēka ķermeņa siltuma radītā enerģija, asinsrites vai elpošanas radītā enerģija un ķīmiskās reakcijas enerģija, kas ļauj uzlūkot cilvēka ķermeni kā vērā ņemamu enerģijas avotu. Tā, piemēram, cilvēka organisms vidēji sadedzina aptuveni 10,5 MJ dienā [34], tas ir aptuveni 121 W izkliedētās jaudas [44], daļa no tās var tikt pārveidota elektroenerģijā. Cilvēka ķermeņa virsmas laukums, atkarībā no izmantotās aprēķina formulas ir no 1,6 līdz 2,3 m² [45],

[46], ievērojama daļa no šīs virsmas var tikt pārklāta ar termoelementiem vai fotoelementiem, lai attiecīgi pārveidotu siltuma un gaismas enerģiju elektrībā.

Pieejamais cilvēka pasīvās enerģijas daudzums, ko iespējams izmantot pārveidošanai par elektroenerģiju, aplūkots pētnieku *Starnier, Gonzalez, Niu* darbos [31], [34], [44], tajos veikti arī attiecīgie aprēķini. Atbilstoši Starniera novērtējumam, no cilvēka ķermeņa siltuma, elpas, vai kustībām ģenerētā enerģija ir pietiekama, lai varētu darbināt datoru. Starniers veica vienu no pirmajiem pētījumiem par cilvēka ķermeņa pasīvās enerģijas pārveidošanas iespējam. Pētījumā iekļauta cilvēka pieejamo enerģijas veidu analīze un jaudas robežlīmeņu teorētiskie aprēķini. Piemēram, elpošanas laikā saražotā jauda var sasniegt 1 W izelpojot un ap 0,8 W no krūškurvja kustībām. No cilvēka ķermeņa siltuma ģenerētā jauda rada: 0,2 - 0,3 W kakla rajonā, 0,6 - 1,0 W galvas virsmas laukumā, un aptuveni 3 - 5 W no visa ķermeņa virsmas laukuma. Citu ķermeņa daļu darbības, piemēram, kāju pēdu un roku kustības rada attiecīgi ~ 60 W un ~ 70 W [34] (1.6. att.).



1.6. att. Cilvēka ķermeņa pasīvās darbības enerģijas daudzuma/ jaudas sasniedzamās augšējās robežas. Attēls adaptēts pēc [34], [47], [48] avota. Attēlā uzradīti jaudas lielumi no [34] avota gan vienai kustībai, gan arī jaudas vidējais lielums, iekavās un ar zilo krāsu norādīti jaudas lielumi no [47], [48] avota.

Gonzalez J.L. un līdzautori, pamatojoties uz Starniera pētījumu [34], savā darbā veica teorētiskos aprēķinus jaudas augšējai robežai, ko iespējams sasniegt, izmantojot pjezoelektrisko ģeneratoru cilvēka ķermeņa kustības laikā. Autori secināja, ka izmantojot

pjezoelektriskos materiālus no cilvēka roku un kāju kustībām, iegūtā jauda var sasniegt ap 24,6 mW un 1,3 W [31].

Tomēr jāatzīst, ka praksē lietotie ģeneratori, kas izmanto cilvēka ķermeņa enerģiju, nespēj sasniegt teorētiskajos aprēķinos iegūtos rādītājus.

Niu un līdzautori līdzīgā darbā sniedz detalizētu teorētisku pētījumu par enerģijas iegūšanu no biomehāniskajām kustībām. Darbā veikta arī teorētisko pētījumu rezultātu analīze, noskaidrojot jaudas daudzums, ko var iegūt no cilvēka kinētiskās enerģijas, kas rodas locītavās ķermeņa kustības laikā. Autori norāda uz to, ka Starnera novērtējuma [34] dati par cilvēka pēdas kustības laikā iegūstamo jaudu, ir ļoti optimistiski un patiesībā iegūtās jaudas nepārsniedz 20 W. Autori uzskata, ka gūžas locītavu, ceļgala un potītes kustībām ir liels potenciāls (1.5. att.) un iegūtās jaudas varētu sasniegt robežās no 38 līdz 70 W [47],[48].

Biomehāniskajai enerģijai piemīt dažādas īpašības tā kā cilvēka ķermeņa mehāniskajai pamatkustībai ir nevienmērīgais raksturs, zemas frekvences (zem 30 Hz) un lielas amplitūdas (vismaz daži mm) [26]. Pie tam, gan frekvencei, gan amplitūdai ir vienādas tendences - vērtību palielināšanās virziena no galvas uz potītēm [49].

Pat ja ir pieejama tikai neliela cilvēka pasīvās enerģijas daļa, ko iespējams pārveidot elektrībā, un ir iekārtas, kas spēj to pārveidot, tas ir pietiekami, lai darbinātu mūsdienīgas mazjaudīgas portatīvās ierīces. Enerģijas pārveidotāji, kas pārveido apkārtējās vides vai cilvēka mehānisko kustību enerģiju elektrībā, pēc daudzu pētnieku domām [50], [51] ir uzskatāmi par perspektīvāko un universālāko valkājamo enerģijas avotu.

Cilvēka aktīvās vai pasīvās pārveidotās enerģijas daudzums atkarīgs tikai no ģenerējošās ierīces ilgmūžības, tās izejošajiem parametriem un lietotāja spējām. Aktīvā enerģijas ražošana (kā būs redzams tālāk) rada ievērojami lielāku jaudu.

Enerģijas avotus pēc to kontrolējamības un prognozējamības var iedalīt šādos veidos:

- Nekontrolējamais, bet prognozējamais. Šādu enerģijas avotu nav iespējams kontrolēt, lai iegūtu enerģiju vēlamajā laikā, bet var prognozēt gaidāmo enerģijas pieejamību attiecīgajā laikā. Piemēram, saules enerģiju nav iespējams kontrolēt. Tomēr, zinot laika prognozes reģionā, kurā sistēma ir izvietota, var prognozēt noteikta enerģijas daudzuma pieejamību [52].
- Nekontrolējamais un neparedzamais. Šādu enerģijas avotu nav iespējams kontrolēt un ir sarežģīti to prognozēt, jo izmantojamā enerģiju ģenerējošā sistēma ir pārāk sarežģīta sakarā ar lielo mijiedarbību skaitu starp dažādiem to ietekmējošiem faktoriem, piemēram, iegūstot enerģiju no iekšējās vibrācijas [52].
- Pilnībā kontrolējamais. Enerģija var tikt radīta, kad tā ir nepieciešamība. Piemēram, kabatas lukturis, kuru nepieciešams iekustināt noteikta enerģijas daudzuma iegūšanai [52].
- Daļēji kontrolējamais. Par piemēru var uzskatīt RF enerģijas avotu, kas varētu uzstādīt telpās un vairākas novākšanas ierīces, piemēram, RFID, var iegūt enerģiju no tā. Tomēr precīzs enerģijas daudzums, kas tiks saražots katrā ierīcē, ir atkarīgs no RF pārraides parametriem vidē, un tos nav iespējams kontrolēt [52].
- Nekontrolējamais, neprognozējamais. Pieejamo biomehāniskās enerģijas daudzumu ir grūti novērtēt. Tas ir atkarīgs ne tikai no cilvēka, piemēram, ķermeņa īpašībām, garuma un svara, bet arī no dienas laikā ķermeņa kustību veida un biežuma. Turklāt, cilvēka

ķermenis var būt pakļauts ārējiem mehāniskiem ierosinājumiem/uzbudinājumiem, piemēram, vibrācija kas veidojas piemēram, braucot ar autobusu vai velosipēdu [26].

1.1. tabulā uzrādītas raksturīgas pazīmes dažādiem enerģijas avotiem. Tabulās iekļautie raksturlielumi norādīti, apkopojot dažādu autoru teorētisko un eksperimentālo pētījumu rezultātus [25], [44], [53]–[59], kas nodrošina plašu potenciālo enerģijas pārveidošanas metožu diapazonu.

1.1. tabula

Enerģijas avotu raksturojums

Enerģijas avots, tā raksturojums			Pieejamais enerģijas plūsmas daudzums*	Pārveidotās enerģijas plūsmas daudzums*
Vides enerģijas	Siltums (Nekontrolējamais, prognozējamais)	Rūpnieciskais	100 āmi/cm ²	~1-10 āmi/cm ²
	Vibrācija (Nekontrolējamā, neprognozējamā)	Rūpnieciskās svārstības (~kHz)	----	~800 μW/cm ³
Vides enerģijas	Akustiskais troksnis (Nekontrolējamais, neprognozējamais)	75 dB 100 dB	----	0,003 μW/cm ³ 0,96 μW/cm ³
	Gaisma. (Nekontrolējamā, prognozējamā)	Brīvā dabā: ○ saulainā dienā, ○ mākoņaina dienā	100 mW/cm ²	15 mW/cm ² 0,15 mW/cm ²
		Iekštelpa	100 μW/cm ²	10 μW/cm ²
	Vējš. (Nekontrolējamais, prognozējamais)	5,5 m/s 4 - 18 m/s Gaisa plūsma 35 l/minūtē	----	2 mW līdz 1 W 1 mW ierīces apjoms 0,5 cm ³
Cilvēka enerģijas	Pasīvā enerģija. (Nekontrolējamā, neprognozējamā)	Siltums	20 mW/cm ²	30 μW/cm ²
		Vibrācija (līdz 30 Hz)	----	~4 μW/cm ³
		Elpošana/ asinsspiediens	0,83/ 0,93 W	0,42/ 0,37 W
	Aktīvā enerģija. (Pilnībā kontrolējamā)	Kustības (apavos integrētais pārveidotājs)	67 W	230 mW
		Pirkstu kustības Riteņbraukšana	19 mW	2,1 mW 100 W

*Pieejamais/ pārveidotās enerģijas plūsmas daudzums izteikts ka jauda W vai jaudas daudzums, kas izdalīts noteiktā vienības tilpumā vai laukumā

Apakšnodalās secinājumi

Elektronisko ierīču ģeometrisku izmēru, to masas un patērējamās jaudas strauja samazināšana ļauj ievietot/integrēt elektronikas elementus tekstilizstrādājumos, apavos un aksesuāros. Integrēto elektronisko sistēmu sekmīgai darbībai nepieciešams enerģijas avots.

Kā enerģijas avots šādu sistēmu darbināšanai piedāvātas vienreizējās un pārlādējamās baterijas, saules elementi, termoelektriskie elementi, kā arī mehāniskās enerģijas pārveidotāji.

Enerģijas pārveidotāji, kas pārveido cilvēka mehānisko kustību enerģiju elektrībā, tiek uzskatīti par perspektīvāko un universālāko valkājamo enerģijas avotu.

1.2. Valkājamie vai portatīvie enerģijas pārveidotāji viedizstrādājumos

Jaunākie sasniegumi enerģijas pārveidotāju sfērā, kas spēj akumulēt enerģiju no cilvēka ķermeņa [50], [60]–[62] un apkārtējās vides [39], [63]–[66], tajā skaitā arī nanomērogā [67]–[69], kā arī enerģijas pārveidotāju fiziskās darbības principi [25], [70] ir apspriesti daudzos darbos. Vispārējais secinājums pēc literatūras avotu izpētes norāda uz to, ka nav vienotas pieejas tāda enerģijas avota izvēlē, kas spētu nodrošināt visus lietojumu veidus vai lielāko to daļu, līdz ar to katrs enerģijas pārveidotājs ir jāvērtē individuāli.

Enerģijas pārveidošanas ierīces var klasificēt dažādos veidos, apsverot: kas nodrošina enerģiju pārveidei; kāda veida enerģija pārveidota; kāds ir enerģijas pārveides princips; kā ierīce izvietota utt. Balstoties uz literatūras analīzi var secināt, ka pastāv trīs veidi, kā iegūt enerģiju, izmantojot viedizstrādājumus: viedā izstrādājuma mijiedarbība ar cilvēku, mijiedarbība ar apkārtējo vidi un mijiedarbība gan ar cilvēku, gan ar apkārtējo vidi (1.2. tab.).

1.2. tabula

Enerģijas pārveidošanas ierīces

Mijiedarbības veids Radītāji	Izstrādājuma mijiedarbība ar cilvēku	Izstrādājuma mijiedarbība ar apkārtējo vidi		Izstrādājuma mijiedarbība ar cilvēku un apkārtējo vidi
Enerģijas avots	Kinētiskā enerģija	Vēja enerģija	Saules enerģija	Temperatūras izmaiņas
Darbības princips	Elektromehāniskie ģeneratori: Elektrostatiskie Pjezoelektriskie Elektromagnētiskie Trieboelektriskie utt	Vēja ģenerators ar vēja turbīnu vai vibrācijas mehānismu	Fotovoltaiskie elementi	Termoelektriskais ģenerators: Zēbeka efekts Peltjē efekts
			Hibrīdais ģenerators	
Izstrādājuma veids	Apģērbs Apavi Aksesuāri	Aksesuāri	Apģērbs Aksesuāri	Apģērbs Apavi Aksesuāri

E-izstrādājuma mijiedarbībai ar cilvēku izmantotas cilvēka ķermeņa mehāniskās kustības. Pārveidojot Saules un vēja enerģiju elektroenerģijā, notiek e-izstrādājuma mijiedarbība ar apkārtējo vidi. Savukārt, cilvēka ķermeņa vai/un vides temperatūras izmaiņas nodrošina e-izstrādājuma mijiedarbību ar cilvēku un apkārtējo vidi.

Enerģijas pārveidotājiem viedizstrādājumos ir jānodrošina:

- zemas apkalpošanas prasības: lietotājam nav katru dienu jātērē noteikts laiks akumulatoru nomaiņai vai uzlādēšanai;
- ilgstošs ekspluatācijas laiks: enerģijas pārveidotāja ekspluatācijas ciklam jābūt līdzvērtīgam vai jāpārsniedz objekta (apavu, apģērba vai citu priekšmetu, kuros tas integrēts) ekspluatācijas cikls;
- vizuāli neuzkrītošs: enerģijas pārveidotājam jābūt ar nelielu apjomu un svaru, ērti lietojamam, tas nedrīkst traucēt vai ietekmēt valkātāja kustības un radīt papildu slodzi;

- neatkarība no specializētas infrastruktūras: tam jādarbojas jebkurā vietā un jebkurā situācijā, jābūt ekoloģiskam un lētam.

1.pielikumā ir uzskaitītas un klasificētas enerģijas pārveidošanas iekārtas pēc enerģijas veida: fotovoltaiskie elementi, termoelektriskie ģeneratori, elektromehāniskie ģeneratori, hibrīdais ģenerators un citi enerģijas pārveidotāji. Visas šīs pārveidošanas ierīces ir iespējams pilnībā integrēt viedizstrādājumos, lai efektīvi pārveidotu vides enerģiju un cilvēka ķermeņa enerģiju elektroenerģijā [71].

1.2.1. Fotovoltaiskie elementi

Fotovoltaiskie elementi šobrīd tiek aktīvi izmantoti apģērbu un aksesuāru izstrādē, un tie var palīdzēt cilvēkiem nodrošināt mobilitāti un paildzināt ekspluatācijas laiku mobilajiem telefoniem, mūzikas atskaņotājiem vai portatīvajiem datoriem, uzlādējot elektroierīces jebkurā laikā.

Fotovoltaiskie elementi komerciāli pieejamos un eksperimentālos izstrādājumos (1.7. att.) ir kā apģērba sastāvdaļas, vai vienkārši apģērbam/izstrādājumam piestiprinātas atsevišķas vienības. Funkcionālie izstrādājumi ar iestrādātiem fotovoltaiskajiem elementiem var būt estētiski pievilcīgi, un tie bieži vien ir aprīkoti ar *USB* portu un akumulatoru viedās elektroierīces uzlādēšanai. Fotovoltaiskos elementus izmanto plašā apģērbu sortimentā - sākot no peldkostīmiem līdz jakām; savukārt, izmantojot tos kā aksesuārus, ir iespējami izstrādājumi ne vien somu un mugursomu veidā, bet arī kā pulksteņi, piespraudes un kaklarotas.



a



b



c



d

1.7. att. Izstrādājumi ar fotovoltaiskiem elementiem: a - soma, ar kristāliskiem fotovoltaskiem elementiem [72], b - peldkostīms ar plānkārtiņu fotovoltaiskiem elementiem [73], c - jaka ar printētiem fotovoltaiskiem elementiem [74], d - kleita ar drukātiem fotovoltaiskajiem elementiem [65]

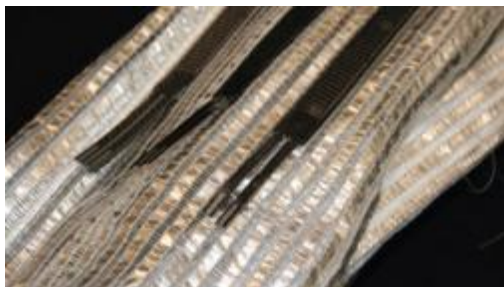
Komerčiāli pieejamās tekstilijās nereti izmanto uz kristāliskā silīcija bāzes izveidotos elementus [75], [76] to efektivitātes dēļ, kā arī amorfā silīcija elementus [77], [78] vai organiskos plāno kārtiņu elementus (*Thin film*) [79] to lokanības dēļ. Eksperimentālos izstrādājumos ir sastopami dažāda veida organiskie plāno kārtiņu vai drukātie/printētie fotovoltaiskie elementi [80]–[83].

Saskaņā ar ASV Nacionālās atjaunojamās enerģijas laboratorijas (*NREL*) datiem efektivitātes ziņā izceļas daudzslāņu fotovoltaiskie (liela laukuma) elementi (kuri nav izmantojami tekstilijā), kas sasniedz līdz pat 44,4 %, tiem seko kristāliskie elementi (patlaban dominē tirgū) – no 20 līdz 27 %. Plānkārtiņu fotovoltaisko elementu efektivitāte variē no 13,4

līdz 20 %, bet viszemākā efektivitāte ir organiskajiem elementiem (no 7 līdz 14 %), kas ir salīdzinoši jauns saules elementu veids [84].

Integrējot saules bateriju elementus apgērbā jāņem vērā ne tikai to efektivitātes rādītāji, bet arī to izvietojšanas iespējas apgērbā un aksesuāros, proti, lai tie atrastos gaismā [79] un atbilstu drānas īpašībām. Kristālisko fotovoltisko elementu trūkums ir to stingrība liecē un izstrādājuma svara palielināšana. Plāno kārtiņu elementu priekšrocība ir to neliels biezums un lokanība, kas ir atbilstoša drānas īpašībām, bet to efektivitāte ir zemāka nekā kristāliskajiem elementiem [85]. Amorfe silīcija bāzes plāno kārtiņu elementi ir uzskatāmi par vispiemērotākajiem lokanības (elastības) un energoefektivitātes ziņā, it īpaši vietās ar zemu gaismas intensitāti [79]. Drukāto fotovoltisko elementu priekšrocība, salīdzinot ar kristāliskajiem elementiem, ir to vieglums, lokanība, zemākas ražošanas izmaksas un vienkāršāka ražošana [85], bet to efektivitāte ir viszemākā. Drukājot var imitēt materiāla rakstu [81] un noklāt visu izstrādājuma virsmu ar fotovoltiskajiem elementiem, tādā veidā palielinot saražotās enerģijas daudzumu. Plānkārtiņu un organiskie fotovoltiskie elementi būtiski nepalielina apgērba vai aksesuāru svaru.

Fotovoltiskās tekstilijas var iegūt ne vien integrējot/ pievienojot saules paneļus tekstilizstrādājumiem [86], [87] bet arī integrējot fotovoltiskos elementus [77] vai pavedienus drānas struktūrā (1.8. att.). Tomēr enerģijas radīšana ar drānas struktūrā integrētiem fotovoltiskajiem pavedieniem atrodas pētniecības un eksperimentu stadijā. Daudzi pētnieki nodarbojas ar tādu šķiedru iegūšanu, kas spēj pārveidot saules enerģiju elektroenerģijā (1.9. att.) [88]–[97], taču pagaidām fotovoltisko šķiedru efektivitātes rādītāji sasniedz no 0,5 līdz 3,9 % [98], [99].



1.8. att. Drānā integrēts (ieausts) amorfs plānkārtiņu fotovoltiskais elements [77]



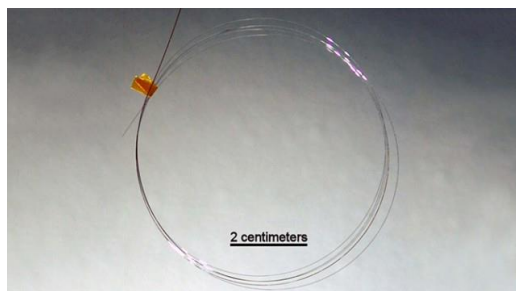
1.9. att. Dažāda diametra fotovoltiskās šķiedras [90]

Japāņu kompānija *Spheral Power* ir izgatavojusi elektroģenerējošās drānas paraugus ar integrētiem *Sphelar® cells* sfēriskajiem fotoelementiem (1.10. att.). Katra sfēriskā fotovoltiskā elementa diametrs ir aptuveni 1,2 milimetri. Atšķirībā no plakanajiem paneļiem, sfērisko fotovoltisko elementu efektivitāte praktiski nav atkarīga no gaismas krišanas leņķa, un katrs sfēriskais saules elements saulainā dienā spēj radīt aptuveni 0,2 mW enerģijas [100].

Starptautiska inženieru komanda [101] radīja jauna tipa fotovoltiskos elementus - silīcija optiskās šķiedras ar diametru aptuveni 10 mikrometri, kas spēj uztvert gaismu jebkurā leņķī un iegūt no tās elektroenerģiju. Pateicoties savam smalkumam, optiskās šķiedras brīvi lokās bez struktūras izmaiņām (1.11. att.). Autori uzskata, ka šīs šķiedras būs iespējams savērt pavedienos un ieaust drānā, lai radītu elektroģenerējošās drānas [101].

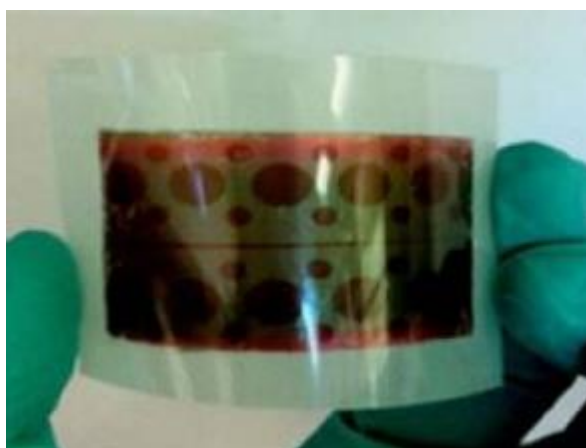


1.10. att. Mazie, sfēriskie fotovoltaiskie elementi Sphelar® cells, kas ieausti drānā [100]



1.11. att. Lokanā optiskā fotovoltaiskā šķiedra [101]

Pētnieku grupa no Stenfordas universitātes ir radījusi plānas lokanas saules baterijas, kuras iespējams uzlīmēt uz jebkura tipa virsmas kā parastu uzlīmi, arī uz drānas. Saules baterijas - "uzlīmes" - nelūzt locījumu vietās, tās nezaudē savu 7.5 % efektivitāti pēc uzlīmēšanas vai locīšanas procesā (1.12. att.) [102].



1.12. att. Lokanās saules baterijas - "uzlīmes" [102]



1.13. att. Ultraplāna, viegla un elastīga organiskā saules baterija [103]

Austrijas un Japānas zinātnieki kopīga zinātniskā projekta ietvaros nodemonstrējuši fotovoltaisko elementu, kura biezums ir 1,9 mikrometri (vidējais zirnekļa tīkla biezums). Turklāt, šis fotovoltaiskais elements ir praktiski bez svara, elastīgs, stingrs, un tik tievs, ka to var aptīt ap cilvēka matu. Fotovoltaiskā elementa efektivitāte ir ap 4,2 %, jauda - 10 vati uz gramu (1.13. att.) [103].

1.2.2. Termoelektriskie ģeneratori

Termoelektrisko pārveidotāju izmēru samazināšana līdz miniatūrai pēdējos 15 gados ir padarījusi iespējamu to ievietošanu dažādos izstrādājumos. Nēsājama termoelektriskais pārveidotājs ir drošs enerģijas avots portatīvajiem devējiem un sensoriem. Turklāt, tas nodrošina neierobežotu ekspluatācijas laiku bezvadu devējiem un sensoriem, kuriem nav vairs nepieciešama bateriju nomaina vai uzlādēšana [66], [104]–[107].

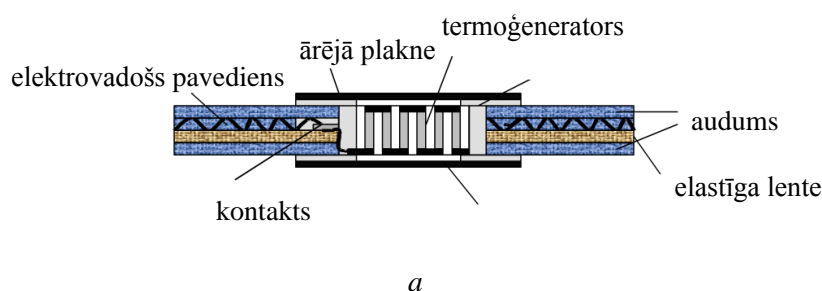
Viens no pirmajiem termoelektriskās enerģijas pielietošanas veidiem portatīvajās ierīcēs tīcis lietots rokas pulksteņu industrijā. Jau 1975. un 1978. gadā patentēti pulksteņi, kas darbojās no termoelektriskā ģeneratora [108], [109]. Pēc 20 gadiem firma *SEIKO* piedāvāja miniatūrus termoelektriskos ģeneratorus (TEĢ) pulksteņu *Seiko Thermic* uzlādei [110]. Cilvēka ķermeņa siltums var saražot $45\ \mu\text{W}$ elektroenerģijas pie temperatūras izmaiņām $5\ ^\circ\text{C}$ [111] un izejas sprieguma ap $300\ \text{mV}$. Šis spriegums pieaug līdz $1,5\ \text{V}$, kas ir pietiekami, lai darbinātu pulksteni [25] (1.4. att.).



1.14. att. Seiko Thermic pulkstenis ar iebūvētu termogeneratoru [112]

Firma *Applied Digital Solutions (ADS)* ir izstrādājusi miniatūru termoelektrisko ģeneratoru *Thermo Life™* ar apjomu $95\ \text{mm}^3$, kas ir spējīgs pārveidot cilvēka ķermeņa siltumu, un tam ir plaša pielietošanas sfēra - medicīniskās ierīces, elektroniskie rokas pulksteņi, siltuma sensori, un mobilā elektronika. TEĢ ražo $3\ \text{V}$ spriegumu pie $10\ \mu\text{A}$ strāvas un $30\ \mu\text{W}$ jaudas, izmantojot $5\ ^\circ\text{C}$ temperatūras starpību [113].

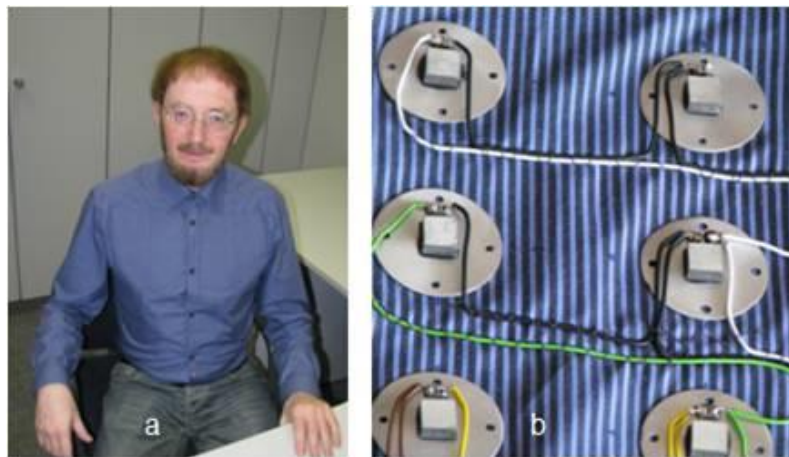
Firma *Infineon Technologies* ir izveidojusi termogeneratora čipu (1.15. att.) uz silīcija bāzes, kas nodrošina labu termisko kontaktu ar ādu un kas var tikt integrēts apgērba elementos. Termogeneratora čipam temperatūras izmaiņas par $5\ ^\circ\text{C}$ ir pietiekamas, lai rezistīva režīmā sasniegtu jaudu lielāku par $1\ \text{mW}/\text{cm}^2$ un spriegumu no $10\ \text{V}/\text{cm}^2$ EDS režīmā. Tas ir pietiekami, lai darbinātu elektroniskos mikročipus vai medicīnā izmantojamus sensorus [114], [115].



1.15. att. Integrētais termogenerators: a – šķērsgriezums, b- ārstējā plāksne ar aktīvo laukumu $1\ \text{cm}^2$ [114]

Dānijas mikro- un nanoelektronikas pētniecības centrs (*Interuniversity Microelectronics Centre - IMEC*) un Nīderlandes *Holsta* centrs kopīgi ir radījuši kreklu ar pilnībā integrētu termoelektrisko ģeneratoru, kas ir pietiekami komfortabls un apvieno sevī modernās tehnoloģijas (1.16. att.). TEĢ sastāv no 16 Thermix $5\ \text{mm}$ biezām termobaterijām, tas integrēts starp divām kokvilnas auduma kārtām, tādēļ nav redzams ne no vienas krekla puses. TEĢ sasniedz $1 - 1,5\ \text{V}$ spriegumu, un vidējā saražotās jaudas amplitūda ir no $1,5\ \text{mW}$ pie $18\ ^\circ\text{C}$ līdz

0,6 mW pie 26 °C cilvēkam sēžot ofisā (1 mW vidēji), 2 mW pastaigājoties un 4 mW skrienot. Šī iekārta izstrādā enerģiju mazas jaudas pārnēsājamai elektronikai, kura varētu uzraudzīt cilvēka veselības stāvokli un sekot tā atrašanās vietai. Termoelektriskais kreklis valkāts 9 mēnešu garumā, vidēji 10 stundas dienā, tas ģenerēja lielāku enerģijas daudzumu, nekā sārmu baterija ar tādiem pat gabarītiem (svaru un biezumu). Kreklam nav nepieciešama speciāla kopšana, to var mazgāt veļas mašīnā, kā arī gludināt [116].



1.16. att. Kreklis ar integrētu TEĢ [116]

Telekomunikāciju uzņēmumu *Orange* un *Gotwind* apvienotās sadarbības rezultātā izstrādāti termoelektriskie zābaki *Orange Power Wellies* (1.17. att.). Katra zābaka zole ir aprīkota ar termoelektrisko moduli, kas pārveido temperatūras starpību starp kāju un zemes virsmu par elektrību. Modulis spēj uzlādēt mobilo telefonu, kas ievietots stiprinājumā uz zābaka stulma. Nēsājot zābakus 12 stundas, tiek nodrošināta vienu stundu ilga telefona saruna [117].

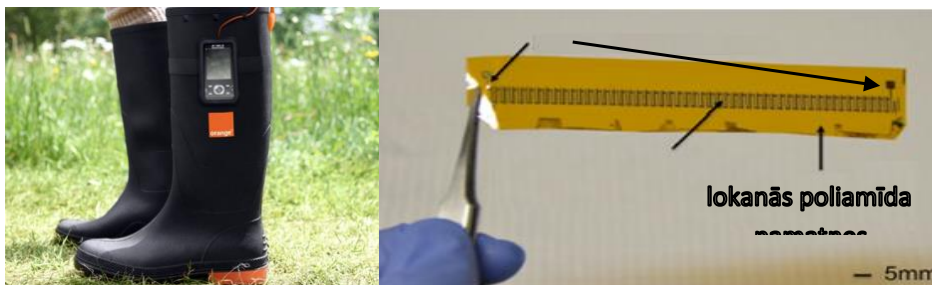
Xu un līdzautori piedāvā apavu variantu ar četriem integrētiem komerciāli pieejamiem TEĢ (ar gabarītiem 54 x 54 x 3,9 mm). Temperatūras vienmērīgas sadales nodrošināšanai TEĢ ir iespiests starp vara plāksni (1 mm biezumā) un alumīnija bloku (3 mm biezumā), un ievietots zem apavu zoles. Eksperimenta rezultāti parādīja, ka izejošā jauda ir atkarīga no testpersonas pēdas temperatūras un palielinās, pazeminoties augsnes temperatūrai. Tā, piemēram, maksimālā jauda - 3,99 mW - iegūta, ja augsnes temperatūra 0 °C [118].

Nesenie atklājumi termoelektrisko polimēru materiālu pielietošanas sfērā ļauj prognozēt daudzveidīgas perspektīvas drukāto termoelektrisko sistēmu izmantošanā. Jaunākie pētījumu rezultāti norāda uz to, ka polimēri ir efektīvi un plastiski termoelektriskie materiāli [119]–[121] un uz to bāzes radītās mikrogabarīta termoelektriskās ierīces ar mikrosistēmām (piem., TEĢ ar sarežģītu un precīzu fotolitogrāfiju [122]) vai termoelektriskie pārveidotāji, kas radīti ar drukāto tehnoloģiju palīdzību [123]–[128] ir piemēroti to pilnīgai integrēšanai apģērbā.

Goncalves un līdzautori ar drukāto tehnoloģiju izgatavojuši 120 μm biezu termoelektrisko pārveidotāju, tā modelēšanas rezultāti pierādīja, ka 1 cm² uz delnas locītavas izvietotā TEĢ pie 10 grādu temperatūru starpības sasniedz maksimālo jaudu 20 μW [123].

Pētnieks *Alic Chen* ar drukātās tehnoloģijas palīdzību uz lokanas poliamīda pamatnes ir izstrādājis plakanu, 1,57 mm biezu TEĢ (1.18. att.). Ierīces radītā jauda pie 20 grādu temperatūras starpības ir 10,5 μW un jaudas blīvums 75 μW/cm², bet samazinot temperatūras

starpību līdz 5 grādiem radītā jauda un jaudas blīvums sasniedz attiecīgi $0,62 \mu\text{W}$ un $4,43 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ [124].

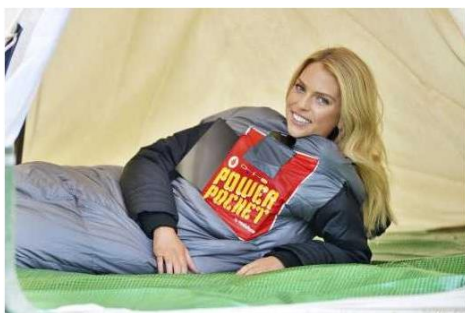


1.17. att. Gumijas zābaki *Orange Power Wellies* ar iestrādātu TEĢ, kas uzlādē mobilo telefonu [117]

1.18. att. Plakans TEĢ ar 50 termopāriem [124]

Vēl vienu lokanā TEĢ modeli ar drukātās tehnoloģijas palīdzību uz polidimetilsiloksāna pamatnes ir izveidojusi Jo un līdzautori [127]. Testēšanas laikā izejas jauda sasniedz 50 nW pie temperatūras izmaiņas starp ādu un vidi 7°C un ādas temperatūra ar piestiprinātu TEĢ bija nemainīga - $32,5^\circ\text{C}$ [127].

Kompānija *Vodafone* sadarbībā ar Sauthemptonas universitātes speciālistiem izstrādāja speciālu guļammaisu *Recharge Sleeping Bag* (1.19. att.), kas nodrošina elektrisko ierīču, piemēram, mobilo telefonu, uzlādēšanas iespēju, izmantojot iekšējo un ārējo temperatūru atšķirības. Guļammaiss spēj savākt un akumulēt siltuma enerģiju, pateicoties Zēbeka efektam. Termoelektriskais modulis, kas uzstādīts guļammaisa oderē, sastāv no polimēra plēvēm un diviem pusvadītājiem, kas uzsilstot ģenerē elektrisko lādiņu. Pētījumu laikā pierādīts, ka pie guļammaisa iekšējās temperatūras līdz 37°C un ārējās temperatūras – 10°C , astoņu stundu ilgā uzlādēšanas ciklā guļammaisa "enerģētiskajā kabatā" ievietotais telefons uzlādējās tā, ka tas spēja nodrošināt apmēram 24 minūtes ilgu nepārtrauktu sarunu vai darboties līdz 11 stundām gaidīšanas režīmā [129], [130].



1.19. att. Guļammaiss *Recharge Sleeping Bag* [130]



1.20. att. Enerģiju ģenerējoša drāna – *PowerFelt* [131]

Pētnieku grupai no Wake Forest universitātes izdevās radīt nanokompozītmateriālu ar nosaukumu "*Power Felt*" (1.20. att), kam piemīt ne vien termoelektriskas īpašības, bet arī lokanība un elastība. Turklāt "*Power Felt*" pēc taustes atgādina filcu, bet tas spēj izstrādāt elektrisko enerģiju, nonākot kontaktā ar jebkuru siltuma avotu, tajā skaitā arī cilvēka ķermeņa

siltumu, 72 kārtas *Power Felt* rada enerģiju, kas līdzvērtīga 137 nanovatiem pie temperatūras izmaiņām 50 °C robežās [132].

Patlaban ir radīts jauns šķiedru veids, kas var pārveidot termoe enerģiju elektroenerģijā. Uz šķiedru bāzes izvietotais termogenerators ar termoelektriskām īpašībām ir lokans un ģenerē 2 nW pie temperatūras izmaiņām 6,6 °C [133].

Vēl viens interesants pētījums ir saistīts ar termoelektrisko adījumu izstrādi rūpnieciskos apstākļos. Saskaņā ar teorētiskiem aprēķiniem, viens adījuma kvadrātmeters var radīt 4 mW jaudu pie temperatūru starpības 10 grādi [134]. Adījuma struktūra detalizēti aprakstīta Solifeta un CEA patentā [135].

1.2.3. Elektromehāniskie ģeneratori

Apģērbos un citos valkājamos izstrādājumos integrēti elektromehāniskie ģeneratori darbībai izmanto cilvēka ķermeņa daļu kustības.

Triboelektrisko efektu, kad uz divu dažādu materiālu virsmas intensīvas savstarpējās berzes rezultātā rodas vienāda lieluma pretēji elektriskie lādiņi, profesors *Rehmi Posts* un speciālistu grupa no Masačūsetas tehnoloģiskā institūta izmantoja svārkos *Sp4rkl3* ar iebūvētiem ģeneratoriem. Triboelektriskais ģenerators var tikt izmantots cilvēka mehānisko kustību pārveidošanai elektroenerģijā (1.21. att.).



1.21. att. Svārku *Sp4rkl3* prototips [136]



1.22. att. Svārku prototips no iekšpuses, svārku detaļa ar elektrodiem [136]

Sešdaļīgo svārku virspuse un iekšpuse ir piegrieztas no neilona auduma. Katras atsevišķās detaļas iekšpusē ievietoti 16 elektrodi, ar kopējo laukumu aptuveni 0,1 m², tie izvietoti atbilstoši 1.22. attēlam. Elektrodi izgatavoti no diviem teflona (PTFE) slāņiem un elektrovadošas organzas starpslāņa. Organza pielīmēta vienam PTFE slānim ar tekstila līmi, bet otrs teflona slānis ir piešūts. Kustību laikā neilona (tribopozitīvs rip-stop neilons) un teflona (tribonegatīvs PTFE- politetrafluoretilēns) kārtas savā starpā beržoties rada triboelektrisko efektu un veido elektrisko lādiņu, kas uzkrājas mainīgas kapacitātes mikroondensatoros un nodrošina svārku jostā iestrādāto gaismas diožu barošanu (1.21. att.). Kad enerģija sasniedz noteiktu shēmas izlādes līmeni, kas nepieciešams

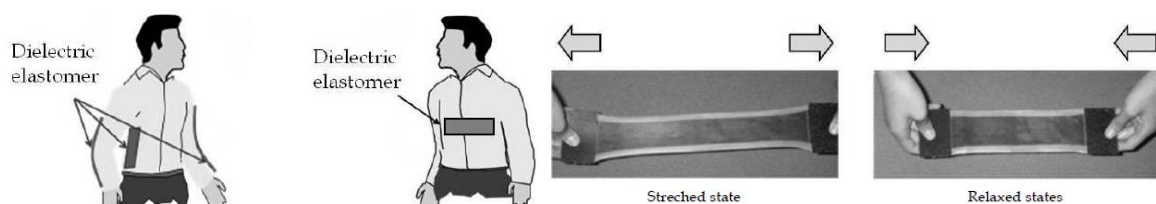
gaismas diožu darbībai, diodes sāk spīdēt, radot vienmērīgu gaismu. Turklāt, jo straujākas kustības un lielāka kustību amplitūda, jo spožāka gaisma tiek ģenerēta. Katra no sešdaļīgo svārku joslām var ģenerēt $657\ \mu\text{J}$ enerģiju (vidējā jauda $1,3\ \text{mW}$) [136].

Firma *Vodafone* sadarbībā ar Sauthemptonas Universitātes (*Southampton University, Lielbritānija*) darbiniekiem izveidoja speciālus šortus - *Power Pocket Shorts*, kas spēj pārveidot kinētisko enerģiju elektriskajā (1.23. att.). Šorti ar tajos iestrādāto enerģētisko kabatu izgatavoti no putām līdzīga feroelektriskā materiāla ar speciālām spraugām. Šo spraugu virsmas pastāvīgi uzlādējas, un materiālam piemīt pjezoelektriskās un piroelektriskās īpašības. Mainot spraugu izmēru un formu (saspiežot un izstiepjot šortu audumu), rodas elektriskais lādiņš, kura jauda ir pietiekama, lai uzlādētu enerģētiskajā kabatā ievietotajam USB lādētājam pieslēgto mobilo tālruni. Pētījumu rezultāti pierādīja, ka valkājot šortus un aktīvi kustoties, vienas dienas laikā iespējams uzkrāt enerģiju, kas nodrošina viedtālruna darbību līdz četrām stundām [129], [130].



1.23. att. Šorti Power Pocket Shorts [130]

Enerģijas pārveidošanai japāņu zinātnieki *Chiba* un *Waki* piedāvā apģērbā izmantot dielektrisko elastomēru. Iespējamās dielektriskā elastomēra plēves integrēšanas vietas atzīmētas 1.24. attēlā. Plāna dielektriskā elastomēra plēve, kuras garums ir $25\ \text{cm}$, platums $5\ \text{cm}$ un svars apmēram $0,5\ \text{g}$, pēc tās piestiprināšanas elkoņa līmenī ar vienu rokas kustību spēja ģenerēt $20\ \text{mJ}$ enerģijas [137].



1.24. att. Cilvēka ķermeņa enerģijas pārveidošana: a - dielektriskā elastomēra konceptuālais izvietoējums, b - dielektriskais elastomērs izstieptā stāvoklī (pa kreisi) un elastomērs brīvā stāvoklī (pa labi) [137]

Elektroaktīvas polimēra membrānas dielektrisko īpašību izmantošanas iespējas enerģijas ģenerēšanai aplūkotas Žozefa Furjē universitātes pētnieku darbos. Piedāvāto enerģijas pārveidotāju ar virsmas laukumu $5 \times 3\ \text{cm}$ un biezumu $31\ \mu\text{m}$ ir iespējams integrēt tekstilizstrādājumā, un tas simulācijas laikā spēj attīstīt $0,1\ \text{mJ}$ enerģiju [138], [139].

Patentēti ir vēl divi apģērba veidi, kas pārveido cilvēka radīto enerģiju elektrībā. Izgudrotājs *V.Vlads* no *ASV Glycon Technologies, Llc* kompānijas patentēja ierīci, kas spēj pasargāt cilvēkus no haizivju uzbrukumiem. Idejas pamatā ir speciāls hidrotērps, kas spēj

radīt elektrisko enerģiju peldēšanas laikā. Klasiskajā neoprēna hidrokostīmā iestrādāti ar metāliskiem elektrodiem savstarpēji savienoti plāni pjezoelektriskā materiāla pavedieni. Šķiedru radītā sprieguma rādītāji atkarīgi no pavedienu skaita un garuma. Peldēšanas laikā šāds tērps spēj radīt dažu voltu spriegumu, kas izplatās ūdenī un atbaida haizivis. Savukārt pētnieks *R.A Connor* no kompānijas *Medibotics LLC* elektrības iegūšanai piedāvā izmantot apģērbā integrētu sistēmu, kas izveidota pēc venozās sistēmas analogijas un sastāv no caurulītēm ar speciālu šķidrumu. Šķidruma plūsmu caurulītēs regulē vienvirziena vārstuļi, un visas caurulītes ir pieslēgtas centrālajam kanālam ar tajā ievietoto turbīnu. Ķermeņa kustības rada šķidruma kustību caurulītēs, kā rezultātā tiek darbināta centrālajā kanālā ievietotā turbīna, kas griežoties rada elektroenerģiju.

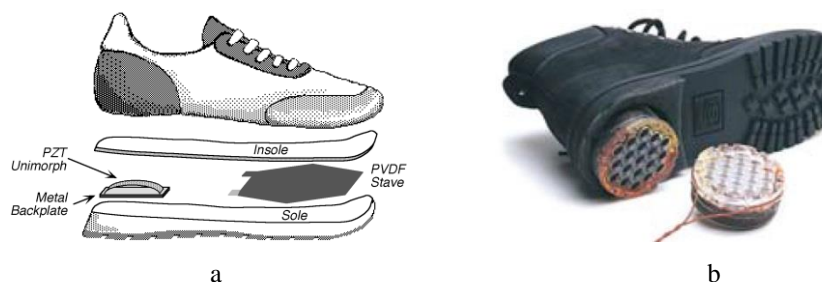
Elektroģeneratoru integrēšana apavos ir pazīstams risinājums. Sastopami apavi ar visdažādākajiem tajos integrētajiem elektromehāniskajiem ģeneratoriem, kuros elektrības iegūšanai izmanto pjezoelektrisko [140]–[148], elektromagnētisko [58], [149]–[152], elektrostatisko [153], [154], hidraulisko vai pneimatisko paņēmieni (2. pielik.). Starp dažādiem apavos integrētiem elektromehāniskajiem ģeneratoriem enerģijas ražošanai izceļas elektromagnētiskie enerģijas pārveidotāji, tiem seko pjezoelektriskie ģeneratori, bet viszemākā jauda ir elektrostatiskajam enerģijas pārveidotājam (1.3. tab.)

Elektromagnētiskiem ģeneratoriem integrēšana apavos ir problemātiska ierīces lielo gabarītu (svars, izmērs, struktūra) dēļ, parasti tie ir piestiprināti pie apavu ārējās malas (1.26. att.) un ietekmē soļotāja gaitu.



1.25. att. Apavi ar elektromagnētiskiem enerģijas pārveidotājiem: a – ārējās elektromagnētiskais (rotora) ģenerators [58], b – rotora ģenerators integrētās zolē [149] c – elektrību ģenerējošais prototips ar zolē paslēptu mikroturbīnu [152], d – enerģijas pārveidotāja SPaRK prototips [151]

Pjezoelektrisko un elektrostatisko ģeneratoru darbība pamatojas uz materiāla izmantošanu, kas spiediena ietekmē rada elektrisko spriegumu. Pjezoelektrisko ģeneratoru darbībai izmantoti pjezoelektriskie materiāli, piemēram polyvinylidene flourids (PVDF) vai pjezokeramiskais kompozītais materiāls (PZT), savukārt elektrostatiskā ģeneratora darbībā izmanto dielektrisko elastomēru. Šie enerģijas pārveidotāji integrēti zoles vai apavu papēdī (1.25. att.) un neietekmē apavu valkāšanas komfortu.



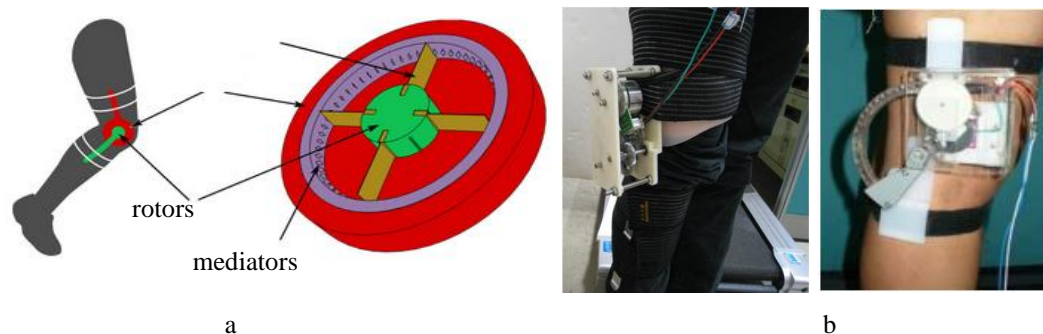
1.26. att. Apavos ievietoti enerģijas pārveidotāji: a – shematisks divu pjezoelektrisko ģeneratoru attēlojums, b – apavu modelis ar dielektrisko elastomēru papēdī [155]

1.3. tabula

Enerģijas daudzums dažādiem ģeneratoru veidiem

Ģenerators veids	Ģenerators jauda vai enerģija	Piezīmes	Avots
Pjezoelektriskais	1 – 2 mW 8 mW		[140]–[142] Masačūsetsas Tehnoloģiju institūts (ASV)
	150 – 700 mW	atkarībā no testējamās personas kustību ātruma un svara	[143] Pitsburgas universitāte (ASV)
	2 W	skrienot uz vietas	
	1 μ J	cilvēks ar 68 kg svaru pārvietojoties normālā gaitā	[144] Katalonijas politehniskās universitāte (Spānija)
	2,6 mW	katrai kājai	[145], [146] Luiziānas Tehniskās universitāte (ASV)
	1,2 mW	ātrums 6,4 km/h	[147] Raersona universitātē (Kanāda)
	0,06 mW		[148] Masačūsetsas Tehnoloģiju institūts (ASV)
Elektrostatiskais	0,8 W		[153], [154] firma SRI International (ASV)
Elektromagnētiskais	250 mW 58,1 mW		[58], [149] Masačūsetsas Tehnoloģiju institūts (ASV)
	0,8 W		[152] Japāņu kompānija NTT Enerģijas un vides pētniecības laboratorija
	4 W 15 W	soļošanas laikā ceļgalu locītavu kustības rezultātā kopējais svars 3 kg	[150], [151] ASV Militārās akadēmijas

Literatūras avotos aprakstītas biomehāniskās ceļgalu uzlikas, kas cilvēkam staigājot izstrādā elektroenerģiju. Viens no tiem ir izstrādāts kā pjezoelektriskais ģenerators (1.27.a. att.), kas spēj ģenerēt 2 mW [156, 157]. Pārējās trīs ceļgalu uzlikas ir veidotas kā elektromagnētiskie ģeneratori (1.27.b. att. un 1.28. att.) [158-160]. Labāko rezultātu no tiem demonstrēja ceļgalu uzlikas ģenerators *PowerWalk*TM (1.28. att.). Ceļgalu uzlikas ģenerē 10 – 12 W pie soļošanas ātruma 5 km/h, maksimālā jauda sasniedz 25 W ejot lejup no kalna 15 grādu slīpumā un tā svars ir ap 900 gramu uz katru kāju [158].



