

Visokotehnološki izvori električne energije ugrađeni u obuću i odjeću

Rogale, Dubravko; Firšt Rogale, Snježana

Source / Izvornik: **Koža & Obuća, 2017, 66, 8 - 14**

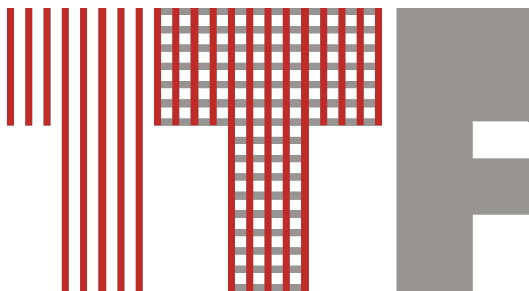
Journal article, Published version

Rad u časopisu, Objavljena verzija rada (izdavačev PDF)

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:201:831144>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-28**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Textile Technology University of Zagreb - Digital Repository](#)



VISOKOTEHNOLOŠKI IZVORI ELEKTRIČNE ENERGIJE UGRAĐENI U OBUĆU I ODJEĆU HIGH-TECH SOURCES OF ELECTRICAL ENERGY INTEGRATED INTO FOOTWEAR AND CLOTHING

Dubravko Rogale
Snježana Firšt Rogale

Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet
Zavod za odjevnu tehnologiju
Faculty of textile technology, Department of Clothing Technology
e-mail: dubravko.rogale@ttf.hr

Pregledni članak (Review)
UDC: 685.3:687:681.586.7

Sažetak

U radu je načinjen pregled velikog dijela fizikalnih efekata, inovacija i izuma za korištenje okolišne energije i energije gibanja čovjeka za dobivanje električne energije potrebne za napajanje ili nadopunu baterija uređaja koje čovjek nosi sa sobom ili za napajanje pametne i e-odjeće i obuće. Analizirane su značajke pojedinih energetskih izvora, njihova izdašnost i mogućnosti primjene kao i nedostaci. U tom smislu načinjen je pregled obilježja primjene sunčevih ćelija, linearnih i rotacijskih indukcijskih generatora, piezoelektričkih efekata primjenom piezoelektričkih pločica i diskova, polimernih piezoelektričkih filmova i triboelektričkih kompozita. Na temelju načinjenog pregleda zaključeno je da najveće tehnološke i tehničke mogućnosti primjene imaju polimerni piezoelektrički filmovi i triboelektrički kompoziti kao visokotehnološki izvori električne energije u odjeći i obući.

Ključne riječi: izvori električne energije, e- i pametna odjeća, obuća

Abstract

The paper gives an overview over a large number of physical effects, innovations and inventions for the use of environmental energy and human motion energy to generate electricity necessary to supply power or recharge the batteries of the device that the user wears or to supply power to smart and e-clothing and footwear. Specific features of individual power sources, their yield and possible applications as well as shortcomings were analyzed. With this in mind, an overview over the application features of solar cells, linear and rotational induction generators, piezoelectric effects using piezoelectric plates and discs, polymer piezoelectric films and triboelectric composites was provided. Based on this overview, it was concluded that polymer piezoelectric films and triboelectric composites as high-tech sources of electrical energy in clothing and footwear have the greatest technological and technical application possibilities.

Key words: sources of electrical energy, e- and smart clothing, footwear

1. Uvod

Minijaturizacijom elektroničkih komponenti elektronički uređaji postaju sve lakši i manji pa ih suvremeni čovjek sve češće nosi sa sobom tijekom obavljanja svojih poslova za radnog vremena, a i kasnije kada više ne boravi na radnom mjestu. Najčešći uređaji koji čovjek nosi obavljajući svoje profesionalne dužnosti za radnog vremena su komunikacijski uređaji, računala (laptop, dlanovnik, tablet), kalkulatori, elektronički rokovnici, mjerni uređaji, GPS uređaji, satovi i sl., a nakon radnog vremena najčešće koristi mobilni telefon, reproduktore zvuka, uređaje za praćenje zdravstvenog stanja, uređaje za praćenje fizičkih aktivnosti (brojanje koraka, utrošena energija i sl.). Izuzetan napredak karakterističan za minijaturizaciju elektroničkih komponenata nije pratio i primjereni napredak u minijaturizaciji električnih baterija kojim se napajaju uređaji koje čovjek često nosi sa sobom. Stoga baterije koje napajaju spomenute uređaje treba ili često mijenjati ili ih nadopunjavati priključkom naponskog adaptera na električnu mrežu.

Nadopunjavanje baterija znači mirovanje uređaja dok se pune na fiksnom priključku električne energije, što znači da ih čovjek neće moći koristiti tijekom svog kretanja i po nekoliko sati. Ovaj problem je posebno izražen kada čovjek obavlja svoje profesionalne dužnosti izvan urbanih područja, gdje ne postoje priključci električne energije, pa niti nepovoljan način punjenja nije moguć. S tim nedostatkom susreću se brojni korisnici prijenosnih uređaja (vojnici, policajci, šumari, lovci, pripadnici gorske službe spašavanja i komunalnih službi, planinari, izletnici i drugi). Stoga se danas intenzivno razmišlja kako puniti elektroničke uređaje koje čovjek nosi uza se a da se pri tome koristi energija njegovog kretanja ili postojeću energiju u okolišu, čije prikupljanje neće uticati na pokretljivost čovjeka. Kao najprimjerenije mogućnosti korištenja energije u okolišu koja ne otežava mobilnost čovjeka su sunčeva energija, toplinska energija ljudskog tijela i energija prikupljena hodanjem čovjeka. Uređaji za prikupljanje električne energije moraju se stoga također nalaziti uz ili na čovjeku pa kao takvi dolaze u obzir razne torbice ili ruksaci, odjeća, ali i sve više obuća

na kojima se koriste različite fizikalne pojave i izumi koji pretvaraju energiju u okolišu čovjeka u električnu energiju dostatnu za rad elektroničkih uređaja koje čovjek sa sobom nosi ili za nadopunjavanje punjivih baterija koje se nalaze u spomenutim uređajima.

