

Tadeja Penko<sup>1</sup>, Andreja Rudolf<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Igriska ulica 11, 2000 Maribor, Slovenija

<sup>2</sup> Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo, Smetanova 17, 2000 Maribor, Slovenija

## Pametna oblačila: področja uporabe in primeri

### Smart Garments: Areas of Application and Examples

#### Strokovni članek/Professional article

Prispelo/Received 2-2021 • Sprejeto/Accepted 3-2021

Korespondenčna avtorica/Corresponding author:

Izr. prof. dr. Andreja Rudolf

E-pošta: andreja.rudolf@um.si

#### Izvleček

Pametna oblačila ali nosljivi pametni sistemi uporabniku zagotavljajo izboljšano funkcionalnost z možnostjo njihovega zaznavanja, reagiranja in/ali prilaganja dražljajem iz okolja, ki so jim izpostavljena. Razvijajo se že vrsto let predvsem na področju zdravja in športa in ob razvoju pametnih tekstilij in posebnih aplikacij omogočajo spremeljanje in varovanje zdravja, medicinsko diagnostiko in rehabilitacijo ter povečanje varnosti uporabnika ali pa s sledenjem in analiziranjem treningov rekreativnih ali poklicnih športnikov omogočajo izboljšanje njihovih zmogljivosti, zdravja in počutja. Prispevek podaja pregled pametnih oblačil s področja zdravja in športa, ki so zaradi obilice virov zbrana le za nekaj zadnjih nekaj let.

Ključne besede: pametna oblačila, pametne tekstilije, e-tektstilije, zdravje, šport

#### Abstract

*Smart clothing or wearable smart systems provide the user enhanced functionality with the ability to detect, react and/or adapt to stimuli from the environment they are exposed to. These systems have been developing for many years now, especially in the field of health and sports. With the development of smart textiles and special applications, they enable health monitoring, medical diagnostics and rehabilitation, and increase user safety, or contribute by tracking and analysing the trainings of recreational or professional athletes to improve their performance, health and well-being. The article provides an overview of smart garments in the field of health and sports, which are due to the abundance of resources collected for the last few years.*

Keywords: smart garments, smart textiles, e-textiles, health, sports

#### 1 Uvod

Pametno oblačilo je „pametni sistem“, ki je sposoben zaznavati okolje ter pogoje in dražljaje uporabnika in z njimi komunicirati. Dražljaji in odzivi so lahko električni, topotni, mehanski, kemični, magnetni ali v drugih oblikah [1, 2]. Z drugimi besedami so pametna oblačila oblačilni izdelki, izdelani iz pametnih tekstilnih materialov, ki lahko zaznavajo, reagirajo ali prilagajajo vedenje različnim okoliščinam [3]. Pametna oblačila se od nosljivih računalnikov razlikujejo po tem, da pametna oblačila poudarjajo

pomen oblačil, hkrati pa imajo senzorske in komunikacijske sposobnosti [2, 4]. Nosljivi računalniki po navadi uporabljajo tehnologije za povezovanje razpoložljive elektronike in se na oblačila pričvrstijo. Njihovi funkcionalni sestavnici deli so še vedno precej veliki in togih ter izdelani iz netekstilnih materialov. Napredna pametna oblačila imajo pametne komponente izdelane iz tekstilnih materialov, da zagotavljam udobje pri nošenju. Pametna oblačila morajo biti preprosta za vzdrževanje in uporabo in pralna, tako kot navadna oblačila. Zato je za nosljivost pametnih