1.27. att. Biomehāniskie ceļgalu uzliku ģeneratori: a - pjezoelektriskā ceļgalu uzlika [157],
b - elektromagnētiskie ceļgalu uzliki [159], [160]

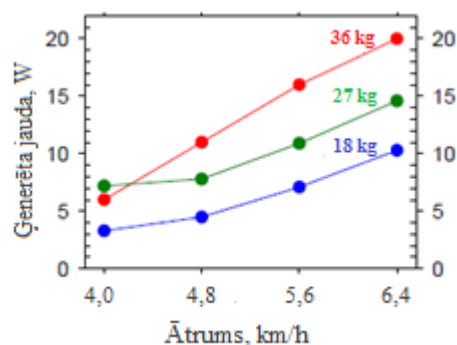


1.28. att. Elektromagnētiskā ceļgalu uzlikas *PowerWalk*TM [158]

Jaudas ziņā ceļgalu uzlikas *PowerWalk*TM ierīci pārspēj tikai *Laurensa Roma* [161] mugursoma (1.29.a. att.). Mugursomā elektrisko enerģiju rada taisnvirziena vertikālā mugursomas kustība, kas rodas no cilvēka ķermeņa smaguma centra kustības ar apmēram 4-7cm amplitūdu. Izstrādātajā mugursomā (*Suspended-load backpack*) ir integrēts speciāls rāmis, kas sastāv no divām daļām ar speciālu amortizējošo sistēmu, kas slāpē/ samazina mugursomas svārstības un izstrādā elektroenerģiju. Mugursomas dizains nodrošina kravas (mugursomas) augstumu saglabāšanu attiecībā pret zemes virsmu kustības laikā. Speciālai, pret muguru balstītai plāksnei piestiprinātā mugursoma, kas soļošanas laikā pārvietojas uz augšu un uz leju pa karkasa sliedēm, radot ritmiskas svārstības. Mugursomas rāmā iemontētas atsperes un ģenerators [162].



a

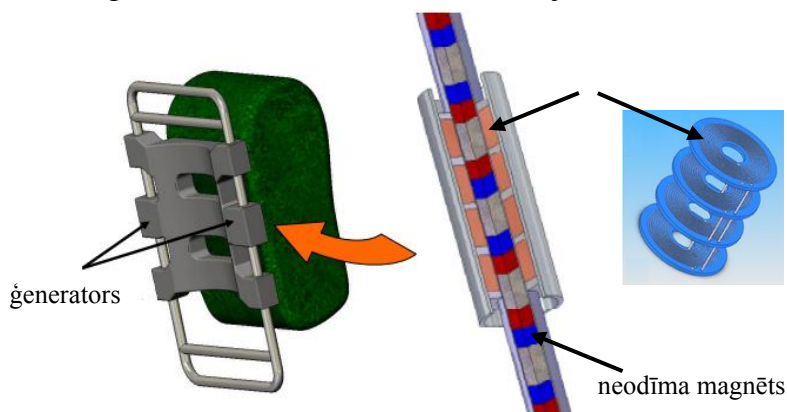


b

1.29. att. Enerģiju ģenerējoša mugursoma: a – mugursoma [162], b - ģenerēta jauda [163]

Pati iekārta var saražot no 7 līdz 35 W ejot, vairāk par 33 W skrienot un no 25 līdz 50 W ja mugursomas rāmi darbināta manuāli [161]. Šīs enerģijas būs pietiekami, lai uzlādētu mobilās ierīces ar lielu energoietilpību. Enerģijas daudzums, ko spēj radīt šī konstrukcija, ir tieši atkarīgs no mugursomas svara un pārvietošanās ātruma. (1.29.b. att.). Konstrukcija, pateicoties rāmī iemontētajām atsperēm, samazina muguras vertikālo slodzi līdz 86 % un samazina muskuļu un mugurkaulu traumas risku [162].

Vēl vienu mugursomu ar ģeneratoru, kurā enerģijas iegūst transformējot mugursomas vertikālo taisnvirziena kustību, ir izveidojuši pētnieki no Bojse universitātes [164] (1.30. att.). Tā darbība balstās uz elektromagnētisko indukciju: mugursomas karkasā ir iestrādāti induktīvie elementi plakanu spoļu forma, savukārt neodīma magnēti ievietoti karkasa sliedēs. Mugursomas karkasa pārvietošana pa karkasa sliedēm veido periodiski mainīgu magnētiskā lauka plūsmu, kas šķērso spoļi un rada spolē elektrisko strāvu. 28 kg smagas mugursomas ģenerators maksimālā momentānā jauda ir 4,5 W [164].

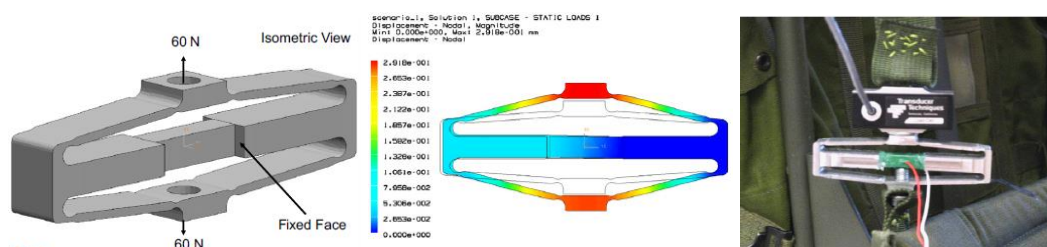


1.30. att. Elektromagnētiskā ģenerators shēma. Attēls adaptēts pēc [164]

Džonatans Granstroms un līdzautori no Mičiganas tehnoloģiskās universitātes, Arizonas universitātes un NanoSonic kompānijas izstrādājuši mugursomas modeli, kas var ģenerēt elektrisko enerģiju, izmantojot mugursomas plecu siksnas. Tas panākts, aizstājot tradicionālo mugursomas plecu siksnas materiālu ar polimēru polivinilidēnfluorīdu (PVDF) - šis materiāls ir pjezoelektrisks, pietiekami stingrs un vienlaicīgi elastīgs. Kontaktu, kas

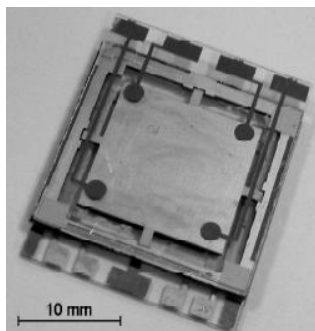
savieno pjezoelektriskās siksas un akumulatorus (vai elektronisko ierīču rozetes), izgatavošanai ticis izvēlēts nanokompozītu materiāls ar nosaukumu "metāliskā gumija" (*Metal RubberTM*), ko ražo firma *NanoSonic*. Materiāls sastāv no strāvu vadošām lentēm, kuru biezums ir 100 nanometri un kuras spēj izstiepties pat 250 reizes [165]. Veicot eksperimentus ar PVDF lentēm, kā arī veicot mugursomas datorizētu simulāciju, noskaidrots, ka 45 kilogramus smagas mugursomas (vidējais karavīra pilnās uzkabes svars) pārvietošana ar ātrumu 3 – 5 km/h nodrošina aptuveni 45,6 mW lielu jaudu [166], [167].

Šī pētnieku grupa aizstāja parasto siksas sprādzi ar pjezoelektrisko sprādzi deformācijas enerģijas pārveidošanai (1.31. att.). Eksperimentu rezultātā iegūta vidējā jauda 0,4 mW (ātrumam sasniedzot 3 – 5 km/h, mugursomas svars 22,5 kg) [168]. Enerģijas daudzums ir tieši atkarīgs no mugursomas svara un cilvēka kustības ātruma.

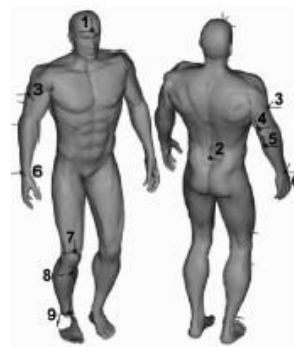


1.31. att. Pjezoelektriskā sprādze: a - CAD modelis, b - krāsu skala, kas parāda sprādzes nobīdes lielumu, c – prototips [168]

Londonas Imperiālās koledžas (*Imperial College London*, Lielbritānija) zinātnieki izpētījuši trīs dažādus mikroģeneratoru veidus: elektromagnētisko (*VDRG*), rezonējošo elektrostātisko (*CDRG*) un parametrisko elektrostātisko nerezonējošo (*CFPG*) (1.32. att.) ar tilpumu no 0,125 līdz 0.5 cm³ piecās dažādās konfigurācijās, cilvēkam kustoties ar ātrumu 4 km/h. Ģeneratoru dati mērīti 9 vietās pie cilvēka ķermeņa (1.33. att.). Konstatēts, ka *CFPG* nodrošina visaugstāko neliela ģenerators jaudas blīvumu, savukārt *VDRG* nodrošina augstāko jaudas blīvumu palielinātiem ģeneratoriem. *CDRG* rezultāti nepārsniedza iepriekš minēto ģeneratoru rezultātus. Jaudas blīvums mainās no 8,7 μW/cm³ līdz 2100 μW/cm³ atkarībā no ģenerators veida, izmēra un tā izvietojuma uz cilvēka ķermeņa. Ģeneratoriem, kas izvietoti cilvēka ķermeņa apakšējā daļā, jauda ir aptuveni 4 reizes lielāka, nekā ģeneratoriem, kas izvietoti ķermeņa augšējā daļā [169], [170]: jaudas blīvums *CFPG* ir 140 μW/cm³ pie potītes un 8.7 μW/cm³ galvas virsējā punktā; savukārt *VDRG* (ar vienu gramu pievienotu masu un 5mm amplitūdu) jaudas blīvums ir 134 μW/cm³ un 2,1 mW/cm³ attiecīgi, izvietojot ģeneratoru uz galvas un virs potītes [169], [170]. *Mitchelsons, P.D.* uzskata, ka cilvēka kustību pārveidotājam rekomendējama ģenerators *CFPG* arhitektūra-parametriskais elektrostātiskais nerezonējošais ģenerators [170].



1.32. att. Parametriskais elektrostatiskais nerezonējošais ģenerators (CFPG) [170]

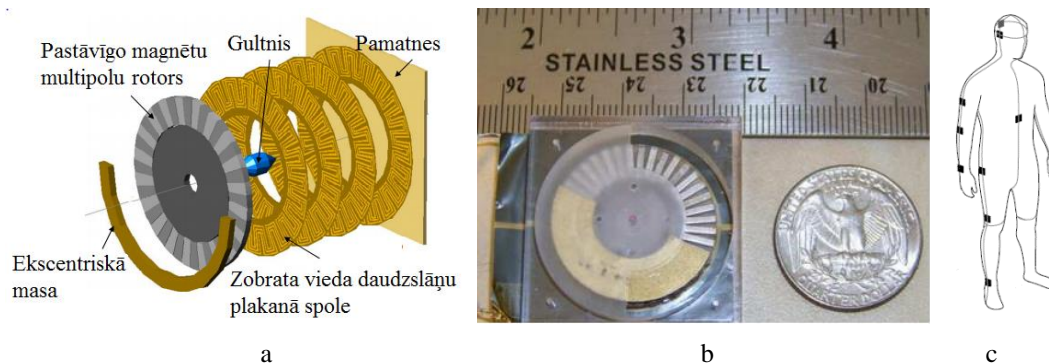


1.33. att. Ģeneratora izvietojuma punkti testējamai personai [171]

Thomas von Burens [26] nodarbojās ar lineārā inerciālā elektromagnētiskā ģenerators (VDRG), kas sastāv no nekustīgas spoles un kustīga magnētu komplekta, optimizēšanu un testēšanu. Ģeneratoram ar apjomu $0,25 \text{ cm}^3$ jauda variē no 2 līdz $25 \mu\text{W}$, atkarībā no izvietojuma vietas uz ķermeņa kustoties ar ātrumu 4 km/h [26], [172].

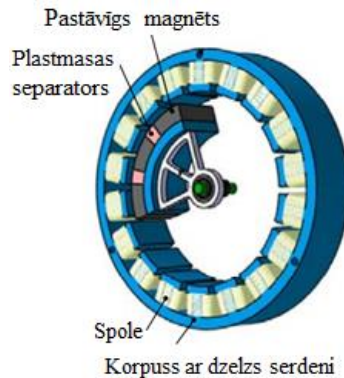
Londonas Imperiālās koledžas zinātnieki [173] izstrādājuši lineāro elektromagnētisko ģeneratoru, kas paredzēts nēsāšanai uz vidukļa. Ģenerators sastāv no nekustīga magnētu komplekta un kustīgas spoles ar kustīgo masu 50 g un amplitūdu 8 cm . Pēc teorētiskiem aprēķiniem, jauda pie frekvences 2 Hz sasniedz 40 mW un pie frekvences $3,5 \text{ Hz}$ - 210 mW . Tomēr realizētā prototipa frekvence ir $7,3 \text{ Hz}$ un pieļaujamā jauda 39 mW (testēšanai izmantots simulators), tā svars ir $0,9 \text{ kg}$ un garums 169 mm [173].

Pētnieki [174] izstrādājuši elektromagnētisko ģeneratoru ar plakanu spoli zobrata formā, multipolāro apaļo neodīma pastāvīgo magnētu un ekscentru (1.34. att.). Prototipa ar tilpumu 2 cm^3 attīstītā jauda mainās no $0,08$ līdz $234 \mu\text{W}$ atkarībā no izvietojuma uz ķermeņa pie soļošanas ātruma $4,7 \text{ km/h}$. Piemēram, prototips, kas izvietots uz potītes un plaukstu pamatnes, attiecīgi ģenerē $234 \mu\text{W}$ un $0,3 \mu\text{W}$ [61], [174].



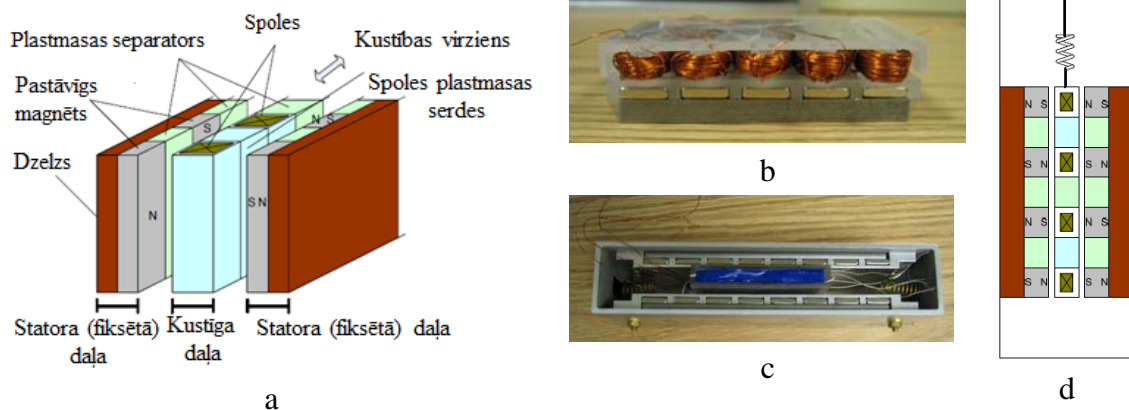
1.34. att. Ģenerators ar plakanām spolēm: a – 3d shēma, b – prototips, c – izvietojuma vietas [174]

Ķīniešu pētnieki [175] izstrādājuši rotora ģeneratoru ar ekscentru (1.35. att.). Ģenerators simulācijas liecina, ka 40 mm diametra liela ierīce, kas sver 50 g , spēj ģenerēt desmitiem milivatu jaudu, nēsājot tās uz plaukstu pastaigas laikā [175].



1.35. att. Elektromagnētiskais ģenerators ar ekscentru [175]

Pētnieki [176] izstrādājuši lineāro elektromagnētisko ģeneratoru, kur tradicionālo magnēta kustību spolē vai spoles kustību magnētā aizvieto ar spoles kustību gar magnētu (1.36. att. a). Modificējot šo elektromagnētisko ģeneratoru, ir iespējams realizēt trīs cilvēka kustību mehāniskās enerģijas pārveidotājus, attiecīgi - izmantotas svārstveida rokas kustības, horizontālās kājas kustības un vertikālā cilvēka ķermeņa smaguma centra kustības (1.36. att. b- d).

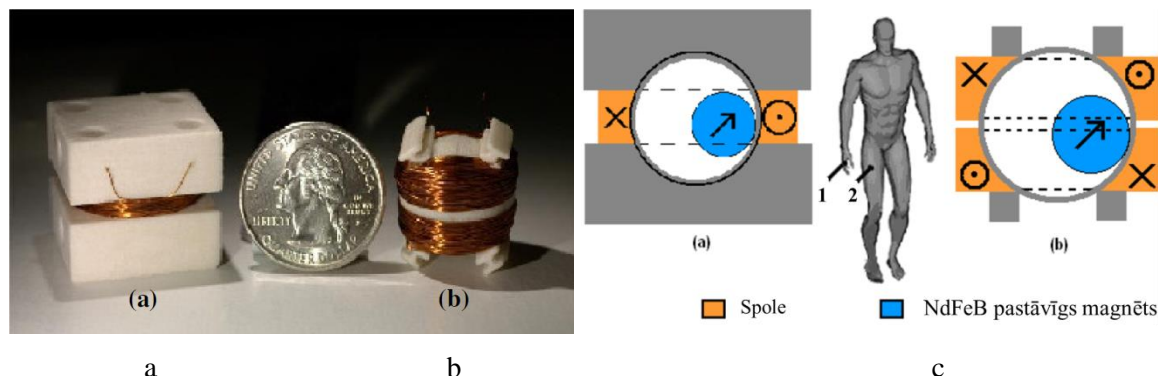


1.36. att. Lineārais elektromagnētiskais ģenerators: a - vispārējā koncepcija, b – rokas kustības enerģijas pārveidotājs, c - horizontālās kājas kustības enerģijas pārveidotājs, d - vertikālā cilvēka ķermeņa smaguma centra kustības pārveidotājs [176]

Ģeneratoru testēšanas rezultāti: rokas kustības enerģijas pārveidotāja vidējā jauda ir 10 mW, testēšanas laikā rokas atrodas skriešanas pozīcijā; cilvēka ķermeņa smaguma centra vertikālās kustības pārveidotājs ievietots tukšā mugursomā, kuras svars ir mazāks par vienu kilogramu un iegūtā jauda pastaigas un skriešanas laikā sasniedza attiecīgi 50 un 80 mW; horizontālās kājas kustības enerģijas pārveidotājs piestiprināts vienai kurpei, vidējā jauda no 70 līdz 90 mW ātras soļošanas laikā, līdz ar to autori uzskatīja, ka nav perspektīvi turpināt rokas kustības enerģijas pārveidotāja optimizāciju [176].

Pētnieku grupa [177] izveidojusi elektromagnētisko ģeneratoru, ievietojot lodveida formas neodīma magnētu sfēras iekšpusē, un vienu induktīvo elementu ārpusē (1.37. att. a), otrajā variantā abos sfēras "polos" novietotas divas induktīvās spoles (1.37. att. b). Ģenerators paredzēts nēsāšanai uz rokas vai kabatā (1.37. att. c). Testos labākos rezultātus uzrādīja ierīce

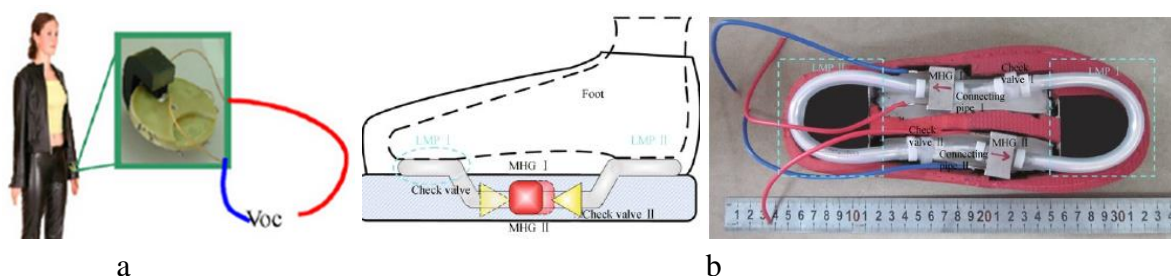
ar divām spolītēm kas eksperimenta laikā bija ievietotas kabatā. Piemēram, skrienot ar ātrumu 14,5 km/h, jauda sasniedza 1.44 mW un jaudas blīvums 5 mW/cm^3 [177].



1.37. att. Sfēriskais elektromagnētiskais ģenerators: a, b - prototipi, c – šķērsgriezuma shēma un izvietojuma vietas [177]

Rotora elektromagnētiskie ģeneratori ar ekscentru, kas pārveido rokas kustības mehānisko enerģiju elektroenerģijā, sastopami rokas pulksteņos [178], [179] un viedtālrunī [180].

Cilvēka kinētiskās enerģijas pārveidošanai piedāvāts magnetohidrodinamiskais ģenerators. Ķīniešu zinātnieki Jia un Dai ar līdzautoriem ir izgatavojuši prototipu nēsāšanai uz rokas (1.38.a. att. a), bet otru - integrēšanai apavos (1.38. att. b). Pirmajā prototipā rokas kustības izraisa šķidra metāla $\text{Ga}_{62}\text{In}_{25}\text{Sn}_{13}$ plūsmas, ko regulē divi vienvirziena vārstuļi, turklāt tikai viena virziena kustība izstrādā elektroenerģiju, savukārt atgriezeniskās plūsmas kustību nobloķē vārstuļi - elektrība netiek ražota. Eksperimentā magnetohidrodinamiskais ģenerators ar šķidrā metāla 5,68 gramiem izvietots uz delnas/plaukstas pamata (kaprālās) locītavas ātras pārvietošanās gadījumā ģenerē $3,61 \mu\text{W}$ jaudu [181].



1.38. att. Magnetohidrodinamiskais ģenerators: a - nēsāšanai uz rokas [181], b - integrēts apavos [182]

Apavos integrēta ģenerators prototipā kājas kustības laikā tiek secīgi izdarīts spiediens uz diviem šķidruma sūkņiem, kas izvietoti zoles priekšējā un aizmugurējā daļā. Rezultātā nodrošinātā šķidrā metāla plūsma caur magnetohidrodinamisko ģeneratoru rada elektroenerģiju. Maksimālā izejošā jauda sasniedz 80 mW [182].

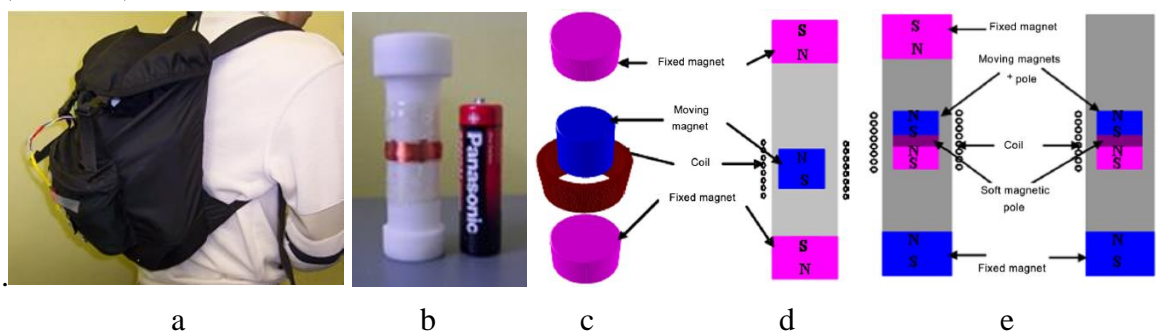
Eksistē arī portatīvie ģeneratori. Kā piemēru var minēt kompakto lineāro elektromagnētisko ģeneratoru *nPower[®] PEG*, kas radīts uzņēmumā *Tremont Electric* (1.39. att.), tā konstrukcijā ietilpst divas atsperes, elektromagnētiski aktīvs atsvars un spole [183].



1.39. att. nPower PEG ģenerators [183], [184]

Lai iegūtu elektroenerģiju, tas ir tikai jāiesūpo vai jāpakrata. Tas nozīmē, ka ierīci var darbināt, piestiprinot ģeneratoru pie mugursomas, apģērba vai ieliekot to kabatā. Vienu minūti ilga pastaiga nodrošinās vienu minūti ilgu mūzikas klausīšanos ar *iPOD Nano*, bet vienas minūtes sarunai ar iPhone 3G būs nepieciešama 26 minūtes ilga pastaiga [184].

Saha un līdzautori [185] izveidojuši portatīvu lineāro elektromagnētisko ģeneratoru (1.40. att.).

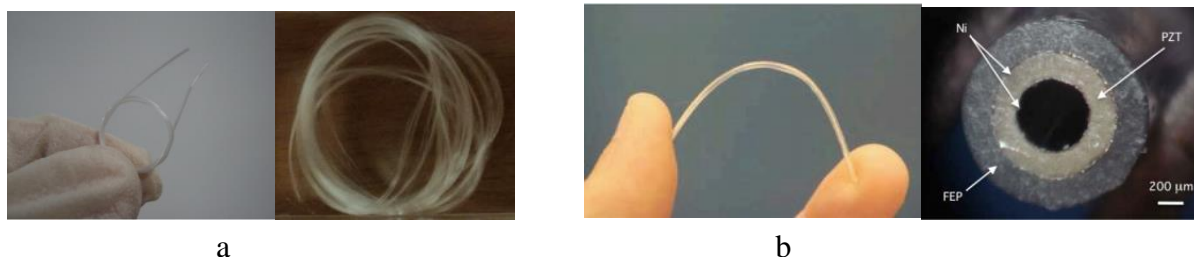


1.40. att. Magnētiskais ģenerators: a - izvietošana mugursomā, b – prototips, ģenerators struktūra ar: c - vienu kustīgo magnētu, d - diviem kustīgajiem magnētiem, e - vienu bloķējošo magnētu [185]

Pastāvīgie magnēti izvietoti caurules iekšpusē vertikāli tā, ka to ārējām virsmām ir vienāda polarizācija. Tādā veidā vidējais magnēts (vai vairāki magnēti kopā) var brīvi pārvietoties starp diviem ģenerators korpusa galos fiksētajiem magnētiem to savstarpēji atgrūdošo spēku ietekmē (1.38. att. c, d). Spole ir uztieta caurules ārējai virsmai. Magnēta periodiskās kustības uz augšu un uz leju gar spoli veido periodiski mainīgu magnētiskā lauka plūsmu, kas šķērso spoli un rada elektrisko strāvu spolē. Ģenerators apjoms ir $12,7 \text{ cm}^3$. Testēšanas rezultāti ģeneratoram ar diviem korpusa galos fiksētiem magnētiem sastāda vidējo jaudu $0,30 \text{ mW}$ pastaigas un $1,86 \text{ mW}$ lēna skrējiena laikā. Vidējā jaudas vērtība ģeneratoram bez augšējā fiksējošā magnēta sastāda pastaigas un lēna skrējiena laikā attiecīgi $0,95 \text{ mW}$ un $2,46 \text{ mW}$. Pievienotajās akumulatora baterijās (*Maxwell-ML1220*) pēc vienu stundu ilgas pastaigas spriegums palielināts par $0,18 \text{ V}$ [185], [186].

Zinātnieki rada ne tikai iekārtas, bet cenšas arī izveidot jaunas šķiedras (1.41. att.), kuras varēs pārveidot cilvēka kustības enerģiju elektroenerģijā, izmantojot pjezoelektrisko efektu. Integrējot jaunās paaudzes pjezoelektriskās šķiedras vai pavedienus drānas struktūrā, var iegūt pjezoelektriskās tekstilijas, kas spēj ģenerēt enerģiju no drānas mehāniskās deformācijas [187], [188]. Piemēram, pjezoelektriskās šķiedras (PVDF) var ģenerēt ap 5 V spriegumu

mērenas mehāniskās iedarbības laikā uz šķiedrām. Uz polimēru bāzes radīto pjezoelektrisko šķiedru galvenā priekšrocība ir to lokanība, tādēļ ir iespējams tās plaši izmantot integrēšanai audumu struktūrā [187], [189].



1.41. att. Pjezoelektriskās šķiedras: a- lokanais filaments, uz polimēru bāzes [187], [189], b – dobšķiedra un to šķēsgriezums [188]

Apakšnodaļas secinājumi

Literatūras avotos ir sastopami daudzveidīgie tērpu aksesuāros integrējami vai portatīvi elektromagnētiskie ģeneratori: elektromagnētiskie rotācijas ģeneratori un ekscentriskie rotācijas ģeneratori (hibrīda ierīce, kas pārveido lineāro vibrāciju rotācijas kustībā), elektromagnētiskie lineārie ģeneratori ar magnēta kustību spolē, ar spoles kustību magnētā [190], ar magnēta kustību kas ir balstīta uz tuvināšanu un attālināšanu spolei [191], ar magnēta kustību gar spoli, spolei esot paralēlā plaknē [176], bet nav sastopams elektromagnētiskais ģenerators, kas būtu paredzēts integrēšanai tieši apģērbā.

1.2.3.1. Induktīvo elementu veidi un to iestrādāšana viedapģērbā

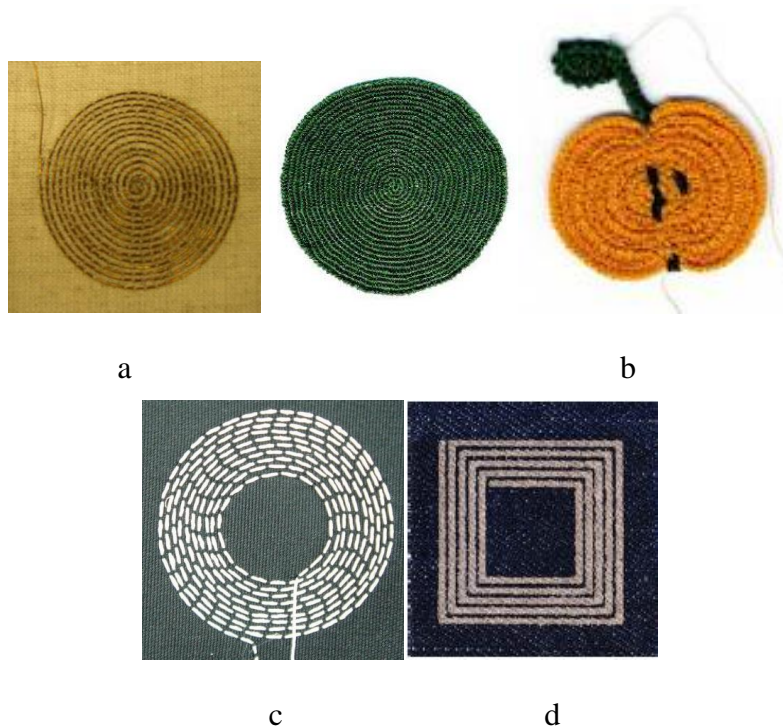
Vairākās publikācijās parādīts, ka apģērbā kā valkājamus elektronisko sistēmu elementus [192]–[194] un elektromagnētiska enerģijas pārveidotāja induktorus [195]–[200] ir iespējams izmantot plakanas spirālveidīgas spoles. Apģērbā integrējamiem enerģijas avotiem ir jābūt pēc iespējas plakanākiem, lai tos varētu izvietot uz apģērba virsmas vai arī starp apģērba slāņiem.

Plakano induktīvo elementu iestrādāšana viedapģērbā atkarībā no integrēšanas pakāpes var notikt divējādi, gan kā adaptēšana/ievietošana apģērbā, paslēpjot tos starp apģērba kārtām, gan arī izstrādājot induktīvos elementus uz tekstilmateriāla bāzes, proti, veidojot tos kā dizaina elementus.

Adaptācija – apģērbam pievienotas "ne-tekstila" elektromagnētiskā enerģijas pārveidotāja komponentes ar apģērba tehnoloģiju palīdzību. Enerģijas pārveidotāja komponentes ievietotas, kā, piemēram, iepriekš aprakstītiem prototipiem, speciāli paredzētā kabatā un aprocē. Šīs komponentes pirms izstrādājuma kopšanas (g.k. mazgāšanas) ir noņemamas [201].

Uz tekstilmateriāla bāzes veidota elektrosistēma – induktīvo elementu struktūras šajā gadījumā ir tekstila sastāvdaļas [202]. Ir zināmi vairāki tehnoloģiskie paņēmieni – manuālie vai mehānizētie, kas ļauj uz tekstilmateriālu bāzes izveidot elastīgus un/vai plakanus induktīvos elementus [203] saglabājot tekstilmateriāla īpašības, kā rezultātā iespējams saglabāt apģērba formu. Induktīvos elementus kā apģērba dizaina elementus var izstrādāt gan manuāli dažādu rokdarbu tehnikās (izšūšana, tamborējums, tinums u. c.) [204], gan izmantojot strūklas vai trafaretdruku tekstilmateriāla virsmas pārklājumu izveidei (elektrovadošās tintes, kodinājums

folijā u. c.) [205], [206], gan izšujot vai uzšujot ar automatizētām šujmašīnām (*CNC – Computer Numerical Control* šujmašīnas) [192], [207] (1.42. att.).



1.42. att. Spirālveidīgais induktīvais elements: a - manuāli uzšūta plakanā spole (autore I.Šahta), b - tamborētas plakanās spoles (autore I.Dāboliņa) [204], c - automatizēti izšūta plakanā spole [207], d - spole uzdrukāta uz kokvilnas auduma [206]

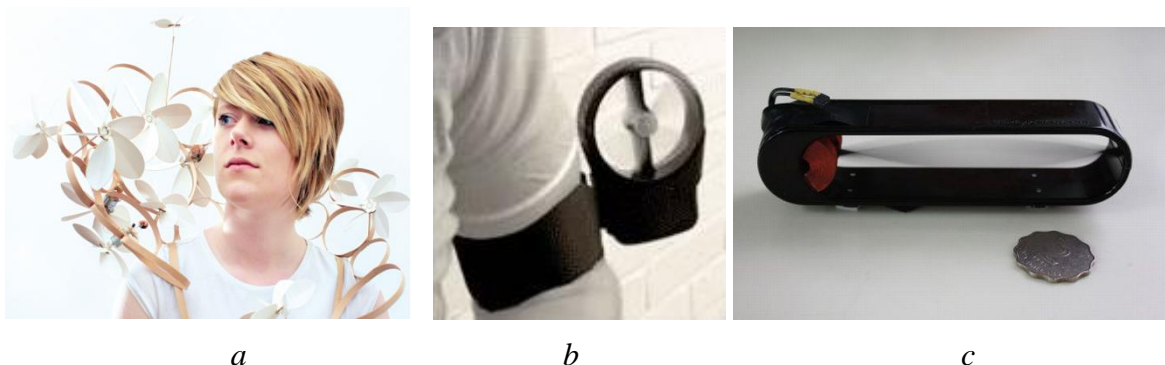
Elektromagnētiskajam enerģijas pārveidotājam ar plakanu struktūru var izveidot daudzveidīgas koncentriskas formas induktīvās plakanās spoles ar pieaugošiem liekuma rādiusu vijumiem (ar nemainīgu virzienu). Spirālveidīgā spoles forma var būt ne vien apaļa, bet arī kvadrātveida, epicikloīdveida, hipocikloīdveida utt. [204], [208].

1.2.4. Citu veidu ģeneratori

Vēja enerģiju jeb gaisa svārstību radīto enerģiju var uzkrāt akumulatoros, kurus ir iespējams integrēt interaktīvā apģērbā vai portatīvā ierīcē. Piemēram, 1.43. att. a redzamā apģērba dekorācija, reaģē uz vēja plūsmu: griežoties imitētajiem ziediem iegūtā enerģija tiek uzkrāta akumulatoros, kas baro dekoram piestiprinātas diodes [85], [209].

Kā alternatīvu kabatas ģeneratoram *nPower PEG* var izmantot portatīvos vēja ģeneratorus *Mini Kin Green Power Generator* (1.43. att. b) un *Windbelt™* (1.43. att. c). Ģenerators *Mini Kin Green Power* sastāv no miniatūra vēja ģeneratora un akumulatora baterijas, kas paredzēta radītās enerģijas uzkrāšanai. To iespējams piestiprināt pie pleca un izmantot pastaigas laikā, vai piestiprināt pie velosipēda. Gaisa plūsma griež propellera lāpstiņas, impulss novadīts uz turbīnu, kur to pārveido elektriskajā strāvā. Miniģenerators *Mini Kin Green Power Generator* 60 minūšu laikā radītā enerģija var nodrošināt mobilo telefona sarunas 150 minūšu garumā. Miniģenerators *Mini Kin Green Power Generator* spēj

uzlādēt MP3 pleijerus (ieskaitot iPod), portatīvos datorus, *Blackberry* ierīces, lielāko daļu moderno videokameru, mobilos tālruņus un jebkuras ierīces ar mini *USB* portu [210].



1.43. att. Vēja ģeneratori: a- apģērba aksesuārs [209], b - *Mini Kin Green Power* ģenerators ar rotējošo turbīnu [210], c - *Windbelt™* ģenerators ar elastīgu siksnīņu [211]

Firmas *Humdinger Wind Energy LLC* izstrādātais miniatūrais vēja ģenerators *Windbelt™* elektrības iegūšanai izmanto elastīgu siksnīņu, kas vibrē gaisa plūsmas ietekmē, un speciālu membrānu, kas aizstāj rotējošo turbīnu. Minimālais vēja ātrums, kas spēj nodrošināt ģenerators darbību, ir 3 m/s. Gaisa plūsmas ātrumam sasniedzot 5,5 m/s ģenerators jauda ir 2 mW [211].

V Ļeonova un līdzautoru grupas veiktajos pētījumos aprakstīta hibrīda fotovoltaiskā un termoelektriskā pārveidotāja integrācija apģērbā. Elektrokardiogrāfijas sistēmas baterijas uzlādēšanai paredzēts izmantot krekla valkātāja ķermeņa siltumu. Krekla augšdaļā integrētie 14 TEG (30 x40 x6,5 mm) aizņem mazāk par 1,5 % no kopējās krekla virsmas (1.44. att.), ofisa telpās nodrošina vidējo jaudu 0,8 – 1 mW ikdienišķu sēdošo darbu strādājošam cilvēkam. Soļojot elektroenerģijas daudzums palielinās līdz 2-3 mW. Fotoelementi (25 x40 mm), kas izvietoti apģērba plecu daļā, ir nepieciešami baterijas uzturēšanai darba kārtībā vai arī sākotnējai tās uzlādēšanai, ja krekls ar integrētajiem fotoelementiem ilgstoši nav tīcis izmantots. 75 % pārveidošanas efektivitāte sasniedzama pie apkārtējās vides temperatūras 25 - 29°C [104], [212], [213].



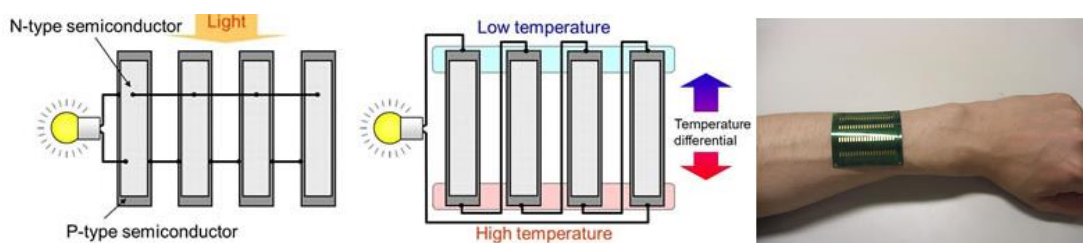
1.44. att. Krekls ar integrētu elektrokardiogrāfijas sistēmu: viens no TEG moduļiem (1) un fotovoltaiskais elements (2) [66]

Nirmas universitātes studenti piedāvā ķiveres prototipu, kas aprīkota ar saules paneļiem un nelielu ventilatoru spēj uzlādēt mobilo tālruni. Saules un vēja (pretvēja) radītās enerģijas

daudzums, kas iegūts 40 minūtes ilga velobrauciena laikā, ir pietiekams, lai uzlādētu mobilo tālruni [214].

Fujitsu kompānijas pētnieki izstrādājuši ierīci, kas darbojas gan fotoelektriskajā, gan termoelektriskajā režīmā. Hibrīdā ierīce ir izgatavota uz lokanas pamatnes no organiskā materiāla ar augstu enerģijas pārveidošanas spēju arī nepietiekama apgaismojuma apstākļos, tās ražošanas izmaksas nav lielas. Ierīce var funkcionēt gan kā fotoelements, gan kā termoelektriskais ģenerators, mainoties divu tipu pusvadītāju materiālu- *p*-tipa un *n*-tipa elektrisko ķēžu savienojumiem [215].

Zinātnieki [216] izstrādājuši speciālu čipu, kurš var savākt enerģiju no trīs dažādiem avotiem - gaismas, vibrācijas un apkārtējās vides temperatūras (1.45. att.). no katra iegūtās enerģijas daudzums ir niecīgs, bet to apkopojums dod lielisku rezultātu. Uz temperatūru starpības rēķina var iegūt spriegumu no 0,02 līdz 0,15 V, no gaismas- 0,2 - 0,7 V, bet no vibrācijas – līdz 5 V [216].

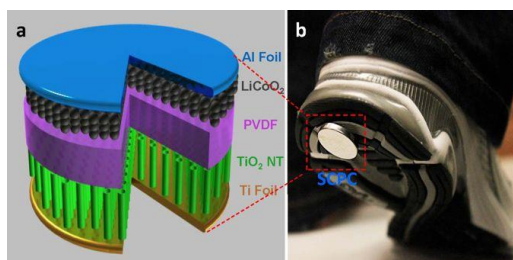


1.45. att. Hibrīdās enerģijas pārveidotājs no trīm avotiem [216]

Zinātnieki radījuši hibrīdu nanomateriālu, kas spēj konvertēt gaismas un siltuma enerģiju elektrībā absorbējot līdz 80 % gaismas [217].

Pētnieku grupas [218] kopīgajā publikācijā aprakstīta hibrīda ierīce, kurā elektroenerģijas ražošana un uzkrāšana notiek vienā elementā. Radītā ierīce pārveido mehānisko enerģiju ķīmiskajā enerģijā bez elektrības ģenerēšanas starpstadijas.

Eksperimentos pētnieki par pamatu uzlādēties spējīgai enerģētiskai šūnai izvēlējušies parasto litija jonu miniatūro tabletveidīgo akumulatoru. Nomainot parasto polietilēna separatoru, kurš norobežo divus elektrodus, pret polivinilidenfluorīda plēvi ar pjezoelektriskām īpašībām. PVDF plēves separators radot potenciālu starpību starp elektrodiem, kalpo par pamatu pašlādējošai baterijai, kas spēj vienlaicīgi ģenerēt un uzkrāt enerģiju [218].



1.46. att. Hibrīdā ierīce: a - jaunais komplekso materiālu veids, b - kurpe ar integrētu sūļošanas enerģijas pārveidotāju elektriskajā strāvā [218]

Aptuveni monētas lieluma ģeneratoru pētnieki ievietoja apavu zolē (1.46. att.). Soļojot ģenerējamās un uzkrātās enerģijas mērījumi liecināja, ka intensīva soļošana ar frekvenci 2,3 Hz četru minušu laikā palielina baterijas potenciālu no 327 uz 395 mV [218].

Lielbritānijas zinātnieki radījuši lokanus fotovoltaiskos-pjezoelektriskos polimēra plānkārtiņu vai šķiedras hibrīdus, ko iespējams integrēt drānā. Izveidotas hibrīdās ierīces spēj ģenerēt enerģiju no Saules, vēja un lietus (1.47. att.); ierīces (20 x20 cm) attīstītā jauda ir viens vats [219], [220].



1.47. att. Plānkārtiņu fotovoltaiskais un piezoelektriskais hibrīda enerģijas pārveidotājs [219], [189]

Dienvidkorejas zinātnieku grupa radījusi dažus simts nanometru augstu hibrīdģeneratoru kas savāc Saules un skaņas vibrāciju radīto enerģiju. Eksperimentu gaitā ģenerators savāca Saules enerģiju ar pārveidojuma lietderības koeficientu 3,29 %, ģenerējot 0,8 V spriegumu no 100 dB skaņas [221].

Zinātnieku grupa [222] strādā ar nanoģeneratoriem, kas veidoti no vertikālā vai horizontālā plaknē izkārtotām neorganiskām nanošķiedrām (cinka oksīda (ZnO), svina cirkonāta titanāta (PZT), bārija titanāta (BaTiO_3)). Tie spēj izmantot cilvēka biomehānisko enerģiju, lai darbinātu gaismas diodes (LED), šķidro kristālu displejus, un var nodrošināt arī bezvadu datu pārraidi [222]. Savukārt zinātnieki [223] veic no organiskajām nanošķiedrām (PVDF, fluoroplasts fluoroplastics) radīto ģeneratoru izpēti. Pētījumu rezultātā noskaidrots, ka organiskais nanošķiedru nanoģenerators spēj transformēt mehānisko enerģiju elektrībā ar efektivitāti līdz 21,8 % (kaut gan vidējais rādītājs ir 12,5 %), kas ir ievērojami augstāks, nekā tīrās piezoelektriskās plēves ģeneratoram (0,5-4 %), kā arī augstāks nekā konkurējošiem nanoģeneratoriem uz cinka oksīda bāzes (6,8 %) [223].

Apakšnodaļas secinājumi

Sākot no 2006 gada ir izstrādāti visdažādākie nanoģeneratoru modeļi [67]–[69], [224], izmantojot piezoelektrisko, triboelektrisko un piroelektrisko efektu, kas paredzēti mehāniskās un siltumenerģijas pārveidošanai. Lai varētu nodrošināt vienlaicīgu enerģijas pārveidošanu no dažādiem enerģijas veidiem, izstrādāti hibrīdie nanoģeneratori: pjezo-fotoelektriskie, termomehānisko-fotoelektriskie [225], tribo- fotoelektriskie [226], mehānisko- fotoelektriskie [227], u.c. [228], [230].

1.3.Magnētu ietekme uz cilvēka veselību

Jaudīgie neodīma (NdFeB) magnēti no dzelzs, bora un neodīma sakausējuma ir kļuvuši plaši pieejami pēdējos gados. Tos izmanto datoru diskos, rotaļlietās, juvelierizstrādājumos, kā arī apģērbā. Plašais lietojums raisa diskusijas par pastāvīgo magnētu negatīvo iedarbību uz

lietotāja veselības stāvokli. Tai pat laikā ir virkne terapiju, kur magnētus izmanto ārstnieciskos nolūkos.

Ir veikti daudzi pētījumi par magnēta ietekmi uz cilvēku veselību, kuros iegūtie rezultāti ir pretrunīgi. Daži eksperti ir pārliecināti, ka pastāv reāli draudi veselībai gadījumos, ja ilgstošai vai pastāvīgai magnētiskā lauka iedarbībai pakļautas personas ar elektrokardiosimulatoriem, feromagnētiskajiem implantiem un citām organismā implantētajām elektroniskajām ierīcēm. Piemēram, Vispasaules Veselības organizācija (VVO) iesaka šādiem cilvēkiem izvairīties no uzturēšanās vietās, kur statistiskā magnētiskā lauka jauda pārsniedz 0,5 mT [231], kaut gan saskaņā ar Eiropas standartu EN 45502 elektrokardiosimulatoriem un implantējamiem kardiodefibrilatoriem jādarbojas netraucēti statistiskajā magnētiskajā laukā līdz pat 1 mT [232], [233].

Kā ziņots žurnālā *Hearth Rythm*, cilvēkiem ar implantētajām elektroniskajām ierīcēm īpaši bīstami ir mājāsaimniecībā izmantojamie magnēti. Pētījumu rezultāti, ko veica kardiologu grupa no Bostonas, norāda uz to, ka portatīvo muzikālo atskaņotāju austiņas var negatīvi ietekmēt implantēto kardiostimulatoru un kardiodefibrilatoru darbību. Klīniski nozīmīgi magnētiskie traucējumi var rasties gadījumos, kad austiņas atrodas implantētu elektrokardiosimulatoru un kardiodefibrilatoru tuvumā (līdz 3 cm). Pacienti, kuri izmanto norādītās ierīces, ir ieteicams izvairīties no austiņu nēsāšanas krūšu kabatiņās vai uz kakla, jo tās var negatīvi ietekmēt veselības stāvokli vai radīt potenciālus draudus pacienta dzīvībai arī tajos gadījumos, ja tās atvienotas no muzikālās ierīces [234].