U ovom radu opisani su različiti načini dobivanja električne energije s posebnim osvrtom na nove vrste odjeće i obuće koje u sebi već imaju ugrađene elektroničke sustave specifičnih namjena koje također trebaju pogodne izvore električne energije. To se odnosi na inteligentnu, pametnu i e-odjeću, kao i za obuću. Tako je snaga potrebna za napajanje elektroničkih uređaja koji se ugrađuju u inteligentnu, pametnu i e-odjeću te obuću je od 1-3 W. I ostali oblici energije iz okoliša se također mogu koristiti za napajanje elektroničkih uređaja koji se ugrađuju u nove vrste odjeće i obuće, a može se crpiti iz više izvora: ambijentalnog svjetla (svjetla od umjetnih izvora svjetlosti u zatvorenim prostorima), energija radiovalova iz okolišnog prostora, vibracijskih mikrogeneratora, ambijentalnog protoka zraka, aktiviranjem tipaka na tipkovnicama i dr. Međutim, snaga tih izvora je premala za ozbiljnije primjene u navedene svrhe te se u ovom radu neće razmatrati, već će biti načinjen pregled onih energetskih izvora koji mogu zadovoljiti današnje potrebe za električnom energijom elektroničkih naprava koje ljudi nose sa sobom ili novih vrsta odjeće i obuće.

Jedan od najčešćih izvora za napajanje inteligentne, pametne i e-odjeće je pretvorba mehaničke energije hodanja u električnu energiju, pri čemu se koristi piezoelektrički efekt, nano-triboelektričke, termoelektričke, elektromagnetske i elektrostatičke pojave. Najveće količine električne energije mogu dobiti primjenom elektromagnetskih pojava. U cipele se ugrađuju minijaturni električni generatori koji proizvode električnu energiju tijekom hodanja.

2. Izvori električne energije ugrađeni u obuću i odjeću

Solarne ćelije se koriste u tehnici već više desetljeća, a prvu ozbiljniju primjenu zabilježile su u satelitskoj tehnologiji kao uređaji za izravnu pretvorbu sunčeva svjetla u električnu energiju. Bile su krute i imale su razmjerno mali stupanj korisnosti. Današnje solarne ćelije mogu biti savitljive i mogu se ugraditi u odjevne predmete i obuću jer poprimaju oblike dijelova odjavnog predmeta koji su najviše izloženi sunčevoj ili umjetnoj svjetlosti zatvorenih prostora ili se ugrađuju u torbe [1]. Tt. Samsung je izradila torbu s ugrađenim baterijskim modulom sa solarnim ćelijama koji omogućuje bežično punjenje pametnih telefona (slika 1) [2]. Poznati dizajner Tommy Hilfiger ugradio je solarne ćelije u jaknu (slika 2) [3].

S obzirom da solarne ćelije još uvijek nemaju dovoljno visoki stupanj iskoristivosti da bi autonomno napajale sve elektroničke uređaje, a oni još uvijek troše razmjerno puno električne energije, postoji potreba kombiniranog napajanja svih uređaja ugrađenih u sustav odjeće s pomoću solarnih ćelija i dodatnih baterija. Očekuje



Slika 1. Samsung torbica sa solarnim panelima.



Slika 2. Jakne dizajnera Tommy Hilfigera s građenim solarnim ćelijama.

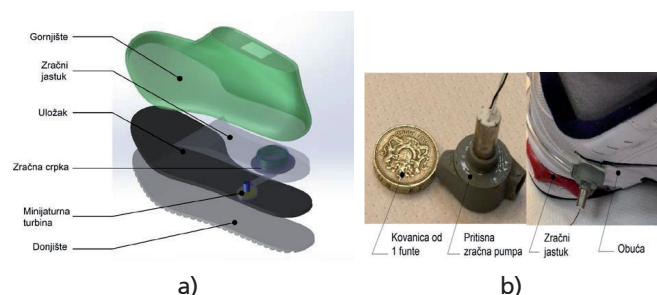
se da će u bližoj budućnosti biti povećan stupanj iskoristivosti solarnih ćelija, a smanjena potrošnja elektroničkih uređaja tako da više neće biti izražena potreba za dodatnim napajanjem. Jedan od većih nedostataka solarnih ćelija može se smatrati njihova nepotrebljivost u noćnim uvjetima ili u situacijama kad je intenzitet sunčeva svjetla slab (jaka naoblaka, kiša, magla, zasjenjeni prostori, krošnje drveća i sl.). Isto tako, osjetljive su na udare i oštećenja pa s njihovom ugradnjom u odjeću i obuću valja pristupiti s odgovarajućom pažnjom.

Trenutačne poteškoće pokušavaju se premostiti uporabom cipela s izvorom električne energije, koje imaju ugrađeni minijaturni električni generatori za pretvorbu mehaničke energije tijekom hodanja u električnu energiju koja služi za nadopunjavanje sustava baterija [4].