oblačil ključna kombinacija nosljive tehnologije in znanosti o oblačilih in tekstilijah [2]. Pametne tekstilije so tekstilije, ki vsebujejo tehnologije za zaznavanje in odzivanje na razmere v okolju, ki so jim izpostavljene, in tako omogočajo uporabniku, da izkusi njihovo povečano funkcionalnost. Zaznavanje razmer ali dražljajev je lahko mehansko, toplotno, kemično ali kombinirane narave [5, 6]. To področje se razvija z novimi tehnologijami, novimi vlakni in tekstilnimi materiali. Proizvodnja pametnih ali inteligentnih tekstilij sodeluje z drugimi vedami znanosti, kot so nanotehnologija, znanost o tekstilnih materialih, oblikovanje, elektronika, računalniški inženiring itd. Pametne ali intelligentne tekstilije se imenujejo tudi tekstilije naslednje generacije. V literaturi je na voljo veliko klasifikacij, povezanih s pametnimi tekstilijami. Ena od klasifikacij deli pametne tekstilije glede na estetske in izvedbene funkcije (pasivne, aktivne in ultra pametne tekstilije) [7]. Ob tem estetske pametne tekstilije opredeljujejo kot tiste, ki uporabljajo pametno tehnologijo za modo in modno oblikovanje, predvsem v obliki osvetljevanja in spremenjanja barve oblačila. Svetlobna oblačila in svetleče se obleke so tipični in komercialni primeri estetskih pametnih tekstilij. Vključevanje svetlobnih efektov zasledimo tudi pri oblačilih za ples in balet. Tako npr. baletna obleka LIGHTness skupaj z baletnimi čevlji ter programsko opremo in vgrajenimi elektronskimi komponentami omogoča brezžično komuniciranje med interaktivno obleko, elektronsko obdelavo podatkov in baletnimi čevlji [8]. Baletna obleka ima vgrajen merilec pospeška in dva senzorja pritisnih sil, vstavljeni v konice čevljev, ki zaznavajo

vrsto gibanja in njegovo intenziteto, katerih učinke v vidni obliki skozi svetlobo in barvo oddajajo LED-žarnice. Konjugacija svetlobe in gibanja v obleki deluje kot ojačevalec koreografije, ki poudarja fizično zahtevno gibanje plesalke, slika 1.

Pametne tekstilije najpogosteje razvrščamo v tri kategorije: pasivne, aktivne ali ultra (ali zelo) pametne tekstilije [6, 9]. Pasivne pametne tekstilije se ne odzivajo na okolje oziroma z drugimi besedami, zasnovana tekstilija ne omogoča, da se tako ali drugače spremeni njeno stanje. Torej pasivna pametna tekstilija lahko zazna samo okolje, saj je le senzor. Oblačila, ki varujejo pred UV-žarki, prevodna vlakna, oblačila, obdelana s plazmo, in nepremočljive tekstilije so tipični primeri pasivnih pametnih tekstilij [7].

Aktivne pametne tekstilije so v primerjavi s pasivnimi pametnimi tekstilijami novejše generacije. Aktivne pametne tekstilije se prilagajajo spremembam v okolju, zaznajo dražljaje iz okolja in se nanje tudi odzovejo. Poleg funkcije senzorja imajo tudi funkcijo aktuatorja. Fazno spremenljivi materiali, materiali s spominom in topotno občutljiva barvila so primeri aktivnih pametnih tekstilij [2, 7].

Solarno polnjena jakna je bila po oceni revije TIME leta 2018 izbrana kot najboljša inovacija za športno opremo. Izdelana je iz svetlobno odzivnega materiala, ki lahko absorbira kateri koli vir svetlobe (sonce, žarnica itd.) in ga nato v temi odda, slika 2 [10]. Jedro tehnologije, ki omogoča, da jakna sveti, je njena membrana, ultratanka plast, nameščena v prosojni mreži, ki zadržuje dež in je paroprepustna. Obdelana je s fosforecentno spojino, ki shrani vso svetlobo, s katero pride v stik, in jo v temi počasi oddaja.



*Slika 1: Baletna obleka LIGHTness [8]*



Slika 2: Solarno polnjena jakna [10]