Cīrihes Universitātes klīnikas pētnieku grupa veiktās ikdienas lietošanas priekšmetos (juvelierizstrādājumi, rotaļlietas, apģērbs, brilles) integrēto neodīma magnētu ietekmes izpētes rezultātā konstatēts, kā sirds elektrokardiosimulatoru (neatkarīgi no izmantotā modeļa vai ražotāja) darbības destabilizācijai pietiek ar to, ka nelieli neodīma magnēti (atkarība no magnēta izmēra un tā magnētiskā laukuma indukcijas) atrodas aptuveni 3 – 30 centimetru attālumā no sirds darbības stimulatora [235], [236].

Autori norāda uz to, ka pacients ar implantētu ierīci parasti pats neizjūt šādus ierīces darbības traucējumus, vai atsevišķos gadījumos ir spējīgs sajust sirds darbības paātrināšanos. Pēc pētnieku uzskatiem, magnēti var apspiest integrētā defibrilatora aktivitāti tajos kritiskajos brīžos, kad tā ģenerētais lādiņš ir nepieciešams pacienta sirds darbības stimulēšanai sirds darbības traucējumu laikā (sirds darbības apstāšanās) [234], [235].

Kopsavilkums

Izmantojot elektromagnētiskās, termoelektriskās un fotovoltiskās tehnoloģijas, viedizstrādājumi savāc un uzkrāj apkartējās vides un/vai cilvēka ķermeņa ģenerēto enerģiju, uzlādē mobilo tālrunu baterijas vai arī nodrošina atsevišķu sensoru un kompleksu elektronisko sistēmu darbību.

Alternatīvie elektronisko sistēmu barošanas avoti ļauj uzlādēt baterijas vai aizvietot tās, kā arī darboties ar tām kopā, tādējādi palielinot sistēmas darbības drošumu kopumā un novēršot iespējamās barošanas piegādes traucējumus.

Viedizstrādājumi ar integrētiem enerģijas pārveidotājiem, atšķiras gan ar enerģijas avota izvēli sistēmu darbināšanai, gan ar enerģijas pārveides principu, gan arī ģenerēto enerģijas daudzumu, pārveidotāja izmēru un svaru, attiecīgi arī integrēšanas iespējām izstrādājumos.

Tekstilizstrādājumos integrējamās enerģijas avotus jāveido pēc iespējas plānākus, lai tos varētu izvietot uz izstrādājuma virsmas vai arī starp izstrādājuma slāņiem. Nosacījumam atbilst termoelektriskie, fotovoltaiskie un elektromehāniskie nanoģeneratori. Pētījumos konstatētas neierobežotas nanoģeneratoru kā barošanas elementu, lietojumu spējas portatīvajā elektronikā; tos iespējams integrēt apģērbā vai jebkuros citos priekšmetos, kas atrodas kustībā. Nanoģeneratoru efektivitāti var paaugstināt samazinot pavedienu izmēru un vienlaicīgi palielinot to blīvumu uz virsmas laukuma.

Enerģijas pārveidotāja efektivitāte bieži ir atkarīga no ekspluatācijas nosacījumiem: ne vienmēr ir pieejams gaismas avots, vibroģeneratoru efektivitāte atkarīga no vibrācijas intensitātes, temperatūras gradienti var mainīties, elektromagnētiskā starojuma avoti var tikt bloķēti.

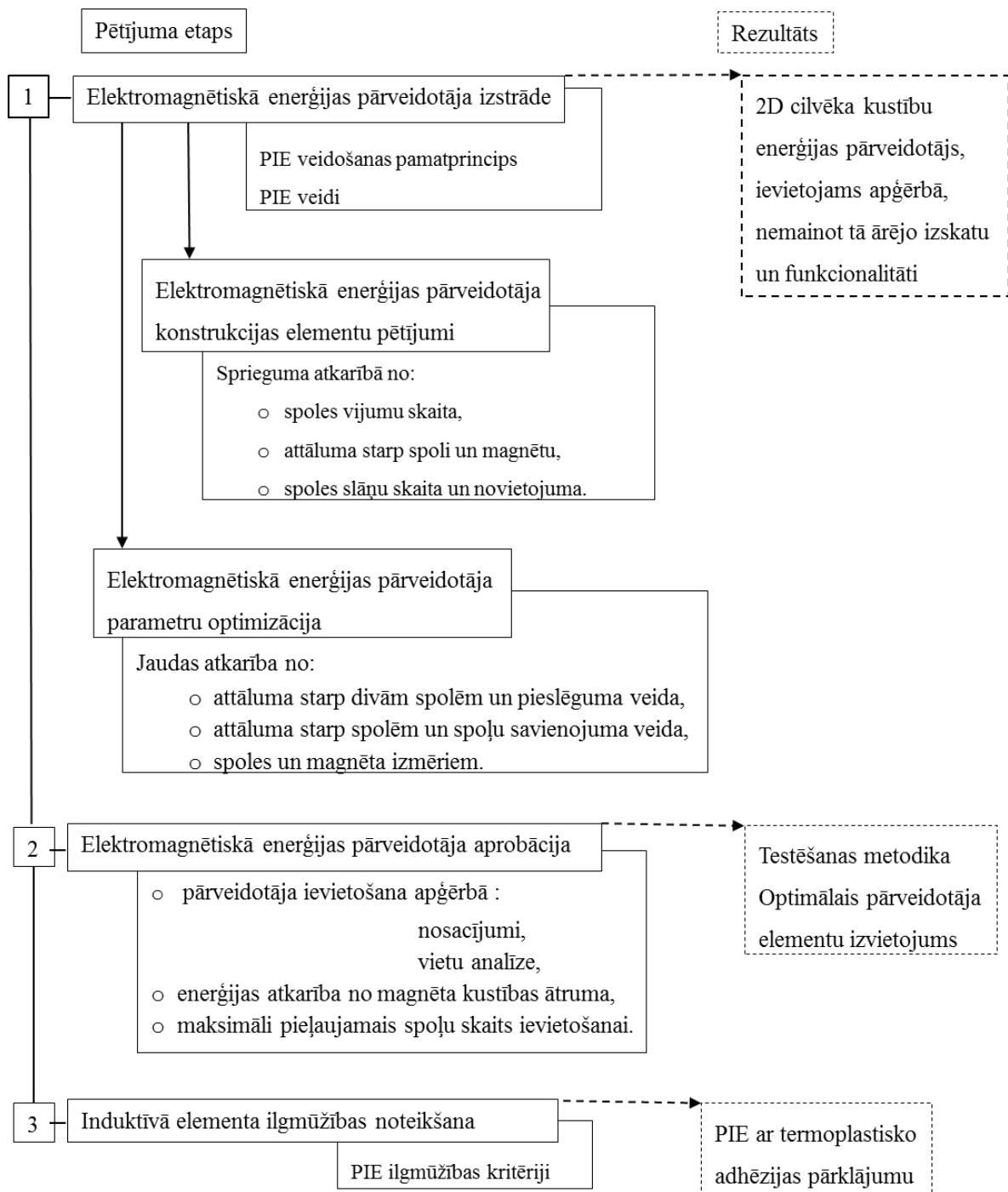
Ņemot vērā magnēta ietekmi uz cilvēka veselību, tekstilizstrādājumu ar elektromagnētisko enerģijas pārveidotāju ar plakanu struktūru deklarācijās (instrukcijās) būtu jāiekļauj informācija par iespējamiem veselības apdraudējumiem vai negatīvo ietekmi uz personām ar elektroniskiem kardiostimulatoriem un kardiodefibrilatoriem saistībā ar pastāvīgu magnēta klātbūtni.

2. MATERIĀLI UN METODES

Nodaļā sakopota informācija par izmantotajiem materiāliem, PIE izveidē un testēšanā pielietotajām metodēm.

Pētījumu struktūra

Pētījumu struktūra redzama 2.1. att.



2.1. att. Eksperimentu struktūra.

Lai sasniegtu pētījuma mērķi un atrisinātu pētījuma uzdevumus, promocijas darba izstrādes procesā plānoti un veikti eksperimentāli pētījumi, kuru gaitā katra nākamā eksperimenta veikšanas apstākļus noteica iepriekš veikto eksperimentu rezultāti. Izpētes process veikts trijos secīgos blokos (2.1. att.).

2.1. Elektromagnētiskā enerģijas pārveidotāja izveides materiāli

Elektromagnētiskais enerģijas pārveidotājs sastāv no plakana indukcijas elementa (spoles) un pastāvīgā magnēta.

Indukcijas elementa veidošanai nepieciešamie materiāli apkopoti 2.1. tabulā.

2.1. tabula

Spoļu materiāli

Izgatavošanas tehnoloģija		Materiāla veids
manuāla		<ul style="list-style-type: none"> ○ 0,1 mm vai 0,22 mm diametra vara vads, ○ neausta, netermoplastiska drāna ar adhēzijas slāni, ○ plēve ar divpusīgo adhēzijas slāni, ○ 125 mikronu bieza laminēšanas plēve, ○ termoplastiska adhēzijas tekstila plēve (līmplēve), ○ aizsargpārklājums.
mehanizēta	izšūšana	<ul style="list-style-type: none"> ○ elektrovadošs pavediens (poliamīda pavedieni ar sudrabu pārklājumu Elitex 110 dtex/f34x2), ○ diegs, ○ drāna.
	uzšūšana	<ul style="list-style-type: none"> ○ 0,2 mm vai 0,3 mm diametra vara vads, ○ drāna vai ūdenī šķīstoša palīgdrāna.
	kodināšana - PCB tehnoloģija	<ul style="list-style-type: none"> ○ vara folija, ○ lokanās dielektriskās pamatnes.

Induktīvajos elementos jeb spolēs atšķiras:

- vijumu skaits (no 5 līdz 25 pie nemainīga ārējā diametra (16 mm));
- vijumu skaits un diametrs (spoļu diametrs – no 4 mm (8 vijumi) līdz 80 mm (158 vijumi);
- vara vada diametrs (0,1 mm un 0,22 mm);
- slāņu skaits (no 1 līdz 5);
- izolējošais slānis starp spolēm un aizsargpārklājumu (2.5. un 2.6. att.);
- dizaina formu risinājumi (taisnstūra, astroīdas, hipocikloīdas un apaļa);
- materiāla veids (vara vads, elektrovadošs pavediens vai vara folija),
- izgatavošanas tehnoloģija (manuāla vai mehanizēta: izšūšana, uzšūšana vai kodināšana).


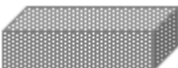
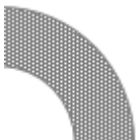
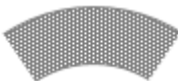

Eksperimentos izmantotajiem magnētiem ir atšķirīga (2.2. tab.) (2.2. att.):

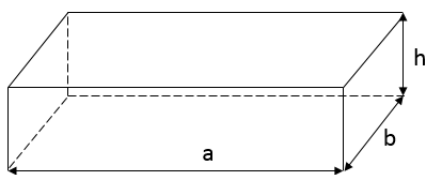
- forma (taisnstūra paralēlskaldnis, gredzena daļa);

- magnēta sastāvs (neodims vai itrijs);
- lineārie izmēri;
- magnētiskā lauka indukcija (no 0,1 T līdz 4 T);
- magnētiskā lauka struktūru (parasta vai dubulta – divi magnēti savienoti virknē tā, lai pretējie poli būtu vienā plaknē).

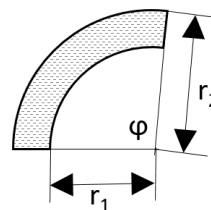
2.2. tabula

Magnētu raksturojums

Magnēta apzīmējums	Izmērs, mm	Magnētiskā lauka indukcija, T	Magnēta sastāvs	Piezīmes
1.magnēts 	8×5×3	0,37	Neodims (NdFeB)	
2.magnēts 	20×10×5	0,1	Itrijs (Y)	
3.magnēts 	gredzena 1/4 daļa $r_1=20$, $r_2=35$, $h=2$, $\varphi=90^\circ$	0,26	Neodims (NdFeB)	lokveida magnēts ar dubultu magnētiskā lauka struktūru (magnēta divi neodīma magnēti savienoti virknē tā, lai pretējie poli būtu vienā plaknē)
4.magnēts 	gredzena 1/6 daļa $r_1=28$, $r_2=43$, $h=1,7$, $\varphi=60^\circ$	0,4	Neodims (NdFeB)	
5.magnēts 	puse no 4.magnēta	0,2	Neodims (NdFeB)	



a



b

2.2. att. Magnētu formas: a - 1. un 2.magnēts - taisnstūra paralēlskaldnis, izmērs $a \times b \times h$;
b – 3.-5. magnēts gredzena daļa izmērs r_1 , r_2 , h , φ (autores attēls).

2.2. Mērīšanas un testēšanas metodes

2.2.1. Induktīvo elementu veidošanas tehnoloģija

Plakanas spoles iespējams izveidot piemērojot Arhimēda spirāli atbilstoši vienādojumam (2.1) vai citu vijumu veidošanas kārtību plaknē (atbilstoši vienādojumam (2.2) [208]), ievērojot divus nosacījumus: starp vijumiem nedrīkst veidoties elektriskais kontakts un nedrīkst mainīties vijumu uztīšanas virziens.

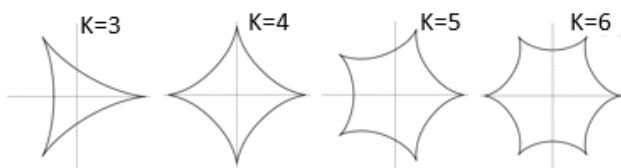
$$\begin{cases} x = r \cos \varphi \\ y = r \sin \varphi, \end{cases} \quad (2.1)$$

kur φ mainās no 0 līdz 2π .

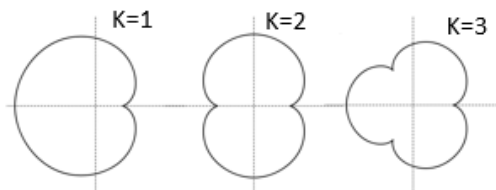
$$\begin{cases} x = r(k \mp 1) \left(\cos \varphi \pm \frac{\cos((k \mp 1)\varphi)}{k \mp 1} \right) \\ y = r(k \mp 1) \left(\sin \varphi - \frac{\sin((k \mp 1)\varphi)}{k \mp 1} \right), \end{cases} \quad (2.2)$$

kur $k = \frac{R}{r}$ un R - nekustīgās aplozes rādiuss, r —ritošās aplozes rādiuss.

Mainot konstantes k vērtību vienādojumā (2.2), var iegūt vairākas plakano spoļu variācijas ar viena tipa vijuma formu (2.3. un 2.4. att.).



2.3. att. Hipocikloīdas, spoles vijuma dizaina formas varianti (autores attēls).



2.4. att. Epicikloīdas, spoles vijuma dizaina formas varianti (autores attēls).

Elektromagnētiskā enerģijas pārveidotāja spole veidota vienā plaknē kā spirālveidīga struktūra ar pieaugošu liekuma rādiusu, izvietojot vijumus tā, lai tie nesaskaras. Vijumu izolācija vienam no otra ļauj novērst nevēlamo elektrisko kontaktu starp blakus vijumiem apgērba daļu kustības un deformācijas dēļ. Plakanā spoles ģeometrija nodrošina pārveidotāja minimālu tilpumu, līdz ar to iespējams to pilnībā ievietot apgērbā.

Pamateksperimentos izmantotas no vara vada Arhimēda spirāles formā manuāli uztītas spoles uz elastīgas un izolējošas pamatnes (neausta drāna ar adhēzijas slāni, 2.3. tab., 2.5. att.).



2.5. att. Vienslāņa spole (autores attēls).

2.3. tabula

Manuāli izgatavotas spoles raksturojums

Nr.p.k.	Izmērs, Ø mm	Vijumu skaits	Vara vada diametrs, mm	Slāņu skaits
1.	16	5	0,22	1
2.	16	10	0,22	1
3.	16	15	0,22	1
4.	16	20	0,22	1
5.	16	25	0,22	1
6.	36	75	0,22	1
7.	16	25	0,22	2
8.	8	27	0,1	2
9.	4	8	0,22	1
10.	5	9	0,22	1
11.	6	12	0,22	1
12.	8	16	0,22	1
13.	10	20	0,22	1
14.	12	26	0,22	1
15.	14	29	0,22	1
16.	15	32	0,22	1
17.	20	40	0,22	1
18.	25	50	0,22	1
19.	30	60	0,22	1
20.	35	72	0,22	1
21.	40	82	0,22	1
22.	45	91	0,22	1
23.	50	104	0,22	1
24.	60	123	0,22	1
25.	70	141	0,22	1
26.	80	158	0,22	1

Sagatavotas piecslāņu spoles (2.4. tab.), kas atšķiras viena no otras ar izolējošo slāni un aizsargpārklājuma veidu.

2.4. tabula

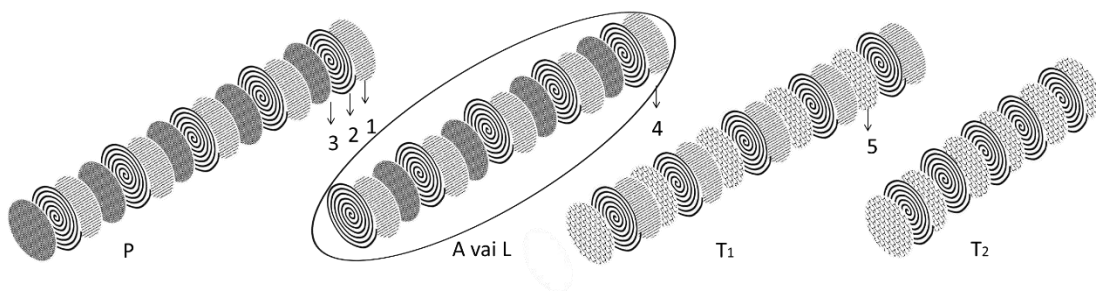
Spoles raksturojums

Spoles simbols	Spoles diametrs, mm	Vijumu skaits	Spoles slāņu skaits	Spoles biezums, mm	Aizsargpārklājuma veids	Paraugu skaits
A	25	50	5	2,6	divpusīgais aizsargpārklājums	6
L	25	50	5	2,7	laminēšana	3
P	25	50	5	2,5	primārais vada pārklājums	2
T1	25	50	5	2,3	termoplastiskais adhēzijas pārklājums	2
T2	25	50	5	1,8	termoplastiskais adhēzijas pārklājums	2

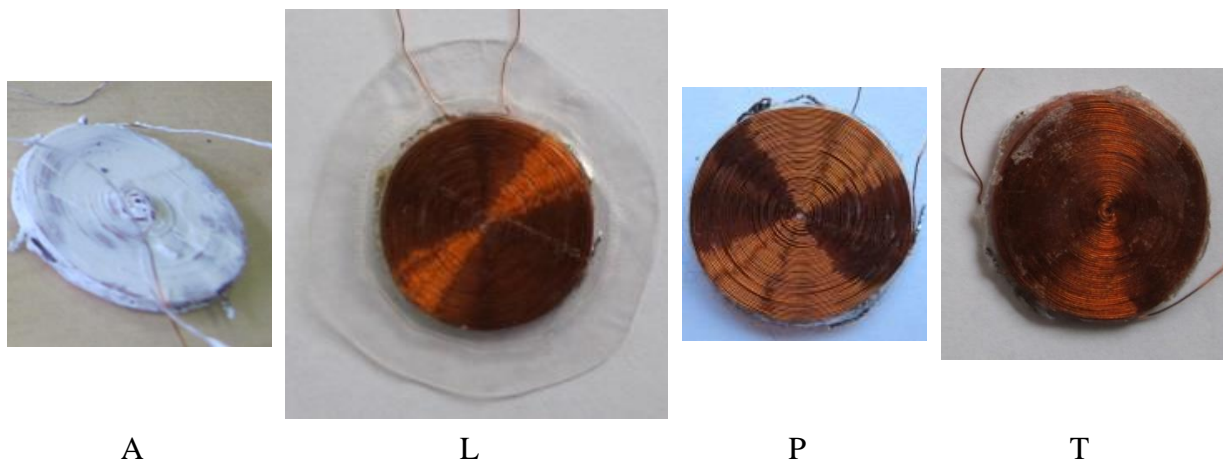
Aizsargpārklājums, kas nemaina biežumu un vienmērīgu struktūru ūdens iedarbības laikā, izveidots Materiālzinātnes un lietišķās ķīmijas fakultātē (RTU), un to nosaukumi un apraksts šobrīd ir komerciāls noslēpums. Izmantojot laminēšanas ierīces un 125 mikronu biezu laminēšanas plēvi, izgatavota spole ar divpusīgu aizsargpārklājumu. Termoplastiskais adhēzijas pārklājums izveidots, induktīvajam elementam uzklājot termoplastisko polimēra drānu (līmes tīmekli).

2.6. un 2.7. attēlā parādīta informācija par piecu slāņu spolēm ar dažādiem izolējošiem slāņiem, kas ir sagatavoti mazgāšanas testam:

- 1 – neausta, netermoplastiska drāna ar adhēzijas slāni;
- 2 – vara vada plakanā spole;
- 3 – plēve ar divpusīgo adhēzijas slāni;
- 4 – papild aizsargpārklājums – laminēšana vai aizsargpārklājums;
- 5 – termoplastiskais adhēzijas pārklājums (līmes tīmeklis).



2.6. att. Spoles slāņu veidi (autores attēls).




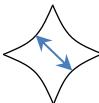

2.7. att. Induktīvais elements ar dažādiem aizsargpārklājumiem atbilstoši 2.4.tabulai (autores attēls).

Ir redzams, ka induktīvajam elementam ar laminēšanu (L) ir palielināts gabarītmērs. Induktīvie elementi ar termoplastisko adhēzijas pārklājumu T₁ un T₂ atšķiras pēc augstuma par 0,5 mm.

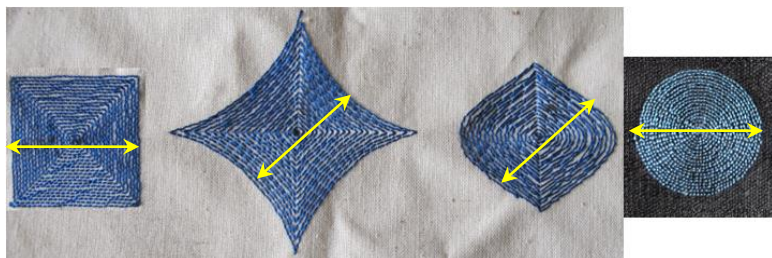
Pētījumā izveidoti induktīvie elementi (2.5. tab.) ar dažādajiem dizaina risinājumiem, izmantojot izšūšanas mašīnas (2.8. un 2.10. att.) un *PCB (Printed Circuit Board)* tehnoloģiju (2.12. att.).

2.5. tabula

Spolju ar dažādajiem dizaina risinājumiem raksturojums

Induktīva elementa forma	Izmērs, mm	Izgatavošanas tehnoloģija	Materiāla veids	Vijumu skaits
	25×25	izšūšana	elektrovadošs pavadīens	19
	platums 25			
	platums 25	izšūšana	elektrovadošs pavadīens	19
	Ø 25			
	Ø 25	uzšūšana	0,2 vai 0,3 mm vara vads	25 vai 50
	Ø 30	kodināšana/ PCB tehnoloģija	vara folija	

Elektromagnētiskā enerģijas pārveidotāja plakano induktīvo elementu automatizētā mašīnizšūšana veikta ar slēgdūriena *Brother PR600* izšūšanas mašīnu (2.9. att.). Pētāmo struktūru izšūšanai kā apakšējais spolītes diegs izmantots elektrovadošs pavadīens, lai tas būtu mazāk pakļauts vairākkārtējai mehāniskai iedarbībai. Izšūšana notiek, iespīlējot drānu izšūšanas rāmī.



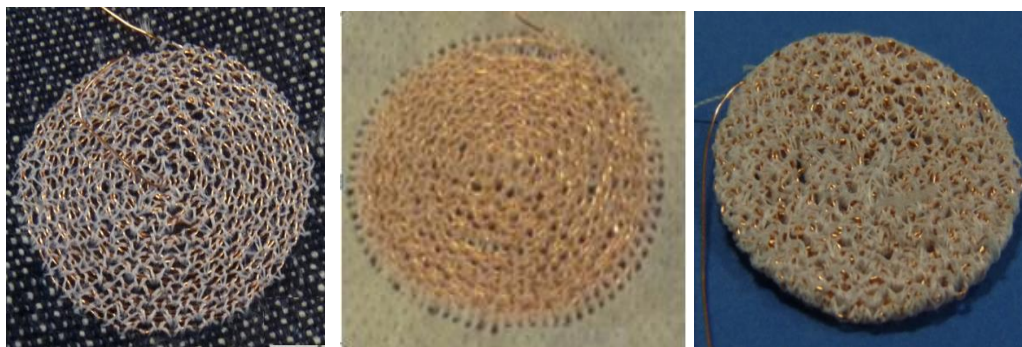
2.8. att. Automatizēti izšūtas plakanās spoles (taisnstūra, astroīdas, hipocikloīdas un spirālveida forma) (autore attēls).



2.9. att. Izšūšanas process (autors U. Briedis)

Vara vada plakano induktīvo elementu iespējams iegūt ne tikai manuāli, bet arī ar uzšūšanas tehnoloģiju, lietojot *SZK JCL 0100-585* automatizēto izšūšanas mašīnu. Uzšūšanas tehnoloģija ļauj izmantot elektrovadu (kas ir trauklāks par elektrovadošo pavadīenu), jo

uzšūšanas laikā elektrovadošs vads pakļauts mazākai slodzei, salīdzinot ar automatizēto izšūšanu. Elektrovadošs vads uz izšūšanas zonu padots atsevišķi ar speciālas pierīces palīdzību un piestiprināts pie drānas virsmas vai pie ūdenī šķīstoša palīgmateriāla ar zig-zag dūrieniem (2.10. un 2.11. att.). Spoles veidotas kā Arhimēda spirāles ar diametru 25 mm katra, un tās atšķiras ar vada diametru (0,2 mm un 0,3 mm) un vijumu skaitu (25 un 50).

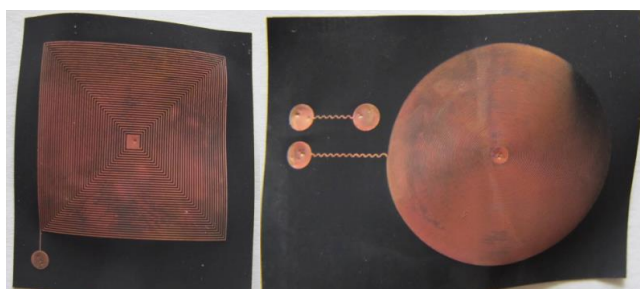


2.10. att. Automatizēti uzšūtas plakanās spoles (uz drānas virsmas un uz ūdenī šķīstoša palīgmateriāla pirms un pēc ūdens iedarbības) (autores attēls).



2.11. att. Uzšūšanas process (autore V. Mečnika)

Jāpiebilst, ka induktīvie elementi ar 50 vijumiem savstarpēji saskaras, rodas nevēlams elektriskais kontakts starp blakus vijumiem, jo elektrovadoša vada uzšūšanas laikā adata sabojā vijumu savstarpējo izolāciju. Šādas spoles nav iespējams izmantot strāvas inducēšanai, tādēļ tās netika izmantotas eksperimentos. Lai šo negatīvo efektu novērstu, eksperimentālā ceļā jāpiemeklē maksimāli pieļaujamais spoles vijumu skaits un tāds zig-zag dūriena platums, kas nodrošinātu ne vien vijumu izolāciju vienam no otra, bet arī vada primāro izolāciju.



2.12. att. Spoles ar PCB (*Printed Circuit Board*) tehnoloģiju (autores attēls).

Spolēs ar *PCB* tehnoloģiju spirālveida elements izveidots ar elektroķīmiskas kodināšanas tehnoloģiju uz lokanas dielektriskās pamatnes (2.12. att.).

Elektromagnētiskā enerģijas pārveidotāja testēšanai izmantoti piecu un četrus slāņu spirālveida indukcijas elementi. Daudzslāņu spoles izveidotas, salodējot virknē savienotas vienslāņa spoles, kas izvietotas viena virs otras ar vienādi vērstiem vijumu virzieniem un izolējošo slāni starp spolēm. Katras spoles diametrs ir 25 mm, un spoles vijumu skaits ir 50, vijumi veidoti no 0,22 mm diametra vara vada.

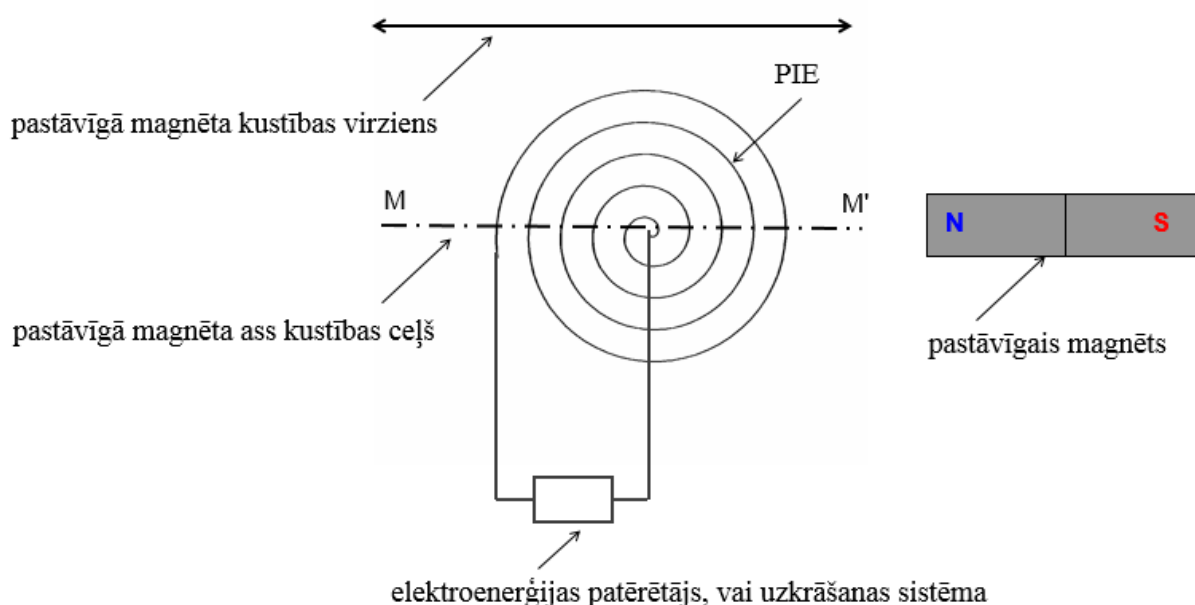
Izgatavotajām spolēm pārbaudīta:

- izmēru vai diametra atbilstība attiecīgajam vijumu skaitam manuāli uztītas spoles gadījumā. Manuāli veidotajām spolēm no 0.22 mm vara vada konstatēta noteikta sakarība - katram 5 mm diametra pieaugumam atbilst 10 spoles vijumi;
- elektriskās pretestības atbilstība. Bezgalīgi lielas spoļu pretestības vērtība norāda uz pārrāvumu vadā, bet samazināta pretestība (salīdzinot ar nesatīto vadu) – uz nevēlamo elektrisko kontaktu starp blakus vijumiem; šādas spoles atzītas par nederīgām un netika izmantotas eksperimentos.

2.2.2. Elektromagnētiskā enerģijas pārveidotāja darbības princips

Elektromagnētiskais enerģijas pārveidotājs ar plakānu struktūru darbojas pēc elektromagnētiskās indukcijas principa, pārveidojot cilvēka mehāniskās kustības elektroenerģijā. Elektromagnētiskais enerģijas pārveidotājs sastāv no plakana indukcijas elementa (spoles) un pastāvīga magnēta (2.13. att.).

Magnēta periodiskās kustības gar spoli paralēlā plaknē veido magnētiskā lauka periodiski mainīgu plūsmu, kas šķērso spoli un rezultātā rada elektrisko strāvu spolē.



2.13. att. Elektromagnētiskā enerģijas pārveidotāja sastāvdaļas (autore attēls).

Nepārtraukti mainīgu magnētiskā lauka plūsmu iespējams panākt, ja pastāvīgā taisnstūra magnēta ass (dienvidu-ziemeļu virziens) sakrīt ar magnēta kustības virzienu attiecībā pret

spoli. (2.13. att., taisne MM'). Šajā gadījumā ģenerējamās maiņstrāvas frekvence būs vienāda ar magnēta svārstību frekvenci (vienas spoles gadījumā), kas ir atkarīgs arī no magnētiskā lauka formas/struktūras. Lai magnētiskā lauka plūsmas izmaiņas ātrums katrā laika momentā magnētam pārvietojoties virs spoles būtu atšķirīgs no nulles, magnēta garumam ir jābūt tuvam vai jāsakrīt ar spoles ārējo diametru [237].

Plakanā elektromagnētiskā enerģijas pārveidotāja raksturlielumu noteikšana

Magnētam virzoties gar plakanajiem induktīvajiem elementiem (PIE) veidojas laikā mainīga magnētiskā lauka plūsma, kas inducē spolē indukcijas elektrodzinējspēku, kas savukārt, noslēgtas ķēdes gadījumā veido elektrisko strāvu.

Spolē inducētais elektrodzinējspēks (EDS) pēc Faradeja likuma vispārīgajā gadījumā ir atkarīgs no pilnās magnētiskā lauka plūsmas Φ_m izmaiņas ātruma, uzskatot, ka magnētiskā lauka indukcijas vektors ir perpendikulārs kontūram:

$$\mathcal{E} = \frac{d\Phi_m}{dt} = \frac{d(BS)}{dt} = S \frac{dB}{dt} + B \frac{dS}{dt} \quad (2.3)$$

Pieņemsim, ka magnēta magnētiskais lauks ir homogēns un tā izmaiņa laikā $\left(\frac{dB}{dt}\right)$ ir vienāda ar 0, tad EDS būs atkarīgs tikai no magnētiskā lauka šķērsotā laukuma izmaiņu straujuma:

$$\mathcal{E} = B \frac{dS}{dt} \quad (2.4)$$

kur \mathcal{E} - induktorā inducētais elektrodzinējspēks [V],

B – magnētiskā lauka indukcija [T],

S – magnētiskā lauka līniju šķērsotais laukums [m^2],

t – laiks [s].

Magnētiskā lauka līniju šķērsotā laukuma daļas izmaiņas ātrums ir atkarīgs no tās ģeometriskās formas un magnēta kustības ātruma.

Eksperimenta laikā noteikts inducētais spriegums uz PIE virknē savienotās rezistīvās slodzes (2.14.att., slodzes pretestība vienāda ar PIE pretestību). Atbilstoši Džoula-Lenca likumam, **enerģijas daudzums**, kas izdalās slodzē siltuma veidā, ir:

$$dW = Pdt = \frac{U^2}{R} dt \quad (2.5)$$

kur $P=U^2/R$ – momentānā attīstītā jauda,

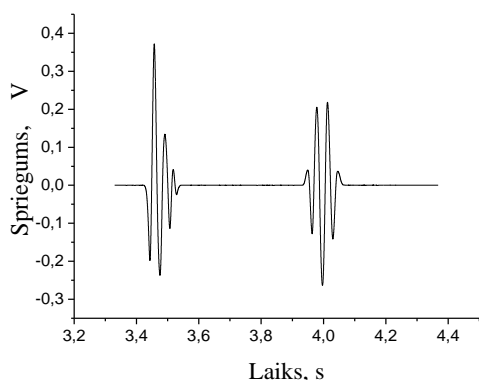
U – spriegums uz PIE [V],

R – ģenerējošā vijuma (slodzes) pretestība [Ω] (2.14. att.).

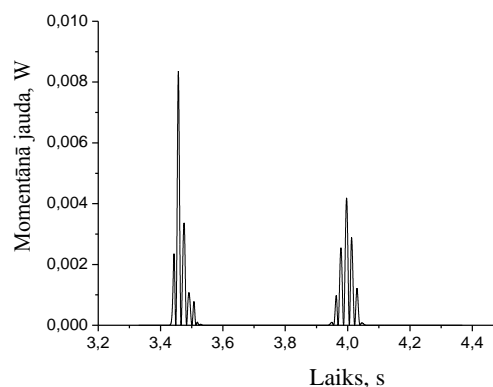
Summārā **enerģija**, kas impulsa laikā izdalās slodzē ir:

$$W = \int Pdt = \int \frac{U^2}{R} dt \quad (2.6)$$

Atbilstoši 2.15. attēlam, W ir vienāda ar laukumu, kuru ierobežo P līkne un laika ass.



2.14. att. Plakanā induktīvā elementā ģenerētais elektrodzinējspēks (autores attēls).



2.15. att. Pārveidotāja attīstītā momentānā jauda (autores attēls).

Lai raksturotu enerģijas pārveidotāju prototipā, noteikta vidējā attīstītā jauda kā ģenerētā enerģija cilvēkam soļojot ar nemainīgu kustības ātrumu, dalīta ar kustības laiku.

Attīstītā **jauda** [W] aprēķināta kā vidējā momentānās jaudas vērtība laika periodā:

$$P = \frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} P dt = \frac{W}{\tau} \quad (2.7)$$

Lai raksturotu attīstīto jaudu noteikts **jaudas blīvums** [W/cm³] tilpuma vienībā:

$$w = \frac{P}{V} \quad (2.8)$$

kur V – elektromagnētiskā enerģijas pārveidotāja tilpums [cm³], kas ir spoles un magnēta summārais tilpums [238].

Spoles tilpums, kas aprēķināts pēc formulas:

$$V_{sp} = \frac{\pi D^2 h}{4} \quad (2.9)$$

kur $\pi = 3,14$, D - spoles diametrs [cm], h - spoles augstums [cm].

Magnēta tilpums taisnstūra magnēta gadījumā:

$$V_m = lbh \quad (2.10)$$

kur l – garums [cm], b – platums [cm], h – augstums [cm],
lokveida magnēta gadījumā:

$$V_m = \pi h(r_2 - r_1) \quad (2.11)$$

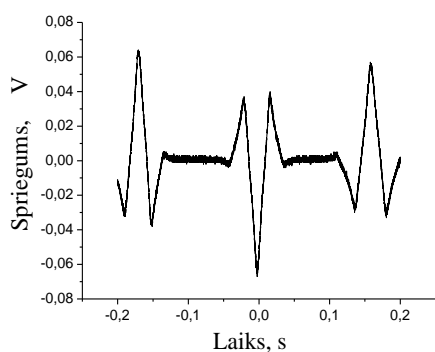
kur h – augstums [cm], r - rādiuss [cm].

Lietderības koeficients jeb efektivitāte (ģenerētā enerģija kā magnēta kinētiskās enerģijas daļa, izteikta procentos)

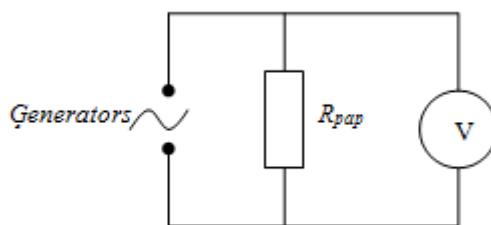
$$k = \frac{2W}{mv^2} 100 \quad (2.12)$$

Fizikālo lielumu mērīšanas metodes realizētas divējādi :

- tukšgaitas/elektrodzinējspēka (EDS) režīmā ($R_{pap} = \infty$, $I = 0$, $P = 0$). Enerģijas avotam pieslēgtas elektroiekārtas darbības režīms, kurā tās atdotā jauda ir vienāda ar nulli [239];
- rezistīva/maksimālās jaudas režīmā ($R_{pap} = R_{spole}$, P_{max}). Izdalītā jauda ir maksimāla pie nosacījuma ka slodzes pretestība (R_{pap}) ir vienāda ar spoles pretestību (2.16. att).



a



b

2.16. att. Spriegums uz R_{pap} (a) un eksperimentu shēma (b) (autores attēls).

2.6. tabula

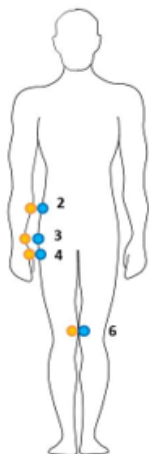
Eksperimentu vispārinātais raksturojums

Eksperimenta nosaukums	Eksperimenta nosacījumi	Apakšnodaļa	
Sprieguma atkarība no spoles vijumu skaita	Izmantotas spoles ar nemainīgu ārējo diametru un dažādu vijumu skaitu. Magnēts šķērso katru spoli atsevišķi. Sprieguma impulsi fiksēti <i>EDS režīmā</i> .	3.1.1.	EMP konstrukcijas elementu pētījumi
Sprieguma atkarība no slāņu skaita PIE un tā novietojuma	A. Sprieguma impulsi fiksēti <i>EDS režīmā</i> . Magnēts šķērso atsevišķi: 1. Vienslāņu spoles un divu slāņu spoles 2. a) četru slāņu spoles un b) divas divslāņu spoles, kuras novietotas blakus 3. n-slāņu spoles, kur $n = 1 - 4$ B. Sprieguma impulsi fiksēti <i>rezistīva režīmā</i> . Divas vienslāņu spoles. Magnēts šķērso katru spoli atsevišķi, novietojot spoles blakus vienu otrai, kā arī novietojot vienu virs otras.	3.1.2.	
Sprieguma atkarība no attāluma starp spoli un magnētu	Sprieguma impulsi fiksēti <i>EDS režīmā</i> . Mainot attālumu par 2 mm, magnēts šķērso divslāņu spoli.	3.1.3.	
Pārveidotāja efektivitātes salīdzinājums	Sprieguma impulsi reģistrēti uz <i>rezistīvās slodzes</i> . Izmantoti dažādas formas izšūtie, PBC tehnoloģijas un uzšūtie induktīvie elementi	3.1.4.	
Sprieguma atkarība no attāluma starp divām spolēm un pieslēguma veida	Sprieguma impulsi fiksēti <i>rezistīva režīmā</i> . Magnēts vienas kustības laikā šķērso divas spoles secīgi, vienu pēc otras. Spolēs savienotās virknē vai savā starpā nesavienotās. Mainot attālumu starp spoļu malām no 0 mm līdz divu kopā savienotu magnētu dubultam garumam.	3.2.	EMP parametru optimizācija
Jaudas atkarības no spoles un magnēta izmēriem	Sprieguma impulsi fiksēti <i>rezistīva režīmā</i> . Izmantotas spoles ar mainīgu ārējo diametru un dažādu vijumu skaitu. Magnēts šķērso katru spoli atsevišķi.	3.2.	
Sprieguma impulsi	Sprieguma impulsi fiksēti <i>rezistīva režīmā</i> .	3.2.	

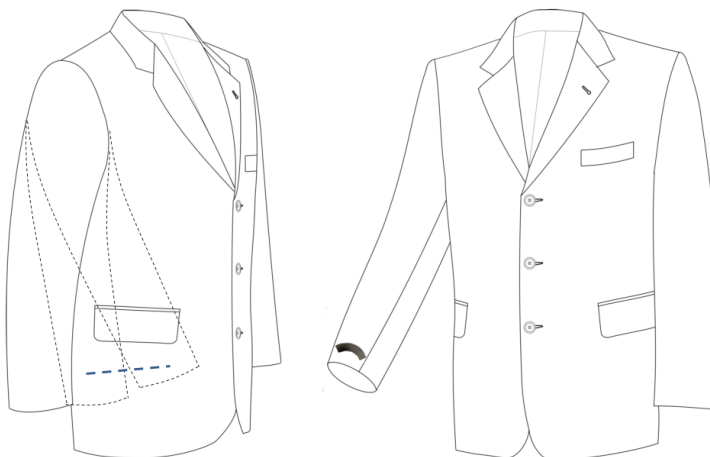
Eksperimenta nosaukums	Eksperimenta nosacījumi	Apakšnodaļa	
atkarībā no attāluma starp spolēm un spoļu savienojuma veida	Magnēts šķērso divas virknē savienotas spoles viena magnēta kustības ceļā. Spoļu savienojumi: ģenerētiem sprieguma impulsiem ir vienāda vai pretēja polaritāti. Izmantots mehāniskais stends magnēta kontrolētai kustībai.		
Elektromagnētiskā enerģijas pārveidotāja ievietošana žaketē	Pārveidotāja elementi ievietoti sānos un piedurknēs plaukstas pamata līmenī, saglabājot simetriskumu. Testēšana veikta: <i>EDS</i> un <i>rezistīva režīmā</i> ar dažādiem fiksētiem testpersonas soļošanas ātrumiem, līdzsvarotu (sabalansētu) kustību un nelīdzsvarotu (nesabalansētu) kustību.	3.3.1.	EMP testēšana
Iespējamo elektromagnētiskā enerģijas pārveidotāja ievietošanas vietu analīze un testēšana	Testēti vīriešu un sieviešu apģērbi un komplekts (jostas somas un noņemamas aproces) ar dažādam EMP izvietošanas vietām. Testēšana veikta <i>rezistīva režīmā</i> ar dažādiem fiksētiem testpersonas soļošanas ātrumiem.	3.3.2	
Maksimāli pieļaujamais spoļu skaits ievietošanai vējjakā	Četras piecslāņu spoles. Spoļu savienojums: virknē, ģenerētiem sprieguma impulsiem ir pretēja polaritāte un attālums starp spoles malām 0 mm. Mainīta spoles pozīcijas attiecībā pret vējjakas sānu vīli. Sprieguma impulsi fiksēti <i>rezistīva režīmā</i> .	3.3.2.	

Elektromagnētiskā enerģijas pārveidotāja ievietošana apģērbā un testēšana

Uz apģērba enerģijas pārveidotāja daļu plānotajās ievietošanas vietās (2.17. att.) piestiprināti magnēti ar marķieriem, ar kuru palīdzību, imitējot cilvēka soļošanu, apzīmēta magnētu kustības trajektorija (2.18. att.). Iegūtā magnēta trajektorijas līkne atbilst EMP induktīvo elementu centru novietojumam.



2.17. att. Elektromagnētiskā enerģijas pārveidotāja detaļu izvietošanas vietas (autores attēls).



2.18. att. Magnēta trajektorijas līkne žaketē (autores attēls).

EMP elementu kustības ātrumu mērīšana

Lai noteiktu EMP elementu kustības ātrumus soļošanas laikā Vaivaru rehabilitācijas centrā "Gaitas analīzes laboratorijā" izmantota kustību notveršanas (*motion capture*) tehnoloģija - *Qualisys* sistēma (kameru parametri: *ProReflex MCU 240 Motion Capture*).

EMP elementu kustības analīzei nepieciešamie dati iegūti piestiprinot vieglus, sfēriskus, infrasarkanā starojuma atstarojošus marķierus uz cilvēka ķermeņa pie raksturīgajiem anatomiskajiem punktiem (2.19. att.). Sešas infrasarkanās gaismas kameras raida infrasarkanā staru un uztver no reflektējošiem marķieriem atstaroto infrasarkanā gaismas kūli. Datorā reģistrētas atstarojošo marķieru trīs (x, y, z) koordinātes laikā [240].



2.19. att. Reflektējošo marķieru izvietojums uz ķermeņa (autores attēls).

Mazgāšanas procedūru raksturojums

Mazgāšana mājas apstākļos veikta saskaņā ar ISO 6330:2012 standartu [241].

Mazgāšanas procedūras raksturojums:

- izmantota automātiskā priekšējās ielādēs A tipa veļas mašīna, ūdens temperatūra – 40 °C mazgāšanas cikla ilgums – 70 minūtes, izmantojot mazgāšanas līdzekli *Persil Color Gel*, auksto skalošanas ciklu un izmazgātā parauga mehānisku ūdens aizvadīšanu;
- žāvēšana veikta istabas temperatūrā (22 ± 2) °C.

Visas spoles pirms mazgāšanas ievietotas žaketēs.

Induktīvā elementa **elektriskās pretestības mērījumi** veikti izmantojot divkontakta digitālo multimetru *Velleman DVM860BL* (2.20. att.).

Izgatavotajām spolēm pārbaudīta elektriskās pretestības atbilstība pirms un pēc viena, pieciem un 10 mazgāšanas un žāvēšanas cikliem.



2.20. att. Elektriskās pretestības mērīšana (autores attēls).

EMP elektriskā sprieguma mērīšana un datu reģistrēšana veikta ar digitālo osciloskopu *Tektronix TDS 2014* un *Picoscope 2205*, lai novērotu elektriskā sprieguma maiņu konkrētā laika posmā.

Izmantojot *OriginPro* 8.5 un *Excel* datorprogrammas tika veikta apgērbā ievietotā enerģijas pārveidotāja eksperimentālo pētījumu **datu apstrāde**, kā arī ģenerētās enerģijas un jaudas aprēķini un statistiskā analīze, datu grafiskā vizualizācija un citas darbības.

3.pielikumā dots elektromagnētiskā enerģijas pārveidotāja raksturlielumu un tā precizitātes aprēķinu piemērs.

3. REZULTĀTI UN DISKUSIJAS

Līdz šim piedāvātie mehāniskās enerģijas pārveidotāji ir trīsdimensionālas ierīces, kas nav pieņemamas integrēšanai apgērbā. Aizvietojot tradicionālo cilindrisko induktīvo elementu (spoli) enerģijas pārveidotājā ar plakānu spirālveidīgu spoli un tradicionālo magnēta kustību spolē vai spoles kustību magnētā ar magnēta kustību gar plakānu induktīvo elementu (nešķērsojot tās plakni) ir iespējams izveidot cilvēka kustību mehāniskās enerģijas pārveidotāju no plakānas struktūras elementiem, kas pilnībā integrējams kustīgās apgērba daļās [241].