Fu H. i suradnici [5] razvili su jastučić na kojeg se tijekom hodanja razvija sila koja komprimira zrak u jastučiću te se komprimirani zrak istiskuje prema minijaturnoj turbini koja može pokretati mali električni generator, (slika 3). Eksperimentima su dobili da se pri svakom koraku može dobiti 6 mV vršne snage na omskom opterećenju od 4.9 Ω.

Shen J. i suradnici [6] eksperimentirali su sa linearnim generatorom električkog napona koji se sastoji od zavojnice smještene uzduž donjišta obuće (slika 4). Unutar zavojnice nalazi se permanentni magnet koji se pomiče uzduž zavojnice tijekom hodanja te na taj način inducira elektromotornu silu koja se pojavljuje na stezaljkama zavojnice. Budući da je inducirani napon izmjenični, autori ga ispravljaaju diodnim mostnim spojem i filtriraju elektrolitskim kondenzatorom. Utvrdili su da inducirani napon prelazi vrijednost od 1.2 V tako da može učinkovito puniti bateriju nazivnog napona od 1.2 V.

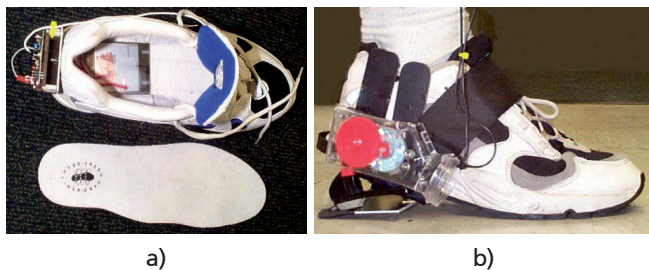
Kymissis J. i sur. [7] ugradili su rotacijski električni generatoru petu tenisice, (slika 5). Vertikalno i približno pravocrtno oscilacijsko gibanje pete pretvara se pogodnim mehanizmom s pomoću zupčaste letvice i zupčanika u kružno gibanje koje se prenosi na rotor minijaturnog električnog generatora. Rotacijom rotora pretvara se, preko opisanog mehanizma, mehanička energija hodanja



Slika 3. Obuća sa zračnim jastučićem: a) dijelovi cipele; b) prototip obuće s integriranim zračnim jastučićem



Slika 4. Linearnim generator električkog napona smještene uzduž donjišta obuće.



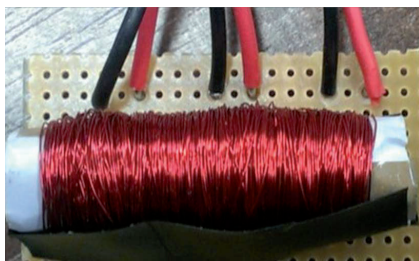
Slika 5. Rotacijski generator ugrađen u petu tenisice: a) unutrašnjost tenisice, vanjski izgled tenisice s ugrađenim generatorom.

u električnu energiju pogodnu za punjenje baterija zahtjevnijih prijenosnih uređaja. Snaga prikazanog generatora može biti i nekoliko W.

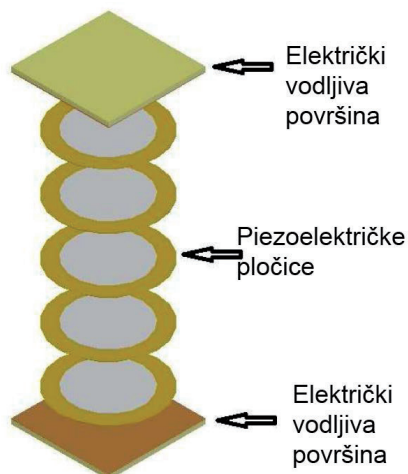
Cimpian i sur. [8] su tri godine kasnije objavili članak u kojem su koristili sličan pristup zavojnice s 300 navoja žice i s također permanentnim magnetom koji se pomicao unutra zavojnice pri hodu, indicirajući elektromotornu silu u zavojnici (slika 6). Oni su dobili vršne napone do 0,5V i snagu od oko 220 μ W.

Junior i suradnici koriste način generiranja napona u obući primjenom piezoelektričkog efekta [9]. U tu svrhu načinili su uložak s više slojeva piezoelektričkih pločica (slika 7).

Poznata je reverzibilnost piezoelektričkog efekta [10]: pod silom piezoelektrički kristali generiraju napon i obratno, podvrgnuti naponom mogu proizvesti silu. Višeslojne piezoelektričke pločice autori su ugrađivali u uložak obuće (slika 7), na sedam mjesta i prikupljali inducirani električki napon nastao hodaњem. Utvrdili su vršne vrijednosti napona od 6 V i vršnu snagu od 3,6 mW.



Slika 6. Prototip elektromagnetskog generatora.



Slika 7. Ugradnja piezoelektričkih pločica u uložak cipele.

Rocha i suradnici [11] su otišli korak dalje i razmatraju upotrebu piezoelektričkih polimera što predstavlja novost, s obzirom da su prethodni autori koristili piezoelektričke kristale. Oni su piezoelektrički materijal ugrađivali u svoj prvi prototip u obliku dva piezoelektrička filma pričvršćena na donjište obuće blizu prstiju stopala i na peti te su uspjeli sa svojim eksperimentalnim postavom napuniti bateriju s nazivnim naponom od 3 V (slika 8).

Pandey H. i sur [12] su piezoelektrički efekt pokušali iskoristiti kao nosivi punjač za mobilne telefone i sustav osvjetljenja u nuždi. Također su koristili piezoelektričke diskove ugrađene u uložak obuće, (slika 9). Utvrdili su da osoba koja hoda brzinom od 3 do 4 km/h može napuniti Li-ion bateriju kapaciteta 800 mAh za 2,6 sati, a za korištenje LED rasvjete dovoljno je hodati 10 min kako bi LE dioda svjetlila od 10 do 12 minuta.