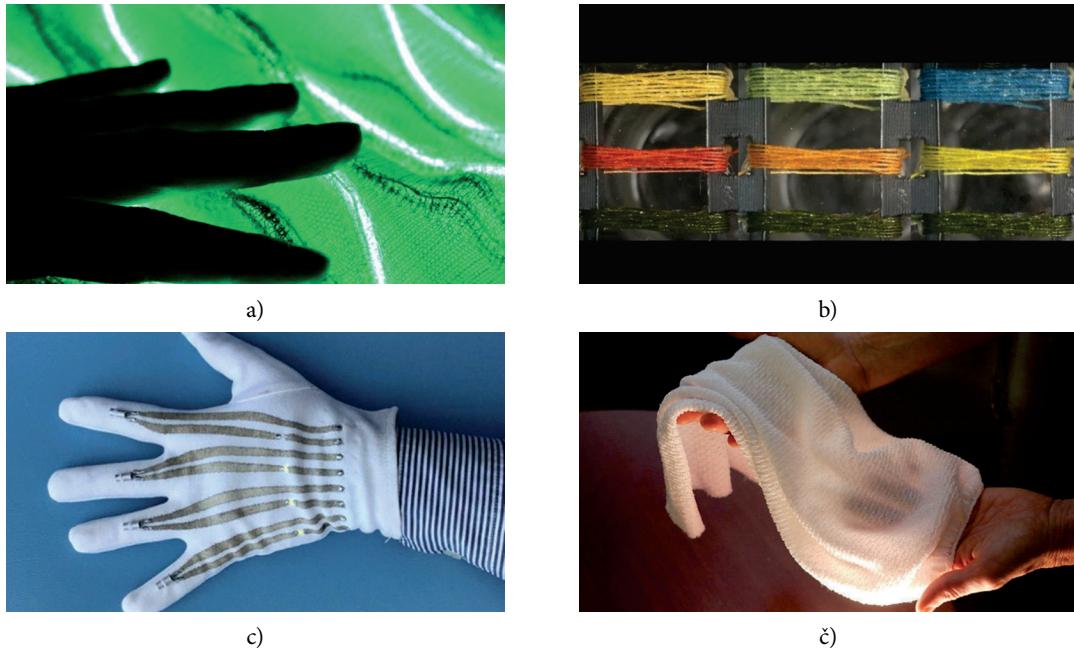
V zadnjih letih so pametne tekstilije sposobne zaznavati, reagirati in se prilagajati okolju ali dražljajem. Tovrstne napredne tekstilije so znane pod imenom ultrapametne tekstilije, ki lahko npr. na podlagi izmerjene temperature oblačilo segrejejo ali ohladijo [2, 6]. Pametno grelno jakno Mercury, ki se lahko odzove na spremembe temperature in ustvari individualno mikroklimo uporabnika, so razvili trije študenti v okviru zagonskega podjetja, slika 3 [11]. Ta visokotehnološka jakna uporablja tri grelne blazinice iz ogljikovih vlaken, ki omogočajo samodejno ogrevanje oblačila s postopkom, imenovanim uporovno ogrevanje. Jakna ima notranji in zunanji termometer in merilnik pospeška, ki merijo temperaturo in gibanje, mikrokrmlnik pa obdeluje signale temperature in gibanja ter odloča, koliko moči naj pošlje grelnim blazinicam.



Slika 3: Pametna grelna jakna Mercury [11]

Številne pametne tekstilije, ki imajo vgrajeno elektroniko, imenujemo tudi e-tekstilije ali elektronske tekstilije [6]. E-tekstilije imajo vgrajene kapacitivne, uporovne in optične senzorje, ki tekstiliji omogočajo zaznavanje dotika, napetosti, tlaka, temperature in vlage. Senzorji so ponavadi povezani z nadzornimi ploščami, odgovornimi za obdelavo informacij [12]. Proizvodnja e-tekstilij ni le raziskovalno zahetna, temveč je tudi izziv za njihovo industrijsko proizvodnjo. V e-tekstilijah so uporabljeni številni naprave za zaznavanje (senzorji) in izhodne naprave s pritisnimi gumbi, senzorji tlaka, radiofrekvenčno identifikacijo (RFID) ali senzorji elektrokardiografije (EKG) v elektronskih nogavicah in športnih modrčkih. Ob tem se senzorji za elektromiografijo (EMG) uporabljajo za nadzor aktivne ortotike, protez, priomočkov za mobilnost in zagotavljajo električno stimulacijo [12 - 19]. Merilniki pospeška se v e-tekstilijah uporabljajo za zaznavanje nevarnosti padca in za spremjanje funkcionalnih sposobnosti oseb na domu [12, 15].