Nodaļā aprakstīti izstrādes, optimizācijas un testēšanas attīstības procesi apgērbā ieviejamajam enerģijas pārveidotājam ar plakānu arhitektūru, kas pārveidotu cilvēka kustību mehānisko enerģiju elektriskajā, pētīta elektromagnētiskā enerģijas pārveidotāja ar plakānu struktūru integrēšanas iespējas apgērbā.

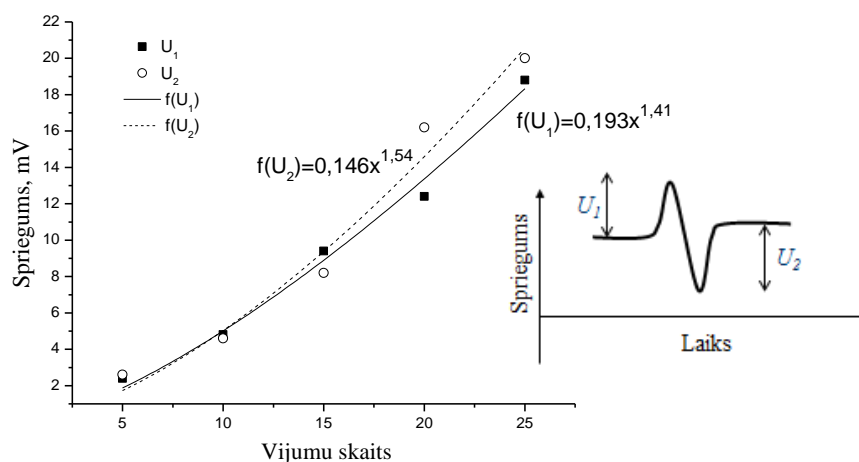
3.1. Elektromagnētiskā pārveidotāja konstrukcijas elementu pētījumi

Sākotnēji veikta enerģijas pārveidotāja spolēs ģenerētā sprieguma analīze EDS režīmā. Ģenerētās enerģijas un attīstītās jaudas mērījumi veikti atkarībā no:

- spoles vijumu skaita,
- attāluma (biezuma) starp spoli un magnētu,
- spoles slāņu skaita un novietojuma.

3.1.1. Sprieguma atkarība no spoles vijumu skaita

Eksperimentā pētīta iespēja palielināt ģenerējamo spriegumu, palielinot vijumu skaitu vienā spolē. Izmantotas spoles ar nemainīgu ārējo diametru un atšķirīgu vijumu skaitu (2.3. tab., 1.-5. spoles). Mainīga magnētiskā lauka veidošanai izmantots 2. magnēts (2.1. tab.). Magnēts šķērsoja katru spoli atsevišķi. Sprieguma impulsi fiksēti EDS režīmā.



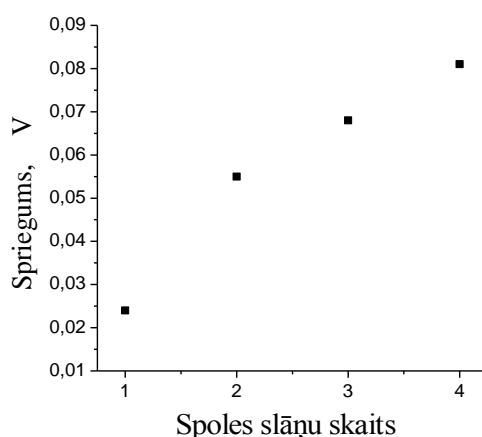
3.1. att. Sprieguma impulsu amplitūdas atkarība no spoles vijumu skaita un ģenerētā sprieguma impulsa shēma (autores attēls).

Novērota sprieguma atkarība no vijuma skaita gan augšējā U_1 , gan apakšējā U_2 impulsa daļā *pakāpes funkcijas* veidā, kur x ir vijumu skaits spolē (3.1. att.). Tādējādi pilnam impulsam ir līdzīga atkarība, palielinot vijumu skaitu no 5 līdz 25 ģenerētais spriegums pieaug nelineāri, jo pieaug magnētiskā lauka šķērsotā kontūra laukums. U_1 un U_2 nedaudz atšķiras, kas ir izskaidrojams ar magnētu nehomogenumu.

3.1.2. Sprieguma atkarība no slāņu skaita plakanajā induktīvajā elementā un tā novietojuma

Eksperimentā pētīta iespēja palielināt ģenerējamo spriegumu, palielinot spoļu skaitu, izvietojot tās vienu virs otras (ar izolējošu slāni starp tām), vai novietojot blakus tādā veidā, lai magnēts kustības laikā pārvietotos virs tām secīgi. Izmantotas četras spoles ar noteiktu diametru un ar fiksētu vijumu skaitu katrā (2.3. tab., 5. spole). Mainīga magnētiskā lauka veidošanai izmantoti taisnstūra pastāvīgie 1. un 2. magnēti (2.1. tab.). Sprieguma impulsi fiksēti EDS režīmā. Tika realizēti sekojoši eksperimenti:

- Vienslāņu un divu slāņu spoles šķērso 2. magnēts, - katru spole atsevišķi. Novērots, ka divu slāņu spole parādīja praktiski divreiz lielāku spriegumu: vienam slānim $U_{1\text{slāņu}} = 19,4 \text{ mV}$ un diviem slāņiem attiecīgi $U_{2\text{slāņu}} = 40,4 \text{ mV}$.
- 1. magnēts šķērso atsevišķi:
 - a) četru slāņu spoles un
 - b) divas divslāņu spoles, kuras novietotas blakus. Labākais spriegums iegūts divām divslāņu spolēm, novietojot tās blakus. Četru slāņu spolei rādītāji bija zemāki, tā, piemēram, četru slāņu spirāle parādīja 1,7 reizes mazāku spriegumu ($U_{4\text{slāņu}} = 0,08 \text{ mV}$), nekā divslāņu virknē savienotām spolēm ($U_{2\text{slāņu virkne}} = 0,14 \text{ mV}$).
- Magnēta plūsma šķērso vienlaicīgi visas virknē savienotās spoles, kas novietotas viena virs otras. Kopējā ģenerētā sprieguma vidējās vērtības atkarība no spoļu slāņu skaita parādīta 3.2. attēlā.



3.2. att. Sprieguma impulsu amplitūda kā spoļu slāņu skaita funkcija (autores attēls).

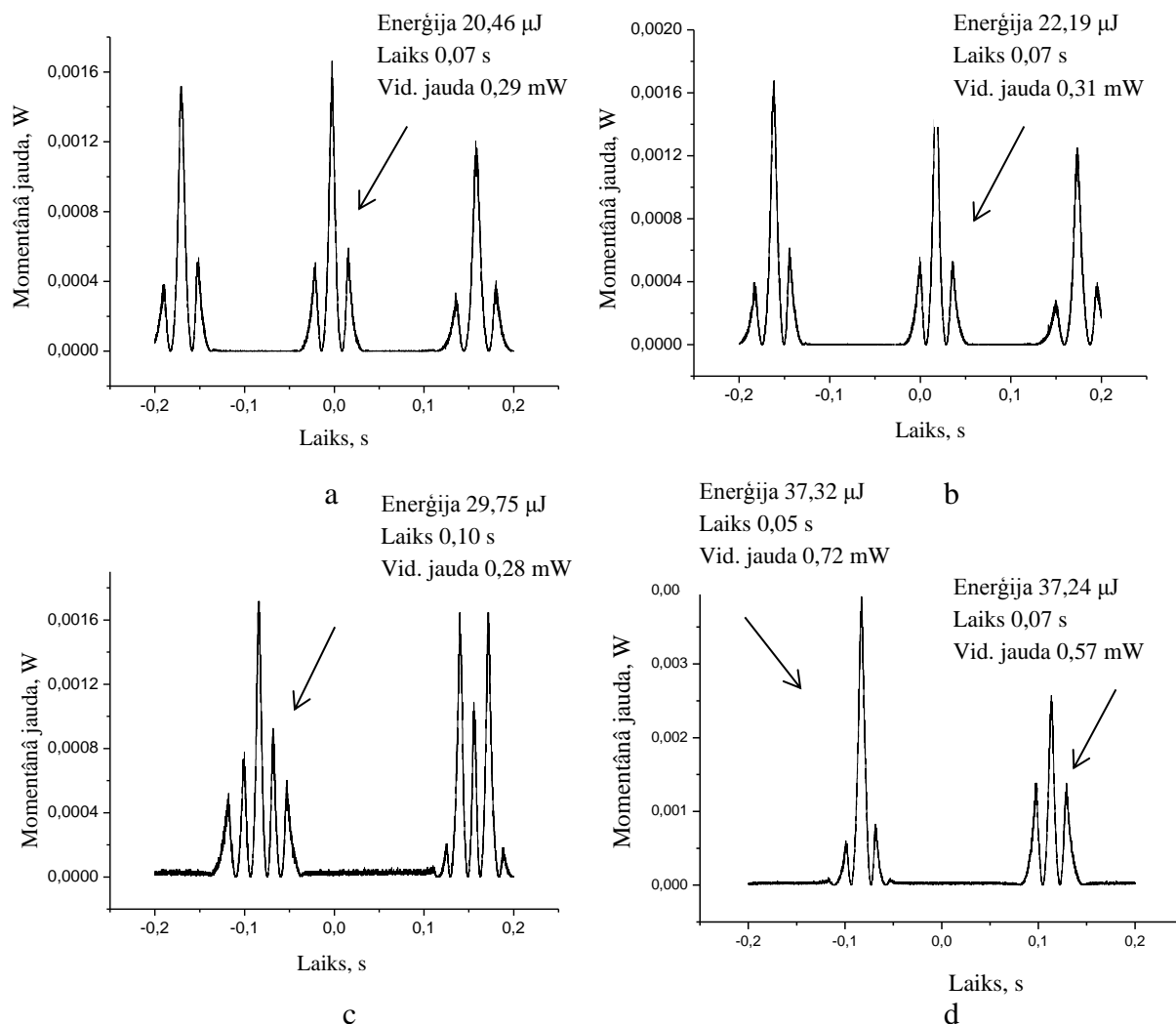
Vairākas savā starpā virknē savienotas plakanās spoles var būtiski palielināt šāda enerģijas pārveidotāja lietderību. Kā slāņu skaitu ierobežojošus faktorus var minēt konstrukcijas svāra un biezuma palielināšanos.

Veikti mērījumi divām 6. spolēm (2.3. tab.). Mērījumi veikti katrai spolei atsevišķi, novietojot spoles blakus vienu otrai, kā arī novietojot vienu virs otras.

Spolēm izmērīta pretestība (6.1. spolei – $2,7\ \Omega$, 6.2. spolei $2,6\ \Omega$) un sprieguma impulsi fiksēti rezistīva režīmā.

Pastāvīgais taisnstūra magnēts tika virzīts gar spoli tā, lai magnēta N-S virziens būtu paralēls tā kustības virzienam un sakristu ar spoles diametru (2.3. att.). Lai saskaņotu spoles un magnēta izmērus divi 2. magnēti savienoti kopā jo maksimālais plūsmas izmaiņas ātrums tiek sasniegts, ja spoles un magnēta izmēri kustības virzienā ir vienādi.

Magnēta kustības laikā spoles vijumu ierobežoto laukumu šķērsoja laikā mainīga magnētiska lauka plūsma, elektromagnētiskās indukcijas ģenerētais EDS reģistrē ar voltmētru. Pēc Džoula-Lenca likuma noteikta momentānā jauda (2.5). Grafiski integrējot, aprēķināta kopējā enerģija W (2.6), kas siltuma veidā impulsa laikā izdalās papildpretestībā (3.3. att.).

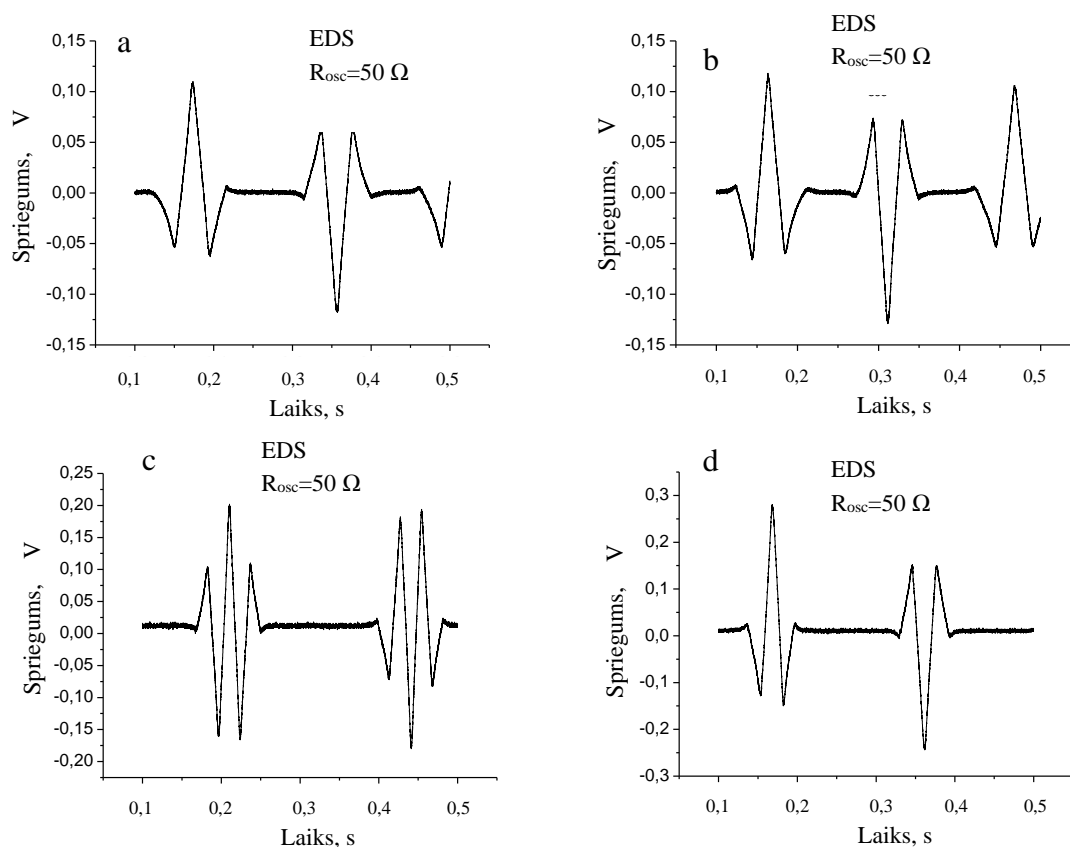


3.3. att. Jaudas grafiki: a - 6.1. spole, b - 6.2. spole, c- divas spoles blakus, d- divas spoles viena virs otras (autores attēls).

Tā kā spoles uztītas manuāli, to ģenerētās jaudas un kopējās enerģijas rādītāji nav identiski, bet mērījumu rezultāti kopumā ir līdzīgi (3.3. att. a, b). Vidējā jauda aprēķināta, dalot ģenerēto enerģiju ar impulsa laiku sakarā ar vienādojumu (2.7).

Pārveidotāja kopējās jaudas palielināšanai apvienotas divas spoles, izvietojot tās vienu otrai blakus (3.3. att. c) tā, lai magnēts secīgi šķērsotu sākumā 6.1. spoli, pēc tam 6.2. spoli (attālums starp spoļu malām ap 2 mm). No attēla var redzēt, ka, pieaugot magnēta kustības laikam (impulsa laiks), kopējā enerģija pieaug par 40 % salīdzinājumā ar vienas spoles ģenerēto, bet vidējā jauda samazinās par 7 %. Tas var būt saistīts ar neoptimizēto attālumu starp spolēm pie šāda izvietojuma, jo magnētam izejot no 6.1. spoles, vienlaicīgi veidojas plūsma pretējā virzienā 6.2. spolē.

Otrais testētais spoļu izvietojuma veids - viena spole virs otras (3.3. att. d). Šajā gadījumā spolēs vienlaicīgi veidojas mainīga magnētiskā lauka plūsma un atbilstošais EDS. Tā kā augšējā spole (tuvāk magnētam) daļēji ekranē magnētisko lauku, izdalītā enerģija ir mazāka, nekā aritmētiski saskaitot divu spoļu ģenerēto enerģiju, bet aprēķinātā jauda- stipri lielāka, jo papildus divu spoļu darbībai bija nedaudz mazāks impulsa laiks.



3.4. att. Sprieguma grafiki: a - 6.1. spole, b - 6.2. spole, c - divas spoles blakus, d- spoles divos slāņos (autores attēls).

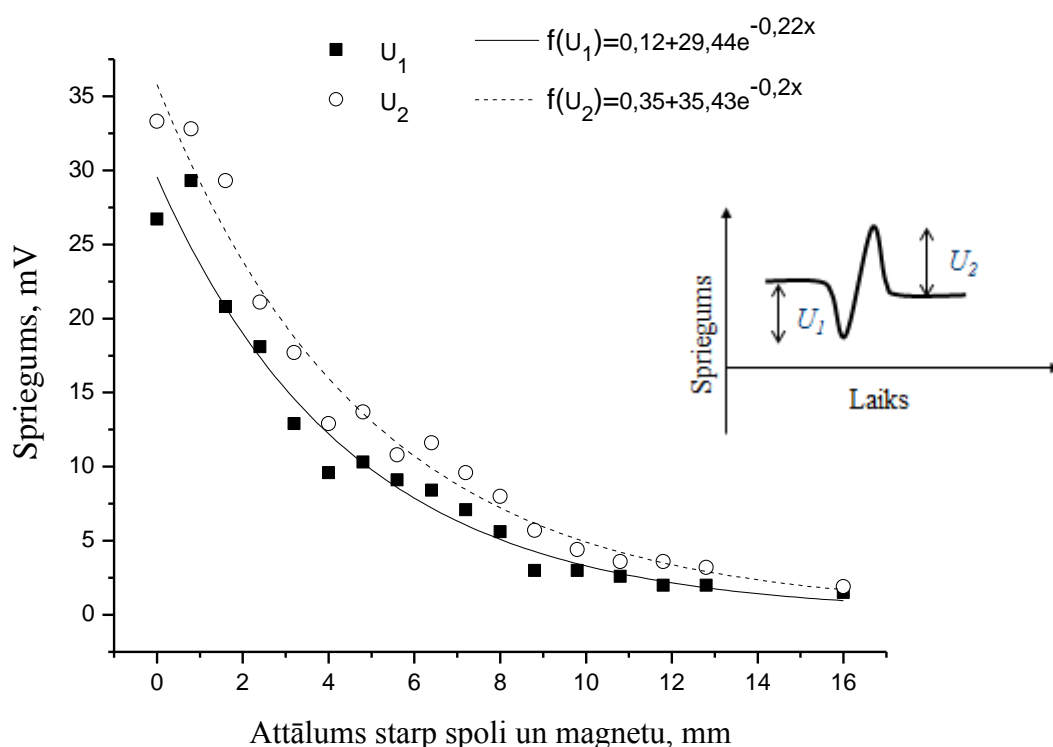
Eksperimenta rezultāti ar tām pašām spolēm, bet bez papildpretestības redzami 3.4. attēlā. Šajā slēgumā osciloskopā reģistrētais spriegums ir vienāds ar spolē inducēto EDS, jo $R_{spolei} \ll R_{osc}$.

No attēliem var redzēt, ka vienas spoles ģenerētais spriegums ir aptuveni 2 reizes mazāks nekā tad, ja spolēs novietotas blakus vai divos slāņos, kuru spriegumi savukārt atšķiras par 14 %.

3.1.3. Sprieguma atkarība no attāluma starp spoli un magnētu

Eksperimentā izmantotas divu slāņu spoles (2.3. tab., 7. spole) un 2. magnēts (2.1. tab.). Mainot attālumu par 2 mm, magnēts šķērso divslāņu spoli. Kopējā ģenerējamā sprieguma vērtības atkarība no attāluma starp spoli un magnētu parādīta 3.5. attēlā.

Novērotā sprieguma atkarība no attāluma starp spoli un magnētu gan augšējā, gan apakšējā impulsa daļā aprakstīta ar eksponentfunkciju. Lai palielinātu šāda enerģijas pārveidotāja lietderību magnētam ir jāpārvietojas gar spoli pēc iespējas tuvāk.



3.5. att. Sprieguma impulsu amplitūda kā attāluma funkcija starp spoli un magnētu un ģenerētā sprieguma impulsa shēma (autores attēls).

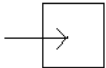
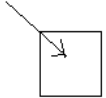
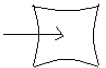

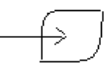

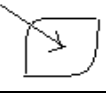
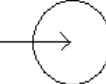
3.1.4. Pārveidotāja efektivitātes salīdzinājums izmantojot dažādas formas un dažādos veidos izgatavotus induktīvos elementus

Ar elektromehānisko manipulatoru 5. magnēts (2.1. tab.) ar kontrolējamu ātrumu tika pārvietots gar PIE (2.4. tab.). Ierosinātie sprieguma impulsi reģistrēti uz rezistīvās slodzes. Lai uzzinātu, kā pārveidotāja efektivitāti ietekmē spoles ģeometriskās formas, izgatavošanas tehnoloģija un magnēta kustības virziens gar spoli, tiek salīdzināta attīstītā jauda PBC tehnoloģijās, uzšūtiem induktīviem elementiem un dažādas formas spirālveida izšūtiem

induktoriem. Skaitliskās vērtības ir apkopotas 3.1., 3.2. un 3.3. tabulā. Par pārveidotāja efektivitātes kritēriju izvēlēts jaudas vērtības lielums.

3.1. tabula

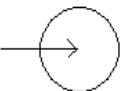
Eksperimentāli noteiktie izšūto induktīvo elementu darbības parametri

Spoles forma un magnēta kustības virziens	Vijumu blīvums, līn./mm	Pretestība R_{st} , Ω	Vidēja enerģija, μJ	Vidējais laiks, s	Vidēja jauda, μW
	1,5	8,8	1,99	0,088	22,69
			1,16	0,081	14,64
	1,5	10,1	2,05	0,073	28,28
			1,38	0,062	22,46
	1,5	8,0	2,18	0,071	31,11
			1,94	0,074	26,60
			1,41	0,080	18,00
	1,5	8,3	2,21	0,075	29,84

Izšūtajām spolēm ir mazāks vijumu skaits nekā manuāli izgatavotajai spolei un salīdzinoši liela iekšējā pretestība, tādēļ enerģijas un jaudas vidējas vērtības nav lielas, salīdzinot ar manuāli izgatavoto spoli. Pārvietojot magnētu pa diagonāli, vidēja enerģija un jauda samazinās.

3.2. tabula

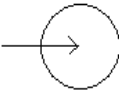
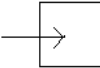
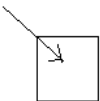
Eksperimentāli noteiktie nošūto induktīvo elementu darbības parametri

Spoles forma un magnēta kustības virziens	Vara vada diametrs, mm	Pretestība R_{st} , Ω	Vidēja enerģija, μJ	Vidējais laiks, s	Vidēja jauda, μW
	0,2	0,70	6,62	0,072	91,25
	0,3	0,47	6,55	0,076	86,09

Uzšūtajām spolēm enerģijas un jaudas vērtības ir mazākas nekā manuāli izgatavotai spolei, kas ir izskaidrojams ar to, ka šādai spolei ir divas reizes mazāks vijumu skaits. Uzšūtajām spolēm jaudas vērtības ievērojami pārsniedz izšūto induktīvo elementa jaudu.

3.3. tabula

Eksperimentāli noteiktie induktīvo elementu, kas iegūti ar *PCB* tehnoloģiju, darbības parametri

Spoles forma un magnēta kustības virziens	Spoles veids un parametri	Vidējā enerģija, μJ	Vidējais laiks, s	Vidējā jauda, μW
	Manuāli uztīta spole ar diametru 3 cm un vijumu skaitu 60. $R = 2,2 \Omega$	113,82	0,130	875,54
	Spirālveidīga spole ar <i>PCB</i> tehnoloģiju ar diametru 3 cm. $R = 116 \Omega$	4,31	0,146	29,62
	Taisnstūra spole ar <i>PCB</i> tehnoloģiju. $R = 10,1 \Omega$	6,35	0,126	50,39
		9,41	0,116	81,12

PCB tehnoloģijas spolei jaudas vērtības ir ievērojami mazākas nekā no vada manuāli veidotai spolei, jo tai ir ļoti liela iekšējā pretestība ļoti mazā vadu šķērsgriezuma dēļ. Rezultātā sprieguma vērtības ir augstākas (maksimums vienai spolei – 200 mV), savukārt izdalītās enerģijas daudzums – mazāks. Manuāli veidotai spolei ir lielāka attīstītā jauda (praktiski 30 reizes augstāka, savstarpēji salīdzinot divas apaļas spoles), savukārt ģenerētais spriegums ir ar zemāku vidējo vērtību (maksimums – ap 120 mV). Tomēr jāatzīmē, ka taisnstūra *PCB* variantā spolei pretestība 11 reizes mazāka nekā apaļas variantā, turklāt vidējo enerģiju un jaudu var 1,5 reizes palielināt, pārvietojot magnētu pa diagonāli.

3.2. Elektromagnētiskā pārveidotāja parametru optimizācija

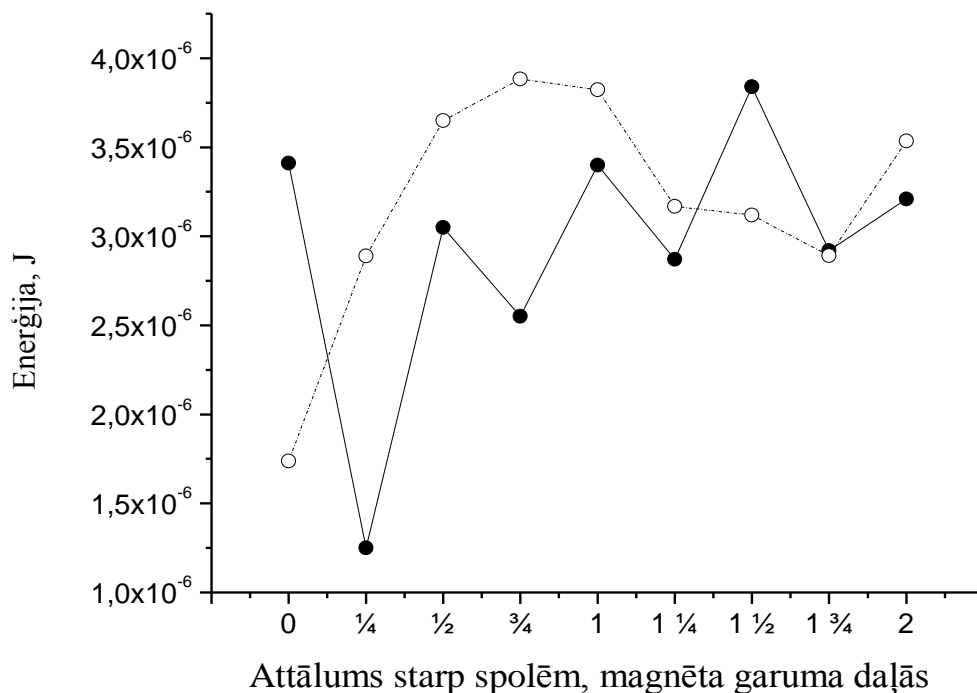
Lai optimizētu pārveidotāja parametrus nodrošinot maksimāli lielu ģenerēto jaudu uz tilpuma vienību, pētījumi turpināti mainot spoļu pieslēguma un savienojuma veidu, spoļu slāņu skaitu un to savstarpējo izvietojumu.

Sprieguma atkarība no attāluma starp divām spolēm un pieslēguma veida

Lai optimizētu vidējo jaudu eksperimentā (3.6. att.) ir pētīta iespēja izvietot divas spoles tā, lai magnēts vienas kustības laikā šķērsotu tās secīgi, vienu pēc otras un mainīga magnētiskā lauka plūsma vispirms veidotos pirmajā spolē, bet pēc tam – otrajā. Eksperimentā izmantots 4. magnēts un divas divslāņu spoles (2.3. tab., 8. spole). Mainot attālumu starp spoļu malām no 0 līdz divu kopā savienotu magnētu dubultam garumam (saglabājot vienādus magnēta garumu un spoles ārējo diametru), ir mēģināts piemeklēt tādu stāvokli, lai inducētie elektrodzinējspēki (EDS) būtu vērsti vienā virzienā un pastiprinātu viens otru (3.7. att.). Tas ir

iespējams gadījumā, ja vienlaikus otrajā spolē veidosies viena magnēta pola pieaugošā plūsma, bet pirmajā spolē vēl eksistēs pretējā pola krītošā plūsma.

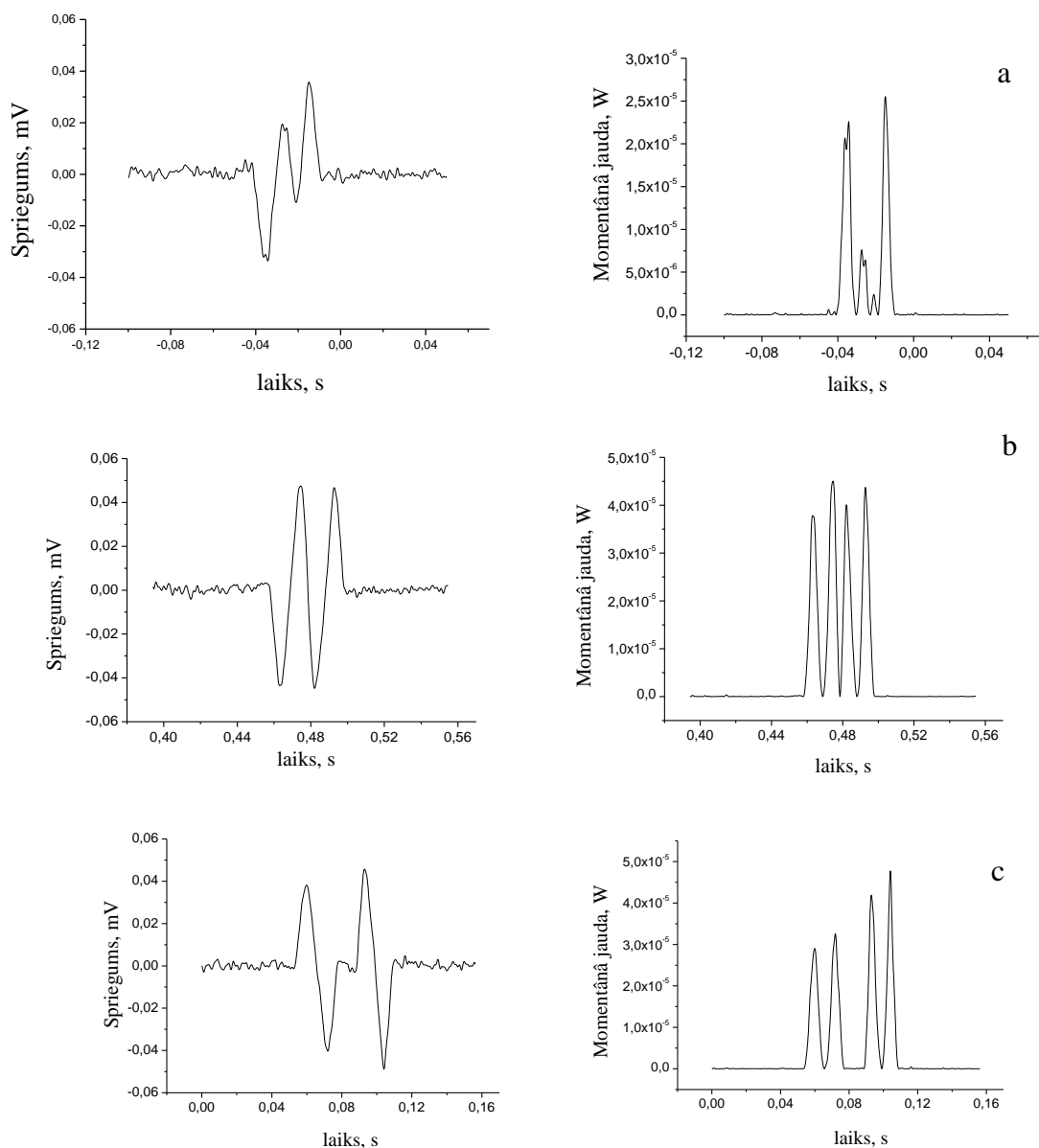
Pirmajā gadījumā katra spole atsevišķi pieslēgta pie sava osciloskopa kanāla, nosakot katrai spolei ģenerēto EDS, jaudu un enerģiju, ka arī aritmētiski saskaitot divu spoļu ģenerēto enerģiju un jaudu. Otrajā gadījumā pieslēgtas virknē savienotās spoles pie viena osciloskopa kanāla un noteikts kopējais ģenerētais EDS, jauda un enerģija.



3.6. att. Ģenerējamā enerģija atkarībā no attāluma starp spolēm: o – enerģija, kas ģenerēta divās virknē savienotās spolēs; • – summārā enerģija, kas ģenerēta divās savstarpēji nesavienotās spolēs. (autores attēls).

Var redzēt, ka inducēto EDS konstruktīvās summēšanās (sprieguma impulsi pastiprina viens otru) visefektīvāk realizējas gadījumā, kad attālums starp spolēm ir $3/4$ no magnēta garuma; summārā ģenerētā enerģija ir ap 4 mJ, maksimālā attīstīta jauda – 58 mW, maksimālais EDS – 54 mV.

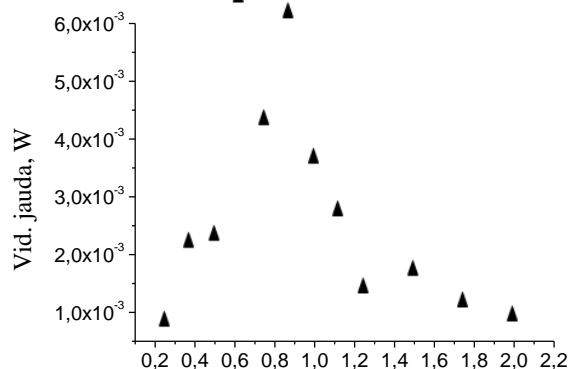
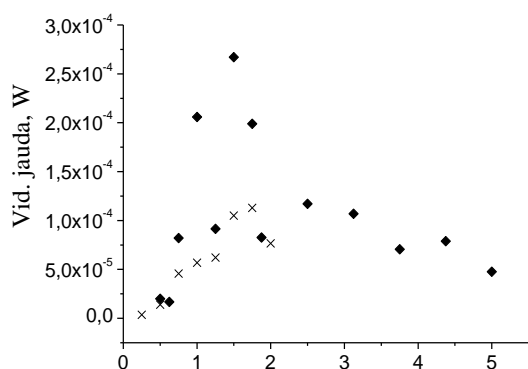
3.7. attēlā parādīta sprieguma un momentānās jaudas impulsu evolūcija spolēs ar 27 vijumiem, magnētam vienu reizi pārvietojoties secīgi gar virknē savienotajām spolēm: 0 mm attālumā starp spoles malām radīti daļēji pārklāti inducētie elektrodzinējspēku impulsi (a); pie 6 mm ($3/4$ magnēta garums), ir iegūta maksimālā inducētā EDS vērtība (b), pie dubulta magnēta garuma attāluma (16 mm) EDS impulsu pārklāšanās nenotiek (c).



3.7. att. Ģenerējamā sprieguma un attīstītās jaudas atkarība no attāluma starp spolēm:
a – 0 mm, b – 6 mm, c – 16 mm (autores attēls).

Jaudas atkarība no spoles un magnēta izmēriem

Eksperiments veikts, izmantojot divus taisnstūra formas magnētus (1.un 2. magnēts) un vienu lokveida 3. magnētu. Magnētu numerācija attiecīga 2.1.tabulai. Spoļu diametrs tika mainīts no 4 mm (8 vijumi) līdz 80 mm (158 vijumi) (2.3. tab., 9.-26. spoles). 3.8. attēlā parādīta jaudas atkarības no spoles un magnēta izmēriem. Elektromagnētisko enerģijas pārveidotāju raksturojošie parametri apkopoti 3.4. tabulā.



Spoles diametra un magnēta garuma attiecības, D/L

Spoles diametra un magnēta garuma attiecības, D/L

3.8. att. Ģenerētās jaudas atkarība no spoles diametra D un magnēta garuma L attiecības, D/L : “♦” – 1. magnēts $L = 8$ mm; “×” – 2. magnēts $L = 20$ mm, “▲” – 3. magnēts $L = 40$ mm (autores attēls).

Novērots jaudas maksimums: taisnstūra magnētiem pie $D/L = 1,5$ (1. magnēts), $D/L = 1,75$ (2. magnēts) un lokveida magnētam (3. magnēts) $D/L = 0,625$.

3.4. tabula

Enerģijas pārveidotāja ar plakanu struktūru darbības parametri

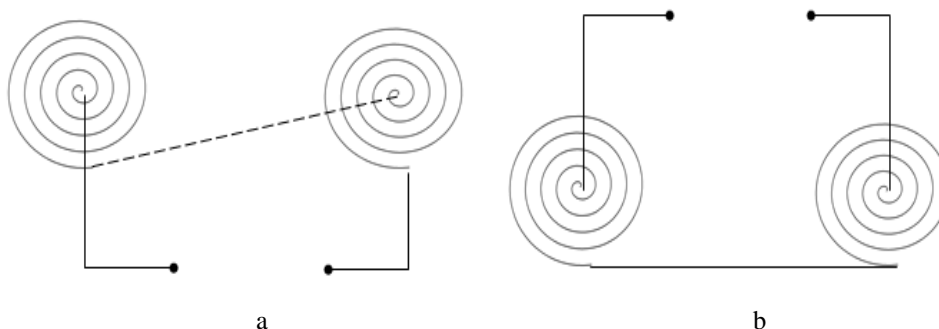
Magnēts	Izmērs, mm× mm× mm	Magnētiskā lauka indukcija, T	Spolu vijumu skaits	Spolu diametrs, mm	Enerģija, μJ	Laiks, s	Vidējā jauda, mW	Spoles tilpums, cm^3	Jaudas blīvums, mW/c m^3	Efektivitāte, %
No. 1	3×5×8	0,37	26	12	6,38	0,03	0,25	0,025	1,72	1,8
No. 2	5×10×20	0,1	72	35	8,37	0,07	0,12	0,212	0,1	0,4
No. 3	≈2×15×40	0,26	50	25	314	0,05	6,83	0,108	5,22	0,21

Ņemot vērā optimālo attiecību starp spoles diametru un kustīgā magnēta izmēru, tika salīdzinātas eksperimentāli iegūtās enerģijas un jaudas vērtības eksperimentā lietotiem magnētu veidiem. Secināts, ka vislielākās ģenerētās enerģijas un jaudas (0,31 mJ un 6,83 mW attiecīgi) iegūtas izmantojot 3. magnētu. Saskaņā ar augstāk minēto, tālākiem eksperimentiem izvēlēts lokveida magnēts ar dubulto magnētiskā lauka struktūru (3. magnēts) un 18. spole ar 50 vijumiem un diametru 25 mm.

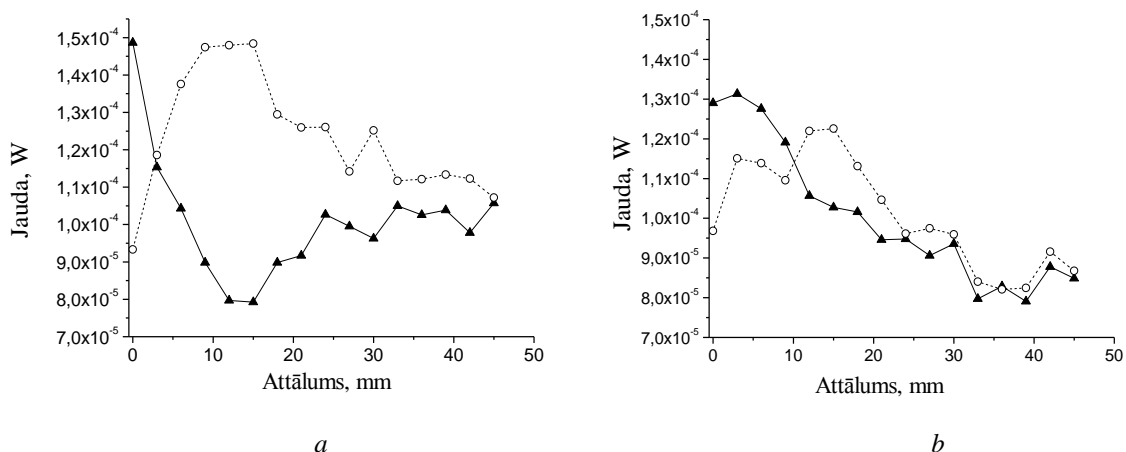
Sprieguma impulsi atkarībā no attāluma starp spolēm un spoļu savienojuma veida

Viena magnēta kustības ceļā izvietojas divas virknē savienotas spoles, izmantojot mehānisko stendu magnēta kontrolētai kustībai. Reģistrēti ierosinātie sprieguma impulsi rezistīva režīmā ($R_{\text{pap}} = 2,6 \Omega$) un noteikta attīstītā jauda atbilstoši 2.7.formulai. Eksperimentos izmantotas divas vienslāņa 18. spoles (2.3. tab.), 4. magnēts (pirmajā eksperimentā) un 5. magnēts (otrajā eksperimentā) (2.1. tab.). Magnēts tika pārvietots ar ātrumu 1 m/s. Eksperimenti veikti diviem spoļu savienojumiem: pirmajā gadījumā divas spoles savienotas tā, ka ģenerētie sprieguma impulsi ir ar vienādu polaritāti; otrajā gadījumā –

sprieguma impulsiem ir pretēja polaritāte (3.9. att). Spolēs attīstītās jaudas atkarība no attāluma starp tām ir parādīta 3.10. attēlā.

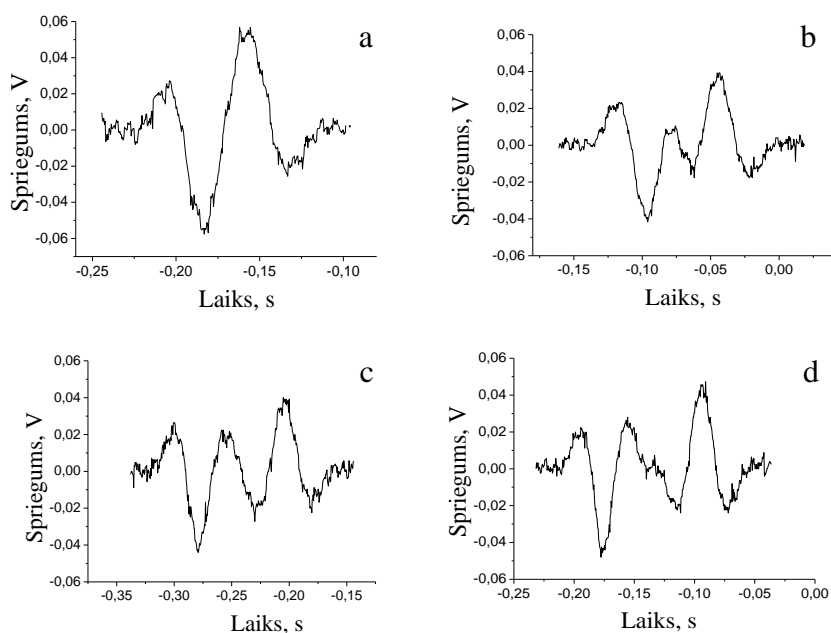


3.9. att. Spoļu savienojuma veids: a - sprieguma impulsiem ir vienāda polaritāti; b – sprieguma impulsiem ir pretēja polaritāte (autores attēls).

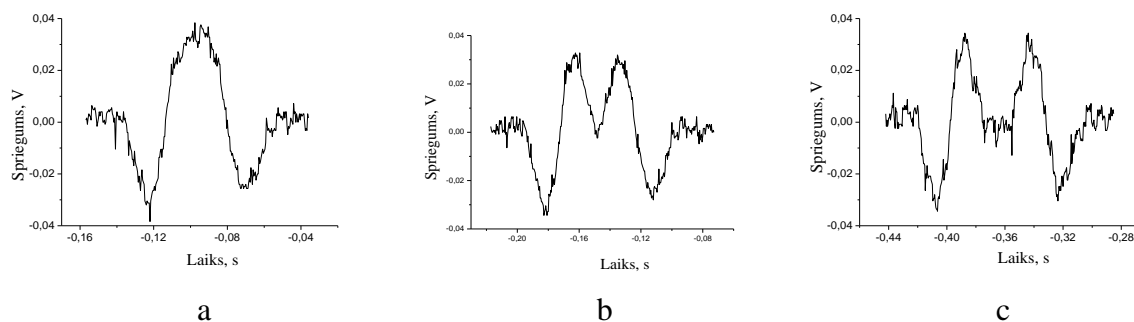


3.10. att. Kopējā attīstītā jauda divām virknē savienotām spolēm kā funkcija attālumam starp spoļu malām: a – izmantots 4. magnēts ar dubulto magnētisko lauku, b – izmantots 5. magnēts: o – ģenerētajiem sprieguma impulsiem ir vienāda polaritāte, ▲ - ģenerētajiem sprieguma impulsiem ir pretēja polaritāte (autores attēls).

No spoļu savienojuma veida ir atkarīgs attālums starp spolēm, pie kura novērota attīstītās jaudas maksimālā vērtība. Savienojot spoles tā, ka ģenerētajiem impulsiem ir pretēja polaritāte, ir iespējams samazināt attālumu starp spolēm līdz nullei, tādējādi palielinot elektromagnētiskā enerģijas pārveidotāja attīstīto jaudu. Grafiks (3.10. a) rāda, ka praktiski to pašu jaudu var sasniegt pie vienādas polaritātes palielinot attālumu starp spolēm (10 mm - 15 mm). Novērots jaudas maksimums (3.10. b) ģenerētajiem sprieguma impulsiem ar pretēju polaritāti (5 mm). Eksperimentāli noteikta pretējas polaritātes sprieguma impulsu evolūcija, mainoties attālumam starp spolēm (3.11. un 3.12. att.).



3.11. att. Pretējas polaritātes sprieguma impulsu evolūcija, mainoties attālumam starp spolēm un izmantojot 4. magnētu ar dubulto magnētisko lauku. Attālums starp spolēm a – 0 mm; b – 15 mm; c – 30 mm, d – 45 mm (autores attēls).



3.12. att. Pretējas polaritātes sprieguma impulsu evolūcija, mainoties attālumam starp spolēm un izmantojot 5. magnētu. Attālums starp spolēm: a) 3 mm; b) 15 mm; c) 30 mm (autores attēls).

Eksperimenta sākumā ir redzams viens liels kopējais impulss un inducētā EDS vērtība ir maksimālā (3.11. a. un 3.12. att. a). , vidū notiek impulsa dalīšanās un radīti daļēji summējošie inducētie elektrodzinējspēki (3.11. b.,c. un 3.12. att. b), savukārt beigās ir redzami divi atsevišķi impulsi un EDS pastiprināšanās nenotiek (3.11. d. un 3.12. att. c).

Apakšnodaļas secinājumi

Ir noteikta elektromagnētiskā enerģijas pārveidotāja ar plakanu struktūru ģenerētas enerģijas un attīstītas jaudas atkarība no spoles un magnēta izmēriem, no attāluma starp spolēm, kā arī no pieslēguma un savienojuma veida. Optimizēti enerģijas pārveidotāja parametri, izmantojot atrastās sakarības. Pamatojoties uz eksperimenta rezultātiem, ievietošanai apgērbos izvēlēts lokveida magnēts ar dubulto magnētiskā lauka struktūru un spole ar 50 vijumiem un spoles diametru 25 mm.

3.3. Elektromagnētiskā enerģijas pārveidotāja ievietošana valkājamās tekstilijās

Eksperimentos parādīta iespēja paaugstināt enerģijas daudzumu, palielinot spoļu slāņu un spoļu kopējo skaitu kustīga magnēta trajektorijās. Izvietojot elektromagnētisko enerģijas pārveidotāju apģērbā, jāņem vērā apģērba īpašības un jānodrošina maksimālu plakano spoļu slāņu un spoļu skaita ievietošanu žaketē tā, lai būtiski nemainītu apģērba gabarītmērus, svaru, kustību ērtumu un izskatu.

Efektīvai elektromagnētiskā enerģijas pārveidotāja darba nodrošināšanai ir nepieciešama vairāku nosacījumu izpilde:

- pārveidotāja detaļām jābūt izvietotām tā, lai tās kustības laikā attiecībā viena pret otru pārvietotos kopā ar atbilstošajām apģērba daļām;
- detaļām ar EMP daļām ir jāpārvietojas vienai gar otru pēc iespējas tuvāk;
- induktīvo elementu izvietošanas vietai jābūt maksimāli plakana un kustības laikā nav jāpakļaujas deformācijām;
- pārveidotāja detaļas nedrīkst mainīt apģērba īpašības un ārējo izskatu;
- vēlams nodrošināt maksimālo ātrumu magnēta kustībai gar induktīviem elementiem, jo ģenerētās enerģijas daudzums ir tieši proporcionāls magnēta kustības enerģijai.

Visi šie nosacījumi var tikt izpildīti, izvietojot elektropārveidotāja detaļas apģērba daļās, kas kustības laikā atrodas maksimāli tuvu viena otrai, tas savukārt cilvēka kustību laikā nodrošinās magnēta pārvietošanos attiecībā pret induktīvo elementu, tādējādi ievietotais pārveidotājs pārvērtīs cilvēka mehāniskās kustības elektroenerģijā.