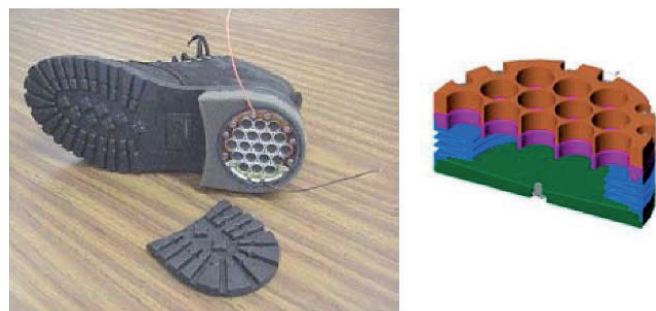
Kornbluh R. D. i suradnici [13] najavljuju mogućnost korištenja energije gibanjem od vrlo velikih razmjera poput oceanskih valova do minijaturnih pretvornika građenih u petu obuće. Za dobivanje te vrste energije koristili bi se elektroaktivni polimeri u obliku gela ili fluida (slika 10). Oni opisuju uređaj koji bi kompresiju pete tijekom hodaњanja ljudi iz 20 slojeva dielektričnih elastomernih filmova dobivali električnu snagu razine 1 W.



Slika 8. Prvi prototip cipele s ugrađenim piezoelektričkim polimerom u donjištu cipele.



Slika 9. Piezoelektrički disk ugrađen u obuću.



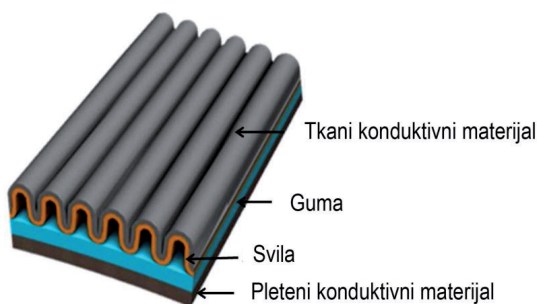
Slika 10. Dielektrični elastomerni filmovi ugrađeni u petu cipele.

Utvdili su da osoba mase 80 kg može komprimirati petu tijekom hoda za 3 mm i da se tada oslobađa energija od 2.4 J. S obzirom da njihov uređaj generira 0,8 J po koraku utvdili su da njihov uređaj ima iskorištenje od oko 30 % što je sasvim zadovoljavajuće za tako jednostavan uređaj.

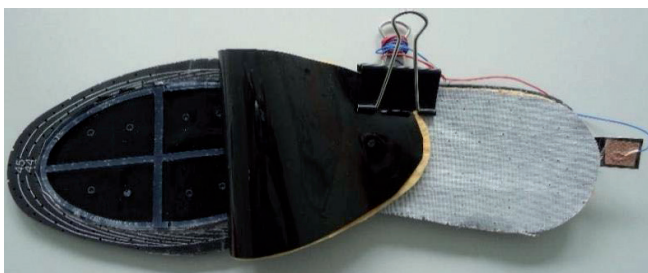
Jedan od zanimljivih pokušaja dobivanja energije iz obuće tijekom hodanja prikazuju Young Choi A. i sur. [14] koji koriste triboelektričke efekte za dobivanje električne energije (slika 11). Triboelektrička energija se generira kada pojedini materijali dolaze u frikcijski kontakt (kontakt trenjem) poput dobivanja statičkog elektriciteta u gumenim cipelama na tepihu. Autori smatraju da triboelektrički efekt predstavlja pristup koji ima najbolje izgleda za buduću pretvorbu mehaničke energije hodanja u električnu energiju. Triboelektrički materijali nisu samo fleksibilni, lagani i ugodni, nego su i nosivi. Triboelektrički generatori se stoga vrlo jednostavno mogu ugrađivati u obuću. Autori su utvdili da se električna energija može dobivati pritiskivanjem, klizanjem i istezanjem materijala pri čemu se mogu pojaviti naponi veći od 28 V i struje nešto manje od 3 μ A.

Haque I. R. sa suradnicima [15] također je eksperimentirao sa triboelektrički umetkom navodeći da je triboelektrički efekt prvi koristio tim Wanga L. Z. [16]. Razvili su posebno udoban umetak za cipele koji koristi triboelektrički efekt, s time da su postigli izuzetno visoke napone od 312 V i izlaznu struju nešto veću od 1 μ A na opterećenju od 100 M Ω što korespondira snazi pri hodanju od 0,25 mW (slika 12). Uspjeli su dobiti gustoću električne snage u umetku obuće od ,9 μ Wcm⁻².

Klimiec E. sa suradnicima [17] se također bavi s generatorima elektriciteta vrlo malih snaga koristeći piezoelektričke polimere i uspoređuje učinkovitost različitih polimernih filmova za dobivanje električne energije. Utvdili su da se mogu dobiti snage od 1,7 μ W do 5,3 μ W s polipropilenskim filmovima i oko 1,7 μ W do 3,3 μ W s polivinilfluoridnim filmovima. Pri tome su se dobivali naponi i do 14 V za polipropilenske filmove i do 3,4 V za polivinilfluoridne filmove (slika 13).



Slika 11. Korištenje triboelektričkih materijala za dobivanje električne energije.