V viru [20] iz leta 2019 zasledimo poudarek na naslednjih petih tehnoloških inovacijah, za katere se predvideva, da bodo močno pospešile razvoj pametnih oblačil: (1) triboelektrika, (2) tekstilija, ki zaznava plin, (3) umetna inteligentna volna, (4) prevodna tehnologija in (5) metatekstil. Triboelektrična tekstilija je sposobna iz različnih virov, kot so veter, dež in človeško gibanje, pretvarjati kinetično energijo v električno energijo (materiali dosežejo fazo zbiranja energije, ko pride do trenja med specifičnimi materiali), slika 4 (a). Tekstilija oz. preja ob zaznavi različnih plinov spremeni barvo. Sprememba barve se zazna s prostim očesom ali s pomočjo kamere pametnega telefona, slika 4 (b). Tekstilija se razvija predvsem za uporabo v oblačilih, ki bi zaznavale CO<sub>2</sub> in bile v pomoč v vojski, pri reševanju, v zdravstvu in težki industriji. AI Silk so inovativna prevodna vlakna, izdelana s tehniko barvanja [21]. Naravna svila z dodano prevodnostjo deluje kot elektroda, ki zmanjšuje nekatera tveganja in izzive navadnih medicinskih elektrod, ki lahko povzročijo nelagodje ali vnetje kože in slabe meritve telesnih parametrov zaradi znoja ali drugih elementov. Britanski izdelovalec Pireta [20] je naredil preboj s prevodno elastično tekstilijo, vgrajeno v tekstilijo v obliki vzorca, kar oblikovalcem omogoča razvoj novih dimenzij pametnih oblačil, slika 4 (c). Metatekstilija dinamično skrbi za udobje človeka, hkrati pa se prilagaja glede na razmere v okolici in skrbi, da njegovemu uporabniku ni prevroče ali premrzlo, slika 4 (č), [20].



*Slika 4: Tehnološke inovacije pri razvoju pametnih oblačil [20]*

Iz predstavljenega lahko povzamemo, da so pametna oblačila oziroma v njih vgrajene pametne tekstilije ali e-tekstilije zasnovane predvsem z namenom vključevanja aplikacij za spremljanje zdravja in športnih aktivnosti ter odzivanja na zajete parametre in kot take omogočajo varovanje in izboljšanje zdravja, izboljšanje počutja in športnih aktivnosti, ki jih predstavljamo v nadaljevanju.

## 2 Področja uporabe in primeri

Na trgu so na voljo številna pametna oblačila, številna so tudi v razvoju. Večina pametnih oblačil je bila zasnovana za zbiranje podatkov o telesnih parametrih uporabnika, predvsem v zdravstvene ali športne namene. V oblačila vgrajene pametne tekstilije omogočajo zbiranje podatkov, kot so srčni utrip, hitrost znojenja, hitrost dihanja, mišična napetost, telesna drža, telesna temperatura, lokacija idr. Nekatera pametna oblačila samo sporočajo izmerjene parametre, druga pa prilagajajo in spreminjajo svoje lastnosti, da uporabniku zagotovijo izboljšanje njegovih funkcionalnih zmogljivosti.

**2.1 Pametna oblačila za spremljanje zdravja**  
Spremljanje zdravja je splošna skrb za bolnike, ki potrebujejo stalno medicinsko pomoč in zdravljenje in je pomembno v vseh življenjskih obdobjih. Zato si

številni raziskovalci že vrsto let prizadrevajo razviti nosljive pametne sisteme za spremljanje fizioloških parametrov, kot so dihanje, srčna aktivnost ali telesna temperatura. Pametne tekstilije imajo pri tem razvoju vedno izjemno vlogo, saj so primerne za nošenje in pralne, kar uporabniku zagotavlja večje udobje pri nošenju v primerjavi z danes že izjemno majhnimi, pa vendar togimi elektrokomponentami. V literaturi so na voljo raznolike aplikacije pametnih oblačil za medicinske in zdravstvene namene, zato smo se osredotočili le na posamezne primere zadnjih let in na tiste v razvoju.