3.3.1. Elektromagnētiskā enerģijas pārveidotāja ievietošana žaketē

Plānotajā magnēta ievietošanas vietā piedurknes apakšvīlei dūrgala rajonā tika piestiprināts marķieris, ar kuru, imitējot cilvēka soļošanu, iezīmēta magnētu kustības trajektorija. Iegūtā magnēta trajektorijas līkne žaketes priekšdaļā (sānkabatas rajonā) atbilst vēlamajam spoles novietojumam.

Spoles un magnēta izvietojuma vietas, spoļu slāņu un spoļu skaits noteikts eksperimentāli. Ņemot vērā to, ka spoļu izvietošanai nepieciešams plakans, kustības laikā deformācijai nepakļauts apģērba laukums, par optimālāko atzīts priekšdaļas sānkabatas rajons, un izmantojamā vieta ir aptuveni 10x10 cm. Šādā laukumā var izvietot trīs spoles ar 1 cm attālumu starp tām.

Kopējais daudzslāņu spoles biezums atkarīgs no apģērba veida un spoļu ievietošanas vietas; brīva silueta daudzslāņu virsgērbā tas var sasniegt 10 mm. Slāņu skaitu spolē ierobežo šādi faktori:

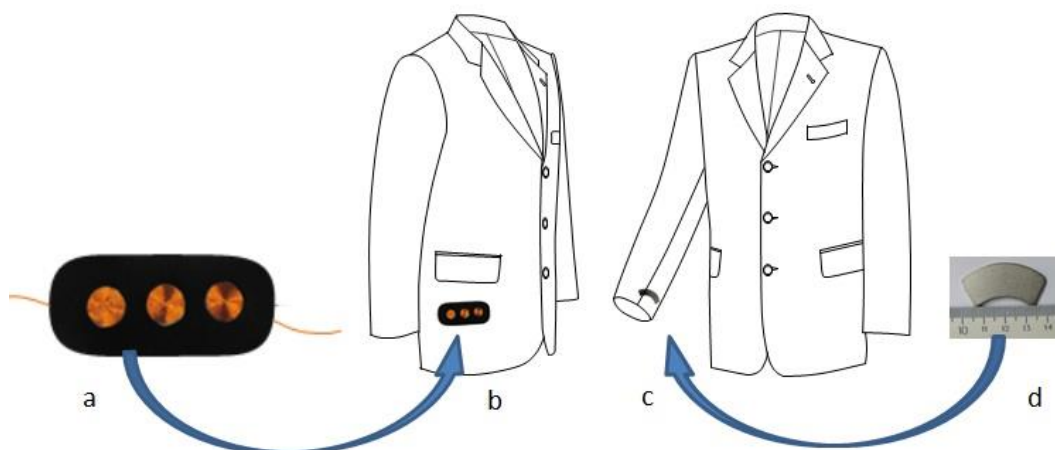
- izvēlēta apģērba forma,
- apģērba piegulums un attālums starp apģērba slāņiem,
- apģērba ārējā izskata saglabāšana,
- spoļu konstrukcijas biezums,
- svara un gērbā cietības palielināšanās.

Konkrētajā prototipā (vīriešu žakete) ievietoto spoļu slāņu maksimālais skaits - pieci, un kopējais spoļu biezums nepārsniedza 2,5 mm. Palielinot slāņu skaitu, žaketes detaļas deformācija sistēmas iestiprināšanas vietā kļuva vizuāli pamanāma. Izmantojot citu spoļu izveidošanas tehnoloģiju, slāņu skaits var mainīties. Spoļu grupas ir ievietotas blīva, elastīga un bieza vilnas filca iedobumā tā, lai nemainītos attālums starp spolēm un netiktu mainīts apģērba virsmas reljefs. Visas konstrukcijas stāvoklis apģērba virspusē optimizēts, soļošanas laikā sasniedzot precīzu magnēta kustības trajektoriju caur spoļu centriem.

Izveidotajā prototipā (vīriešu žakete) pārveidotāja elementi ievietoti (3.13. att.) plaukstas pamata līmenī starp audumu kārtām, saglabājot simetriskumu:

- magnēts ievietots piedurknes apakšvīles dūrgala rajonā,
- induktīvais elements novietots žaketes priekšdaļā (sānkabatas rajonā).

Elektromagnētiskā enerģijas pārveidotāja detaļas ievietotas apģērba elementos, kas cilvēka kustību laikā pārvietojas viens gar otru. Magnēta periodiskās kustības gar spoli veido periodiski mainīgu magnētiskā lauka plūsmu, kas šķērso spoli un ģenerē elektrisko strāvu spolē.



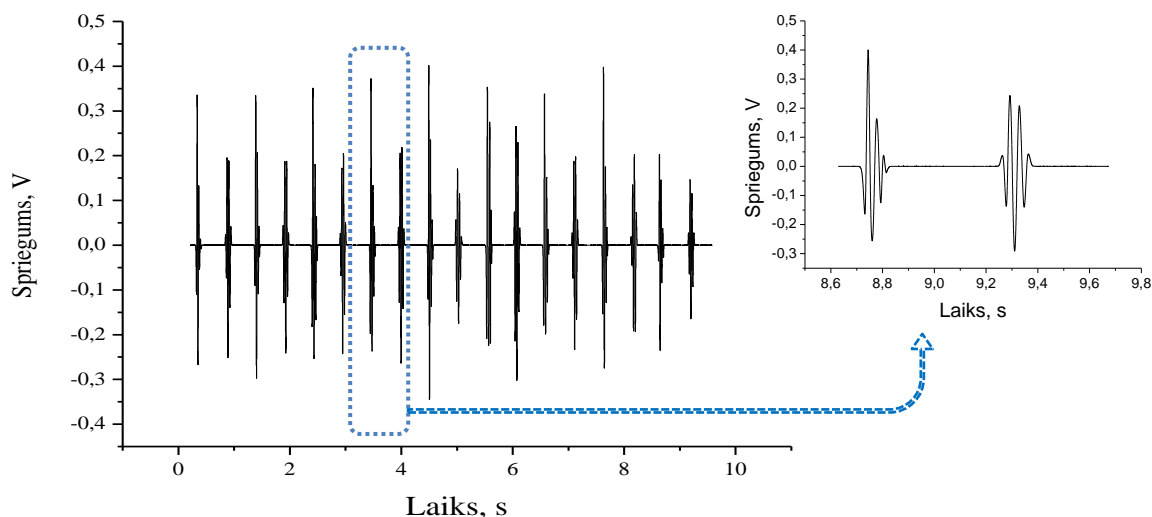
3.13. att. Elektromagnētiskā enerģijas pārveidotāja elementi un to izvietojums apģērbā: a – spirālveida induktīvais elements, b – induktīvā elementa izvietojums, c – magnēta izvietojums, d – pastāvīgais magnēts (autores attēls).

Elektromagnētiskais enerģijas pārveidotājs sastāv no plakana, indukcijas elementa un lokveida magnēta. Spirālveida indukcijas elementu veido trīs secīgi savienotas piecslāņu spoļu grupas ar vienvirziena vijumu, ar 1 cm attālumu starp spoļu grupām. Spoļu slāņi izolēti viens no otra. Katras spoles diametrs ir 25 mm un spoles vijumu skaits ir 50. Otrā pārveidotāja daļa ir viegls, mazs, spēcīgs neodīma magnēts ar dubulto magnētisko lauku. Elektromagnētiskā enerģijas pārveidotāja tilpums ir apmēram 4,8 cm³, svars 45 g.

Prototipā vienlaikus ievietoti divi enerģijas pārveidotāji – labajā un kreisajā pusē ar iespēju izvēlēties darba režīmu: EDS un rezistīvā režīmā. Elektromagnētiskais enerģijas pārveidotājs testēts, valkātājam veicot soļošanu ar ātrumu: 3; 4,5 un 6 km/h, kas atbilst vīrieša lēnai, vidēji ātrai un ātrai soļošanai.

Labajā pusē divos režīmos testēts enerģijas pārveidotājs ar piecslāņu induktīvajiem elementiem. Testu laikā ar digitālo osciloskopu *Picoscope 2205* fiksēti pārveidotāja uz

rezistīvās slodzes veidotie sprieguma impulsi (3.14. att.). Slodzes pretestība bija vienāda ar spoļu kopējo pretestību nodrošinot maksimālās attīstītās jaudas režīmu. Zinot sprieguma vērtības kustības laikā, noteikta ģenerētā enerģija un vidējā attīstītā jauda (2.7). 3.5. tabulā ir uzrādīti atbilstošie enerģijas pārveidotāja raksturlielumi – vidējā un maksimālā reģistrētā jauda.



3.14. att. Ģenerējamā sprieguma impulsu evolūcija deviņos pilnos soļošanas ciklos un viena cikla impulsi pie kustības ātrumā 6 km/h. Pilns soļošanas cikls – dubultā soļa periods – summējās, katrai rokai kustoties uz priekšu un atpakaļ (autorens attēls).

Testa laikā novērots zināms impulsu nesimetriskums, kas saistīts ar piedurknes kustības trajektoriju un individuālo kustību stereotipu.

3.5. tabula

Enerģijas pārveidotāja ģenerētā jauda pie dažāda kustības ātruma

Kustības ātrums, km/h	Soļu skaits 1 minūtē	Maksimālā momentānā jauda, μW	Vidējā jauda \pm absolūtā kļūda (ticamības varbūtība $p = 0,95$), μW	Relatīvā kļūda, %	Jaudas blīvums, $\mu\text{W}/\text{cm}^3$
3,0	80	3000	37 ± 16	45,0	8
4,5	103	14 000	77 ± 20	25,5	16
6,0	115	10 000	199 ± 20	9,9	41

Maksimālā momentānā jauda ($14\,000\ \mu\text{W}$) novērota pie kustības ātruma 4,5 km/h, maksimālā vidējā attīstītā jauda ir $199\ \mu\text{W}$ (cilvēkam soļojot ar ātrumu 6 km/h). Maksimālā relatīvā kļūda- 45 % novērota pie kustības ātruma 3 km/h, un minimālā relatīvā kļūda- 9,9 % pie kustības ātruma 6 km/h. Testa rezultātus ar kustības ātrumu 6 km/h var uzskatīt par vienvērtīgiem.

Kreisajā pusē secīgi testēti enerģijas pārveidotāji gan ar piecslāņu, gan ar četrslāņu induktīvajiem elementiem. Elektromagnētiskā enerģijas pārveidotāja darbināšanas laikā attīstītā jauda reģistrēta EDS režīmā pie soļošanas ātruma 4,5 km/h. Enerģijas pārveidotāja raksturīgo parametru salīdzinājums pēc ģenerētās momentānās jaudas parādīts 3.6. tabulā. Enerģijas pārveidotāja tilpums atbilst induktīvā elementa un magnēta tilpumu summai.

Ģenerētās jaudas pieauguma vai zuduma koeficients ΔP_s ļauj novērtēt radīto jaudu relatīvo izmaiņu, mainot četru slāņu induktīvo elementu uz piecslāņu induktīvo elementu enerģijas pārveidotājā. Pozitīva vērtība ΔP_s norāda uz saražotās enerģijas pieaugumu, bet negatīva vērtība – uz enerģijas zudumu.

$$\Delta P_s = \frac{P_5 - P_4}{P_4} \quad (3.1)$$

kur ΔP_s - ģenerētās jaudas pieauguma vai zuduma koeficients,

P_4 - četrslēņu induktīvo elementu jauda,

P_5 - piecslēņu induktīvo elementu jauda.

3.6. tabula

Enerģijas pārveidotāja ar 4 un 5 slāņu induktīviem elementiem raksturojumi

Induktīvais elements	Tilpums, cm ³	Vidējā jauda, 10 ⁻³ μW	Jaudas blīvums, 10 ⁻³ μW/cm ³	ΔP
4 slāņu spoles	4,0	2,25	0,56	0,24
5 slāņu spoles	4,8	2,78	0,58	

Mainot enerģijas pārveidotājā 4 slāņu induktīvo elementu pret 5 slāņu induktīvo elementu, ģenerētā jauda pieaug par 24 %, jo koeficients ir pozitīvs. Tālākā slāņu skaita palielināšana šim prototipam nav vēlama, jo tā negatīvi ietekmē apgērba ārējo izskatu.

Ļoti atšķirīgi rezultāti iegūti ievietojot enerģijas pārveidotāju ar piecslāņu induktīviem elementiem prototipa labajā un kreisajā pusē. EDS režīmā iegūtie rezultāti sakopoti 3.7. tabulā.

3.7. tabula

Enerģijas pārveidotāja raksturojumi atšķirīgās ievietošanas vietās

	Kustības ātrums, km/h	Prototipa labajā pusē	Prototipā kreisajā pusē	ΔP
Vidējā jauda ± absolūtā kļūda (ticamības varbūtība p=0,95), 10 ⁻³ μW	3	4,42 ± 1,62	1,98 ± 0,95	1,23
	4,5	5,87 ± 1,27	2,78 ± 0,99	1,11
	6	10,12 ± 1,56	1,78 ± 0,29	4,69
Relatīvā kļūda, %	3	36,7	49,3	
	4,5	21,7	35,8	
	6	14,8	16,6	
Vidējās jaudas blīvums, 10 ⁻³ μW/cm ³	3	0,92	0,40	
	4,5	1,22	0,58	
	6	2,11	0,37	

$$\Delta P_p = \frac{P_l - P_k}{P_k} \quad (3.2)$$

kur ΔP_p - ģenerētās jaudas pieauguma vai zuduma koeficients,

P_l – labajā pusē izvietotā enerģijas pārveidotāja ģenerētā jauda,

P_k – kreisajā pusē izvietotā enerģijas pārveidotāja ģenerētā jauda.

Ģenerētās jaudas pieauguma koeficients - ΔP_p mainās no 1,1 (pie ātruma 4,5 km/h) līdz 4,6 (pie ātruma 6 km/h). Par iespējamo iemeslu tik lielai starpībai starp enerģijas pārveidotāju

ģenerēto jaudu atšķirīgās ievietošanas vietās var uzskatīt cilvēka figūras nesimetriskumu un gaitas īpatnības.

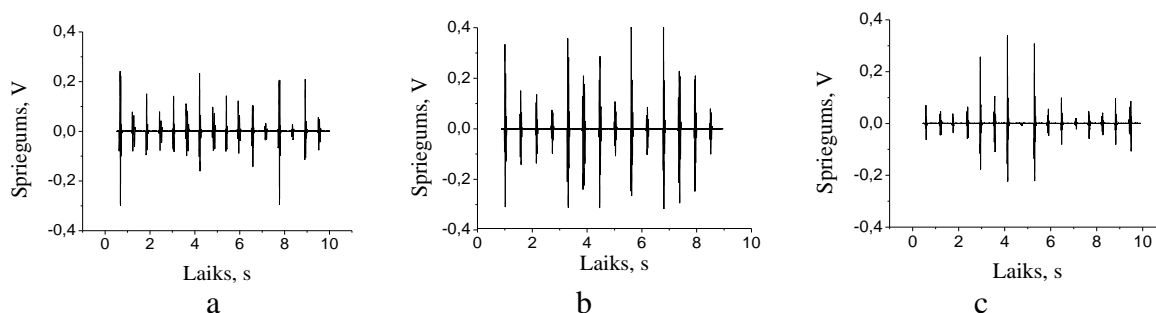
Papildus veikta pārveidotāja darbības testēšana nesimetriskas stājas (nelīdzsvarotas kustības) gadījumā, soļojot ar ātrumu 4,5 km/h rezistīva režīmā. Cilvēka gaita raksturojama ar ritmisku un secīgu labās un kreisās puses kustības simetriju. Nesimetriska stāja modelēta ar sešus kilogramus smaga portfeļa nēsāšanu uz kreisā pleca vai kreisajā rokā. 3.8. tabulā atspoguļota prototipa labās puses pārveidotāja parametri kustības laikā ar dažādu ķermeņa stāju. Ģenerējamā sprieguma impulsi līdzsvarotas un nelīdzsvarotas kustības gadījumā ir parādīti 3.15. attēlā.

3.8. tabula

Pārveidotāja darbības parametri

Stājas veidi		Jauda \pm absolūtā kļūda, μW (ticamības varbūtība $p = 0,95$)	Relatīvā kļūda, %	Vidējās jaudas blīvums, $\mu\text{W}/\text{cm}^3$
Simetriska stāja		$77,50 \pm 19,7$	25,5	16,14
Nesimetriska stāja	kreisajā rokā ir portfelis	$95,05 \pm 9,36$	9,85	19,8
	uz kreisā pleca ir portfelis	$35,27 \pm 13,7$	38,7	7,35

Vislielākie, kā arī vismazākie jaudas un enerģijas rādītāji raksturīgi nesimetriskas stājas gadījumos. Veicot dinamiskā līdzsvara analīzi [242] noskaidrots, ka pareizs smaguma centra izvietojums ietekmē līdzsvara saglabāšanu un stāju. Kustības laikā cilvēka ķermeņa smaguma centrs pastāvīgi pārvietojas attiecībā pret ķermeni atkarībā no tā, kā ķermeņa daļas (ekstremitātes un korpuss) maina savu stāvokli telpā.



3.15. att. Ģenerējamā sprieguma impulsi pie kustības ātruma 4,5 km/h prototipa labajā pusē: a - līdzsvarota (sabalansēta) kustība, nelīdzsvarota (nesabalansēta) kustība: b - portfelis kreisajā rokā, c - portfelis uz kreisā pleca (autores attēls).

Konkrētajā eksperimentā, kad cilvēks nes 6 kg smagu portfeli kreisajā rokā vai uz kreisā pleca, notiek cilvēka smaguma centra papildus novirze; vertikālā līdzsvara saglabāšanai un kustību līganuma nodrošināšanai cilvēkam rodas nepieciešamība ar brīvo labo roku pastāvīgi veikt kompensējošas kustības. Kad portfelis ir kreisajā rokā ģenerētā sprieguma impulsa vērtība palielinās (3.15. att. b). Gadījumā, kad portfelis ir uz kreisā pleca ģenerētā sprieguma impulsa lielums samazinās (3.15. att. c). Par iespējamo iemeslu ģenerētā sprieguma impulsa lieluma izmaiņas sabalansēta un nesabalansēta kustības gadījumā var uzskatīt cilvēka kustību īpatnības.

Apakšnodalās secinājumi

Izveidotajā prototipā (vīriešu žakete) enerģijas pārveidotāja elementi ievietoti plaukstas pamata līmenī starp audumu kārtām, saglabājot simetriskumu:

- magnēts ievietots piedurknes apakšvīles dūrgala rajonā,
- induktīvais elements novietots žaketes priekšdaļā (sānkabatas rajonā).

Magnētu un spoļu ievietošana panākta bez žaketes pamatkārtas deformācijām; to novietojums izstrādājuma virspusē praktiski nav redzams, kaut arī drānu paketes cietība, protams, ir palielinājusies. Vidējā attīstītā jauda vienam enerģijas pārveidotājam ir līdz 0,2 mW, kas ir pietiekami, lai nodrošinātu dažādu veselības monitoringa u.c. sensoru darbību.

Enerģijas pārveidotāja ģenerētā jauda ir atkarīga no cilvēka figūras nesimetriskuma un gaitas īpatnībām.

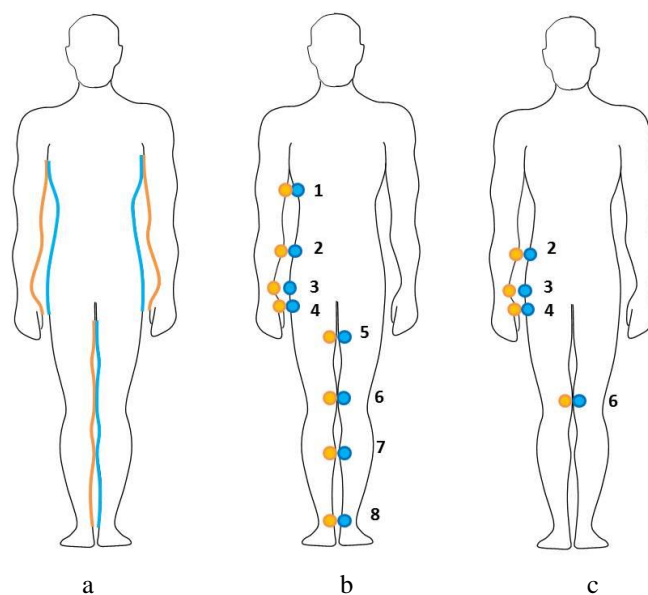
3.3.2. Iespējamo elektromagnētiskā enerģijas pārveidotāja ievietošanas vietu analīze un testēšana

Enerģijas pārveidotāja konstrukcijas elementi nav apvienoti vienā korpusā un tos var izvietot praktiski jebkura veida apģērbā, ja tā veidošanā ievēroti iepriekš minētie nosacījumi. Pētāmās konstrukcijas pārveidotāju var ievietot praktiski visu veidu apģērbos un/vai aksesuāros (piem., somās), kam ir divas cilvēka kustību laikā savstarpēji kustīgas detaļas, kas atrodas tuvu viena otrai. Perspektīvi ir pētīt iespēju realizēt arī citus elementu izvietojumus, lai izmantotu ne tikai roku, bet arī kāju kustību enerģiju elektrības iegūšanai.

Iespējamās vietas enerģijas pārveidotāja daļu izvietošanai ir rokas un virsmas, kas pakļautas neapzinātai dabiskai mijkustībai, kā arī kāju iekšējās virsmas. Iespējamās magnēta izvietojuma vietas ir apzīmētas ar oranžu krāsu, induktīvo elementu izvietojums – ar zilu krāsu krāsu (3.16. att. a).

Maksimālo ātrumu magnēta kustībai gar induktīviem elementiem iespējams sasniegt, izvietojot enerģijas pārveidotāja elementus 4. pozīcijā atbilstoši augšējā ķermeņa daļā un 8. pozīcijā pie apakšējām ekstremitātēm. Savukārt 1. un 5. pozīcijās ātrums ir minimāls.

Morfoloģiskā informācija par cilvēka figūras (ķermeņa uzbūves) īpatnībām liecina, ka ir grūti daudzveidīgas figūras un ķermeņa tipus viennozīmīgi iekļaut noteiktā tipoloģijā. Ķermeņa formu raksturo morfoloģisko pazīmju kopums: ķermeņa gabarītmēri, ķermeņa proporcijas un simetrija, stājas īpatnības. Svarīga loma ir ekstremitāšu izmēriem un virsmas formai, ķermeņa formai, muskulatūras un tauku attīstības līmenim un novietojumam. No cilvēka ķermeņa anatomiskās uzbūves viedokļa vispiemērotākās vietas pārveidotāja ievietošanai ir augšējo ekstremitāšu un torša sānu daļā saskares vietas (1.-4. pozīcija).



3.16. att. Elektromagnētiskā enerģijas pārveidotāja detaļu izvietojuma vietas: a – iespējamās izvietojuma vietas; b – sākotnējās testēšanas vietas; c – *izvēlētas vietas* testēšanas atkārtošanai (autores attēls).

Vidēja augumlieluma gadījumā ir iespējams minimāls attālums starp enerģijas pārveidotāja elementiem 1. un 2. pozīcijās.

Projektējot enerģijas pārveidotāja elementus to ievietošanai biksēs (5. – 8. pozīcija), jāņem vērā ne tikai apakšējo ekstremitāšu forma, bet arī cilvēka gaitas īpatnības. Apakšējo ekstremitāšu forma var atšķirties no tipveida figūras ar izvietojumu un leņķiem, ko veido augšstilba un apakšstilba kauli [244]. Tas nozīmē, ka ievietošanai 5.–8. pozīcijās jāveic individuālā korekcija, kas ne vienmēr būs veiksmīga.

Enerģijas pārveidotāja izvietojuma testēšanai un analīzei izveidoti izstrādājumu maketi (4.pielik.). Enerģijas pārveidotāja daļu plānotajās ievietošanas vietās uz apģērba piestiprināti magnēti ar marķieriem, imitējot cilvēka soļošanu ar to palīdzību, apzīmēta magnētu kustības trajektorija. Iegūtā magnēta trajektorijas līkne atbilst EMP induktīvo elementu centru novietojumam.

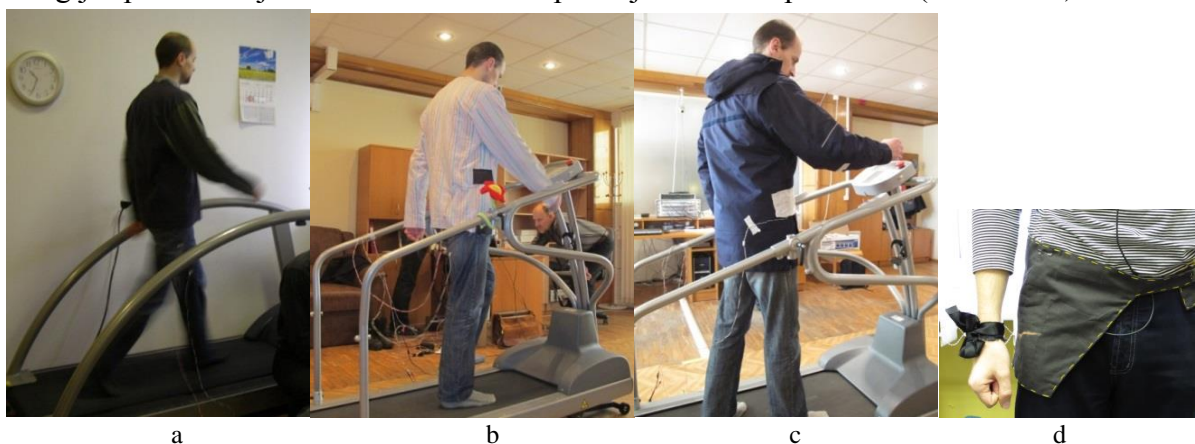
Sākotnējā testēšana veikta astoņās vietās (3.16. att. b) mērot elektromagnētiskā enerģijas pārveidotāja sprieguma impulsu vērtības. Ņemot vērā ģenerētā impulsa lielumu, izvēlētas labākās enerģijas pārveidotāja ievietošanas vietas, (3.16. att. c.). Testējamām personām tās ir: 2. pozīcija – zarnu kaula priekšmailes līmenis / zarnu kaula virsējās šķautnes līmenis (apmēram 8 cm zem vidukļa); 3. pozīcija – plaukstas pamata līmenis; 4. pozīcija – plaukstas vidus līmenis; 6. pozīcija – ceļgala līmenis. Vietās, kas apzīmētas ar numuru 1, 5, 7 un 8, sprieguma impulsu nebija vai arī tas bija minimāls, jo nebija pietiekamas magnētu kustības amplitūdas gar induktīvo elementu (1. un 5. pozīcijā), kā arī lielā attāluma starp EMP daļām (7. un 8. pozīcija) dēļ, un tas saistīts ar indivīda anatomiskajām un gaitas īpatnībām.

Turpmākie eksperimenti notika Rīgas Stradiņa universitātes Gaitas analīzes laboratorijā Rehabilitācijas centrā “Vaivari”, kur bija iespēja izmērīt elektromagnētiskā enerģijas pārveidotāja sprieguma impulsus soļošanas laikā pie dažādiem fiksētiem testpersonas

soļošanas ātrumiem: 3 km/h, 4,5 km/h un 6 km/h vīrietim un 2,6 km/h, 3,4 km/h, 4 km/h un 6 km/h sievietēm, kas atbilst lēnai, vidējai un ātrai soļošanai, kā arī noteikt EMP elementu kustības ātrumu soļošanas laikā. Eksperimentā izmantotā elektromagnētiskā enerģijas pārveidotāja tilpums ir $4,63 \text{ cm}^3$ un svars 20 g.

Testēti vīriešu apģērbi - divi vējjaku maketi, viena vējjaka ar neausto drānu siltinātāju, kā arī komplekts, kas sastāv no jostas somas un noņemamas aroces. Pirmajā maketā- vējjakas makets ar virslaidi krūšu līmenī 14 cm (3.17. att. a) - indukcijas elementi un magnēti izvietoti 2. un 3. pozīcijā. Otrajā maketā- jaka ar virslaidi krūšu līmenī 7 cm (3.17. att. b) enerģijas pārveidotāja elementi izvietoti 2. un 4. pozīcijā, gatavajā jakā ar neausto drānu siltinātāju ar virslaidi krūšu līmenī 7,5 cm (3.17. att. c) - 2. pozīcijā. Pirmais jakas makets mērīts divējādi - ar brīvu apjomu dūrgalos un jakas lejasmaļā (pie soļošanas ātruma 4,5 km/h) un ar samazinātu apjomu dūrgalos un jakas lejasmaļā (pie soļošanas ātruma 3 km/h, 4,5 km/h un 6 km/h).

Testējamie sieviešu apģērbi: džinsi, vidukļota žakete ar virslaidi krūšu līmenī 5cm un komplekts jostas soma un noņemama aroce. Džinsu biksēs indukcijas elementi un magnēti izvietoti 6. pozīcijā, un žaketē tie novietoti 2. pozīcijā. Komplektā (jostas soma un aroce) enerģijas pārveidotāja elementi izvietoti 3. pozīcijā abām testpersonām (3.17. att. d).



3.17. att. Elektromagnētiskā enerģijas pārveidotāja darbības testēšana: a – pirmās jakas makets; b – otrās jakas makets; c – virsjaka ar neaustu drānas siltinātāju; d – jostas soma un noņemama aroce (autore attēls).

Ar digitālo osciloskopu *Picoscope 2205* fiksēti sprieguma impulsi un noteikta kustības laikā ģenerētās enerģijas daudzums. Pārveidotāja raksturlielumi pilnā soļošanas ciklā sakopoti 3.9. un 3.10. tabulā.

3.9. tabula

Enerģijas daudzums pie dažādiem testēšanas nosacījumiem (sieviešu apģērbā)

Izstrādājuma veids	Kustības ātrums, km/h	Spoļu izvietojuma pozīcija	Vidējā jauda ± absolūtā kļūda, μW (ticamības varbūtība $p = 0,95$)	Relatīvā kļūda, %	Jaudas blīvums, $\mu\text{W}/\text{cm}^3$
Džinsi	4,0	6.	$179,03 \pm 33,33$	18,6	38,67
Žakete	6,0	2.	$269,18 \pm 85,97$	31,9	58,14
Žakete	4,0	2.	$135,12 \pm 37,40$	27,7	29,18
Žakete	4,0	3.	$133,03 \pm 47,77$	35,9	28,73
Žakete	3,4	3.	$73,86 \pm 46,50$	63,0	15,95
Žakete	2,6	3.	$119,89 \pm 48,28$	40,3	25,89
Jostas soma un noņemama aproce	4,0	3.	$90,80 \pm 80,21$	88,3	19,61

Maksimālā jauda $269 \mu\text{W}$ iegūta pie kustības ātruma 6 km/h , ja enerģijas pārveidotāja elementi bija sieviešu žaketē 2. pozīcijā. Otrais labākais rezultāts ir $179 \mu\text{W}$ pie kustības ātruma 4 km/h ar enerģijas pārveidotāja elementiem džinsos 6. pozīcijā.

3.10. tabula

Enerģijas daudzums pie dažādiem testēšanas nosacījumiem (vīriešu apģērbā)

Izstrādājuma veids	Kustības ātrums, km/h	Spoļu izvietojuma pozīcija	Vidējā jauda ± absolūtā kļūda, μW (ticamības varbūtība $p = 0,95$)	Relatīvā kļūda, %	Jaudas blīvums, $\mu\text{W}/\text{cm}^3$
Pirmās jakas makets (ar samazinātu apjomu dūrgalos un jakas lejasmalās)	3,0	2.	$43,24 \pm 4,48$	10,4	9,34
		3.	$10,99 \pm 2,33$	21,2	2,37
	4,5	2.	$13,89 \pm 2,06$	14,8	3,00
		3.	$25,70 \pm 6,00$	23,3	5,55
	6,0	2.	$50,73 \pm 5,06$	10,0	10,96
		3.	$1,80 \pm 0,75$	41,5	0,39
Pirmās jakas makets	4,5	2.	$60,14 \pm 4,38$	7,3	12,99
		3.	$2,59 \pm 1,65$	63,6	0,56
Otrās jakas makets	3,0	4.	$6,00 \pm 1,04$	17,4	1,30
		2.	$33,27 \pm 8,43$	25,4	7,18
	4,5	4.	$13,10 \pm 2,85$	21,7	2,87
		2.	$53,96 \pm 10,73$	19,9	11,65
	6,0	4.	$15,79 \pm 10,66$	67,5	3,46
		2.	$52,81 \pm 10,19$	19,3	11,41
Jaka ar neaustu drānu siltinātāju	3,0	2.	$181,40 \pm 23,80$	13,1	39,18
	4,5	2.	$260,68 \pm 63,85$	24,5	56,30
	6,0	2.	$502,22 \pm 100,14$	19,9	108,47
Jostas soma un noņemamā aproce	4,5	3.	$236,68 \pm 56,87$	24,0	51,12

Labākie ģenerētās jaudas rezultāti $502\ \mu\text{W}$ un $261\ \mu\text{W}$ sasniegti ar ievietotām enerģijas pārveidotāja daļām 2. pozīcijā, ja kā ar neaustu drānu siltinātāju pie kustības ātruma $6\ \text{km/h}$ un $4,5\ \text{km/h}$.

Rezultātā vislielākās iegūtās ģenerētās jaudas ir tad, ja attālums starp elektromagnētiskā enerģijas pārveidotāja daļām jakas apjoma un ķermeņa anatomisko īpatnību dēļ ir minimāls, magnēts ar spoli stabili turas piestiprinājuma vietās un ir nodrošināta precīza magnēta kustības trajektorija gar induktīvo elementu centriem.

Minimālais enerģijas daudzums fiksēts, soļojot ar ātrumu $6\ \text{km/h}$, kad EMP daļas atradās 3. pozīcijā plaukstas pamata līmenī. Visos virsdrēbju variantos pie visiem ātrumiem ķermeņa anatomisko īpatnību dēļ labākais rezultāts novērots EMP daļām atrodoties 2. pozīcijā. Abiem dzimumiem 2. pozīcijā ir labāka EMP atrašanās vieta nekā 3. (plaukstas pamata līmenis) vai 4. pozīcijā (plaukstas līmenis). 2. pozīcijā attālums starp magnētu un induktīvo elementu ir minimāls, magnētiskā plūsma paspēj iziet caur vislielāko spoļu kontūra platību, kas, savukārt, atbilst agrāk noskaidrotajai sprieguma atkarībai no attāluma starp spoli un magnētu - samazinoties attālumam starp elektromagnētiskā enerģijas pārveidotāja daļām spriegums, enerģija un jauda pieaug.

Salīdzinājumā ar virsdrēbēs ievietoto enerģijas pārveidotāju rezultātiem jostas somas un noņemamās aproces komplekta plaukstas pamata līmenī pie ātruma $4,5\ \text{km/h}$ ģenerētā maksimālā jauda ir ap $237\ \mu\text{W}$. Tā kā komplektā magnēts atrodas noņemamajā aprocē, kas cieši piekļaujas plaukstas pamata locītavai, induktīvie elementi ir izvietoti jostas somā, kas cieši piekļaujas gurniem, soļojot magnēta trajektorijas saglabājas stabilas (bez papildus amplitūdām), nodrošinot precīzas magnēta kustības caur spoļu centriem.

Analīzes rezultāti ļauj secināt:

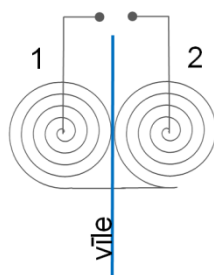
- vispiemērotākā EMP ievietošanas vieta pie jebkura ātruma ir apmēram $8\ \text{cm}$ zem vidukļa plecgērbam un plaukstas pamata līmenis komplektam;
- lielākās jaudas vērtības sasniedzamas, cilvēkam ātri soļojot;
- par pārveidotāja ievietošanai vispiemērotāko apģērba veidu var uzskatīt virsjaku ar neaustu drānu siltinātāju, stabilu formu un nelielām krūšu un gurnu līmeņa virslaidēm.

Izvietojot siltinātā, ja kā apmēram $8\ \text{cm}$ zem vidukļa divas virknē savienotas piecslāņu spoles (vijumu skaits 50), viena magnēta kustības ceļā pētīta sprieguma impulsu atkarība no spoles izvietojuma vietas. Spoles savienotas tā, ka ģenerētiem sprieguma impulsiem ir pretēja polaritāte un attālums starp spoles malām $0\ \text{mm}$. Spoles izvietotas tā, ka jakas sānu vīle¹ atrodas starp spolēm (3.18. att.). Pārvietojot spoles pa labi un pa kreisi par $1\ \text{cm}$, novērots, ka sprieguma impulsu lielākā vērtība sasniegta, kad jakas sānvīle atrodas starp spolēm.

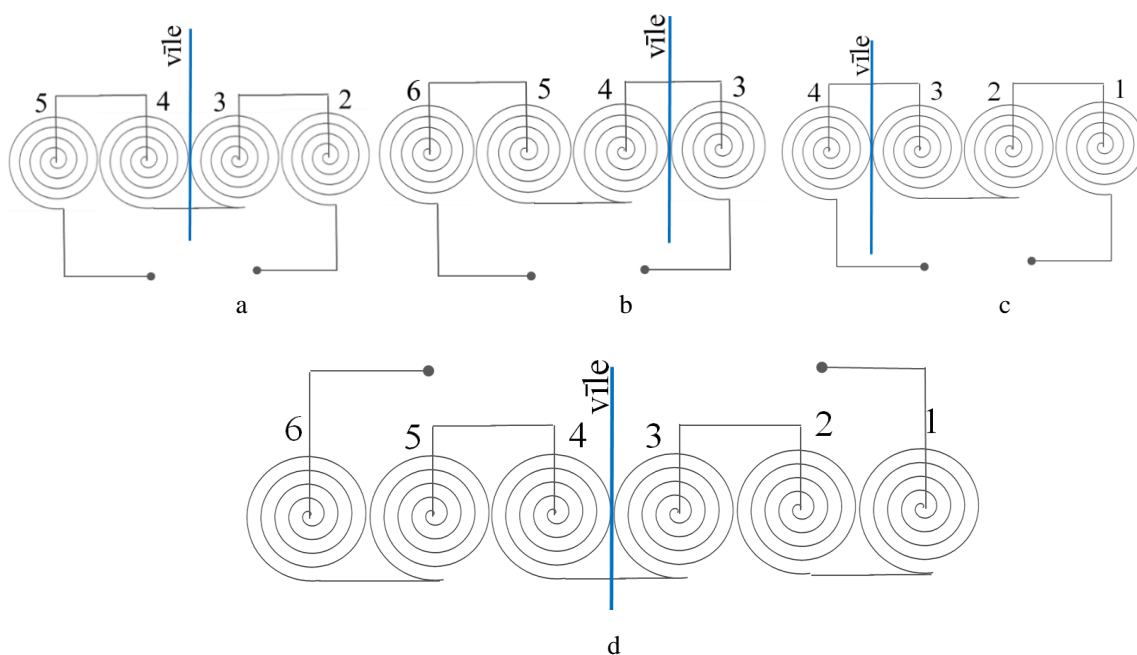
Pārveidotāja kopējās jaudas palielināšanai magnēta kustības ceļā tika izvietotas četras spoles ar iepriekš minētajiem nosacījumiem, ar mērķi noteikt **maksimāli pieļaujamo spoļu skaitu ievietošanai vējjakā**. Pētīti sprieguma impulsa lielumi katrai spolei, mainot spoles pozīcijas attiecībā pret vējjakas sānu vīli (3.19. att. a, b, c). Interpretējot rezultātus, iegūta spoļu izvietojuma shēma (3.19. att. d). Tā kā spole 3. pozīcijā radā lielāku momentāno jaudu,

¹ Sānu vīle šajā darbā vienmēr novietota sānu virsmas vidū (priekšdaļas un mugurdaļas platums vienāds).

pieņemts ka tās atbilst 100 % un salīdzinot parējās spoles un spoļu 3. pozīcijā rezultāti aprēķināts momentānās jaudas procentuālais pieaugums/zudums atkarībā no spoles novietojuma (3.11. tabula).



3.18. att. Spoļu novietojuma pozīcija (autores attēls).



3.19. att. Spoles pozīcijas attiecībā pret sānu vīli (autores attēls).

3.11. tabula

Momentānās jaudas procentuālās izmaiņas

	Spoles pozīcija	6.	5.	4.	3.	2.	1.
Momentānās jaudas procentuālais pieaugums/zudums	a		-90	-39	100	-31	
	b	-78	-14	24	100		
	c			-3	100	-48	-93
	d	-78	-52	-6	100	-40	-93

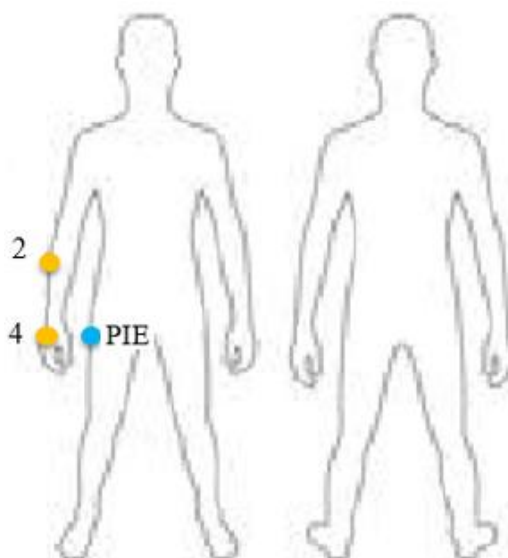
Eksperimentā tika noteikts, ka sprieguma impulsu lielākā vērtība sasniegta, kad jakas sānvīle atrodas starp 3. un 4. spoļu pozīciju. Maksimāli pieļaujamais spoļu skaits ievietošanai vējjakā ir trīs, kas atbilst 2.-4. spoles pozīcijai (3.19. att. d) un momentānās jaudas procentuālais zudums 2. un 4. spoles pozīcijā ir -40 un -6 % attiecīgi.

Apakšnodalās secinājumi

Elektromagnētiskā enerģijas pārveidotāja attīstītā jauda sasniedz $502 \mu\text{W}$ (cilvēkam pārvietojoties ar ātrumu 6 km/h) un ir pietiekama dažādu bezvada sensoru darbināšanai un informācijas nosūtīšanai attālinātiem uztvērējiem.

3.3.3. Enerģijas atkarība no magnēta kustības ātruma

Eksperimentā infrasarkanā starojumu atstarojošus marķierus piestiprina cilvēka ķermeņim divas pozīcijas: 2. pozīcijas punkts izvietots apmēram 8 cm zem vidukļa, 4. pozīcijas un PIE punkti izvietoti plaukstas līmenī (3.20. att.). Izmantotajā sistēmā ciparu kameras ieraksta cilvēka marķēto anatomisko punktu kustību trajektorijas trīs dimensijās. No iegūtajiem datiem datorprogramma izveido virtuālu modeli tālākai analīzei [240]. Apstrādājot iegūtos datus, aprēķināti ātrumi un citi parametri atsevišķiem punktiem, brīdī, kad magnēts (4. pozīcijā) pārvietojas gar spolēm (punktā PIE) (3.12. tabulā un 3.20. att.).



3.20. att. Virtuālais modelis EMP elementu kustības ātruma analīzē (autores attēls).

3.12. tabula

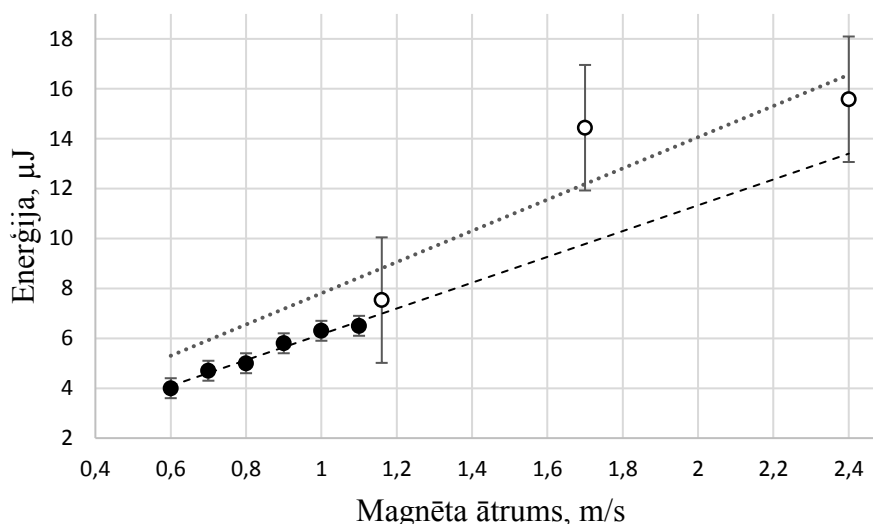
Pārveidotāja darbības parametri

Soļošanas ātrums, km/h	Punktu kustības ātrumi, m/s			Magnēta relatīvais ātrums attiecībā pret spoli, m/s	Ģenerētā enerģija, μJ	Impulsa periods, s	Vidējā jauda, μW
	4. pozīcija	2. pozīcija	PIE				
3,0	0,9	0,6	0,26	1,16	7,53	1,25	6,00
4,5	1,4	0,8	0,3	1,7	14,44	1,10	13,13
6,0	2,0	1,2	0,4	2,4	15,58	1,00	15,58

Magnēta pārvietošanās ātrumu ietekmē gan cilvēka kustības ātrums, gan arī tā kustības īpatnības un iespējas, kas, savukārt, ir atkarīgas no ķermeņa uzbūves īpatnībām. Piemēram, pārvietošanās ātrums nav atkarīgs no ķermeņa izmēriem. Noteiktas kustības, piemēram, viena soļa izpildes laiks pieaug proporcionāli ķermeņa lineāro izmēru pieaugumam (pie citiem vienādiem nosacījumiem), savukārt maksimālā kustību intensitāte samazinās proporcionāli

tam, kā palielinās ķermeņa lineārie izmēri [245]. 3.12. tabulā ir redzams, ka magnēta kustības ātrumu palielinājums ir proporcionāli saistīts ar soļošanas ātrumu.

Izmantojot mehānisko magnēta manipulatoru, iegūta lineāra enerģijas atkarība no ātruma (3.21. att.).



3.21. att. Enerģijas atkarība no magnēta ātruma: o - enerģija, kas ģenerēta soļojot; • - enerģija, kas ģenerēta izmantojot mehānisko magnēta manipulatoru (autores attēls).

No attēla ir redzams, ka pieaugot magnēta pārvietošanas ātrumam tieši proporcionāli pieaug saražotās enerģijas daudzums. Magnēta kustības ātrumu palielinājums ir lineāri saistīts ar magnēta kustības ātrumu manipulatora gadījumā un ir nosacīti lineāri saistīts rokas kustības gadījumā.

Apakšnodaļas secinājumi

Elektromagnētiskā enerģijas pārveidotāja ar plakanu struktūru ģenerētā enerģija un attīstītā jauda ir lielā mērā atkarīga no spoles un magnēta raksturojumiem, kā arī no spoļu pieslēguma, novietojuma un savienojuma veida. No otras puses, pārveidotāja izejas parametri ir atkarīgi no magnēta pārvietošanās ātruma, ko ietekmē gan valkātāja kustības ātrums, gan arī cilvēka kustību īpatnības, kas, savukārt, ir atkarīgas no ķermeņa uzbūves īpatnībām.

Enerģijas pārveidotāja darbību ir iespējams kontrolēt, bet ir sarežģīti to prognozēt, jo izmantojamā enerģiju ģenerējošā sistēma ir atkarīga no iepriekšminētajiem cilvēkfaktora kritērijiem.

Eksperimentāli noteikta vispiemērotākā ievietošanas vieta (apmēram 8 cm zem vidukļa virsapgērbam un plaukstas pamata līmenī komplektam) un vispiemērotākais apgērba veids (virsjaka ar siltinātāju un nelielām krūšu un gurnu līmeņa virslaidēm).

3.4. Induktīvā elementa ilgmūžības prognoze

Viedā apgērba izgatavošanas procesā jāreķinās ar diviem faktoriem: jānodrošina apgērba komforts un dizains, tai pat – arī enerģijas pārveidotāja funkcionalitāte un lietojamība, kā arī kopā – ilgmūžība un drošums [246].

Radot apgērbu ar ievietotu elektromagnētisko enerģijas pārveidotāju, ir būtiski saglabāt apgērba kopšanas iespējas. Visbiežāk izmantotais apgērba kopšanas veids ir mazgāšana mājas apstākļos. Svarīgi, lai pēc viedā apgērba ar enerģijas pārveidotāju izmazgāšanas tas nezaudētu savu kvalitāti, izmērus, ārējo izskatu un enerģijas pārveidotāja darbības spējas un efektivitāti. Mazgāšanas procesu var aprakstīt kā fizikāli ķīmisko un mehānisko faktoru kopumu. Pie fizikāli ķīmiskajiem faktoriem pieskaitāma mazgāšanas līdzekļu iedarbība, temperatūra un mitrums, pie mehāniskajiem – slapjo materiāla daļu savstarpējā berze un kontakts ar veļas mazgājamās mašīnas virsmām, daudzkārtējā stiepes, spiedes un vērpes deformācija.

Ir vispārzināms, ka varš (Cu), kuram ir viena no visefektīvākajiem vadītspējām, ir pakļauts korozijas riskam mitruma ietekmē. Literatūras par elektrovadošajiem audumiem analīzes rezultātā var izdarīt secinājumu par to, ka mazgāšana negatīvi ietekmē elektrisko pretestību, un daudzkārtējās mazgāšanas rezultātā tā būtiski paaugstinās [247]. Piemēram, poliestera audumam ar Cu/Ni pārklājumu atkarībā no auduma struktūras pēc 10 mazgāšanas cikliem pretestība pieaug no 2 līdz 52 reizēm, [248]; audumam no elektrovadošiem pavedieniem ar Ni/Cu/Ag pavedienu pārklājumu pretestība pieaug 2,2 reizes pēc 50 mazgāšanas cikliem [249]; audumiem ar elektrovadošiem S-Shield PES vai Silverflex-170 pavedieniem pretestība pieaug 1,4 reizes [250]. Pieaugot pretestībai, samazināsies ģenerējamās strāvas stiprums un rezultātā būs vērojams ģenerējamās enerģijas samazinājums.