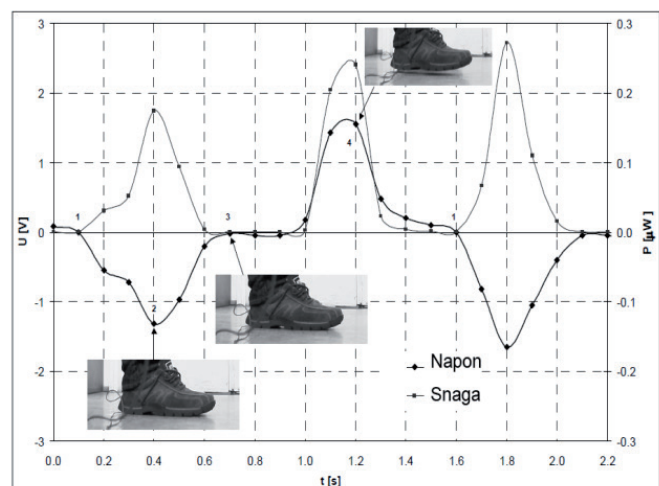


Slika 12. Umetak za cipele koji koristi triboelektrički efekt.

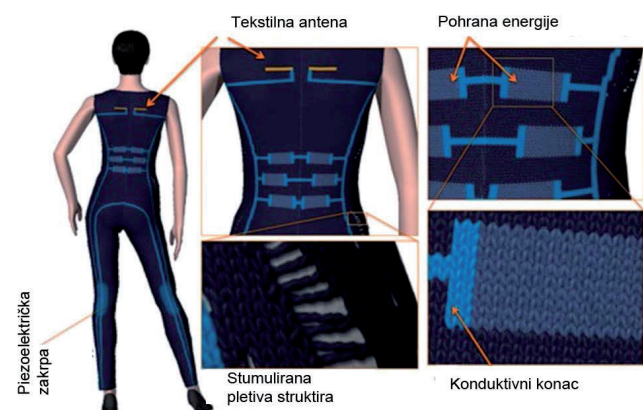
Jost K. i sur. [18] razmatraju mogućnost izrade donjeg rublja u koje bi se izvela ugradnja piezoelektričkih umetaka (zakrpe) kako bi se pokreti tijela pretvarali u električnu energiju, tekstilne antene za uspostavu komunikacije te skladišta za pohranu energije. Također razmatraju mogućnost pletenih struktura koje mogu oponašati konstrukcijsku izvedbu Li-ionskih baterija te na taj način napajati elektroničke uređaje (slika 14).

Općenito, snage dobivene primjenom različitih vrsta generatora koji pretvaraju mehaničku energiju hodanja u električnu energiju, izgledaju kao vrlo malih vrijednosti, međutim, one su sasvim dovoljne za punjenje baterija, a više su nego dovoljne za pokretanje modernih elektroničkih sklopova za čiji su rad potrebni vrlo mali naponi, struje i električna snaga.

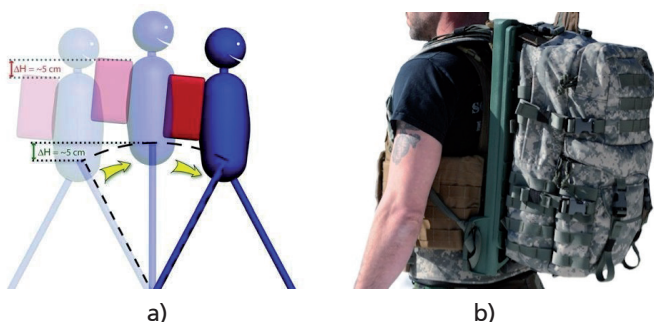
Do sada najjači i najučinkovitiji izvor električne energije tijekom hodanja predstavlja nošenje ruksaka. Na University of Pennsylvania su razvili ledni nosač s vodilicama na kojima se nalazi ruksak s teretom. Prilikom hodanja teret pravocrtno poskakuje uzduž vodilica, a poskakivanje se prenosi pomoću nazubljene letve na zupčanik rotora električnog generatora pretvarajući na taj način pravocrtno gibanje vodilice u kružno gibanje zupčanika i rotora generatora. Utvrđeno je da se nošeni teret mase 10 kg tijekom nošenja pomiče na vodilicama do 5 cm od ravnotežnog položaja, (slika 15 a). Prosječna snaga generatora iznosi oko 7 W [19, 20]. Nošenjem tereta mase od oko 25 kg pri hodanju na ravnom terenu



Slika 13. Mjerni prikaz napona i snage te pokreta stopala.



Slika 14. Dizajn donjeg rublja s ugrađenim piezoelektričkim zakrpama, tekstilnim antenama i stimuliranim pletenim strukturama.



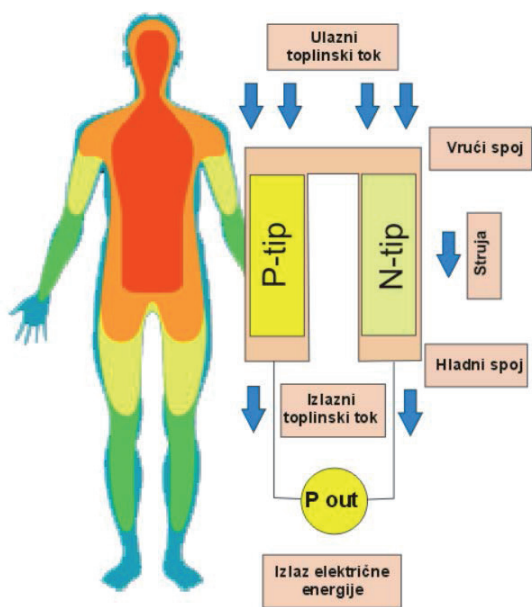
Slika 15. Leđni nosač s vodilicama, tzv. Lightning Packs.

razvija se električna snaga od 12-15 W, pri hodanju po izrazito neravnom terenu 20-35 W, a pri trčanju snaga do 40 W. Ovaj leđni nosač (slika 15 b) namijenjen je vojnicima, planinarima i td. koji prevaljuju veću udaljenost noseći pri tom veći teret na leđima.