Vital Jacket je medicinski pripomoček za elektrokardiografijo (EKG) oz. za zbiranje EKG-podatkov, ki združuje najnovejšo tekstilno tehnologijo in napredne inženirske rešitve podjetja Biodynamics, slika 5 [22–24]. Razvit je bil za uporabo v bolnišnicah, doma ter med gibanjem zunaj doma oziroma povsod, kjer je potrebno kakovostno spremljanje vitalnih znakov uporabnika [23]. Glede na potrebe uporabnika se sistem lahko nastavi za spremljanje vitalnih znakov (EKG, temperatura, dihanje, gibanje/padec, drža, nasičenost kisika) in psihosocialnih spremenljivk (gumb za paniko, dostava zdravil, spremljanje navad in lokacije). Sistem sestavljajo majica, ki je nosilec prevodnih poti, EKG, SD-kartica, polnilec baterije in elektrode za enkratno uporabo [23, 24]. Oblačilo je pralno in preprosto za nošenje. Vse vitalne spremenljivke se prenašajo brezžično, shranjujejo



Slika 5: Vita Jacket [24]

fiziologije človeškega telesa in zdravja ljudi [26], eliti in poklicni športniki pa za optimizacijo svoje telesne pripravljenosti ter astronauti za usposabljanje na vesoljske odprave, slika 6 [27].

Spremljanje zdravja je pomembno v vseh življenjskih obdobjih. Zato na trgu opazimo kar nekaj pametnih oblačil za spremljanje življenjskih funkcij najmlajših. Oblačila z vgrajeno elektroniko omogočajo spremljanje vitalnih znakov novorojenčkov, kot so srčni utrip, dihanje, temperatura, gibanje itd. Eno takih podjetij je podjetje Owlet Baby Care, ki je s pomočjo tehnologije pulzne oksimetrije razvilo pametno nogavico za spremljanje srčnega utripa in ravni kisika dojenčka [28]. Pametni senzor se nahaja v nogavici, ki se ovije

in obdelujejo, podatke pa lahko analizira le zdravstveni delavec.

Pametna oblačila Hexoskin spremljajo uporabnikove vitalne znake s tekstilnimi senzorji, vgrajenimi v oblačilni sistem. Sistem sestavljajo EKG-elektrode ter e-modul s senzorji dihanja in gibanja, ki merijo srčni utrip, spremembe srčnega utripa, hitrost dihanja in volumen predihanega zraka, gibanje, korake, stopnjo aktivnosti, porabljeni kalorije in kakovost spanja [25]. Oblačilo je izdelano iz lahke in zračne tekstileje in se lahko nosi pod drugimi oblačili. S komunikacijsko tehnologijo Bluetooth se lahko podatki o zdravju bolnika posredujejo njegovemu osebnemu zdravniku. Pametni oblačilni sistem, prvotno izdelan za osebno uporabo, zdaj številni raziskovalci uporabljajo za raziskave na področju



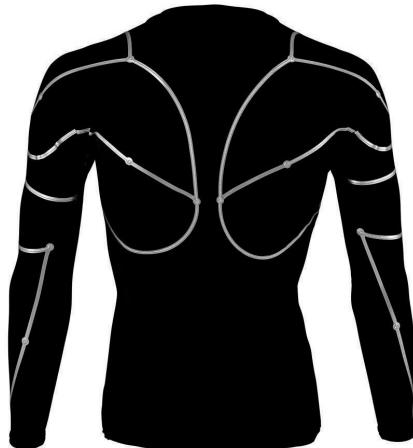
Slika 7 : Podjetje Owlet Baby Care je na trg poslalo že tretjo generacijo pametne nogavice, za katero trdijo, da je še mehkejša in bolj prilagodljiva kot prejšnji dve [29]



Slika 6: Pametno oblačilo Astroskin za spremljanje vitalnih znakov uporabnika [27]

okrog dojenčkovega stopala, slika 7 [29], ter meri in sporoča ključne podatke o zdravju in počutju dojenčka s komunikacijsko tehnologijo Bluetooth [30]. Na njihovi platformi Connected Care se dnevno zbirajo podatki, na podlagi katerih se lahko ugotovijo tudi morebitne zdravstvene težave dojenčka, kot so nepravilnosti spanja, okužbe z respiratornimi virusi, pljučnica, bronhitis, kronične pljučne motnje in srčne napake [31].