Ņemot vērā iepriekš minēto, pētīta mazgāšanas ietekme uz PIE ilgmūžību. Par PIE ilgmūžības noteikšanas kritērijiem, kas nosaka spoles nepiemērotību tālākai ekspluatācijai, izvēlēti:

- neapmierinoša spoles elektrovadītspēja;
- spoles destrukcija (bojāta spoles struktūra).

Eksperimentā izmantotas piecslāņu spoles ar atšķirīgu aizsargpārklājuma veidu un izolējošo slāni (2.4. tab.).

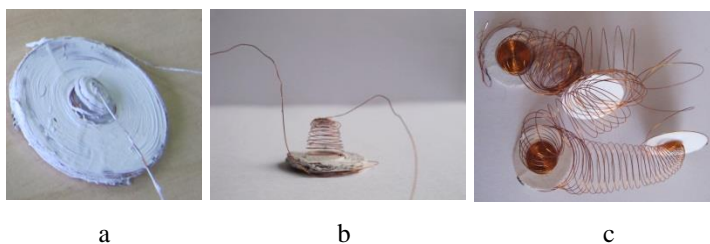
Spoles struktūras pārbaudes un spoļu elektriskās pretestības mērījumi veikti pirms un pēc pirmā, piektā un desmitā mazgāšanas un žāvēšanas cikla, mērījumiem izmantojot digitālo multimetru *Velleman DVM860BL*. Mērījumu rezultāti apkopoti 3.13. tabulā.

3.13. tabula

Elektrisko pretestību vērtības spolēm pirms un pēc mazgāšanas

Spoles simbols	Pirms mazgāšanas		Pēc mazgāšanas		
	Sākuma pretestība, Ω	Pretestība pēc aizsargpārklājuma uznešanas, Ω	Pretestība pēc pirmās mazgāšanas, Ω	Pretestība pēc piektās mazgāšanas, Ω	Pretestība pēc desmitās mazgāšanas, Ω
A	5,7	5,7	5,7		
L	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4
			5,4	5,4	Bezgalīgi liela
P	5,5	–	5,5	Bezgalīgi liela	
T₁	–	5,6	5,6	5,6	5,6
T₂	–	5,4	5,4	5,4	Bezgalīgi liela
		5,6	5,6	5,6	5,6

Ir redzams, ka induktīvie elementi ar laminēšanu (L) un induktīvie elementi ar termoplastisko adhēzijas pārklājumu (T) nav mainījuši elektrisko pretestību un daļēji iztur 10 mazgāšanas ciklus. Pretestības mērījumu rādītāji nevarēja tikt veikti sakarā ar spoles viena vada pārrāvumu. Induktīviem elementiem ar otro aizsargpārklājumu (A) pēc pirmā mazgāšanas cikla fiksēti gan aizsargpārklājuma bojājumi, gan spoles destrukcija. Spolēm ar primāro vada pārklājumu (P) destrukcijas cēlonis ir savienojumu slāņu neapmierinoša adhēzija. Induktīvo elementu struktūras bojājumi parādīti 3.22. attēlā.



3.22. att. Induktīvo elementu destrukcija: a - A-spolei daļēja destrukcija pēc aizsargpārklājuma uznešanas, b - A-spolei destrukcijas palielinās pēc 1 mazgāšanas cikla, c – P-spolei pilna destrukcija pēc 5. mazgāšanas cikla (autores attēls).

Turpmākiem eksperimentiem induktīvā elementa ar termoplastisko adhēzijas pārklājumu struktūra tika pilnveidota. Induktīvais elements veidots manuāli, tā lai visi pieci slāņi būtu uztīti nepārtraukti no pirmā slāņa līdz piektajam viens virs otra bez spoles vada pārrāvuma, kas izslēdz lodēšanas procedūru un padara spoles malas gludākas (3.23. att.).



3.23. att. Induktīvais elements pirms (a) un pēc (b) pilnveidošanas (autores attēls).

Ņemot vērā eksperimenta rezultātus, elektromagnētiskā enerģijas pārveidotāja elementu ievietošanu jāparedz tā, lai pirms mazgāšanas to būtu iespējams izņemt no apģērba.

Pamatojoties uz eksperimenta rezultātiem, pētījumiem izvēlēts induktīvais elements ar termoplastisko adhēzijas pārklājumu un pilnveidotu struktūru ar kopējo slāņu biezumu 2 mm, kas pozitīvi ietekmē enerģijas pārveidotāja kopējo tilpumu (tas samazinās līdz 3,9 cm²). Spoļu iegūšanai uztītā tehnikā ar pilnveidotu struktūru nepieciešams ieguldīt lielākus laika resursus, taču šis variants izslēdz lodēšanas procedūru.

3.5. Salīdzinošā enerģijas pārveidotāja ģenerētās enerģijas, attīstītās jaudas un ģeometriskās formas analīze

1. Apģērbā ievietojamais enerģijas pārveidotājs testēts, izmantojot mehānisko standu magnēta kontrolētai pārvietošanai, lai nodrošinātu konstantu magnēta kustības ātrumu (1m/s) un attālumu starp spoli un magnētu (~5 mm). Ierosinātie sprieguma impulsi reģistrēti rezistīva režīmā ($R_{slodzes} = R_{spole} = 16,6 \Omega$), un noteikta ģenerētā enerģija un attīstītā jauda diviem impulsiem (kustībām šurp turp) atbilstoši (2.6) un (2.7).

Enerģijas pārveidotāja testēšanas rezultāti 20 dubultiem impulsiem:

- Enerģija: $(1280 \pm 60) \mu J$
- Enerģijas relatīvā kļūda: 4,97 %
- Impulsa laiks: 0,49 s
- Jauda: $(2610 \pm 149) \mu W$
- Jaudas relatīvā kļūda: 5,74 %
- Vidējās jaudas blīvums, $560 \mu W/cm^3$

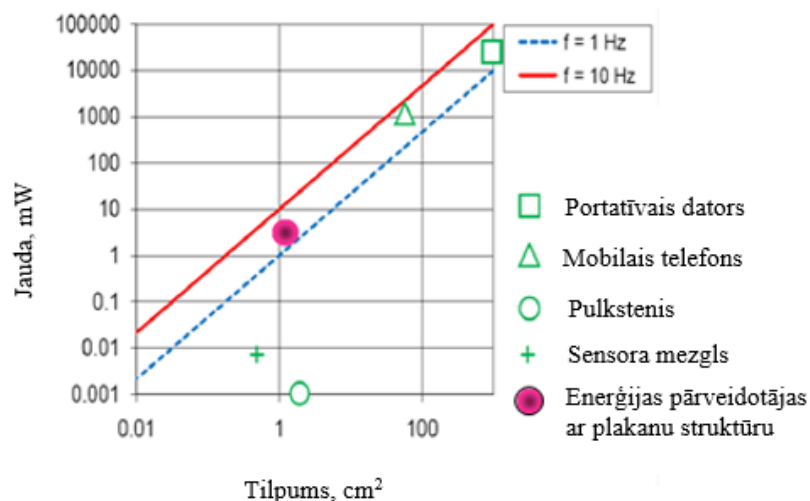
Salīdzinot enerģijas pārveidotāja testēšanas rezultātus ar cilvēka ķermeņa (līdzsvarotas kustības gadījumā) rezultātiem (3.10. tab.) ir redzams, ka jaudas izmantojamā daļa ir 7 % pie kustības ātruma 3 km/h (atbilst 1m/s magnēta kustības ātrumam). Palielinot kustības ātrumu ir iespējams palielināt jaudas izmantojamo daļu līdz 19 %.

2. Uzkrājot prototipa ražoto enerģiju vienas soļošanas stundas laikā, tā var nodrošināt elektronisko ierīču darbību atbilstoši 3.14. tabulai (dati no enerģijas pārveidotāja testēšanas žaketē). Tabula adaptēta pēc [25]. Enerģijas pārveidotāja ar plakano struktūru jaudas blīvumu salīdzinājums ir parādīts 3.24. attēlā.

3.14. tabula

Enerģijas patēriņš ar bateriju darbināmās ierīcēs

Ierīces tips	Jaudas patēriņš	Enerģijas autonomija	Enerģijas pārveidotāja barošanas iespējas
Viedtālrunis	1 W	5 h	2 s
MP3 atskaņotājs	50 mW	15 h	30 s
Dzirdes aparāts	1 mW	5 dienas	0,4 h.
Elektrokardiostimulators	50 μW	7 gadi	8 h
Kvarca pulkstenis	5 C	5 gadi	80 h
Bezvada sensora mezgls	100 μW	mūžīga (akumulators + enerģijas pārveidotājs)	4 h



3.24. att. Maksimālā jauda kā izmēru un frekvences izmaiņas funkcija. Izmērs un enerģijas patēriņš dažādiem iespējamiem pielietojumiem. Attēls adaptēts pēc [50]

3.14. tabulā un 3.24. attēlā publicētie un attēlotie dati norāda, ka enerģijas pārveidotāja attīstītā jauda ir pietiekama, lai darbinātu apgērbā integrētos sensorus.

3. Iegūtie jaudas blīvumi ir salīdzināmi ar citu pētnieku dažādas formas elektrodinamisko pārveidotāju rezultātiem, kas apkopoti *Mitcheson* un līdzautoru rakstā [50], bet, ņemot vērā, ka minētie pārveidotāji darbojas pie augstākām frekvencēm (piemēram, [251] $P/V = 2200 \mu\text{W}/\text{cm}^3$ pie $f = 320 \text{ Hz}$), var redzēt, ka, izmantojot plakanos spirālveida induktorus, ir iespējams iegūt jaudas blīvuma vērtības, kas pie vienādām darbības frekvencēm ir salīdzināmas ar labākajiem trīsdimensiju pārveidotājiem.
4. Salīdzinot izveidoto enerģijas pārveidotāju ar citu pētnieku plakanas formas elektromagnētiskiem enerģijas pārveidotājiem, kas apkopoti *Zhao* darbā [252] (3.15. tab.), var redzēt, ka ne viens no tiem nav paredzēts integrēšanai apgērbā.

3.15. tabula

Plakanas formas elektromagnētiskā enerģijas pārveidotāja raksturlielumi

Pētnieki	Tilpums, cm ³	Masa, kg	Jauda, W	Lietojums
<i>P. Zeng et al.</i>	116	0,86	0,83	Kājas uzlika
<i>Z. Yang et al.</i>	520	3,25	7,20	Mugursoma
<i>P. Niu et al.</i>	903	2,00	0,784	Mugursoma
<i>I. Stamenkovic et al.</i>	10	0,096	0,059	Kājas uzlika

5. Salīdzinot enerģijas pārveidotāja testēšanas rezultātus ar citu pētnieku dažādu veidu pārveidotāju rezultātiem pēc enerģijas iegūšanas avota, kas apkopoti *Carroll* darbā [253] (3.16. tab.), var redzēt, ka izmantojot plakanos spirālveidīgos induktorus, ir iespējams iegūt jaudas vērtības, kas ir salīdzināmas ar citu pārveidotāju vidējo ģenerēto enerģiju.

Roku kustību enerģijas pārveidotāju raksturlielumi

Pētnieki	Jauda	Tilpums, cm ³
<i>Niu</i>	10 mW	Nav minēts
<i>Nightstar</i>	200 mW	Nav minēts
<i>Renaud</i>	40 μ W	< 1
<i>Renaud</i>	47 – 600 μ W	14
<i>Li</i>	0.3 μ W	Nav minēts

Piedāvātajam enerģijas pārveidotājam ir vairākas priekšrocības:

- enerģijas pārveidotāja **svars ir nenožīmīgs** salīdzinot ar izstrādājuma svaru un **nodrošina** tādu pat **pārvietošanās brīvību**, kā apgērbā bez enerģijas pārveidotāja;
- enerģijas pārveidotājam ar plakānu indukcijas elementu **nav nepieciešams papildus tilpums magnēta kustībai**, jo spole un magnēts izvietoti dažādās apgērba daļās, kas valkātajam pārvietojoties kustas viena attiecībā pret otru, to var ievietot praktiski jebkurā apgērbā;
- enerģijas pārveidotāja elementi ir plakani, ar nelielu svaru, līdz ar to ir iespējama to **ievietošana bez apgērba formas un ārējā izskata izmaiņām**;
- pateicoties izveidotā pārveidotāja divdimensionālajai ģeometrijai, **apgērba elementu kustības** valkātajā kustību laikā var **tikt tieši izmantotas enerģijas pārveidotāja darbināšanai**;
- enerģijas pārveidotāja konstrukcijas elementi **nav apvienoti vienā korpusā** un var tikt izvietoti praktiski **jebkura veida apgērbā**, ņemot vērā to darbības principus, piemēklējot apgērbam piemērotus struktūrelementus (magnētu un induktīvo elementu) un ievietošanas vietas;
- mainot induktīvo elementu izmēru, materiālu, ģeometriju, spoļu slāņu skaitu un to savstarpējo izvietojumu, **var mainīt enerģijas pārveidotāja parametrus**;
- pārveidotāja plakanā ģeometrija ļauj **minimizēt** pārveidotāja **aizņemto tilpumu**, samazinot to līdz elementu kopējam tilpumam, kas, salīdzinot ar citiem pārveidotājiem nodrošina **lielāku jaudas blīvumu**;
- par vēl vienu priekšrocību var uzskatīt izveidotā enerģijas pārveidotāja **neinerģiālo raksturu**, kas nodrošina vienādi labu darbību plašā frekvenču diapazonā, nevis noteiktā rezonanses frekvencē, attiecīgi, šāda sistēma nav jāpielāgo konkrēta lietotāja (apgērba valkātajā) kustību ātrumam, toties kustību trajektoriju īpatnības var samazināt iekārtas ģenerēto enerģiju. Lai samazinātu šo negatīvo efektu, jāpiemeklē apgērba vietas, kas konkrētajam valkātajam kustību laikā pārvietojas vistuvāk viena otrai;
- pētāmais elektromagnētiskais enerģijas pārveidotājs ir **vienkāršs lietošanā** un var tikt izmantots kā **mobils un labai draudzīgs enerģijas avots**.
- par trūkumu var uzskatīt enerģijas pārveidotāja izejas parametru atkarību no magnēta pārvietošanās ātruma un attāluma līdz PIE, ko ietekmē cilvēkfaktora kritēriji – gan valkātajā kustības ātrums un veids (sabalansēta vai nesabalansēta kustība), gan arī cilvēka kustību īpatnības, kas, savukārt, ir atkarīgas no ķermeņa uzbūves īpatnībām;

Apakšnodaļas secinājumi

Pārveidotāja plakanā ģeometrija ļauj ievietot pārveidotāja sastāvdaļas apgērba elementos, neietekmējot to ārējo izskatu un enerģijas pārveidotāja attīstītā jauda ir pietiekoša, lai darbinātu apgērbā integrētos sensorus, tāpat tā jauda ir pietiekama informācijas nosūtīšanai attālinātiem uztvērējiem.

Kopsavilkums

Pētāmais elektromehāniskais enerģijas pārveidotājs, kas darbojas pēc elektromagnētiskās indukcijas principa, ir realizējams divdimensiju formā un ievietojams apgērba elementos un/vai aksesuāros (piem., somās), kas kustas periodiski viens gar otru soļošanas laikā. Magnētam kustoties gar indukcijas elementu, tanī tiek inducēts elektriskā sprieguma impulss.

Plakano induktīvo elementu iestrādāšana viedapgērbā var notikt divējādi atkarībā no integrēšanas pakāpes, - gan kā adaptēšana apgērbam (paslēpjot tos starp apgērba kārtām), gan arī izstrādājot induktīvo elementu uz tekstilmateriāla bāzes (veidojot tos kā dizaina elementus).

Promocijas darbā izstrādāti viedizstrādājumi: jakas prototipi un komplekts jostas soma un noņemamā aproce ar ievietotu plakanu elektropārveidotāju, kas pārveido valkātāja ķermeņa mehānisko kustību enerģiju elektrībā.

VISPARĪGI SECINĀJUMI

1. Pašlaik viedapģērbu elektronisko sistēmu darbināšanai izmanto dažādas baterijas, kas prasa periodisku apkopi (nomaiņu vai uzlādi) un rada papildus slodzi uz apkārtējo vidi. Lai to samazināt, pēdējā laikā aktīvi tiek meklēti alternatīvi dabai draudzīgāki un autonomi ģeneratori. Cilvēka kustību enerģijas pārveidošana elektrībā ir neizsmeļams enerģijas avots apģērbā integrētiem sensoriem un citiem elektroniskiem elementiem, kuru darbība var sniegt informāciju gan par cilvēka veselību, gan par tā atrašanās vietu, kā arī brīdināt par bīstamiem faktoriem apkārtņē.
2. Līdz šim piedāvātie mehāniskās enerģijas pārveidotāji (ģeneratori) ar tradicionālo cilindrisko induktīvo elementu (spoli) vai plakanu spoli ir veidoti kā trīsdimensiju ierīces, kas nav piemērotas integrēšanai cilvēka apģērbā. Promocijas darbā ir attīstīts cilvēka mehānisko kustību elektromagnētisko enerģijas pārveidotājs elektriskajā enerģijā ar plakanu arhitektūru un eksperimentāli pētītas iespējas optimizēt (panākt maksimāli lielu ģenerēto jaudu uz tilpuma vienību) enerģijas pārveidotāja parametrus, mainot spoļu pieslēguma un savienojuma veidu, spoļu slāņu skaitu un to savstarpējā izvietojumu. Ģenerētā enerģija un attīstītā jauda pieaug līdz ar spoles vijumu un slāņu skaita palielināšanu, virknē savienojot spoles tā, ka ģenerētajiem impulsiem ir pretēja polaritāte un attālums starp spolēm ir nulle.
3. Darbā pētīti mehanoelektriskās (elektromagnētiskās) enerģijas pārveidotāju integrēšanas apģērbā vēlamie nosacījumi: apģērba sortimenta, apjoma, induktīvo elementu izvietojuma ietekme uz ģenerētās enerģijas daudzumu. Lielāko jaudu $502 \mu\text{W} \pm 100 \mu\text{W}$ un $261 \mu\text{W} \pm 64 \mu\text{W}$ izdevās iegūt ar integrētām enerģijas pārveidotāja daļām apmēram 8 cm zem vidukļa jakā ar neaustu drānu siltinātāju pie kustības ātrumiem attiecīgi 6 km/h un 4,5 km/h.
4. Mazgāšanas ietekmes pētījumi uz induktīvo elementu ilgmūžību rāda, ka induktīvie elementi ar laminēšanu un ar termoplastisko adhēzijas pārklājumu pēc mazgāšanas nav mainījuši elektrisko pretestību, tomēr laminētajiem induktīvajiem elementiem palielinās gabarītizmērs.
5. Lai izslēgtu PIE elektrovadošā vada pārrāvumu mazgāšanas laikā, elektromagnētiskā enerģijas pārveidotāja elementu ievietošanu jāparedz tā, lai pirms mazgāšanas un kopšanas to būtu iespējams izņemt no apģērba.
6. Plakano induktīvo elementu var adaptēt viedapģērbam ar apģērbu tehnoloģijām vai izveidot tos kā dizaina elementus uz tekstilmateriāla bāzes ar pārklājumu tehnoloģiju, un/vai integrēt elektropavedienus vai elektrovadus. Salīdzinot manuālas, izšūšanas, uzšūšanas un drukāšanas tehnoloģijas plakanu indukcijas spoļu izgatavošanai, konstatēts, ka manuāli izgatavotajam spolēm enerģijas un jaudas vērtības ir lielāka nekā ar citām tehnoloģijām veidotām spolēm. Tas izskaidrojams ar to, ka uzšūtajai spolei ir divas reizes mazāks vijumu skaits, izšūtajām spolēm ir mazāks vijumu skaits un salīdzinoši liela iekšējā pretestība un *PCB* tehnoloģijas spolēm ir liela iekšējā pretestība mazā šķērsgriezuma laukuma dēļ.
7. Izstrādātie apģērba varianta prototipi ar ievietotiem plakanas arhitektūras elektropārveidotājiem transformē valkātāja ķermeņa mehānisko kustību elektroenerģijā. Piedāvātais elektromagnētiskais enerģijas pārveidotājs var tikt izmantots kā mobils un dabai

draudzīgs enerģijas avots, kas būtiski nemaina apģērba tekstildrānu struktūras vizuālās īpašības, gabarītizmērus un svaru.

8. Eksperimentāli noteikta optimāla ģeneratora daļu konfigurācija un izvietojums apģērbā. Darba izpildes laikā izstrādātā metodika PIE integrēšanai apģērbā ļauj noteikt optimālo integrēto elementu izvietojumu un skaitu.

9. Ģenerēto elektrisko enerģiju var izmantot dažādu ierīču (sensoru, detektoru u. c.) darbināšanai, informācijas nosūtīšanai attālinātiem uztvērējiem un/vai uzkrāt vēlākai izmantošanai.

10. Ņemot vērā magnētu ietekmi uz cilvēka veselību, tekstilizstrādājumu ar elektromagnētisko enerģijas pārveidotāju ar plakanu struktūru deklarācijās (instrukcijās) būtu jāiekļauj informācija par iespējamiem veselības apdraudējumiem vai negatīvo ietekmi uz personām ar elektroniskajiem kardiostimulatoriem un kardiodefibrilatoriem saistībā ar pastāvīgu magnētu klātbūtni.

LITERĀTŪRAS SARAKSTS

1. Hurford R., Martin A., McCann J.D. Designing Wearables: A Brief Discussion. Design Workshop at the 11th International Symposium on Wearable Computers (IEEE). USA, Boston, 2007, pp. 2–6.
2. Кричевский Г.Е. НБИК-технологии для создания "универсального солдата". Нанотехнологии Экология Производство. Москва : Издательский дом "Нанотех" 2011, № 5, 58-63 с.
3. Koncar V., Deflin E., Weill A. Communication apparel and optical fibre fabric display. Tao X, (ed.) Wearable electronics and photonics. Cambridge : Woodhead Publishing Ltd, 2000, pp. 155–176.
4. Fan X., et al. Wire-Shaped Flexible Dye-sensitized Solar Cells. Advanced Materials. 2008, Vol. 20, Iss. 3, pp. 592–595. Available from: doi: 10.1002/adma.200701249.
5. Bessette R.R., et al. Development and characterization of a novel carbon fiber based cathode for semi-fuel cell applications. Journal of Power Sources. 2001, Vol. 96, Iss. 1, pp. 240–244. Available from: doi: 10.1016/S0378-7753(01)00492-X.
6. Shtein M., Pipe K., Peumans P. Solar and Thermal Energy Harvesting Textile Composites for Aerospace Applications [online]. Michigan University. Project number FA9550-06-1-0399 Final Report, 2012, pp. 1-10. Available from: <http://oai.dtic.mil/oai/oai?verb=getRecord&metadataPrefix=html&identifier=ADA563065>
7. Zhang X., et al. Power generation by packed-bed air-cathode microbial fuel cells. Bioresource Technology. 2013, Vol. 142, pp. 109–114. Available from: doi: 10.1016/j.biortech.2013.05.014.
8. Roco M., Bainbridge W. Overview. Roco M. Bainbridge W., ed. Converging Technologies for Improving Human Performance: Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology and Cognitive Science. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003, pp. 1–28. ISBN 1-4020-1254-3.
9. Tekstilnozares attīstības inovatīvi risinājumi. Šahta, I., Baltiņa, I., Pūce, M. 1(4), Rēzekne, 2012, Latgales tautsaimniecības pētījumi: sociālo zinātņu žurnāls, lpp. 329–345.
10. Adonovska M. E-textiles: The intersection of computation and traditional textiles. Interactive Sample Book. Master Thesis. Copenhagen: Aalborg University, 2009. 120 p.
11. LVS CEN/TR 16298:2012. Tekstilizstrādājumi un tekstilpreces. Viedie tekstilizstrādājumi. Definīcijas, klasifikācija, lietojumprogrammas un standartizācijas nepieciešamība. Standarts.
12. Limberis A., Olsson S. Intelligent Biomedical clothing for personal health and disease management. Telemedicine Journal and E-Health. 2003, Vol. 9, Iss. 4 pp. 379–386.
13. Langerhove L., (ed). Smart textile for medicine and healthcare: Materials, systems and applications. Cambridge : Woodhead Publishing Ltd, 2007. pp. 336.
14. Berzowska J., Coelho M. Kukkia and Vilkas: kinetic electronic garments. Proceedings of the Ninth IEEE International Symposium on Wearable Computers, 2005. pp. 82–85. Available from: doi: doi.ieeecomputersociety.org/10.1109/ISWC.2005.29

15. Jeong K.S. and Yoo S.K. Electro-Textile Interfaces: Textile-Based Sensors and Actuators. Cho G., ed. Smart Clothing. Technology and applications. Human Factors and Ergonomics. Boca Raton: CRC Press, 2010, pp. 89–114.
16. Mattila H., (ed.) Intelligent textiles and clothing. Woodhead Publishing in Textiles. Iss. 54. - Cambridge : Woodhead Publishing Ltd, 2006. 528 p.
17. Luprano J. On-Body Diagnosis for Wearable Systems Serving Biomedical Needs Lymberis A. Rossi D., ed. Wearable eHealth Systems for Personalised Health Management: State of the Art and Future Challenges. Studies in Health Technology and Informatics. Vol. 108. Amsterdam: IOS Press, 2004, pp. 162–171.
18. Šahta, I. Apģērbā integrētas elektroniskas termoregulācijas sistēmas izstrāde. Rīga : Rīgas Tehniskā universitāte, 2014. lpp. 59, Promocijas darba kopsavilkums.
19. Langenhove L., Hertleer C. Smart Textiles in Vehicles: A Foresight. Journal of textile and apparel. Technology and management. 2004, Vol. 3, Iss. 4, pp. 1–6.
20. Tao, X. Introduction. Wearable electronics and photonics. Cambridge : Woodhead Publishing Ltd, 2005, lpp. 1–12.
21. Rogers G. An Introduction to Intelligent Material Systems and Structures Chong K. P., Liu, S. C., & Li, J. C., ed. Intelligent structures. London: Elsevier Applied Science Ltd, 1990, pp. 3–43.
22. Gilbert J., Balouchi F. Comparison of Energy Harvesting Systems for Wireless Sensor Networks. International Journal of Automation and Computing. 2008, Vol. 5, Iss. 4, pp. 334–347. Available from: doi: 10.1007/s11633-008-0334-2.
23. Starner T. Powerful change Part I: Batteries and possible alternatives for the mobile market. Pervasive Computing. 2003, Vol. 2, Iss. 4, pp. 86–88.
24. Corbishley P., Rodriguez-Villegas E. Breathing detection: towards a miniaturized, wearable, battery-operated monitoring system. IEEE Transactions on Biomedical Engineering. 2008, Vol. 55, Iss. 1, pp. 196–204. Available from: doi: 10.1109/TBME.2007.910679.
25. Vullers R.J.M., et al. Micropower energy harvesting. Solid-State Electronics. 2009, Vol. 53, Iss. 7, pp. 6846–93. Available from: doi:10.1016/j.sse.2008.12.011
26. Buren T. Body-Worn Inertial Electromagnetic Micro-Generators. Zurich: Dissertation Swiss Federal Institute of Technology, 2006. 186 p. Dissertation. ETH 16466.
27. Vouyioukas D. and Karagiannis A. Pervasive Homecare Monitoring Technologies and Applications. Grasczew G., Rakowsky S., ed. Telemedicine Techniques and Applications. Rijeka: InTech, 2011, pp. 45–70. Available from: doi: 10.5772/21439
28. Iso-Ketola P., et al. A Mobile Device as User Interface for Wearable Applications. Proceeding of the Workshop: Pervasive Mobile Interaction Devices. Mobile Devices as Pervasive User Interfaces and Interaction Devices. In conjunction with the 3rd International Conference on Pervasive Computing 2005. pp. 5–9. Available from: http://www.medien.ifi.lmu.de/permid2005/pdf/Proceedings_Permid2005.pdf
29. Varga O., Lueckefett H.-J. Divergence by Harmonisation: Basic of the EU Directive on Batteries the Legal Scope and its Impacts. The Battcon™ 2010 International Stationary Battery Conference and Trade Show. 2010. pp. 7-1–7-6.

30. Moghaddam S., et al. A self-regulating hydrogen generator for micro fuel cells. *Journal of Power Sources*. 2008, Vol. 185, Iss. 1, pp. 445–450. Available from: doi: 10.1016/j.jpowsour.2008.06.060.
31. Gonzalez J.L., Rubio A., and Moll F. Human Powered Piezoelectric Batteries to Supply Power to Wearable Electronic Devices. *Human Powered Piezoelectric Batteries International Journal of the Society of Materials Engineering for Resources*. 2002, Vol. 10, Iss. 1, pp. 34–40.
32. Paradiso J. A. and Starner T. Energy scavenging for mobile and wireless electronics. *IEEE Pervasive Computing*. 2005, Vol. 4, Iss. 1, pp. 18–27. Available from: doi: 10.1109/MPRV.2005.9.
33. Roundy S., Wright P.K. and Rabaey J.M. *Energy Scavenging For Wireless Sensor Networks: With Special Focus On Vibrations*. Norwell: Kluwer Academic Publishers, 2004, 212 p.
34. Starner T. Human-powered wearable computing. *IBM Systems Journal*. 1996, Vol. 35, Iss. 3-4, pp. 618–629. Available from: doi: 10.1147/sj.353.0618.
35. Saez L. M. *Energy Harvesting from Human Passive Power*. Dissertation. Universitat Politècnica de Catalunya, 2009. 197 p.
36. Starner T. and Paradiso J. *Human Generated Power for Mobile Electronics* Piguet C., ed. *Low-Power Electronics Design*. Computer Engineering Series. Boca Raton: CRC Press, 2004, pp. 45-1–45-35.
37. Jansen A.J., Stevels A.L.N. Human power, a sustainable option for electronics. *Proceedings of the 1999 IEEE, International Symposium on Electronics and the Environment, ISEE-1999*. USA, Danvers, May 11-13, 1999. IEEE, 1999, pp. 215–218. Available from: doi: 10.1109/ISEE.1999.765878.
38. Paradiso, J. and Feldmeier, M. A Compact, Wireless, Self-Powered Pushbutton Controller. *Ubicomp 2001: Ubiquitous Computing - 3rd International Conference Proceeding*. Berlin: Springer, 2001. pp. 299–304.
39. Khammas A. A. W. *Buch der Synergie. Teil C* [online]. Available from: http://www.buch-der-synergie.de/c_neu_html/inhalt_c.htm
40. Jansen A. J. *Advances in Human-Powered Energy Systems in Consumer Products*. *Proceedings of Design 2004, the 8th International Design Conference*. Croatia, Dubrovnik, May 18 - 21, 2004. Vol. 3. pp. 1539–1544.
41. Stevels A.L.N., Jansen A.J. Renewable energy in portable radios, an environmental benchmarking study. *Journal for Sustainable Product Design*. 1998, Iss. 4, pp. 1–5.
42. Batteryless flashlights [online]. ForeverFlashlights Available from: <http://www.foreverflashlights.com/>
43. Mateu, L. and Moll F. Review of Energy Harvesting Techniques and Applications for Microelectronics. *Proceedings of the SPIE. VLSI Circuits and Systems II*. Spain, Sevilla, May 9, 2005. Volume 5837. pp. 359–373. Available from: doi: 10.1117/12.613046.
44. Yildiz F. Potential Ambient Energy-Harvesting Sources and Techniques. *The Journal of Technology Studies*. 2009, Vol. 35, Iss. 1, pp. 40–48.

45. Hoste L. and Pottel H. Is Body Surface Area the Appropriate Index for Glomerular Filtration Rate? Manisha Sahay, ed. Basic Nephrology and Acute Kidney Injury Rijeka : InTech, 2012, pp. 3–20.
46. Geraghty E.M. and Boone J.M. Determination of Height, Weight, Body Mass Index, and Body Surface Area with a Single Abdominal CT Image. Radiology. 2003, Vol. 228, Iss. 3, pp. 857–863. Available from: doi: 10.1148/radiol.2283020095.
47. Penglin N. et al. Evaluation of Motions and Actuation Methods for Biomechanical Energy Harvesting. 35th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference 2004, 2004. Vol. 3. pp. 2100–2106. Available from: doi: 10.1109/PESC.2004.1355442
48. Riemer R. and Shapiro A. Biomechanical energy harvesting from human motion: theory, state of the art, design guidelines, and future directions. Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation, 2011, 8:22 (13 p.). e-ISSN 1743-0003. Available from: doi:10.1186/1743-0003-8-22.
49. Meng Y. and Kim H.-C. A review of Accelerometer-Based Physical Activity Measurement. Proceedings of the International Conference on IT Convergence and Security, ICITCS 2011. Lecture Notes in Electrical Engineering (LNEE) Korea, Suwon, December 14-16, 2011. 2012, Vol. 120. pp. 223–238. Available from: doi: 10.1007/978-94-007-2911-7.
50. Mitcheson P.D., et al. Energy Harvesting From Human and Machine Motion for Wireless Electronic Devices. Proceedings of the IEEE. Vol. 96, Iss. 9, 2008, pp. 1457–1486. ISSN 0018-9219. Available from: doi: 10.1109/JPROC.2008.927494.
51. Poulin G., Sarraute E., Costa F. Generation of electrical energy for portable devices. Comparative study of an electromagnetic and a piezoelectric system. Sensors and Actuators A: Physical. 2004, Vol. 116, Iss. 3, pp. 461–471. Available from: doi: 10.1016/j.sna.2004.05.013.
52. Kansal A., et al. Power management in energy harvesting sensor networks. ACM Transactions on Embedded Computing Systems (TECS) - Special Section LCTES'05. 2007, Vol. 6, Iss. 4, article 32:1-38. Available from: doi: 10.1145/1274858.1274870.
53. Sudevalayam S., Kulkarni P. Energy Harvesting Sensor Nodes: Survey and Implications. IEEE Communications Surveys & Tutorials. 2011, Vol. 13, Iss. 3, pp. 443–461. Available from: doi: 10.1109/SURV.2011.060710.00094.
54. Holmes A. S., et al. Axial-flow microturbine with electromagnetic generator: Design, CFD simulation, and prototype demonstration. Proceedings of 17th IEEE International Micro Electro Mechanical Systems Conf. (MEMS 04). IEEE Press, 2004, pp. 568–571. Available from: doi: 10.1109/MEMS.2004.1290648
55. Wind energy harvester from Humdinger [online]. Energy Harvesting Journal, 2010 Available from: <http://www.energyharvestingjournal.com/articles/wind-energy-harvester-from-humdinger-00002146.asp?sessionid=1>
56. HYmini safety [online]. HYmini Available from: http://hymini.com/html/FAQ.html#hymini_3
57. Rabaey J. M., et al. PicoRadio Supports Ad hoc ultra-low power wireless networking. IEEE Computer. 2000, Vol. 33, Iss. 7, pp. 42–48. ISSN 0018-9162. Available from: doi: 10.1109/2.869369.

58. Kymissis J., et al. Parasitic power harvesting in shoe. ISWC '98 Proceedings of the 2nd IEEE International Symposium on Wearable Computers. Washington: IEEE Computer Society, 1998, pp. 132–139.
59. Raju M. Energy Harvesting [online]. Texas Instruments s Incorporated, 2008 Available from: http://www.ti.com/corp/docs/landing/cc430/graphics/slyy018_20081031.pdf
60. Kapti A.O. and Soydan Y. Energy Harvesting from the Biomechanical Movements of Human Body. 2nd International Symposium on Sustainable Development. Bosnia and Herzegovina, Sarajevo, June 8-9, 2010. pp. 725–731
61. Romero-Ramirez E. Energy Harvesting from Body Motion Using Rotational Micro-generation. Doctoral thesis. Michigan Technological University, 2010, 179 p.
62. Sue C-Y., Tsai N-C. Human powered MEMS-based energy harvest devices. *Applied Energy*. 2012, Vol. 93, pp. 390–403. Available from: doi: 10.1016/j.apenergy.2011.12.037.
63. Kosyachenko, L. A., (ed.) *Solar Cells – New Aspects and Solutions*. Rijeka : InTech, 2011. 522 p. ISBN 978-953-307-761-1. Available from: doi: 10.5772/21013
64. Goetzberger A. Heblinga ., Schocket H-W. Photovoltaic materials, history, status and Outlook. *Materials Science and Engineering R: Reports*. 2003, Vol. 40, Iss. 1, pp. 1–46. Available from: doi: 10.1016/S0927-796X(02)00092-X.
65. Singh M. K. Flexible Photovoltaic Textiles for Smart Applications. Kosyachenko L. A., eds. *Solar Cells – New Aspects and Solutions*. Rijeka: InTech, 2011, pp. 43–68. ISBN 978-953-307-761-1. Available from: doi: 10.5772/21013.
66. Leonov V. Energy Harvesting for Self-Powered Wearable Devices Bonfiglio A. De Rossi D., ed. *Wearable Monitoring Systems* New York: Springer Science+Business Media, LLC, 2011, pp. 27–43. Available from: doi: 10.1007/978-1-4419-7384-9.
67. Wang Z.L., et al. Progress in nanogenerators for portable electronics. *Materials Today*. 2012, Vol. 15, Iss. 12, pp. 532–543.
68. Chang J., et al. Piezoelectric nanofibers for energy scavenging applications. *Nano Energy*. 2012, pp. 356–371. Available from: doi: 10.1016/j.nanoen.2012.02.003.
69. Wang Z.L. and Wu W. Nanotechnology-Enabled Energy Harvesting for Self-Powered Micro-/Nanosystems. *Angewandte Chemie International Edition*. 2012, Vol. 51, Iss. 47, pp. 11700–11721. Available from: doi:10.1002/anie.201201656
70. Cepnik C., Lausecker R. and Wallrabe U. Review on Electrodynamic Energy Harvesters - A Classification Approach. *Micromachines*. 2013, Vol. 4, Iss. 2, pp. 168–196. Available from: doi: 10.3390/mi4020168
71. Limberis A. Rossi D. *Wearable eHealth Systems for Personalised Health Management: State of the Art and Future Challenges*. Studies in Health Technology and Informatics. Volume 108. Amsterdam: IOS Press, 2004, 354 p.
72. Italian solar fashion from Ennio Capasa [online]. Talk2myshirt, 2008 Available from: <http://www.talk2myshirt.com/blog/archives/479>
73. Jenkins K. Solar-Powered Bikini Soaks Up the Rays, Powers Your iPod [online]. *ecouterre*. Wearable Technology, 2011 Available from: <http://www.ecouterre.com/solar-powered-bikini-soaks-up-the-rays-powers-your-ipod/>

74. Solar Scottevest [SeV] [online]. Scottevest® Available from: http://www.scottevest.com/pdf/solar_insert_full.pdf
75. Design and Manufacturing of Solar Jacket for Charging the Mobile and Laptop Devices. Syed U. and Memon A. Design and Manufacturing of Solar Jacket for Charging the Mobile and Laptop Devices. International Journal of Current Engineering and Technology. 2012, Vol. 2, Iss. 4, pp.365–368.
76. Zegna Solar Powered Ski Jacket [online]. Affluent page Available from: <http://www.affluentpageluxuryindex.com/news-and-noteworthy/zegna-solar-powered-ski-jacket/>
77. It's Curtains for Solar Power – Nanotechnology Brings Solar Power to Fabrics [online]. Celsias Available from: <http://www.celsias.com/article/its-curtains-solar-power-nanotechnology-brings-sol/>
78. 2C Solar Light Cap Detailed Specifications [online]. 2C Solar Light Cap, 2011. Available from: <http://www.solarlightcap.com/html/specifications.html>
79. Schubert M.B., Werner J.H. Flexible solar cells for clothing. Materials Today. 2006, Vol. 9, Iss. 6, pp. 42–50. Available from: doi: 10.1016/S1369-7021(06)71542-5.
80. Print2Power™: Built in efficiency that delivers value at lower costs [online]. Nanosolar Available from: <http://www.nanosolar.com/technology/technology-advantages>
81. Hynek J.S., Campbell J.R., and Bryden K.M. Application of Digital Textile Printing Technology to Integrate Photovoltaic Thin Film Cells into Wearables [online]. Available from: <https://www.fibre2fashion.com/industry-article/3899/application-of-digital-textile-printing-technology>
82. Krebs, F.C. Strategies for incorporation of polymer photovoltaics into garments and textiles. Solar Energy Materials and Solar Cells. 2006, Vol. 90, Iss. 7-8, pp. 1058–1067. Available from: doi: 10.1016/j.solmat.2005.06.003.
83. Barr M.C., et al. Direct Monolithic Integration of Organic Photovoltaic Circuits on Unmodified. Advanced Materials. – 2011, Vol. 23, Iss. 31, pp. 3500–3505. Available from: doi: 10.1002/adma.201101263
84. Best Research - Cell Efficiency [online]. NREL: National Center for Photovoltaics. Available from: http://www.nrel.gov/ncpv/images/efficiency_chart.jpg
85. Trope S. Fotovoltaišie elementi tērpā. Maģistra darbs. Rīga, 2013. 90 lpp.
86. Yoon J. et al. Ultrathin Silicon Solar Microcells for Semitransparent, Mechanically Flexible and Microconcentrator Module Designs. Nature Materials. 2008, Vol. 7, pp. 907–915.
87. Eisenberg A. Solar Tech: Not Just on the Roof Anymore [online]. The New York Times, 2009 Available from: http://www.nytimes.com/2009/04/30/business/businessspecial2/30solar.html?ref=earth&_r=0
88. Shtein M. Toward textile-based solar cells [online]. SPIE Solar & Alternative Energy, 2008 Available from: <http://spie.org/x27087.xml?highlight=x2358>.
89. Development of Photovoltaic Textiles based on novel Fibres [online]. DEPHOTEX. Available from: <http://www.dephotex.com/>

90. Toivola M. et al. Photovoltaic fiber. *Thin Solid Films*. 2009, Vol. 517, pp. 2799–2802. Available from: doi:10.1016/j.tsf.2008.11.057
91. Francis L. et al. Fabrication and characterization of dye-sensitized solar cells from rutile nanofibers and nanorods. *Energy*. 2011, Vol. 36, Iss. 1, pp. 627–632. Available from: doi: 10.1016/j.energy.2010.09.054.
92. Russell G. et al. Photovoltaic fibers. *Proceedings of the SPIE. Organic Photovoltaics VII*. USA, San Diego, August 13, 2006. Vol. 6334, art. 633401. Available from: doi: 10.1117/12.683130
93. Forrest, S. R., Shtein M. Organic devices having a fiber structure. US7194173 B2 2007. gada.
94. Bedeloglu A.C. A Photovoltaic Fiber Design for Smart Textiles. *Textile Research Journal*. 2010, Vol. 80, Iss. 11, pp. 1065–1074. Available from: doi: 10.1177/0040517509352520.
95. Ramier J. Mechanical integrity of dye-sensitized photovoltaic fibres. *Renewable Energy*. 2008, Vol. 33, Iss. 2, pp. 314–319. Available from: doi: 10.1016/j.renene.2007.05.029.
96. Li Y. et al. The Optics of Organic Photovoltaics: Fiber-Based Devices. *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*. 2010, Vol. 16, Iss. 6, pp. 1827–1837. Available from: doi: 10.1109/JSTQE.2010.2044140.
97. Chittibabu, K. et al. Photovoltaic fibers. US 6913713 B2 2005. gada 5. july.
98. Lee M.R. Solar Power Wires Based on Organic Photovoltaic Materials. *Science*. 2009, Vol. 324, Iss. 5924, pp. 232–235. Available from: doi: 10.1126/science.1168539.
99. Bedeloglu A. Progress in Organic Photovoltaic Fibers Research Solar Cells – New Aspects and Solutions. Kosyachenko L. A., eds. Rijeka: InTech, 2011, pp. 255–286. Available from: doi: 10.5772/21013
100. The world's first energy-harvesting textile with micro spherical solar cells [online]. Spheral Power, 2012 Available from: <http://sphelarpower.com/news/30>
101. He R. et al. Silicon p-i-n Junction Fibers. *Advanced Materials*. 2013, Vol. 25, Iss. 10, pp. Available from: doi: 1461–1467. 10.1002/adma.201203879.
102. Lee C.H. et al. Peel-and-Stick: Fabricating Thin Film Solar Cell on Universal Substrates. *Scientific reports*. – 2012, Vol. 2, article Iss. 1000. Available from: doi: 10.1038/srep01000.
103. Kaltenbrunner M., et al. Ultrathin and lightweight organic solar cells with high flexibility. *Nature Communications*. 2012, Vol. 3, article Iss. 770. Available from: doi: 10.1038/ncomms1772
104. Leonov V. and Vullers R.J.M. Wearable electronics self-powered by using human body heat: the state of the art and the perspective. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*. 2009, Vol. 1, Iss. 6, article 062701 (14 p.). Available from: doi: 10.1063/1.3255465.
105. Aydin, E.A. and Guler I. Recent advances on body-heat powered medical devices. *Recent Patents on Biomedical Engineering*. 2011, Vol. 4, Iss. 1, pp. 33-37. Available from: doi: 10.2174/1874764711104010033.
106. Hoang, D.C. Thermal Energy From Human Warmth For Wireless Body Area Network In Medical Healthcare System. *International Conference on Power Electronics and Drive*

- Systems. PEDS 2009. Taiwan, Taipei, November 2-5, 2009. pp. 1277–1282. Available from: doi: 10.1109/PEDS.2009.5385814
107. Mateu, L. et al. Human Body Energy Harvesting Thermogenerator for Sensing Applications. Proceeding of the International Conference on Sensor Technologies and Applications. SensorComm 2007. Spain, Valencia, October 14-20, 2007. pp. 366–372. Available from: doi: 10.1109/SENSORCOMM.2007.4394949
 108. Dolezal Z., Hof U. J. Thermoelectrically-powered wrist watch. US Patent 4213292 A, 1978. gada.
 109. Martin J.-C., Piguet C. Wrist watch incorporating a thermoelectric generator. US Patent 4106279 A, 1975. gada.
 110. Kotanagi, S. et al. Watch Provided with Thermoelectric Generator Unit. EPO Patent EP0945769, 1999. gada 29. september.
 111. Botttner H. Termoelectric micro devices: current state, recent development and future aspect for technological progress and application. Proceedings ICT '02. XXI International Conference on Thermoelectrics, USA, Long Beach, August 25-29, 2002. - 2002. pp. 511–518. Available from: doi: 10.1109/ICT.2002.1190368.
 112. Seiko World's First [online]. SEIKO Available from: http://www.seikowatches.com/heritage/worlds_first.html
 113. Thermo Life® Overview [online]. Thermo Life® Energy Corp.. Available from: <http://www.poweredbythermolife.com/downloads.htm>
 114. Lauterbach C. et al. Smart clothes self-powered by body heat. Proceeding 2nd International Avantex Symposium. Germany, Frankfurt, 2002. (6 p.).
 115. Strasser, M. et al. Miniaturized Thermoelectric Generators Based on Poly-Si and Poly-SiGe Surface Micromachining Marc Strasser. Sensors and Actuators A: Physical. Selected papers from Transducer'01 and Eurosensors XV. 2002, Vol. 97-98, pp. 535–42.
 116. Leonov V., Vullers R.J.M. and Hoof C.V. Thermoelectric generator hidden in a shirt with a fabric radiator. 9th European Conference on Thermoelectrics (ECT). AIP Conference Proceedings. Greece, Thessaloniki, September 28-30, 2011. Vol. 1449. 2012, pp. 556–559. Available from: doi: 10.1063/1.4731617
 117. Orange Power Wellies [online]. Gotwind: The Renewable Energy Resource, 2010 Available from: http://www.gotwind.org/orange_power_wellies.htm
 118. Wearable thermal energy harvester powered by human foot . Xu G. et al. 1, 2013. gada, Frontiers Energy , Vol. 7, pp. 26–38.
 119. See K.C., et al. Water-Processable Polymer–Nanocrystal Hybrids for Thermoelectrics. Nano Letters. 2010, Vol. 10, Iss. 11, pp. 4664–4667. Available from: doi: 10.1021/nl102880k.
 120. Glatz W., Muntwyler S. and Hierold C. Optimization and fabrication of thick flexible polymer based micro thermoelectric generator. Sensors and Actuators A: Physical. 2006, Vol. 132, pp. 337–345. Available from: doi: 10.1016/j.sna.2006.04.024.
 121. Schwyter E., et al. Flexible Micro Thermoelectric Generator based on Electroplated Bi_{2+x}Te_{3-x}. Symposium on Design, Test, Integration and Packaging of MEMS/MOEMS.