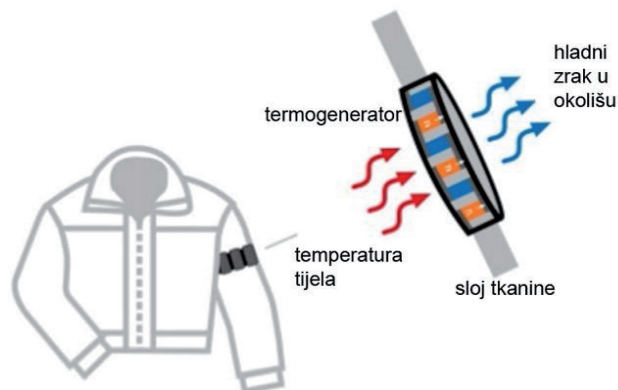
Vođeni činjenicom da ljudsko tijelo, ovisno o fizičkoj aktivnosti, može razvijati snagu između 100 i 1000 W stručnjaci tt. Infineon su termografijom utvrdili mjesto na tijelu gdje razlika temperatura između kože i odjevnog predmeta postiže vrijednost između 2 i 17 °C te su razvili male termogeneratore koji iskorištavaju temperaturne razlike između površine ljudskog tijela i okoliša pretvorbom toplinskog toka u električnu energiju (slika 16). Do sada je postignuta snaga od 10 μW/cm² [21].

U tt. Infineon dokazali su da je primjenom minijaturnih poluvodičkih generatora moguće napajati električnom energijom senzore srčanoga pulsa, krvnog tlaka ili tjelesne temperature i bežično ih odašiljati do ručnog sata nositelja pametne i inteligentne odjeće gdje se ti podaci prikazuju na zaslonu.

Razvijeni su tanki termogeneratori koji konvertiraju toplinu (razliku u temperaturi) direktno u električnu energiju, koristeći fenomen koji se naziva "Seebeck efekt" (slika 17). Integrirani su u odjeću kako bi napajali uređaje za praćenje aktivnosti ili fiziološka stanja nositelja, a mogu se prati zajedno s odjećom. Do sada je postignuta gustoća snage od 10 μW/cm², a postignuti rezultati pokazuju



Slika 16. Prikaz postupka pretvorbe tjelesne topline u električnu energiju pomoću poluvodičkih termogenerators.



Slika 17. Termogenerator ugrađen u odjeću

da je moguće i bolje iskorištenje toplinskog toka za pretvorbu u električnu energiju [22].

3. Pametna i e-obuća i modni dodaci kao trošila električne energije

Iako su se prvotno minijaturni senzori, mikroračunala, mikrokontroleri i ostale izvršne naprave ugrađivale u odjevne predmete, danas su se već počeli ugrađivati i u obuću, torbe, remene i sl. Na slici 18 prikazane su pancericice s ugrađenim sensorima pokreta koji šalju podatke na pametni mobitel trenera, a skijaš, putem pametnog telefona može primiti informacije i savjete trenera u realnom vremenu [23, 24].

Temperatura unutar čizme prikazane na slici 19 se može regulirati putem aplikacije na pametnom telefonu do 37,8 °C za manje od jedne minute. U unutrašnjosti čizme se nalaze grijači elementi, a u peti upravljačka kutija s baterijama koje mogu raditi 7-8 sati, a ponovno se napune za 1,5 sati [24, 25].

Tenisice na slici 20 imaju ugrađene senzore koji prate tempo, brzinu i prijedeni put, ali i jačinu udara površine stopala, vri-



Slika 18. Pancericice sa ugrađenim sensorima pokreta.



a)

b)

Slika 19. Lundi čizme: a) unutrašnjost čizme; b) upravljanje temperature putem mobilne aplikacije



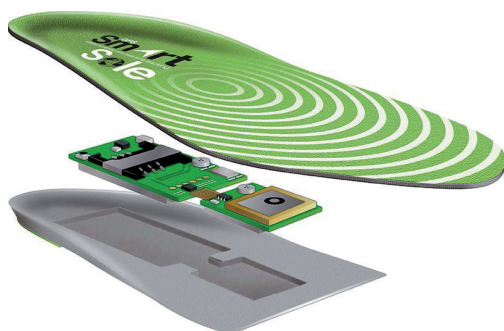
Slika 20. Tenisice za praćenje parametara trčanja.



Slika 21. Digitalni ulošci za grijanje unutrašnjosti obuće.

jeme koje je stopalo u kontaktu s podlogom, te pritisak stopala na podlogu, kao i aktivnosti lijeve i desne noge tijekom hodanja ili trčanja. Podaci se preko Bluetootha šalju na pametni telefon te je moguća analiza podataka u realnom vremenu [23]. Putem mobilne aplikacije se također ima uvid u broj prijedjenih koraka, ukupnu prijedenu udaljenost, visinsku razliku i potrošene kalorije.