- 2008, ©EDA Publishing, 2008. pp. 46–48. ISBN: 978-2-35500-006-5. 10.1109/DTIP.2008.4752949
122. Itoigawa, K. et al. Fabrication of flexible thermopile generator. *Journal of Micromechanics and Microengineering*. 2005, Vol. 15, Iss. 9, S233. Available from: doi: 10.1088/0960-1317/15/9/S10
 123. Goncalves L.M., et al. A human-body thermoelectric energy scavenging microsystem. *Proc. of MME 2008*. Germany, Aachen, September 28-30, 2008. pp. 49–52. Available from: http://dei-s1.dei.uminho.pt/pessoas/higino/pampus/LG_MME08.pdf
 124. Chen A. Thermal Energy Harvesting with Thermoelectrics for Self-powered Sensors: With Applications to Implantable Medical Devices, Body Sensor Networks and Aging in Place. Dissertation. Berkeley: University of California, 2011. 162 p. UMI 3498793.
 125. Koplow M., et al. Thick film thermoelectric energy harvesting systems for biomedical applications. *Proceeding of ISSS-MDBS 2008*. 5th International Summer School and Symposium Medical Devices and Biosensors. China, Hong Kong, June 1-3, 2008. pp. 322–325. Available from: doi: 10.1109/ISSMDBS.2008.4575084.
 126. Weber J., et al. Coin-size coiled-up polymer foil thermoelectric power generator for wearable electronics. *Sensors and Actuators A: Physical*. 2006, Vol. 132, Iss. 1, pp. 325–330. ISSN 0924-4247.
 127. Jo S.-E., et al. Human Body Heat Energy Harvesting Using Flexible Thermoelectric Generator for Autonomous Microsystems. 16th International Conference on Miniaturized Systems for Chemistry and Life Sciences. 2012, pp. 839–841.
 128. Kume H. Fujifilm Shows High-efficiency Thermoelectric Converter Using Organic Material [online]. *Tech & Industry Analysis from Asia*, 2013 Available from: http://techon.nikkeibp.co.jp/english/NEWS_EN/20130206/264517/
 129. Smart Fabric technology - the future of festival charging [online]. University of Southampton, 2013 Available from: http://www.southampton.ac.uk/mediacentre/news/2013/jun/13_112.shtml
 130. Vodafone unveils the future of festival season tech: Charge your phone while you sleep [online]. Vodafone Social Official Vodafone UK blog, 2013 Available from: <http://blog.vodafone.co.uk/2013/06/12/vodafone-unveils-the-future-of-festival-season-tech-charge-your-phone-while-you-sleep/>
 131. NanoCenter . Center for Nanotechnology and Molecular Materials at Wake Forest University. [Tiešsaiste] <http://www.wfu.edu/nanotech/Welcome.html>.
 132. Hewitt C.A., et al. Multilayered Carbon Nanotube/Polymer Composite Based Thermoelectric Fabrics. *Nano Letter*. 2012, Vol. 12, Iss. 3, pp. 1307–1310. Available from: doi: 10.1021/nl203806q.
 133. Yadava, A., Pipea K.P., Shtein M. Fiber-based flexible thermoelectric power generator. *Journal of Power Sources*. – 2008, Vol. 175, Iss. 2. pp. 909–913. Available from: doi: 10.1016/j.jpowsour.2007.09.096
 134. Navone G.C., et al. Electrical power generation from knitted Textile using the body heat. *Proceedings Power MEMS*, 2007, pp. 311-314.

135. Plissonnier, M., Salvi C., Lanier T., Coulaux D. Thermoelectric structure and use of the thermoelectric structure to form a textile structure. US patent 8383926 2013. gada 26. February.
136. Electrostatic Power Harvesting in Textiles. Post E.R. and Waal K. 2010. Proc. ESA Annual Meeting on Electrostatics. Paper G1 .
137. Chiba S. and Waki M. Extending Applications of Dielectric Elastomer Artificial Muscles to Wireless Communication Systems Lin J.-C., (ed.) Recent Advances Wireless Communications and Networks: InTech, 2011, pp.435–454. Available from: doi: 10.5772/19015
138. Jean-Mistral C., Basrour S. and Chaillout J-J. Dielectric polymer: scavenging energy from human motion. Proceedings of SPIE. Electroactive Polymer Actuators and Devices, 2008. Vol. 6927, pp. 692716. Available from: doi: 10.1117/12.776879.
139. Jean-Mistral C. Récupération d'énergie mécanique par polymères électroactifs pour microsystemes autonomes communicants. Doctoral thesis. Université Joseph Fourier Grenoble I, 2008. 175 p.
140. Kendall, C. J. Parasitic Power Collection in Shoe Mounted Device . Department of Physics, Massachusetts Institute of Technology. 1998. BS thesis. 27 p.
141. Shenck N.S. A Demonstration of Useful Electric Energy Generation. MS Thesis. Massachusetts Institute of Technology, 1999. 137 p.
142. Shenck, N.S. and Paradiso, J.A. Energy Scavenging with Shoe-Mounted Piezoelectrics. IEEE Micro. 2001, Vol. 21, Iss. 3, pp. 30–42. ISSN 0272-1732. Available from: doi: 10.1109/40.928763.
143. Antaki J.F. et al. A Gait-Powered Autologous Battery Charging System for Artificial Organs. ASAIO Journal. – 1995, Vol. 41, Iss. 3, pp. M588–M595. Available from: doi: 10.1097/00002480-199507000-00079
144. Mateu M.L., Fonellosa F., and Moll F. Electrical Characterisation of a Piezoelectric Film- Based Power Generator for Autonomous Wearable Devices. Proceedings of the XVIII Conference on Design of Circuits and Integrated Systems, DCIS. Spain, Ciudad Real, November 19-21, 2003. Volume 18. pp. 673–682.
145. Kaajakari V. Microstructured piezoelectric shoe power generator outperforms batteries [online]. MEMS Journal, 2010. Available from: <http://www.memsjournal.com/2010/04/microstructured-piezoelectric-shoe-power-generator-outperforms-batteries.html>
146. Han D. and Kaajakari V. IEEE Xplore Digital Library. 2009. gada. Microstructured polymer for shoe power generation. Abstract .
- Han D. and Kaajakari V. Microstructured polymer for shoe power generation. The 15th International Conference on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems. TRANSDUCERS 2009. pp. 1393–1396. Available from: doi: 10.1109/SENSOR.2009.5285832.
- 147.. Haghbin N. Shoe embedded air pump type piezoelectric power harvester. MS thesis. Ryerson University, 2011. 84 p.

148. Fourie D. Shoe-Mounted PVDF Piezoelectric Transducer for Energy Harvesting. MIT Undergraduate Research Journal. 2010, Vol. 19, pp. 66–70.
149. Hayashida J.Y. Unobtrusive Integration of Magnetic Generator Systems into Common Footwear. BS Thesis. Massachusetts Institute of Technology, 2000. 31 p.
150. Eastwood K. Harvesting energy while walking [online]. // The Official Homepage of the United States Army Available, 2011 from: http://www.army.mil/article/60272/Harvesting_energy_while_walking/
151. SigAct Article - SPaRK June 2011 [online]. United States Military Academy West Point®. Center for Innovation and Engineering, 2011 Available from: <http://www.usma.edu/cie/SitePages/SPARK%20June%202011.aspx>
152. NTT R&D. "Walking Power Generator" – Charging a Mobile Device Simply by Walking. What's Hot in R&D. NTT Research and Development 2010 review of Activities. [Tiešsaiste] 2010. gada. http://www.ntt.co.jp/RD/OFIS/active/2010pdf/pdf/h_sw_e.pdf.
153. Kornbluh R.D., Eckerle J., and McCoy B. A scalable solution to harvest kinetic energy [online]. SPIE Newsroom: Solar & Alternative Energy, 2011. Available from: <http://spie.org/x48868.xml>. Available from: doi: 10.1117/2.1201106.003749.
154. Pelrine R.E. Heel-Strike Generator Using Electrostrictive Polymers [online]. SRI International Final report, 2002, (5 p.). Available from: <http://oai.dtic.mil/oai/oai?verb=getRecord&metadataPrefix=html&identifier=ADA414020>
155. Ashley S. Artificial Muscles. Scientific American. 2003, Vol. 289, Iss. 4, pp. 52-59.
156. Pozzi M., et al. The pizzicato knee-joint energy harvester: characterization with biomechanical data and the effect of backpack load. Smart Materials and Structures. 2012, Vol. 21, Iss. 7, art.075023. Available from: doi: 10.1088/0964-1726/21/7/075023.
157. Pozzi M. and Zhu M. Pizzicato excitation for wearable energy harvesters [online]. SPIE Newsroom: Solar & Alternative Energy, 2011. Available from: <http://spie.org/x48129.xml> Available from: doi: 10.1117/2.1201104.003682.
158. Bionic Power Inc. The PowerWalk™ Kinetic Energy Harvester. [Tiešsaiste] https://www.bionic-power.com/wp-content/uploads/2016/09/D0079-03_Technical-Brochure_Web.pdf.
159. Chen C., Chau L. Y. and Liao W. H. Knee-mounted biomechanical energy harvester [online]. 2011. Available from: http://www2.mae.cuhk.edu.hk/~cchen/index_files/Projects.htm
160. Harus L.G.dan Umarudin On the Development of a Human Energy Harvester Driven by Angular Knee Flexing During Walking/Running [online]. Available from: http://personal.its.ac.id/files/pub/4122-harus_lg-JTM10-27.pdf
161. Lightning Packs, LLC. [Tiešsaiste] http://www.lightningpacks.com/lightningpacks.com/About_Us_%7C_Lightning_Packs,_LLC.html.
162. Rome, L. C. et al. Generating electricity while walking with loads. Science. 2005. 5741 Vol. 309, Iss. 5741, pp. 172–1728. ISSN 0036-8075. Available from: doi: 10.1126/science.1111063.

163. Hofmann H. Energy Harvesting System [online]. University of Michigan, 2012. Available from: http://www.psma.com/sites/default/files/uploads/tech-forums-energy-harvesting/presentations/2012-apec-117-design-energy-harvesting-systems_0.pdf
164. Bateman H.A. Linear Electromagnetic Energy Scavenging Device Designed in Low Temperature Co-fired Ceramics: Master thesis. Boise State University, 2011, 146 p.
165. Metal Rubber™. Pproduct Information. 2011. gada. NanoSonic. Metal Rubber™ [online]. NanoSonic, Produkt Information 2011. Available from: <http://www.nanosonic.com/80/4/product.html>
166. Granstrom, J. et al. Energy harvesting from a backpack instrumented with piezoelectric shoulder straps. *Smart Materials and Structures*. 2007, Vol. 16, Iss. 5, pp. 1810–1820. ISSN: 0964-1726. Available from: doi: 10.1088/0964-1726/16/5/036.
167. Zhu D. Vibration Energy Harvesting: Machinery Vibration, Human Movement and Flow Induced Vibration Sustainable Tan Y. K., ed. *Energy Harvesting Technologies – Past, Present and Future*. Rijeka: InTech, 2011, pp. 25–54. ISBN 978-953-3. Available from: doi: 10.5772/25731.
168. Energy harvesting through a backpack employing a mechanically amplified piezoelectric stack. Feenstra J., Granstrom J., Sodano H. 3, 2008. gada, *Mechanical Systems and Signal Processing*, Vol. 22, lpp. 721–734.
169. Miao P. et al. MEMS Inertial Power Generators for Biomedical Applications. *Microsystem Technologies*, Vol. 12 (10). Berlin: Springer-Verlag, 08.2006, p. 1079–1083. Available from: doi: 10.1007/s00542-006-0152-9
170. Mitcheson P.D. Analysis and Optimisation of Energy-Harvesting Micro-Generator Systems. Doctoral theses. London: Imperial College London, 2005. 250 p.
171. Buren T. et al. Optimization of Inertial Micropower Generators for Human Walking Motion. *IEEE Sensors Journal*. – 2005, Vol. 6, Iss. 1, pp. 28–38. Available from: doi: 10.1109/JSEN.2005.853595.
172. Buren T. and Troster G. Design and optimization of a linear vibration-driven electromagnetic micro-power generator. *Sensors and Actuators A: Physical*. 2007, Vol. 135, Iss. 2, pp. 765–775. Available from: doi: 10.1016/j.sna.2006.08.009
173. Ruellan, M. et al. Electromagnetic resonant generator. *Conference Record of the 2005 IEEE Industry Applications Conference, Fourtieth IAS Annual Meeting*. China, Hong Kong, October 2-6, 2005. Volume3. pp. 1540–1547. Available from: doi: 10.1109/IAS.2005.1518650.
174. Romero E., Neuman M.R. and Warrington R.O. Kinetic Energy Harvester for Body Motion. *Proceedings of PowerMEMS 2009*, 2009. pp. 237–240.
175. Xie L. and Du R. Harvest human kinetic energy to power portable electronics. *Journal of Mechanical Science and Technology*. 2012, Vol. 26, Iss. 7, pp. 2005–2008. Available from: doi: 10.1007/s12206-012-0503-7
176. Niu P. Chapman, P. Design and Performance of Linear Biomechanical Energy Conversion Devices. *37th IEEE Power Electronics Specialists Conference*, 2006, pp. 1–6. Available from: doi: 10.1109/PESC.2006.1711996.

177. Bowers B.J. and Arnold D.P. Spherical Magnetic Generators for Bio-Motional Energy Harvesting. Proceedings of PowerMEMS 2008+ microEMS2008, 2008. pp. 281–284.
178. Watch News. Технологии сбережения энергии в кварцевых часах. [online]. Available from: <http://www.watchnews.com.ua/article-i-id-i-81120-i-tehnologii-sberezhenija-energii-v-kvartsevyh-chasah.html>.
179. Kinetic [online]. Seiko. The World of SEIKO. Available from: <http://www.seikowatches.com/world/technology/kinetic/index.html>
180. Ulysse Nardin Chairman Luxury Hybrid Smart Phone [online]. Ulysse Nardin. Available from: <http://ulyссе-nardin.project-release.info/about.html>
181. Jia D., Liu J., Zhou Y. Harvesting human kinematical energy based on liquid metal magnetohydrodynamics. Physics Letters A. 2009, Vol. 373, Iss. 15, pp. 1305–1309. Available from: doi: 10.1016/j.physleta.2009.02.028
182. Dai D., Liu J., Zhou Y. Harvesting biomechanical energy in the walking by shoe based on liquid metal magnetohydrodynamics. Frontiers in Energy. 2012, Vol. 6, Iss. 2, pp. 112–121. ISSN 2095-1701. e-ISSN 2095-1698. Available from: doi: 10.1007/s11708-012-0186-x.
183. Lemieux, A.P. Electrical energy generator. US patent 7498682 B2, 2009. gada 3. march.
184. Kinetic Energy Generation [online]. nPower® PEG. Personal Energy Generator. Available from: <http://www.npowerpeg.com/images/nPowerPEGMediaKitReduced10.12.pdf>
185. Saha, C. R. et al. Electromagnetic generator for harvesting energy from human motion. Sensors and Actuators A: Physical. 2008, Vol. 147, Iss. 1, pp. 248–253. Available from: doi: 10.1016/j.sna.2008.03.008.
- 186 Saha C.R. Modelling Theory and Applications of the Electromagnetic Vibrational Generator Tan Y. K., ed. Sustainable Energy Harvesting Technologies. Past, Present and Future Rijeka: InTech, 2011, pp. 55–108. ISBN 978-953-307-438-2.
187. Vatansever D., et al. Smart Woven Fabrics in Renewable Energy Generation Vassiliadis S., ed. Advances in Modern Woven Fabrics Technology. Rijeka: InTech, 2011, pp. 23–38. ISBN 978-953-307-337-8. Available from: doi: 10.5772/24790
188. Guillot F.M., Beckham H.W., Leisen J. Hollow Piezoelectric Ceramic Fibers for Energy Harvesting Fabrics. Journal of Engineered Fibers and Fabrics. 2013, Vol. 8, Iss. 1, pp. 75–81 .
189. Siores E. Smart Materials for Energy Regeneration [online]. University of Bolton. Knowledge Centre Materials Chemistry, 2012. Available from: <http://eh-network.org/events/eh2012/presentations/siores.pdf>
190. Arnold D.P. Review of Microscale Magnetic Power Generation. IEEE Transactions on Magnetics. 2007, Vol. 43, Iss. 11, pp. 3940–3951. ISSN 0018-9464. Available from: doi: 10.1109/TMAG.2007.906150.
191. Hoffman N.G. A miniature electromechanical generator design utilizing human motion. Master's Thesis. Monterey: Naval Postgraduate School, 2010. 98 p.

192. Roh J.-S., Chi Y.-S. and Kang T.J. Wearable textile antennas. *International Journal of Fashion Design, Technology and Education*. Special Issue: Smart Textiles. 2010, Vol. 3, Iss. 3, pp. 135–153. Available from: doi: 10.1080/17543266.2010.521194.
193. Kim Y., Kim H. and Yoo H.-J. Electrical Characterization of Screen-Printed Circuits on the Fabric. *IEEE Transactions on Advanced Packaging*. 2010, Vol. 33, Iss. 1, pp. 196–205. Available from: doi: 10.1109/TADVDP.2009.2034536.
194. Salvado R., et al. Textile Materials for the Design of Wearable Antennas: A Survey. *Sensors*. 2012, Vol. 12, Iss. 11, pp. 15841–15857. Available from: doi: 10.3390/s121115841.
195. Howey D.A., Bansal A., Holmes A.S. Design and performance of a centimetre-scale shrouded wind turbine for energy harvesting. *Smart Materials and Structures*. 2011, Vol. 20, Iss. 8, art. 085021 (12pp). Available from: doi: 10.1088/0964-1726/20/8/085021.
196. Bau O., Petrevski U. and Mackay W. BubbleWrap: a textile-based electromagnetic haptic display. *CHI EA '09: Proceedings of the 27th International Conference on Human factors in Computing Systems*, 2009, pp. 3607–3612. Available from: doi:10.1145/1520340.1520542
197. Perez-Rodriguez A., et al. Electromagnetic Inertial Generators for Vibrational Energy Scavenging Compatible with Si Technology. *Proceedings PowerMEMS 2005. The Fifth International Workshop on Micro and Nanotechnology for Power Generation and Energy Conversion Applications*, 2005. pp. 57–60.
198. Sardini E., Serpelloni M. An efficient electromagnetic power harvesting device for low-frequency applications. *Sensors and Actuators A: Physical*. 2011, Vol. 172, Iss. 2, pp. 475–482. Marioli D., Sardini E., Serpelloni M. Electromagnetic Generators Employing Planar Inductors for Autonomous Sensor Applications. *Procedia Chemistry*. 2009, Vol. 1, Iss. 1, pp. 469–472. Available from: doi: 10.1016/j.proche.2009.07.117.
200. Romero E., Warrington R.O. and Neuman M.R. Body Motion for Powering Biomedical Devices. *31st Annual International Conference Proceeding of the IEEE EMBS. Engineering in Medicine and Biology Society*. 2009. pp. 2752–2755. Available from: doi: 10.1109/IEMBS.2009.5333329.
201. Köhler A.R. End-of-life implications of electronic textiles. Assessment of a converging technology. Master Thesis. Lund University, 2008. 89 p.
202. Самарин А. Электроника, встроенная в одежду - технологии и перспективы (часть 1). *Компоненты и технологии*. 2007. № 4. 221–228 с.
203. Merritt, Carey Reid. A Review of Electronic Textiles Technologies for Personalized Health Monitoring of Electrocardiograms and Respiration. *Electrical Engineering*, Raleigh, North Carolina State University. 2008. 175. p., Doctoral dissertation.
204. Plakano induktīvo elementu dizains. Dāboliņa I., Blūms J. 9. sēr., *Materiālzinātne*, Rīga : Rīgas Tehniskā universitāte, 2011, RTU zinātniskie raksti, Vol. 6, lpp. 105–109. ISSN 1691-3132.
205. Pan, L. et al. Hierarchical nanostructured conducting polymer hydrogel with high electrochemical activity PNAS. *National Academy of Sciences*. 2012, Vol. 109, Iss. 24, pp. 9287–9292. Available from: doi: 10.1073/pnas.1202636109/-/DCSupplemental.

206. Suh, Minyoung. Development of Wireless Transmission Between Inductively Coupled Layers in Smart Clothing . Textile Technology Management, Raleigh, North Carolina State University. 2011. 135. p., Doctoral dissertation.
207. Roh J.-S., Chi Y.-S., Lee J.-H., Nam S., and Kang T.J. Characterization of embroidered inductors. Smart Materials and Structures. 2010, Vol. 19, Iss. 11, art. 115020 (12 p.). Available from: doi:10.1088/0964-1726/19/11/115020
208. Савелов А.А. Плоские кривые. Систематика, свойства, применения. Справочное руководство. Москва: Государственное издательство физико-математической литературы, 1960, 296 с.
209. Hugan M. Dandelion wearable windpower [online]. Available from:
www.rhymeandreasoncreative.com/portfolio/index.php?project=dandelion
210. Charge Gadgets with Mini Wind Power Station [online]. Geek Alerts, 2008 Available from: www.geekalerts.com/charge-gadgets-with-mini-wind-power-station
211. Windbelt™ Innovation: Overview [online]. Humdinger Wind Energy LLC Available from: http://www.humdingerwind.com/pdf/microBelt_brief.pdf
212. Leonov V., et all. Micromachined polycrystalline Si thermopiles in a T-shirt. Sensors & Transducers Journal. 2011, Vol. 127, Iss. 4, pp. 15–26.
213. Leonov V., et al. Smart Wireless Sensors Integrated in Clothing: an Electrocardiography System in a Shirt Powered Using Human Body Heat. Sensors & Transducers Journal. 2009, Vol. 107, Iss. 8, pp. 165–176.
214. Students' Wind- and Solar-Powered Bike Helmet Charges Gadgets While Protecting Riders [online]. treehugger, 2010 Available from:
<http://www.treehugger.com/cars/students-wind-and-solar-powered-bike-helmet-charges-gadgets-while-protecting-riders.html>.
215. Fujitsu Develops Hybrid Energy Harvesting Device for Generating Electricity from Heat and Light [online]. Fujitsu Laboratories Ltd, 2010 Available from:
<http://www.fujitsu.com/global/news/pr/archives/month/2010/20101209-01.html>
216. Chandler, D.L. New chip captures power from multiple sources [online]. MIT News Office, 2012 Available from: <http://web.mit.edu/newsoffice/2012/chip-power-heat-vibration-light-0709.html>
217. Ut Arlington physics team demonstrated new power generation technique [online]. University of Texas at Arlington, 2012 Available from:
<https://www.uta.edu/news/releases/2012/11/WeiChen-Nanotechnologypaper.php>
218. Xue X. et al. Hybridizing Energy Conversion and Storage in a Mechanical-to-Electrochemical Process for Self-Charging Power Cell. Nano Letters. 2012, Vol. 12, Iss. 9, pp. 5048–5054. Available from: doi: 10.1021/nl302879t.
219. Redahan E. Flexible approach to energy harvesting [online]. The Institute of Materials, Minerals and Mining, 2011 Available from: <http://www.iom3.org/news/flexible-approach-energy-harvesting?c=574>
220. Vatansever D., Siores E. and Shah T. Alternative Resources for Renewable Energy: Piezoelectric and Photovoltaic Smart Structures. Singh B.R., ed. Global Warming –

- Impacts and Future Perspective. InTech, 2012, pp. 263–290. ISBN 978-953-51-0755-2. Available from: doi: 10.5772/50570
221. Lee D-Y. et al. Hybrid energy harvester based on nanopillar solar cells and PVDF nanogenerator. *Nanotechnology*. 2013, Vol. 24. Iss. 17, art. 175402 (6pp).. Available from: doi: 10.1088/0957-4484/24/17/175402.
 222. Park K-I. et al. Flexible Nanocomposite Generator Made of BaTiO₃ Nanoparticles and Graphitic Carbons. *Advanced Materials*. 2012, Vol. 24, Iss. 22, pp. 2999–3004. Available from: doi: 10.1002/adma.201200105.
 223. Chang C. et al. Direct-Write Piezoelectric Polymeric Nanogenerator with High Energy Conversion Efficiency. *Nano Letters*. 2010, Vol. 10, Iss. 2, pp. 726–731. Available from: doi: 10.1021/nl9040719.
 224. Dakua I. and Afzulpurkar N. Piezoelectric Energy Generation and Harvesting at the Nano-Scale: Materials and Devices. *Nanomaterials and Nanotechnology*. 2013, Vol. 3, Iss. 21, pp. 1–16. ISSN 1847-9804. Available from: doi: 10.5772/56941.
 225. Yang Y. et al. Flexible Hybrid Energy Cell for Simultaneously Harvesting Thermal, Mechanical, and Solar Energies. *ACS Nano*. 2013, Vol. 7, Iss. 1, pp. 785–790. Available from: doi: 10.1021/nn305247x.
 226. Yang Y. et al. Silicon-Based Hybrid Energy Cell for Self-Powered Electrodegradation and Personal Electronics. *ACS Nano*. 2013, Vol. 7, Iss. 13, pp. 2808–2813. Available from: doi: 10.1021/nn400361p
 227. Xu C., Wang X. and Wang Z.L. Nanowire Structured Hybrid Cell for Concurrently Scavenging Solar and Mechanical Energies. *Journal of the American Chemical Society*. 2009, Vol. 131, Iss. 16. pp. 5866–5872. Available from: doi: 10.1021/ja810158x.
 228. Lee M. et al. Nanowire–Quantum Dot Hybridized Cell for Harvesting Sound and Solar Energies. *The Journal Physical Chemistry Letters*. 2010, Vol. 1, Iss. 19, pp. 2929–2935. Available from: doi: 10.1021/jz101195n.
 229. Hansen B.J. et al. Hybrid Nanogenerator for Concurrently Harvesting Biomechanical and Biochemical Energy. *ACS Nano*. – 2010, Vol. 4, Iss. 7, pp. 3647–3652. Available from: doi:10.1021/nn100845b
 230. Lee S. et al. Flexible hybrid cell for simultaneously harvesting thermal and mechanical energies. *Nano Energy*. 2013, Vol. 2, Iss. 5, pp. 817–825. Available from: doi: 10.1016/j.nanoen.2013.02.004.
 231. Electromagnetic fields and public health. Static electric and magnetic fields. Backgrounder [online]. WHO, 2006. Available from: <http://www.who.int/peh-emf/publications/facts/fs299/en/>
 232. CEN/CENELEC, EN 45502 Active implantable medical devices. Part 2-1: Particular requirements for active implantable medical devices intended to treat bradyarrhythmia (cardiac pacemakers). Brussels: CENELEC, 2003.
 233. CEN/CENELEC, EN 45502 Active implantable medical devices. Part 2-2: Particular requirements for active implantable medical devices intended to treat tachyarrhythmia (includes implantable defibrillators). Brussels: CENELEC, 2008.

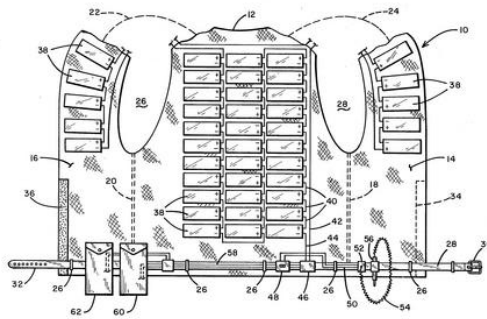
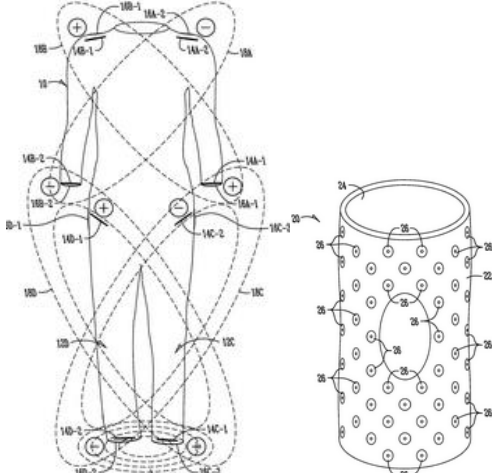
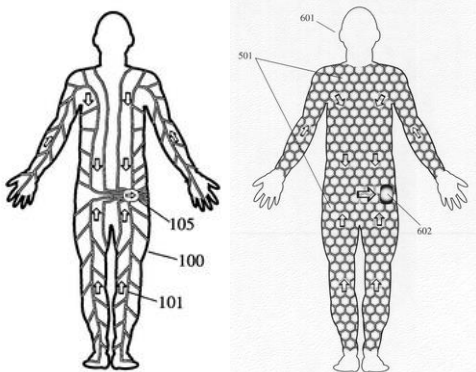
234. Lee S., et al. Clinically significant magnetic interference of implanted cardiac devices by portable headphones. *Heart Rhythm*. 2009, Vol. 6, Iss. 10, pp. 1432–1436. Available from: doi: 10.1016/j.hrthm.2009.07.003.
- 235 Wolber T., et al. Potential interference of small neodymium magnets with cardiac pacemakers and implantable cardioverter-defibrillators. *Heart Rhythm*. 2007, Vol. 4, Iss. 1, pp. 1–4. Available from: doi: 10.1016/j.hrthm.2006.09.012.
236. Ryf S., et al. Interference of neodymium magnets with cardiac pacemakers and implantable cardioverter-defibrillators: An in vitro study. *Technology and Health Care*. 2008, Vol. 16, Iss. 1, pp. 13–18. ISSN: 0928-7329.
237. Blūms, Juris. Elektromehāniskais ģenerators. LR patents Nr. 14168, 2010. gada.
238. Valters, A., [red.]. *Fizika*. Rīga : Zvaigzne, 1992. 733. lpp.
239. Letonika.lv, «Terminu un svešvārdu skaidrojošā vārdnīca,» [Tiešsaiste]. Available: <https://www.letonika.lv/groups/default.aspx?r=1107&q=art&id=2063835&g=1>.
240. Bezkontakta 3D pozicionēšanas metodes izmantošana antropometriskajā modelēšanā. Dāboliņa I., Viļumsone A., Fjodorovs A. 9, *Materiālzinātne*, Rīga : Rīgas Tehniskā universitāte , 2009. gada, RTU zinātniskie raksti , Sēj. 4, lpp. 138–145.
241. LVS EN ISO 6330. Latvijas Standarts Tekstilizstrādājumi. Mazgāšanas un žāvēšanas procedūras mājas apstākļos tekstilizstrādājumu testēšanai. Rīga : LVS , 2012. ISO 6330:2012.
242. Сапин М.Р. Анатомия человека. Серия: Учебная литература, том 1. Москва: Медицина, 2001, 639 с.
243. Навойчик А.И. Общая биомеханика: Тексты лекций. - Гродно: ГрГУ, 2000, 61 с.
244. Дунаевская Т. Н. и др. Основы прикладной антропологии и биомеханики Москва: Информационно-издательский центр МГУДТ, 2005, 280 с.
245. Ламаш Б.Е. Лекции по Биомеханике. Лекция № 10. Индивидуальные и групповые особенности моторики. Владивосток: Дальневосточный государственный университет (ДВГУ), 2009. Available from: <http://www.dvfu.ru/meteo/book/BioMechan.htm#Лекция № 10>
246. Cho G., Lee S. and Cho J. Review and Reappraisal of Smart Clothing Cho G., ed. *Smart Clothing: Technology and Applications*. London: CRC Press Taylor & Francis Group, 2010, pp. 1–37.
247. Buechley L. A Construction Kit for Electronic Textiles. *Proceedings of 10th IEEE International Symposium on Wearable Computers (ISWC)*. Switzerland, Montreux, October 11-14, 2006, pp. 83–90.. Available from: doi: 10.1109/ISWC.2006.286348.
248. Suh M. E-Textiles for Wearability: Review on Electrical and Mechanical Properties. *Textile World* [online]. Available from: http://www.textileworld.com/Articles/2010/June/Web_Issue/E-Textiles.html. - 2010. gada June.
249. Ghosh, T, Dhawan, A & Muth, J. Formation of electrical circuits in textile structures Mattila H., ed. *Intelligent textiles and clothing* Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2006, pp. 239–282. ISBN 1 84569 005 2.

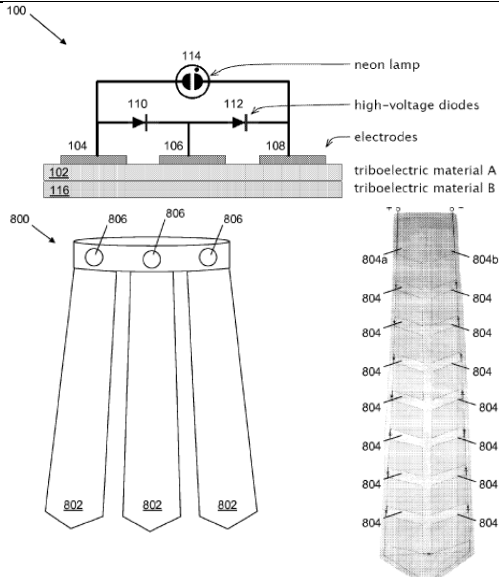
250. Varnaitè S., Katunskis J. Influence of Washing on the Electric Charge Decay of Fabrics with Conductive Yarns. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2009, Vol. 17, Iss. 5 (76) pp. 69–75.
251. El-hami M., et al. Design and fabrication of a new vibration-based electromechanical power generator. *Sensors Actuators A: Physical*. 2001, Vol. 92, Iss. 1-3, pp. 335–342. Available from: doi: 10.1016/S0924-4247(01)00569-6.
252. Zhao, W. Design Optimization of a Linear Generator With Dual Halbach Array for Human Motion Energy Harvesting. University of Nebraska, 2015. Thesis For the Degree of Master of Science, 42 p.
253. Carroll, J.D. Miniaturised Electromagnetic Generators for Portable Applications. National University of Ireland, 2012. Doctor theses, 302 p.
254. Васильев А. М., Ландсман А. П. Полупроводниковые фотопреобразователи. Москва: Советское радио, 1971, 248 с.
255. Rabaey J. et al. Energy Harvesting - A Systems Perspective. *IEDM 2007. IEEE International Electron Devices Meeting. IEEE*, 2007. pp. 363–366. Available from: doi: 10.1109/IEDM.2007.4418947.
256. Физическая энциклопедия. Стробоскопические приборы- Яркость. Прохоров А. М., ред. Том 5. Москва: Большая Российская энциклопедия, 1998, 691 с.
257. Shankar, R. et al. Dielectric elastomers as next-generation polymeric actuators. *Soft Matter*. 2007, Vol. 3, Iss. 9, pp. 1116–1129. Available from: doi: 10.1039/B705737G.
258. Artificial Muscles. Ashley, S. 4, 2003. gada, *Scientific American*, Vol. 289, pp. 52–59.
259. Pelrine, R. et al. Dielectric elastomers: generator mode fundamentals and applications. *Smart Structures and Materials: Electroactive Polymer Actuators and Devices. SPIE Proceeding. USA, Newport Beach, March 4, 2001. Vol. 4329. pp. 148–156. Available from: doi:10.1117/12.432640.*
260. Физическая энциклопедия. Пойнтинга- Робертсона стримеры. Прохоров А. М., ред. Том 4. Москва: Большая Российская энциклопедия, 1998, 701 с.
261. Новый политехнический словарь. Ишлинский А.Ю., ред. Москва: Научное издательство «Большая Российская энциклопедия», 2000, 672 с.
262. Физическая энциклопедия. Добротность – Магнитооптика. Прохоров А. М., ред. Том 2. Москва: Советская энциклопедия, 1990, 700 с.

PIELIKUMI

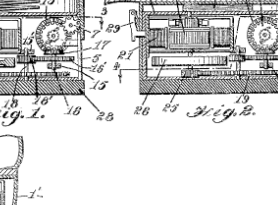
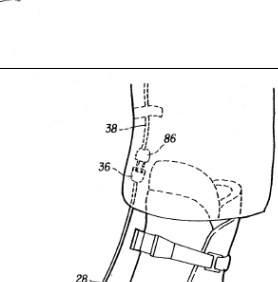
Patenti un patenta pieteikumi

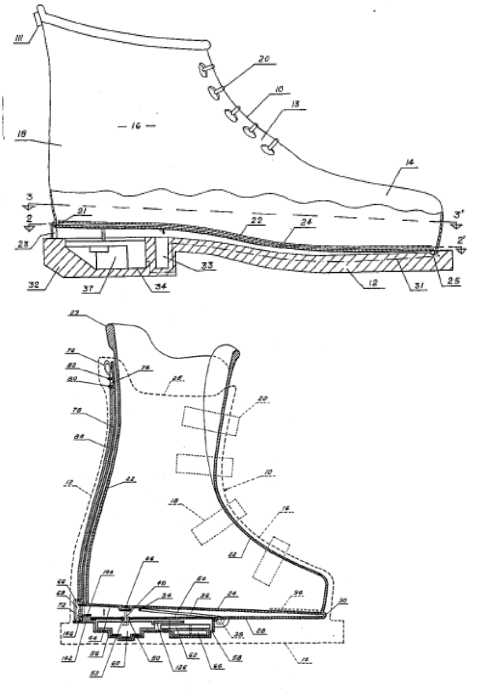
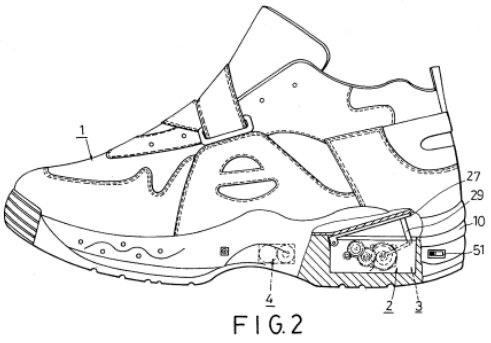
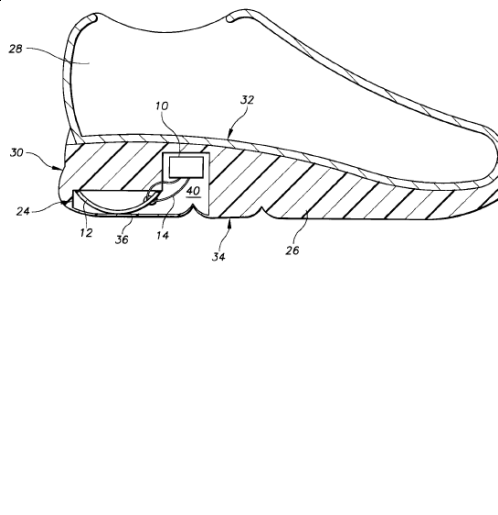
Apģērbs

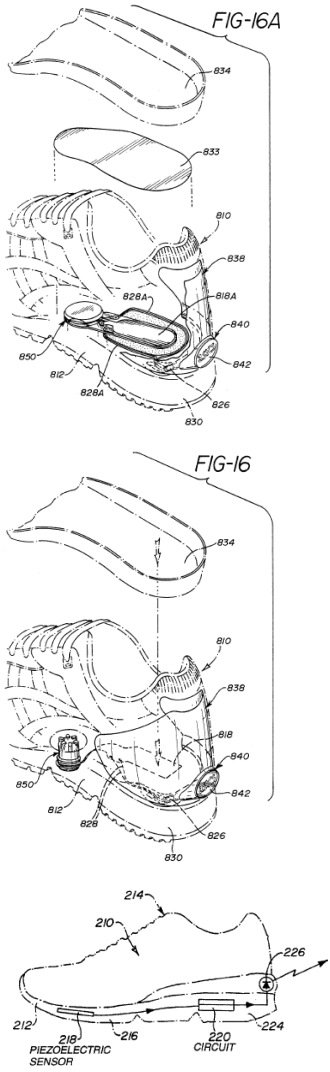
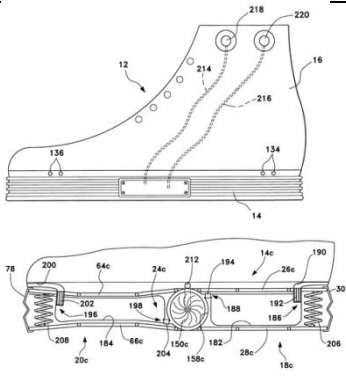
Laiks	Attēls	Patenta numurs, apraksts
1989		<p>US 4827534 A Sun-powered vest Alvin E. Haugen</p> <p>A vest garment to be worn by persons working out of doors and which has an array of photovoltaic cells mounted on the back panel thereof. The individual cells are connected in series relationship with one another across a pair of output terminals which are brought out through a belt attached along the waistband of the vest to an output jack. The voltage developed across the photocell array may then be used to charge rechargeable batteries suspended from the belt or, alternatively, they be coupled to an input jack of a power tool having a self-contained rechargeable battery whereby charging current is generated when the vest is being worn out of doors.</p>
2007		<p>US 7233829 B2 Electric field shark repellent wet suit Vladimir Vlad; Glycon Technologies, L.L.C.</p> <p>An article of clothing for use in water includes an electroactive material integrated into the clothing, at least one electrode integrated into the clothing and wherein the electroactive material is adapted to release electrical impulses into the water. A method of generating electrical energy on a person includes wearing clothing with an integrated electroactive material that produces electrical charges upon movement of the person and harvesting electrical energy from the electroactive material for use with an electrical load. An article of clothing includes an electroactive material integrated into the clothing, at least one electrode integrated into the clothing, and wherein the electroactive material is adapted to generate an electrical field around the clothing.</p>
2011		<p>US 7977807 B1 Wearable device to generate electricity from human movement Robert A. Connor, Medibotics Llc</p> <p>This invention uses hydraulic or pneumatic passageways to create a wearable, portable, washable, and relatively unobtrusive device for efficiently converting movement of a relatively large portion of the human body into electricity. This device comprises: a flowable substance; passageways through which the flowable substance flows that are worn over the exterior of the human body; and energy-converting members that convert the energy of the flow of the flowable substance into electricity.</p>

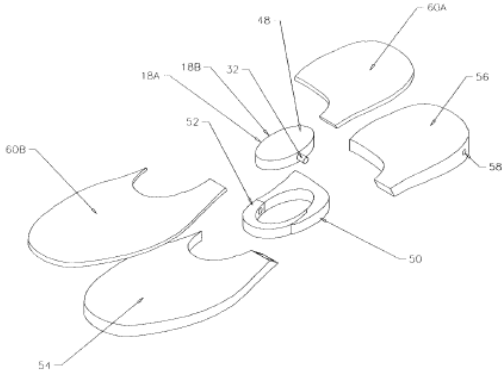
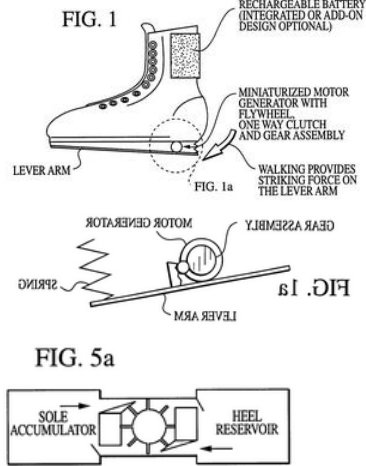
Laiks	Attēls	Patenta numurs, apraksts
2011		<p>US 20110050181 A1</p> <p>Electrostatic power harvesting Ernest Rehmatulla Post, Courtney Elaine Waal; Asteism, Inc.</p> <p>An apparatus for supplying power includes an input port; a charge storage device for storing charge received through the input port; control circuitry configured to transfer charge from the charge storage device and to maintain a bias voltage at the input port; and an output port for delivering power from the control circuitry to a device.</p>

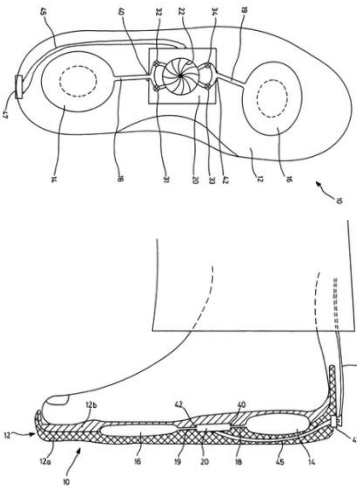
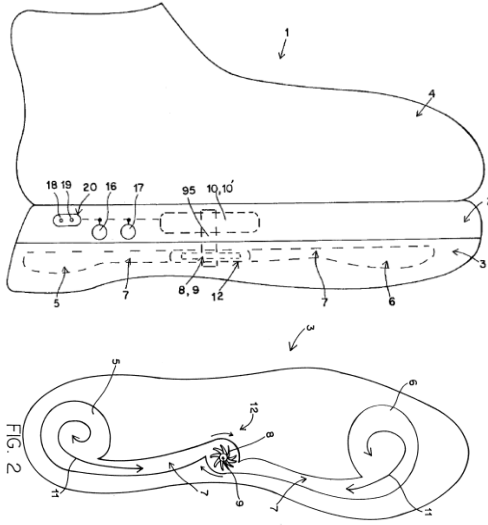
Apavi

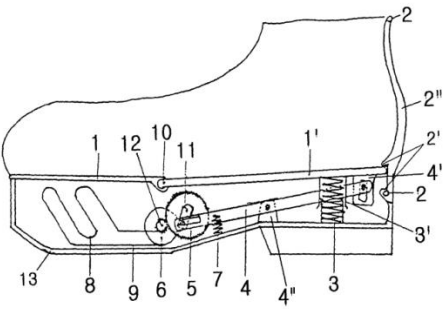
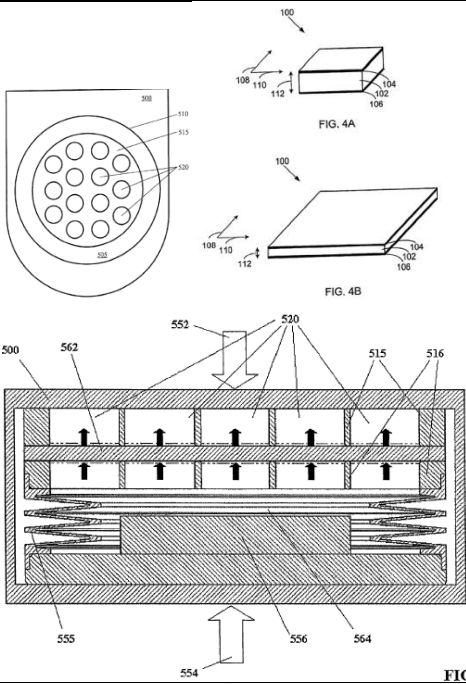
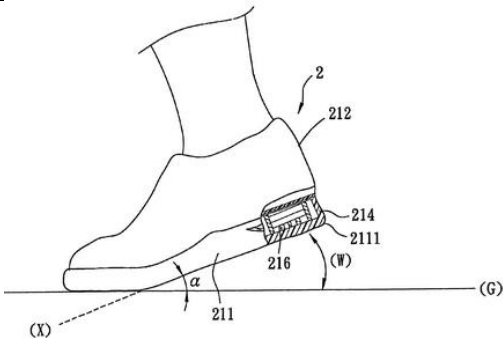
Laiks	Attēls	Patenta numurs, apraksts
1924		US 1506282 Electric Shoe JOSEPH BAPYBIEEI
1989		US 4837494 A Generator and rechargeable battery system for ski Gregory J. Maier A generator and rechargeable battery system is disclosed for attachment to a ski having an electrically operable load. The invention comprises a rechargeable battery system in which the generator and/or battery can intermittently power a load such as a heating element of a ski boot. The rechargeable battery is detachable and may be recharged by the generator or in the home. Through the use of connecting wires, the generator and rechargeable battery system can be used to supply current to lights affixed to the ski and to power other electrical appliances

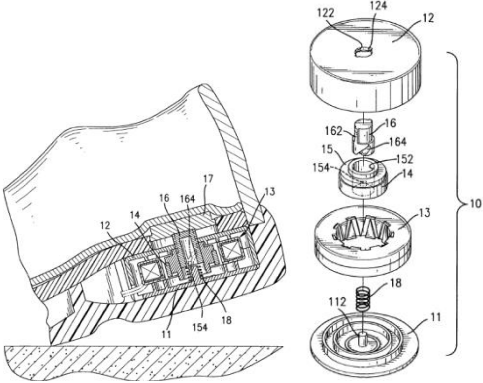
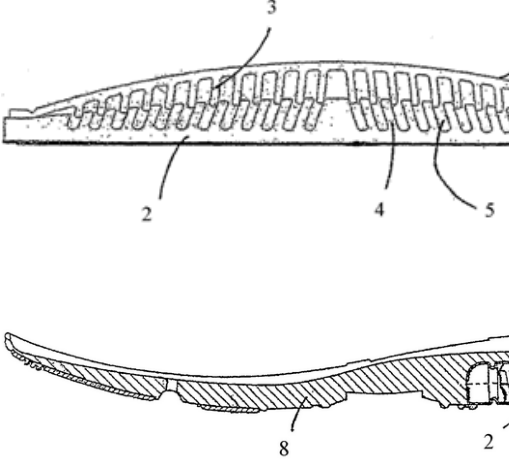
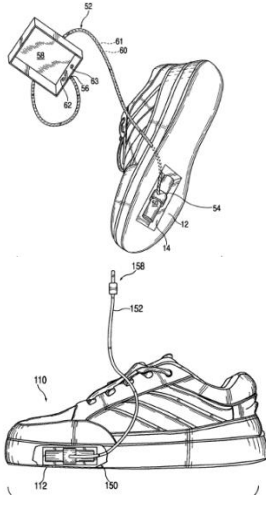
Laiks	Attēls	Patenta numurs, apraksts
1987 1988		<p>US 4674199 A Shoe with internal foot warmer US 4782602 A Shoe with foot warmer including an electrical generator Nikola Lakic</p> <p>There is disclosed a shoe with an internal warming mechanism which comprises an electrical resistance coil in the sole or upper coverings of the shoe, and with an electrical generation mechanism in the heel of the shoe which is driven by the up-and-down movements of the wearer's heel which accompanies normal activities such as skiing, hiking, etc. The electrical generator includes an armature mounted for rotational movement in a magnetic field and mechanically connected to a vertical post which is dependent on the undersurface of the heel portion of the inner sole of the shoe. The post is connected through a vertical spiral groove to a sleeve which is coupled with an escapement to a flywheel that is unidirectionally driven by the sleeve. The flywheel is coupled through a gear train to the armature of the electrical generator.</p>
1992 1996	 <p style="text-align: center;">FIG. 2</p>	<p>US5167082 A Dynamoelectric shoes Shi-Hiu Chen</p> <p>A dynamoelectric shoe has a shoe sole that confines a watertight compartment. A pressure-operated electric generator is provided inside the watertight compartment adjacent to a heel portion of the shoe sole. The electric generator produces a voltage signal when pressure is repeatedly applied on the shoe sole during use. An electrical socket is mounted on the shoe sole and a rechargeable battery cell is wired to the electrical socket and is charged by the voltage signal from the electric generator means. The dynamoelectric shoe can be used to operate a portable wireless telephone, a portable radio, a light device to aid the user at night, or a heating device to warm the user's foot during winter.</p>
1999		<p>US 5918502 A Footwear incorporating piezoelectric spring system Richard Patten Bishop; Face International Corporation</p> <p>An article of performance enhancing footwear having a piezoelectric spring apparatus in the sole member. Walking or running applies a first force deforming a piezoelectric actuator, thereby generating electrical energy. An energy storage circuit stores electrical energy generated by the piezoelectric actuator. Sensing means is provided to sense the release of a second force greater than the first force, which triggers the release of stored electrical energy back into the piezoelectric actuator. The resulting deformation of the piezoelectric actuator imparts a force into the bottom contact surface of the sole member.</p>

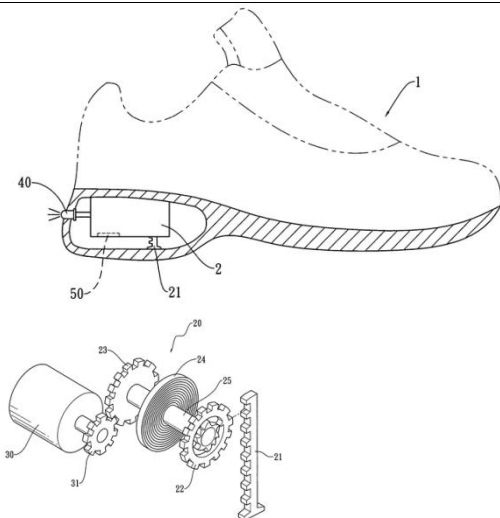
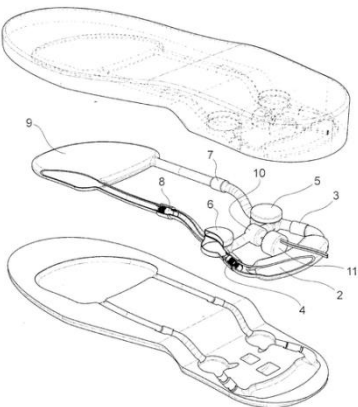
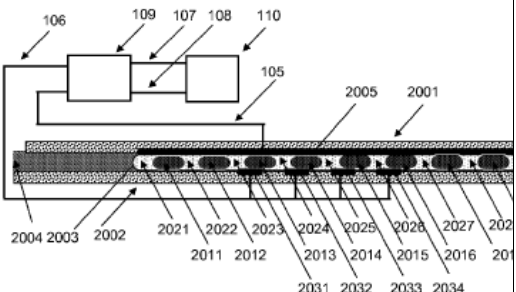
Laiks	Attēls	Patenta numurs, apraksts
1996	 <p>FIG-16A</p> <p>FIG-16</p> <p>216' PIEZOELECTRIC SENSOR</p> <p>220 CIRCUIT</p>	<p>US 5500635 A</p> <p>Products incorporating piezoelectric material Jonathan C. Mott</p> <p>A product, in particular a shoe, apparel, a ball or a fishing lure, incorporating an impact sensing element made from polymeric piezoelectric material. In response to impact, the piezoelectric material generates an electrical signal to a battery-powered light- or sound-emitting unit or to an information display device which is at least partially molded into or contained in the product, thus causing circuitry to energize the light- or sound-emitting device from the battery or to display information on the information display device. In some embodiments involving light-emitting devices such as LEDs, the light is conducted to an outside surface of the product directly through the LED or via one or more optical fibers. A shoe can be provided with numerous light-emitting devices, one or more impact sensing elements, a temperature sensor and appropriate circuitry to process the impact and temperature information. This information is then used to light appropriate light-emitting devices such as to display a bar graph of temperature or force of impact, to light or flash individual light-emitting devices or to activate an information display device. In addition, a microprocessor can be included in the circuitry to provide preprogrammed control of the light emitting devices or to evaluate the input from the impact sensing element and then light the appropriate light emitting device or devices or to control the information displayed on the information display device.</p>
2001		<p>US Patent 6281594 B1</p> <p>Human powered electrical generation system Ivan Marijan Sarich</p> <p>A human powered electrical generation system is disclosed which uses generators incorporated into the soles of specially designed footwear. As the wearer of the footwear walks, mechanical or pneumatic linkages in the soles of the footwear cause the operation of the generators and the production of electrical energy. A special garment designed for use in conjunction with the footwear has conductive pathways that allow electrical power to be supplied to various appliances carried on or about the body of the wearer.</p>

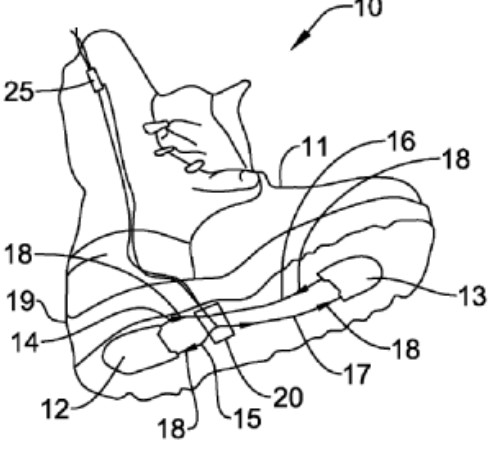
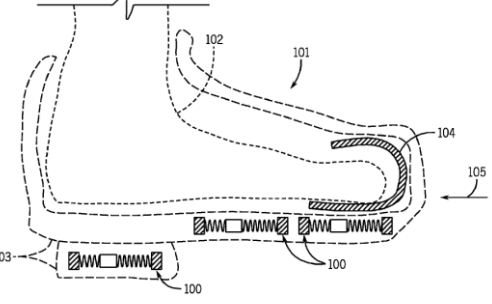
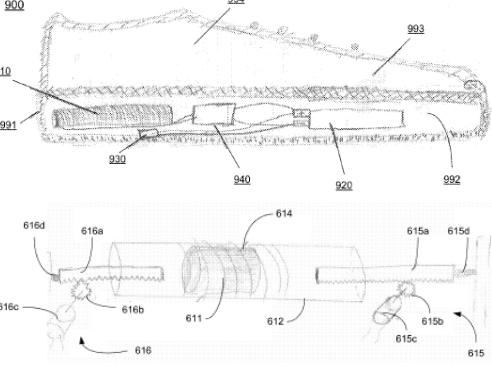
Laiks	Attēls	Patenta numurs, apraksts
2001		<p>US 6182378 B1</p> <p>Low profile pneumatic electric generator integrated in a midsole of a shoe Musoke H. Sendaula</p> <p>This invention relates to a device for converting physiologically derived energy to electric energy while walking in a form a low profile pneumatic electric power generator that is adapted for integration in a midsole of a shoe, to generate power as the wearer walks. The pneumatic electric generator in one embodiment, comprise a stator in a form of a closed loop passageway with inlet ports for compressed air and outlet ports for the exhaust. The generator rotor consists of plurality of freely movable, mechanically unrestrained but magnetically coupled segments. The pneumatic generator is based on reciprocating air hammer action. Also a pneumatic oscillator, consisting of a shuttle valve, pinholes, and two air chambers of different volumes, which is used create a pulsating compressed airflow for the reciprocating air hammer action is described. In another embodiment, a low profile pneumatic electric generator stator is in a form of a long looped raceway with air inlets and outlets are located at both ends of the housing. A shuttle valve arrangement is used to control the opening and closing of the inlets and outlets at both ends of the looped raceway.</p>
2001		<p>US 6255799 B1</p> <p>Rechargeable shoe Binh Q. Le, Ark L. Lew, Paul D. Schwartz, Albert C. Sadilek, Joseph J. Suter, Jason E. Jenkins, Sharon X. Ling</p> <p>The invention comprises a means for generating energy while walking or running for storage in a rechargeable battery. One embodiment uses lever arm movement in the heel of a shoe resulting from normal walking or running to generate energy from a built-in generator. The linear or rotational motion of the lever arm engages the circular gear assembly and turns the generator/motor/turbine, thus generating power. The second embodiment uses fluid reservoirs embedded in the shoes. Pressure changes resulting from normal walking or running moves the fluid through a narrow channel connecting two reservoirs, thus generating power by rotating a flywheel and an attached motor/generator/turbine in the middle of the channel. Secondary (rechargeable) batteries are incorporated into the invention either in an integrated form or as an add-on design. Additional features include a digital diagnostic data output, which would serves as a “fuel gauge” for the secondary batteries, and a smart charging circuit that efficiently controls battery charging from a generator output that varies with step rate and force.</p>

Laiks	Attēls	Patenta numurs, apraksts
2001		<p>US 6239501 B1</p> <p>Footwear with hydroelectric generator assembly Robert Komarechka</p> <p>A hydroelectric generator assembly for use in footwear includes a pair of fluid filled sacs contained in the sole of the footwear. The sacs are connected by conduits whereby, when the footwear is used for walking, fluid is transferred between the sacs, via the conduits. A turbine positioned between the conduits is rotated by the moving fluid thereby resulting in the generation of electricity.</p>
2001		<p>US06201314 B1</p> <p>Shoe sole with liquid-powered electrical generator Norman Landry</p> <p>Various embodiments are described of a liquid-powered dynamometric generator built into a shoe, which has at least two layers as part of its sole. The first or lower layer of the sole is a pad formed of an elastomeric material which contains a liquid within a set of chambers, one in the heel area and one in the toe area of the sole. The ambulatory foot movement inside the shoe puts pressure on the fluid and makes it flow from one chamber area to another. Contained between the chambers is a turbine that is mounted on rotary bearings and positioned within the path of the fluid flow. Due to foot motion, the fluid will flow in an oscillatory fashion while ambulating and thereby cause the turbine to turn. The second or top layer of the sole is a pad that contains one or more dynamometric generators that are coupled by mechanical or magnetic systems to the first layer, such that the action of fluid flow in the first layer imparts rotary motion to the turbine, thereby resulting in the generation of electricity within the second layer. The coupling system(s) may also include gearing or other drive componentry to increase or decrease the speed of the turbine relative to the speed of fluid flow. Electrical energy is therefore generated from the ambulatory motion and can be stored within a rechargeable battery or capacitor, and can be utilized directly for multiple purposes, such as to supply energy to lighting, heating, cooling, computing or communications equipment.</p>

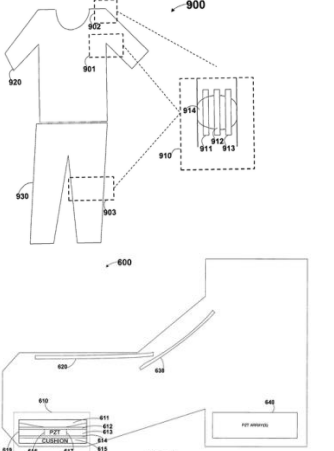
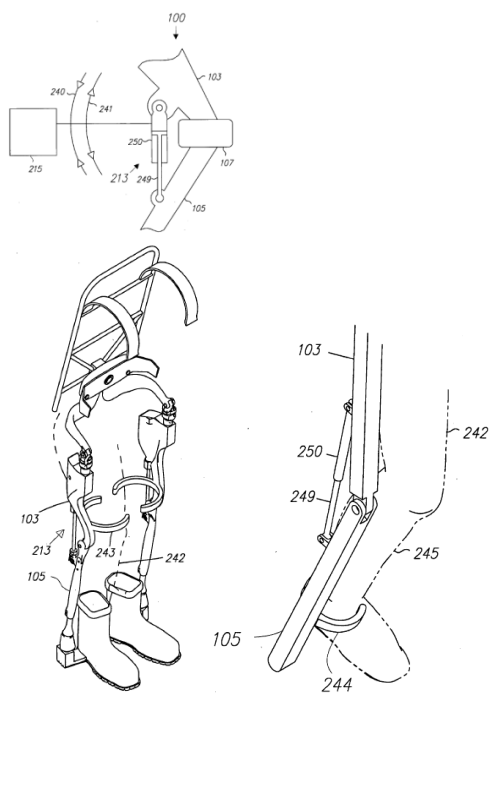
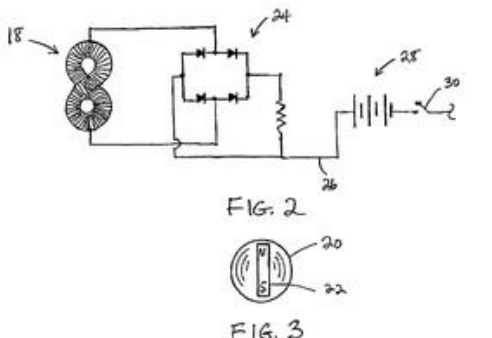
Laiks	Attēls	Patenta numurs, apraksts
2002		<p>Patenta pieteikums WO 2002021955 A1 Shoes having electric generator II Seung Lee</p> <p>The present invention is related to shoes having an electric generator, particularly, to shoes generating electricity through using an electric generator which is equipped beneath a sole of shoes. Shoes according to the present invention have heating apparatus or a light emitting apparatus that run by electricity, and therefore can be heated by themselves or turn a light for warning in the night. And according to the invention, shoes can heat themselves or emit for warning semi-permanently because electric power can be generated without the support of external electric power.</p>
2001 2003 2004		<p>US 20010035723 A1 Biologically powered electroactive polymer generators Ronald Pelrine, Roy Kornbluh, Joseph Eckerle, Scott Stanford, Seajin Oh, Pablo Garcia; Sri International</p> <p>Disclosed generators includes one or more transducers that use electroactive polymer films to convert mechanical energy to electrical energy. The generators may include one or more transmission mechanisms that transfer a portion of an unused biological energy source, an unused environmental energy source or combinations of both to the one or more transducers located in the generators. The energy received by the transducers may be converted to electrical energy by the transducers in conjunction with conditioning electronics located within the generator. A heel-strike generator is disclosed that is integrated into the heel of footwear and is used to convert mechanical energy generated during human bipedal motion to electrical energy.</p>
2004		<p>US 6744145 Footwear with a power generator Chih-Jung Chang</p> <p>A footwear includes an outsole defining a reference plane, a stand projecting from the outsole and having an inclined upper surface that is inclined relative to the reference plane, a power generator mounted on the outsole and including a rotor, and a driving unit including a weight that has a pivot end mounted pivotally on the inclined upper surface, and a free end opposite to the pivot end. The weight is connected to the rotor, and is swingable by virtue of gravity as a result of swinging of the inclined upper surface of the stand so as to drive the rotor.</p>

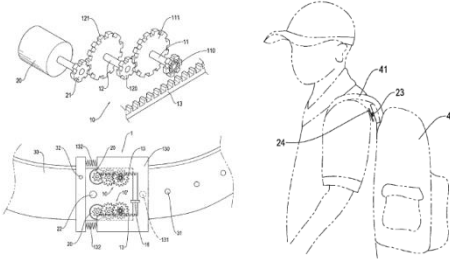
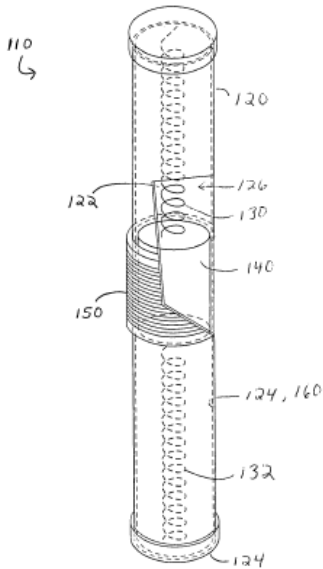
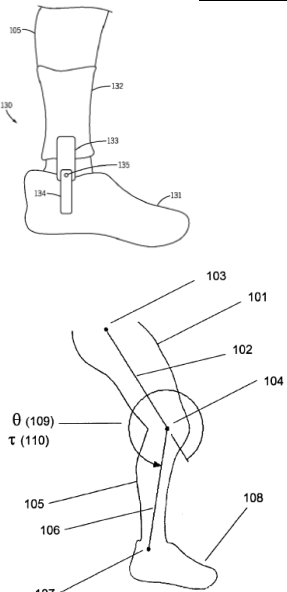
Laiks	Attēls	Patenta numurs, apraksts
2006		<p>US 7081685 B2</p> <p>Shoe generator having a rotor with forward/reverse movement Chun-Chen Chiu</p> <p>A generator generates electricity when the generator is pressed and has a stator, a rotor, a drive shaft, a biasing member and a top cover. The rotor is mounted in the stator and has a central hole with at least one key. The drive shaft is slidably mounted in the central hole in the rotor base and has at least one spiral groove in which the at least one key on the rotor is mounted. The biasing member is mounted between the base and the drive shaft to provide a restitution force to the drive shaft when the drive shaft is pressed down manually. The top cover has a central bore through which the top of the drive shaft non-rotatably extends. Accordingly, movement of the drive shaft causes the rotor to rotate relative to the stator and generate electricity.</p>
2008		<p>RU 2372563 C2 Устройство и способ преобразования энергии движения в тепло ДЕН Михаэль Кристиан (ДЕ)</p> <p>Изобретение относится к устройству и способу преобразования энергии движения в тепло. Под энергией движения при этом понимают, в частности, энергию, возникающую в результате движения человека, такого как бег, езда на велосипеде, верховая езда и т.д. Устройство должно быть, например, пригодным для подошвы обуви, с помощью которой внутри ботинка во время бега вырабатывается тепло.</p>
2008		<p>US 7327046</p> <p>Kinetic energy system and apparatus for charging portable batteries Alexander Biamonte</p> <p>A linear electric generator is mounted to an article of human clothing that is subject to repetitive fore-and-aft motion when worn by a human wearer during locomotion. The linear axis of the generator is aligned generally parallel to the direction of fore-and-aft motion of the wearer to utilize the kinetic locomotion energy of the wearer for production of electricity. A separable electric connector is coupled to the output of the generator to facilitate electrical connection to a battery for charging purposes.</p>

Laiks	Attēls	Patenta numurs, apraksts
2008		<p>7409784</p> <p>Electricity-producing shoe Yeh, Ming-Hsiang</p> <p>The present invention relates an electricity-producing shoe that utilizes stepping motion of walking to produce electric power, and more particularly to an electricity-producing shoe applicable to a leather shoe, a gym shoe, a sports shoe, a walking shoe, or the like.</p> <p>An electricity-producing shoe comprises a shoe body including an electricity-producing module and an electricity generator mounted therein. The electricity-producing module includes a rack, first and second gears, and a spring buffer that mounts between the first and second gears. The first and second gears are engaged with the rack and an axial gear of the electricity generator, respectively. The electricity generator has an electricity output terminal connected to an electric device of the shoe body. As a result, the rack drives the first gear and the second gear drives the axial gear of the electricity generator by means of normal stepping motion of walking for producing electric power and thereby supplying the electric power for the electric device.</p>
2009		<p>Patenta pieteikums WO 2009048438 A1</p> <p>A hydro-mechanical shoe Turketap Ozturk = US 20100223813 - Hydro-Mechanical Shoe (2010)</p> <p>This invention relates to a hydro-mechanical shoe which generates electrical energy during walking.</p>
2011		<p>US 7898096 B1</p> <p>Method and apparatus for energy harvesting using microfluidics</p> <p>Thomas Nikita Krupenkin</p> <p>An apparatus comprising a mechanical-to-electrical energy converting device having a plurality of electrodes and a fluidic body which comprises spatially separated conductive and dielectric liquid regions. Said fluidic body is configured to reversibly move as a whole with respect to said plurality of electrodes under the influence of a mechanical force. Each cycle of said reversible motion of said fluidic body causes multiple alternations of the amount of electrical charge accumulated by the electrodes, whereby generating electrical current flow between said electrodes.</p>

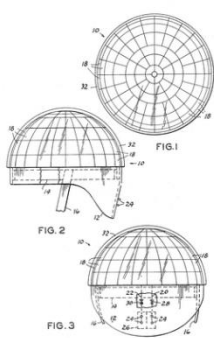
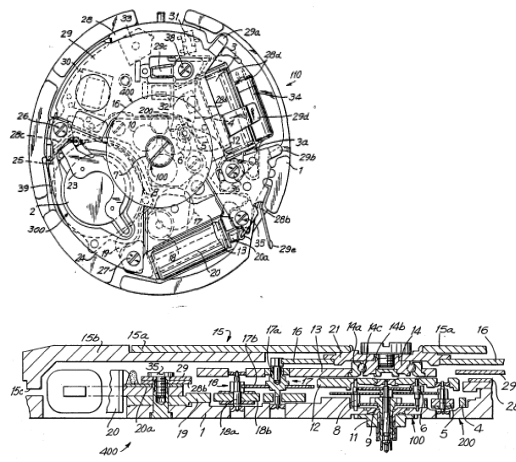
Laiks	Attēls	Patenta numurs, apraksts
2011		<p>US 7956476 Footwear energy harvesting system Wei Yang, Honeywell International Inc Patenta pieteikums WO 2008070534 A2 A footwear energy harvesting system = Chaussure à système de récupération d'Énergie (2008) 20080127510 application Footwear energy harvesting system (2008) A system for harvesting footwear energy. The energy may be in a form of footwear movement which involves a compression and decompression of chambers situated in the footwear. There may be a back chamber in the heel area and a front chamber in the toe area of the footwear. The chambers may be filled with gas which moves in and out upon compression and decompression of the chambers at the heel and toe areas upon the ambulatory motion of a person wearing the footwear. The moving gas may go through a pneumatic rectifier that provides a unidirectional stream of gas to spin a micro-turbine which turns an electrical generator, or operate a pneumatic device.</p>
2012		<p>US 8087186 B2 Piezoelectric-based toe-heaters for frostbite protection Jahangir S. Rastegar, Tromas Spinelli; Omnitek Partners Llc A footwear including a body; a base structure; and one or more electrical energy generators disposed in the base structure for generating electrical energy upon application of an impact to the base structure. The footwear is used to produce electrical energy by impacting a base structure of the footwear; and vibrating a mass-spring unit in the base structure to generate an electrical energy.</p>
2013		<p>US 20130020986 A1-pp Self-replenishing energy storage device and method for footwear Joseph M. Linzon, Alexander X. Lozano; Powersole, Inc. Embodiments of an energy harvesting and storage system for footwear are described herein. In some embodiments, the system includes a charge generator, such as a permanent magnet movable with respect to a conductive coil to induce an electrical potential, and thus an electric current, in the winding, which can be used to store charge in an electrical energy storage device. The electrical energy storage device can be accessed via an electrical energy access port. Electrical charge can be used by an external device, or electrical charge can be provided by an external source of charge. The components of the energy harvesting and storage system can be disposed in, or coupled to, and article of footwear, such that when a user moves while wearing the article of footwear, charge can be generated and stored for subsequent use.</p>

Valkāmie/ portatīvie ierices

Laiks	Attēls	Patenta numurs, apraksts
2007	 <p>FIG. 6</p>	<p>US 7304416 B2</p> <p>Maximizing power generation in and distributing force amongst piezoelectric generators Jeffrey D Mullen</p> <p>It is an object of the present invention to array and utilize piezoelectric generators. It is also an object of the invention to implement properly configured piezoelectric generators into applications that can recapture expelled kinetic energy that is otherwise wasted. Particularly, piezoelectric generators, or arrays, may be, for example, placed in shoes, clothing, tires, roads, and sidewalks in order to recapture the energy expelled in everyday human activities (e.g., walking, moving, and driving).</p>
2007	 <p>FIG. 1</p>	<p>US 20070233279 A1-pp</p> <p>Power generating leg Russdon Angold, Nathan Harding, Homayoon Kazerooni, Adam Zoss; <u>The Regents Of The University Of California, Venture Lending & Leasing Vi, Inc.</u></p> <p>A power generating leg, configurable to be coupled to a person's lower limb, comprising a thigh link, a shank link, a knee mechanism, a torque generator, and a power unit. The knee mechanism is connected to said thigh link and said shank link, and configured to allow flexion and extension movements of said thigh link and said shank link relative to each other. The torque generator is configured to generate torque between said shank link and said thigh link. The power unit is coupled to said torque generator, and configured to cause said torque generator to generate torque. When said power unit is in a power regeneration mode, said power unit causes said torque generator to generate a torque that opposes the angular velocity of said thigh link and said shank link relative to each other and said power unit converts a portion of the power associated with the product of said torque and said angular velocity of said shank link and thigh link relative to each other into electrical power to be stored in a storage device.</p>
2007	 <p>FIG. 2</p> <p>FIG. 3</p>	<p>US 7266396 B2</p> <p>Self powered cell phone</p> <p>Robert Alfred Brodmann, Berj A. Terzian; <u>Incelex, Llc.</u></p> <p>A self powered cell phone is provided within which kinetically generated variable electrical currents are rectified to DC currents, which are delivered to an internal storage site and thereafter transmitted to the operating circuit of the cell phone, thus avoiding the need for external power sources to recharge the phone.</p>

Laiks	Attēls	Patenta numurs, apraksts
2008		<p>US 7361999 B2 Body-carrying human power generation system Ming-Hsiang Yeh</p> <p>A human power generation system includes a generation module and a generator. The generation module includes two speed-up gear sets and a rack. Each speed-up gear set includes a shaft to which a pinion and a gear are coaxially mounted. The pinion of the first gear set engages the rack. The gear of the first gear set engages the pinion of the second gear set. The gear of the second gear set is drivingly coupled to the generator. Thus, by attaching the system to a wearer by a mounting device, the systems continuously operates by the natural activity of the wearer and the rack drives, through the gear sets, the generator to generate electrical power.</p>
2009 2010		<p>US 7498682 B2 US7692320 B2 Electrical energy generator Aaron Patrick Lemieux; <u>Tremont Electric Incorporated</u></p> <p>An electrical energy generator that converts kinetic energy harvested from voluntary motor activity of a human or animal to electrical energy. The electrical energy generator includes a housing, a coil of electrically conductive material, a reciprocally movable electromagnetically active mass, springs connecting the mass to either the housing or to adjustment means engaged with said housing, and, optionally, means for constraining non-linear motion of the electromagnetically active mass, and/or means of mitigating motion retardation of the electromagnetically active mass within any existing housing atmosphere. The electrical energy generator may be associated with a carried item, such as a backpack.</p>
2010 2012		<p>US 8235869 B2 Device for generating power from a locomotion energy associated with leg muscles acting across a joint David Haarhoff, Jahangir Rastegar, Thomas Spinelli; OMNITEK PARTNERS LLC</p> <p>A device for generating power from a locomotion energy associated with leg muscles acting across an ankle joint. The device including: a cuff worn on the leg; a shoe; an energy absorbing element operatively connected to the cuff and shoe for absorbing energy during one or more periods of a periodic motion of the joint in which energy is absorbed by the muscles.</p>

Laiks	Attēls	Patenta numurs, apraksts
1	2	3
2012		<p>US 8314503 B2</p> <p>Generators using bio-kinetic energy Yueguang DENG, Jing Liu; Empire Technology Development Llc</p> <p>Devices for converting bio-kinetic energy into electrical energy. Devices may include a fluid conduit configured to contain a liquid conductive material, a transducer coupled to the fluid conduit and configured to drive flow of the liquid conductive material through the fluid conduit, and a magnetohydrodynamic (MHD) power generation unit operatively coupled to the fluid conduit, wherein the MHD power generation unit is configured to convert liquid conductive material flow through the fluid conduit into electrical power. Devices may be incorporated into a number of wearable articles and building articles for conversion of bio-kinetic energy into electrical energy.</p>
2004		<p>US06812583 B2</p> <p>Electrical generator with ferrofluid bearings Jeffrey T. Cheung, Hao Xin; Rockwell Scientific Licensing, LLC</p> <p>An electrical generator includes a magnet constrained to move relative to a conductor by a support structure, with a ferrofluid bearing providing an ultra low friction interface between the magnet and support structure. The assembly has a critical angle of displacement from a horizontal static position of less than 1 degree, and preferably less than 10 minutes. An electrical signal is generated in the conductor by the moving magnetic field.</p>
2010		<p>US 20100127601 A1 - pp</p> <p>Linear Vibrator Juha-Pekka Pettersson; <u>Nokia Corporation</u></p> <p>Disclosed herein is an apparatus. The apparatus includes a housing, a first piezo element, a second piezo element, and a mass. The first piezo element and the second piezo element are inside the housing. The mass is movably mounted inside the housing. The mass is configured to move inside the housing in response to a displacement of at least one of the first piezo element and the second piezo element. The mass is simultaneously in direct contact with the first piezo element and the second piezo element.</p>

Laiks	Attēls	Patenta numurs, apraksts
1974		<p>US 3844840 A</p> <p>Solar energy helmet R Bender</p> <p>The substantially hemispherical portion of a cycle rider's helmet is covered with a plurality of solar energy electric current generating cells. Conductors, connected with the cells, are in turn connected to a junction plate for energizing a hearing aid or a small transistorized radio carried by the user.</p>
1990		<p>US 4939707 A</p> <p>Electronic wristwatch with generator Shoichi Nagao; <u>Seiko Epson Corporation</u></p> <p>An electronic wristwatch having an electric generator contained internally therein is provided. The generator converts energy from mechanical to electrical energy to drive the electronic wristwatch. The oscillation of an oscillating weight produces mechanical energy as it oscillates. A wheel train transmits the mechanical energy to the generator by applying a torque to the generator. A limiter prevents transmission of mechanical energy through the wristwatch when the torque to be applied to the generator exceeds a predetermined value and allows the mechanical energy to be transmitted when the torque to be applied to the generator is less than or equal to the predetermined value.</p>

Enerģijas pārveidotāja veidi

Enerģijas pārveidotājs, jeb elektriskais ģenerators - ierīce, kur neelektriskie enerģijas veidi (mehāniskā, ķīmiskā un termiskā) tiek pārvērsti elektroenerģijā.

Fotovoltaiskais ģenerators (fotovoltaiskais elements jeb saules baterijas panelis) fotovoltaiskā efekta rezultātā pārvērš Saules starojuma enerģiju elektroenerģijā [254].

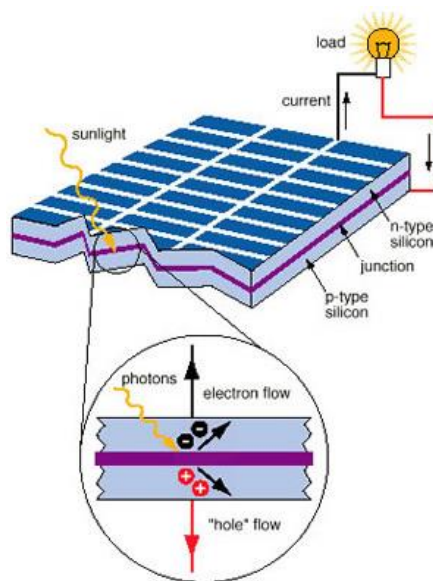
Saules baterijas fotoelements sastāv no diviem slāņiem, tiem ir dažādas caurlaidības tipi (1. att.). Ārējais fotoelementa slānis – N tipa, ar elektronu vadītspēju. Iekšējais slānis – P tipa ar caurumu vadītspēju, tā kā tam ir EDS vietas no trūkstošiem elektroniem – "caurumi". Kad gaismas fotons nonāk uz N slāņa, to absorbē elektrons, elektrona enerģija palielinās un tas var šķērsot barjeras slāni. Rezultātā N slānis iegūst papildus negatīvo lādiņu, bet P slānis – pozitīvo. Šajā saistībā potenciāls starp slāņiem mainās un ķēdē parādās strāva.

Enerģijas pārveidošanas efektivitātes diapazons sastāda no 5- 30 % atkarībā no izmantojamā materiāla [255]. Fotovoltaiska elementa efektivitāte tieši atkarīga no apgaismojuma intensitātes, bateriju izmēra un saules starojuma leņķi pret saules baterijas virsmu.

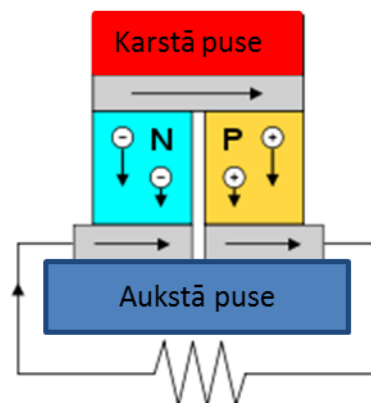
Termoelektriskais ģenerators (TEĢ) – tā ir tehniska iekārta, kas paredzēta siltuma enerģijas pārveidei elektroenerģijā, tā konstrukcijā izmantojot termoelementus (termoelektriskos materiālus) [256].

Attēlā (2. att.) parādīta shēma standartam termoelektriskajam ģeneratoram, kurš sastāv no P un N tipa pusvadītājiem, secīgi savienotiem un nostiprinātiem ar izolējošām keramiskām plāksnēm.

TEĢ darbības princips balstīts uz 1821.gadā atklātā Sībeka (Thomas Johann Seebeck) efekta izmantošanu. Tas pamatojas uz elektrodzinējspēka rašanos slēgtā ķēdē, kas veidota no diviem



1. att. Saules baterijas uzbūve



2. att. Termoelektriskā pārveidotāja shēma, attēls adaptēts pēc [257]

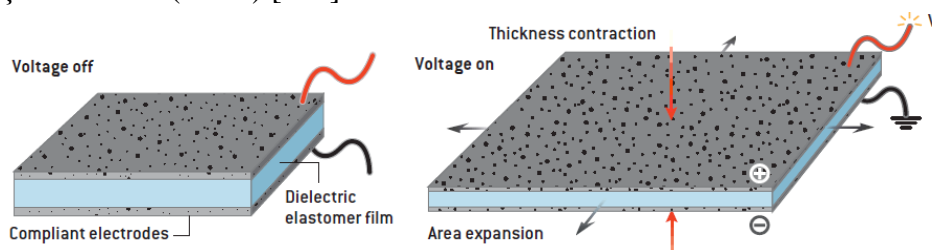
atšķirīgiem materiāliem, ar nosacījumu, ka kontaktu vietās uzturēta dažāda temperatūra.

Efekts ir saistīts ar brīvo elektronu un caurumu enerģijas atkarību no temperatūras. Atšķirīgo materiālu kontaktu vietās lādiņi pāriet no vadītāja, kur tie bija ar daudz lielāku enerģiju, uz vadītāju ar mazāku lādiņu enerģiju. Ja viens kontakts ir uzsildīts vairāk nekā otrs, tad lādiņu enerģiju atšķirība starp divām vielām ir lielāka karstajā kontaktā nekā aukstajā, kā rezultātā slēgtajā ķēdē rodas strāva.

Elektromehāniskais ģenerators ir ierīce, kas mehānisko enerģiju pārveido elektroenerģijā. Eksistē trīs elektromehānisko ģeneratoru tipi: elektrostatiskie, pjezoelektriskie un elektromagnētiskie.

Elektrostatiskais ģenerators – iekārta, kurā augsts līdzspriegums radīts ar elektrisko lādiņu mehāniskas pārvietošanas palīdzību. Izšķir elektrostatisko ģeneratoru ar dielektrisku lādiņa pārnēsēju un ģeneratoru ar vadošu lādiņa pārnēsēju. Dielektriskie pārnēsēji var būt veidoti cieta cilindra, diska izskatā (rotējošie elektrostatiskie ģeneratori), vai arī lokanas lentes izskatā (*Van-de-Grafa* ģeneratori) [256].

Elektroaktīvais, dielektriskais polimērs (EAP) var tikt aprakstīts kā mīksts, elastīgs materiāls [257]. Dielektriskā polimēra elektromehāniskā atbilde (atskaņa) ārējā elektriskā lauka ietekmē (zināms ka Maksvella stress) ir spējīgs izraisīt dielektrisko elastomēru izmēru maiņu uz 400 % (3. att.) [258].



3.att.Dielektrisko elastomēru elektroaktīvās uzvedības demonstrācija [258]

Dielektrisko elastomēru priekšrocības, izmantojot tos kā ģeneratorus:

- ievērojami lielāks enerģijas blīvums (teorētiski vairāk par 1.5 J/g),
- mazs svars,
- daudz augstāka efektivitāte,
- augsts deformācijas procents [259].

Pjezoelektriskie ģeneratori – iekārtas, kas radītas pamatojoties uz pjezoelektrisko efektu. Pjezoefekts balstīts uz pretēji lādētiem lādiņiem, kas rodas dažu kristālu mehāniskas dažādu virzienu deformācijas rezultātā. Pjezoejektu var novērot kvarcā, turmalīnā, segneto sāļi, bārija titinātā, cinka rūdā un citās vielās.

Mehāniskās slodzes rada elektrisko lauku uz pjezoelektriskā materiāla. Šis efekts var tikt izmantots, lai pārveidotu mehānisko enerģiju elektriskajā, un tas kļūst arvien populārāks tā vienkāršā darbības principa un iekārtu uzbūves dēļ. Enerģija var tikt iegūta vienkārši saspiežot, saliecot vai sitot pjezoelektrisko materiālu [260]

Elektromagnētiskais ģenerators – iekārta, kuras darbības princips pamatojas uz elektromagnētisko indukciju. Laikā mainoties ar kontūru saķēdētai magnētiskai plūsmai, kontūrā plūst strāva. Šī strāva tika nosaukta par indukcijas strāvu, bet pašu parādību, kad elektriskais lauks pārvieto lādiņnesējus – par elektromagnētisko indukciju [256].

Ir sastopami elektromagnētiskie rotācijas ģeneratori un ekscentriskie rotācijas ģeneratori (hibrīda ierīce, kas pārveido lineāro vibrāciju rotācijas kustībā), elektromagnētiskie lineārie ģeneratori ar magnēta kustību spolē, ar spoles kustību magnētā [190], ar magnēta kustību kura ir balstīta uz tuvināšanu un attālināšanu spolei [191], ar magnēta kustību gar spoli, spolei esot paralēlā plaknē [176], [237].

Triboelektriskais ģenerators pārveido berzes spēku elektrībā starp divām dažādām virsmām. Vispārējā fiziskā procesa pamatā ir trīs svarīgi posmi:

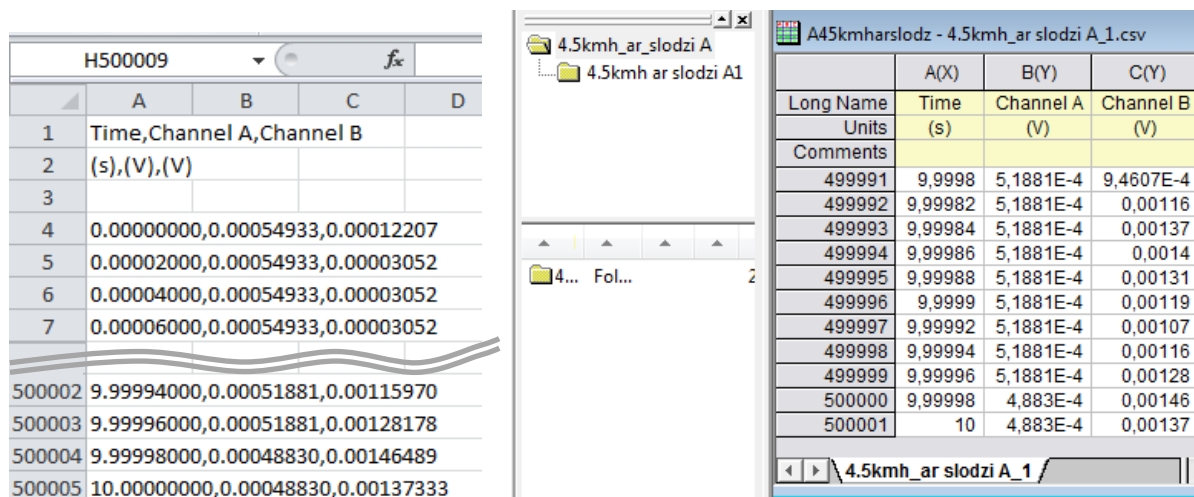
- lādiņa ģenerēšana (radīšana);
- lādiņa atdalīšana (elektronu pāreja no vienas virsmas uz otru)
- strāvas plūsma [261].

Magnetohidrodinamiskais ģenerators (MHD - ģenerators) - ierīce, kurā pateicoties elektromagnētiskās indukcijas efektam, kas rodas kanālā ar magnētiskā lauka pārklājumu iekšpusē, siltumenerģija vai (un) kinētiskā un potenciālā elektrovadošās vides plūsmas enerģija pārveidojas elektriskajā enerģijā. Citiem vārdiem sakot, MHD ģenerators- tā ir enerģētiska ierīce, kurā darba virsmas (elektrolīta, šķidrā metāla vai plazmas) enerģija pārveidota elektriskajā enerģijā [262].

Hibrīdiskais ģenerators ir tāds ģenerators, kurš izmanto elektroenerģijas pārveidei divus vai vairākus enerģijas avotus.

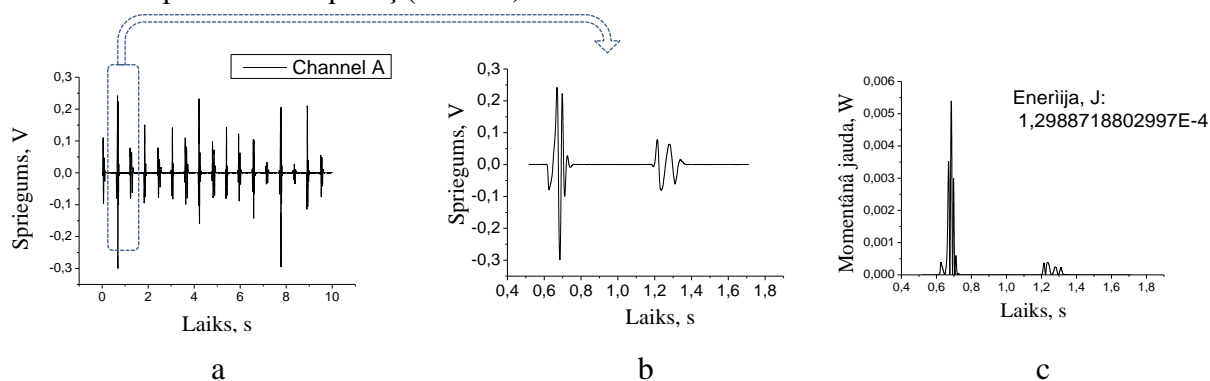
Plakanas struktūras elektromagnētiskā enerģijas pārveidotāja raksturlielumu un tā precizitātes aprēķinu piemērs

Iegūtie eksperimentālie dati CSV formātā tika importēti ORIGIN programmas vidē, kur dati automātiski pārveidojas sistematizētā veidā (1. att.).



1. att. Dati CSV formātā un ORIGIN fails ar importētiem datiem

Sākotnēji ģenerējamā sprieguma dati tika attēloti grafiski (2. att. a) un nepieciešamības gadījumā tika veikta signālu apstrāde; tika izdalīti soļošanas cikla impulsu pāri, katrai rokai kustoties uz priekšu un atpakaļ (2. att. b).



2. att. Ģenerējamā sprieguma impulsi soļošanas ciklos (a), impulsu pāris viena cikla (b) un momentānā attīstītā jauda (c)

Saskaņā ar Džoula-Lenca likumu tika noteikta momentānā attīstītā jauda (3.5). Grafiski integrējot momentānos jaudas datus, tika aprēķināta kopējā enerģija (3.6), kas impulsa laikā izdalās slodzē (papildpretestībā) un ir vienāda ar laukumu, kuru ierobežo momentānā attīstītā jaudas līkne un laika ass (2. att. c).

Nosakot katram soļošanas cikla impulsu pārim enerģiju un laiku, rēķināta enerģijas pārveidotāja vidējā jauda, kas noteikta kā kopējā enerģija pret kopējo laiku impulsu pāriem (3.7) (3. att.). Attīstīto jaudu raksturošanai noteikts jaudas blīvums tilpuma vienībā (3.8).

Statistiskās kļūdas aprēķini (4. att.) nosaka stabilitāti roku kustībām soļošana laikā un tā rezultātā nosaka enerģijas pārveidotāja darbības stabilitāti.

	A(X)	B(Y)	C(Y)
Long Name	Enerģija, J	Laiks, s	Jauda, W
Units			
Comments			
1	1,29887E-4	1,19488	1,09E-4
2	3,98055E-5	1,17896	3,38E-5
3	5,12802E-5	1,20682	4,25E-5
4	8,00192E-5	1,18648	6,74E-5
5	4,12392E-5	1,13742	3,63E-5
6	2,80688E-5	1,17896	2,38E-5
7	9,44271E-5	1,1931	7,91E-5
8	5,06226E-5	1,20726	4,19E-5
9	1,43809E-4	1,17204	1,23E-4
10	6,7499E-5	1,16568	5,79E-5
11	1,29185E-4	1,1682	1,11E-4
12	1,71434E-4	1,20958	1,42E-4
13	3,06463E-5	1,15788	2,65E-5
14	2,03453E-5	1,1683	1,74E-5
15	8,85215E-5	1,16566	7,59E-5
16	4,87536E-5	1,20208	4,06E-5
17	8,3998E-5	1,16304	7,22E-5
18	8,62763E-5	1,18602	7,27E-5

3. att. Enerģijas pārveidotāja raksturlielumi

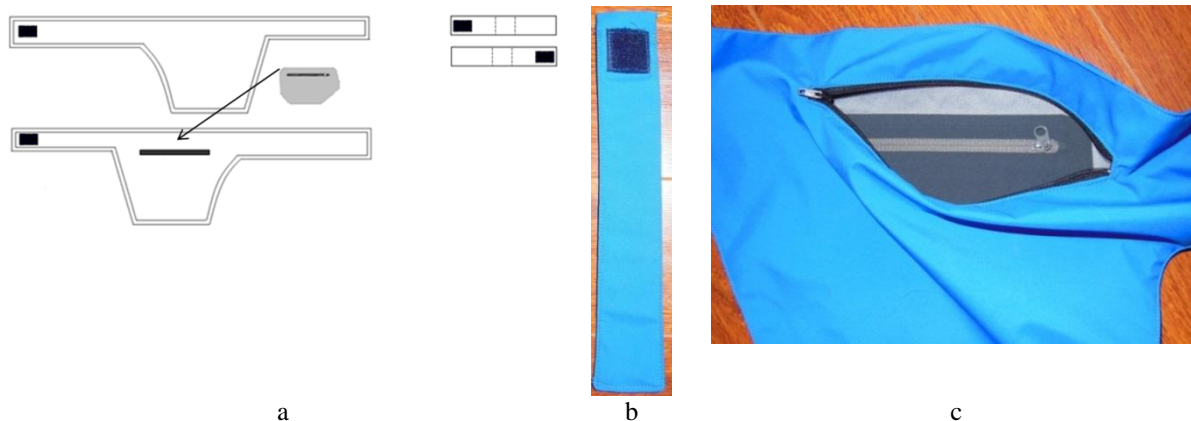
Statistics on Columns (2013.07.10 00:04:00)							
Notes							
Input Data							
Descriptive Statistics							
	N total	Mean	Standard Deviation	Sum	Minimum	Median	Maximum
Enerģija, J	23	9,13756E-5	5,33277E-5	0,0021	2,03453E-5	8,3998E-5	2,23861E-4
Laiks, s	23	1,17961	0,02317	27,131	1,13478	1,17896	1,23244
Jauda, W	23	7,74957E-5	4,56211E-5	0,00178	1,74E-5	7,22E-5	1,97E-4

4. att. Statistiskās kļūdas aprēķini

Enerģijas pārveidotāja raksturlielumi un statistiskās kļūdas aprēķināti katram ātrumam un katrai enerģijas pārveidotāja detaļu izvietojuma vietai.

Apģērbu un aksesuāru ar ievietoto enerģijas pārveidotāju kopskats

Komplekts sastāv no jostas somas un aproces. Jostas somas ar rāvējslēdzēju un metinātu kabatu ar rāvējslēdzēju, kas atrodas somas iekšpusē un paredzēta indukcijas elementu izvietošanai. 4cm plata aproce ir aizdarāma ar līplenti. Aprocē ir ieshūts magnēts.



1. att. Komplekta prototips: a – jostas somas un aproces skice un enerģijas pārveidotāja elementu izvietoējums; b-magnēts noņemama aprocē, c-indukcijas elements jostas somā

Sportiska stila vīriešu taisnstāva ārpaka ar centrālo rāvējslēdzēja aizdari un vējasloksne zem rāvējslēdzēju, divām sānkabatām priekšpusē un vienvīles iešūto piedurkni, stāvapakle. EMP daļas ievietošanai paredzētas uzliktajā kabata ar pārloku jakas iekšpusē, un piedurknei uzšūtā patā ar spiedpogu un līplenti. Patā atrodas magnēts, sāna kabata - indukcijas elements. EMP daļas ir ievietotas abos sānos simetriski.



2. att. 1. jakas prototips: a - jakas skices, b - priekšskats, c - sānskats, d - mugurskats un EMP daļu izvietoējums: e - magnēts, f - indukcijas elements

Sportiska stila vīriešu taisnstāva ārjaka ar centrālo rāvējslēdzēja aizdari un vējasloksne zem rāvējslēdzēju, divām sānkabatām priekšpusē un vienvīles iešūto piedurkni, stāvakakle. EMP daļas ievietošanai paredzētas uzliktajās kabatas, kas aizdarāmas ar līplenti. Zempiedurknes kabatā atrodas magnēts, sāna kabata - indukcijas elements. EMP daļas ir ievietotas abos sānos simetriski.



3. att. 2. Jakas prototips: a - jakas skices, b - priekšskats, c - sānskats, d - mugurskats un EMP daļu izvietojums: e - magnēts, f - indukcijas elements