Kupci, birajući obuću, vrlo često ispred estetske komponente stavljaju udobnost. Uzimajući to u obzir tt. **Digitsole** je kreirala digitalne uloške prikladne za sve vrste zimske obuće (slika 21). Novi interaktivni digitalni ulošci mogu biti grijani do 45°C. Regulator temperature funkcionira preko Bluetootha i s pomoću Smartphone aplikacije. Aplikacija omogućuje postavljanje individualne temperature posebno za lijevu i za desnu nogu. Baterija se puni preko USB-a, a kad je puna, moguće je osmosatno grijanje [26]. Na slici 22 su prikazani pametni ulošci s ugrađenim GPS-om za praćenje bolesnika oboljelih od Alzheimerove bolesti, osoba



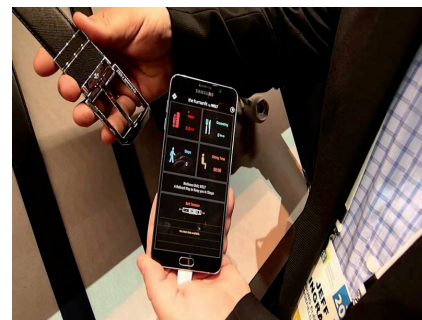
Slika 22. Pametni uložak s ugrađenim GPS-om.

s autizmom i sličnim traumatskim ozljedama mozga [23]. Ovi pametni ulošci su namijenjeni za praćenje osoba s autizmom ili oboljelih od Alzheimerove bolesti, sportaša, veterana s ozljedama traumatskim mozga i sl.

Tt. Samsung je izradila pametni remen tzv. Welt [27] u kojem su ugrađeni senzori za praćenje opsega struka, aktivnosti i navika unošenja hrane, a cilj toga je ohrabriranje korisnika na zdrav životni stil, prati broj koraka tijekom dana, kao i vrijeme koje korisnik provede u sjedećem položaju. Sve informacije mogu se vidjeti pomoću aplikacije instalirane na pametnom telefonu. Remen se puni poput telefona putem USB kabela, a baterija traje više od 20 dana (slika 23) [28].

LE-diode se, osim u odjeću ugrađuju i u obuću (slika 24). Orphe je tenisica koja funkcionira kao prilagodljiv rasvjetni sustav i/ili glazbeni instrument. Potplat svake cipele sadrži senzore pokreta, oko 100 serijski upravljanih LE dioda i bežični modul za povezivanje s računalom te se svjetlost dioda mijenja u ovisnosti o pokretu [23].

Proizvođač tenisica **Converse** je razvio tzv. **Chuck Taylor All Wah** kolekciju tenisica koja u potplatu ima ugrađenu tzv. Wah pedal za gitariste. U tenisicu je ugrađen mikro senzor koji prati savijanje potplata te pritom šalje signale te se putem bežične mreže spaja na pametni telefon (slika 25) [29, 30].



Slika 23. Samsung pametni remen s aplikacijom na pametnom telefonu.



Slika 24. Obuća s ugrađenim LE-diodama.



Slika 25. Tenisice s ugrađenom pedalom za gitariste.

3. Zaključak

Potreba nadopunjavanja električnom energijom elektroničkih uređaja koje ljudi nose sa sobom ili pak potreba napajanja elektroničkih uređaja ugrađenih u odjeću, obuću i modne dodatke, rezultirala je mnoštvom izuma i inovacija namijenjenih pretvorbi okolišne energije ili energije hodanja u električnu energiju. Pri tome se neki izvori energije iz okoliša (umjetni izvori svjetlosti u zatvorenim prostorima, energija radio valova iz okolišnog prostora, vibracijski mikrogeneratori, ambijentalni protok zraka i drugo) ne koriste u većoj mjeri s obzirom na vrlo niske iznose električne energije koje se mog prikupiti.

Sunčeve ćelije dozvoljavaju veće prikupljene energetske učinke ali su neupotrebljive tijekom noći i u uvjetima smanjenog intenziteta sunčevog svjetla, a izložene udarcima tijekom nošenja na odjeći ili obući, mogu otkazati u radu.

Upotreba linearnih i rotacijskih indukcijskih generatora predstavlja siguran i izdašan izvor električne energije, ali takva su rješenja mehanički vrlo složena te stog osjetljiva pri ugradnji i uporabi na donjištima obuće. Obje inačice značajno povećavaju krutost donjišta obuće pa je njihova uporabna vrijednost vrlo upitna.

Uporaba piezokeramičkih pločica i diskova može rezultirati da se ne povećava značajnije krutost donjišta obuće, no pri tom je i izdašnost takvih izvora električne energije znatno manja.

Uporaba piezoelektričkih polimernih filmova kao i uporaba kompozita s triboelektričkim svojstvima zasigurno neće povećavati krutost donjišta te će ugodnost nošenja obuće s takvim generatorima električne energije biti izrazita s obzirom na nepromijenjenu elastičnost donjišta. Spomenuti izvori električne energije nemaju mehaničkih elemenata pretvorbe gibanja te je i njihova osjetljivost pri nošenju manje izražena, odnosno za očekivati je da će njihova rad biti vrlo pouzdan. Tehnološki postupak ugradnje u donjište obuće također ne bi trebao biti prevelik tehnički problem.

Iz navedenog pregleda vidljive su prednosti i nedostaci različitih fizikalnih pojava i tehničkih rješenja kao izvora električne energije ugrađivanih u odjeću i obuću. Prema podastrim podacima može se očekivati da će budući razvoj visokotehnoških izvora električne energije biti fokusiran na tehnike piezoelektričkih filmova i tribološke generatore električne energije.

Literatura

- [1] <http://juggly.cn/wpjuggly/wp-content/uploads/2016/07/SOL-Bag-02.jpg>, pristupljeno listopad 2017.
- [2] <http://fashionlawbriefs.com/>, pristupljeno lipanj 2017.
- [3] Starr M. Tommy Hilfiger launches solar power jackets to charge your phone. [Internet] 03.12.2014. Dostupno na: <https://www.cnet.com/news/tommy-hilfiger-launches-solar-power-jackets-to-charge-your-phone/>
- [4] Firšt Rogale S, Rogale D, Nikolić G, Dragčević Z, urednici. Inteligentna odjeća. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, 2014.
- [5] Fu H, Xu R, Seto K, Yeatman EM, Kim SG. Energy Harvesting from Human Motion Using Footstep-Induced Airflow. *Journal of Physics: Conference Series* [Internet]. 2015 660(012060): Dostupno na: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/660/1/012060/pdf> DOI: 10.1088/1742-6596/660/1/012060
- [6] Shen J, et al. Shoe-Equipped Linear Generator for Energy Harvesting. *IEEE Transactions on Industry Applications*.49(2):990-996.
- [7] Kymissis, J, et al. Parasitic power harvesting in shoes. In: Digest of Papers. Second International Symposium on Wearable

- Computers [Internet]; 19-20.10.1998.; Pittsburgh, USA. New York: IEEE; 1998. Dostupno na: <http://ieeexplore.ieee.org/document/729539/?reload=true> DOI: 10.1109/ISWC.1998.729539
- [8] Cimpian A, Laighin GÓ, Duffy M. Analysis of Pulsed vs. Continuous Power Delivery from an Electromagnetic Generator, *Journal of Physics: Conference Series*. 2013;476(012058):1-5.
- [9] Ando Junior OH, et al. Proposal of a Micro Generator Piezoelectric for Portable Devices from the Energy Harvesting. In: International Conference on Renewable Energies and Power Quality; 08-10.04.2014; Cordoba, Spain: Nakladnik; 2014; 656-660.
- [10] Rogale D, Firšt Rogale S. Obuća i odjeća kao visokotehnološki predmet u funkciji izvora električne energije. U: Antropometrija i normizacija modne odjeće, Zagreb: Sveučilišna tiskara d.o.o. Zagreb; 2015, 23-34.
- [11] Rocha JG, et al. Energy Harvesting From Piezoelectric Materials Fully Integrated in Footwear. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. 2010;57(3):1-8.
- [12] Pandey H, Khan I, Gupta A. Walking based wearable mobile phone charger and lightning system. In: International Conference on Medical Imaging, m-Health and Emerging Communication Systems, 406-411.
- [13] Kornbluh RD, Eckerle J, McCoy B. A scalable solution to harvest kinetic energy, SPIENewsroom [Internet], 2011. DOI: 10.1117/2.1201106.003749
- [14] Young Choi A, et al. Corrugated Textile based Triboelectric Generator for Wearable Energy Harvesting. *Scientific Reports* [Internet], 2017. DOI: 10.1038/srep45583
- [15] Haque R, Farine P, Briand D. Fully casted soft power generating triboelectric shoe insole, *Journal of Physics: Conference Series* [Internet], 2016. DOI: 10.1088/1742-6596/773/1/012097, 1-6
- [16] Wang LZ, Chen J, Lin L. Progress in triboelectric nanogenerators as a new energy technology and self-powered sensors, *Energy & Environmental Science*. 2015;8(8):2250-2282.
- [17] Klimiec E, et al. Micropower Generators and Sensors Based on Piezoelectric Polypropylene PP and Polyvinylidene Fluoride PVDF Films - Energy Harvesting from Walking, *Applied Mechanics and Materials*, 110-116(2012), 1245-1251.
- [18] Jost K, Dion G, Gogotsi Y. Textile energy storage in perspective, *Journal of Materials Chemistry A* [Internet]. DOI: 10.1039/c4ta00203b
- [19] http://www.lightningpacks.com/lightningpacks.com/Electricity_Generating_Backpack_%7C_Lightning_Packs,_LLC.html, pristupljeno listopad 2017.
- [20] <http://tacticaldefensemedia.com/>, pristupljeno listopad 2017.
- [21] <https://www.infineon.com/>, pristupljeno listopad 2006.
- [22] Stark I. (2013): Integrating Thermoelectric Technology into Clothing for Generating Usable Energy to Power Wireless Devices, http://www.slideshare.net/WLSA_ORG/13-demonstration-paper-integrating-thermoelectric-technology-into-clothing-for-generating-usable-energy-to-power-wireless-devices, pristupljeno prosinac 2013.
- [23] Kamiloska V. (2016): Top 13 Smart Shoes That Combine the Best of Technology and Fashion, Techflier, <https://www.techflier.com/2016/06/08/top-13-connected-smart-shoes-that-combine-the-best-of-technology-and-fashion/>, pristupljeno lipanj 2017.
- [24] Boxall A. (2016): Carv is an all-knowing ski instructor inside your boot, <https://www.digitaltrends.com/wearables/carv-ski-coach-wearable-kickstarter-news/>, pristupljeno listopad 2017.
- [25] <https://pbs.twimg.com/media/ChITLCSUcAAXYea.png>, pristupljeno listopad 2017.
- [26] <http://www.hdko.hr/>, pristupljeno siječanj 2017.
- [27] <http://www.1stslice.com/>, pristupljeno lipanj 2017.
- [28] <http://zimo.dnevnik.hr/>, pristupljeno listopad 2017.
- [29] <http://thefeaturedlifestyle.net/converse-introduces-innovative-sneaker-for-musicians>, pristupljeno listopad 2017.
- [30] <http://www.guitarworld.com/>, pristupljeno listopad 2017.