E-skin Sleep & Lounge je kolekcija pametnih oblačil, namenjenih dobremu počutju in spremljanju zdravja starejših in bolnikov z demenco. Pametno oblačilo, ki ga izdeluje podjetje Xenoma, odlikuje tehnologija, imenovana e-skin, ki zaznava gibanje, dihanje, pritisk, potenje, telesno temperaturo itd. Ob tem pa lahko pametno oblačilo tudi analizira in prilagaja okolje sobe stanju spanja uporabnika [32]. Posebnost vseh e-skin pametnih oblačil je na tekstilijo natisnjeno vezje, slika 8 [33].



Slika 8: Pametno oblačilo e-skin z natisnjениm vezjem [33]

Slika 9 prikazuje pametno pižamo, ki spremlja tako dnevne aktivnosti uporabnika kot tudi njegove spal-



Slika 9: Pametna pižama [34]

ne navade. Vezje, ki je vgrajeno v zgornji in spodnji del oblačila, zaznava gibanje uporabnika. Ko senzorji v pižami ugotovijo, da je uporabnik padel, se sproži alarm [34].

Ob oblačilih, ki omogočajo spremljanje vitalnih parametrov uporabnika, najdemo tudi druge tekstilne izdelke za tovrstni namen. Tako je npr. podjetje Visserio razvilo univerzalno sedežno blazino, s katere se zajeti podatki posredujejo in shranijo v aplikaciji Visserio Cloud, slika 10 [35]. Sistem posredovane podatke samodejno analizira ter posreduje odstopanja in nepravilnosti vitalnih parametrov, kot so srčni utrip, hitrost in amplituda dihanja, in parametrov gibanja. Sistem deluje s pomočjo patentiranih senzorjev, ki delujejo z visoko občutljivimi senzorskimi elementi. Ti so vgrajeni v sedežno blazino, v visokoelastični gel, ki zagotavlja visoko udobje, saj so senzorji neopazni ter popolnoma zaščiteni tako pred poškodbami kot pred vlagom [35].



Slika 10: Pametna sedežna blazina [35]

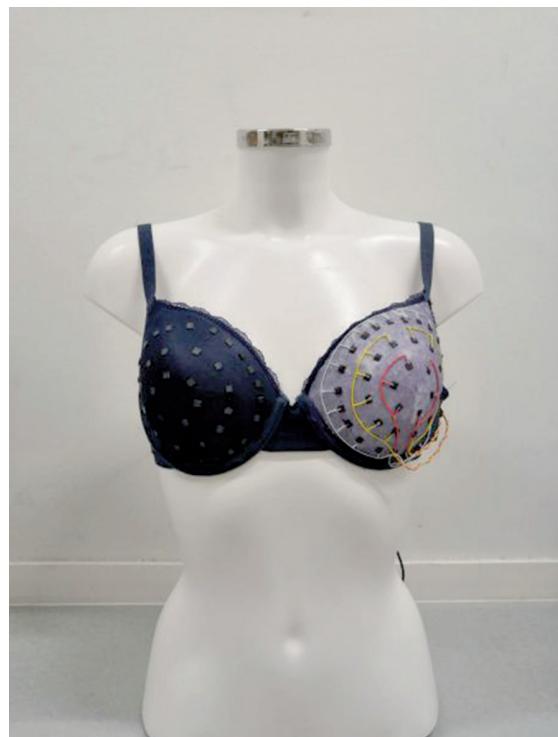
Preležanine so velik problem pri ljudeh s težkimi bolezenskimi stanji, ki omejujejo njihovo sposobnost spremenjanja položaja, in pri ljudeh, ki večino časa preživijo sede ali v postelji. Da bi preprečili njihov nastanek, raziskovalci s področja pametnih oblačil in tekstilij razvijajo temu primerne specjalizirane materiale in vzmetnice [36]. V ta namen je skupina raziskovalcev Fakultete za elektroinženirstvo in informacijsko tehnologijo Univerze v Žilini na Slovaškem razvila pametni sistem, ki s pomočjo tekstilnih tlačnih senzorjev zaznava položaj v postelji ležeče osebe [37]. Osnovni namen oblikovanja sistema je, da opozori negovalno osebo, da je bolnik predolgo v določenem položaju in da ga je treba premakniti oziroma obrniti. Sistem sestavljajo krmilniki, senzorji tlaka, pritrjeni na prevleko vzmetnice, strežnik, računalnik in aplikacija na osebnem računalniku. Pametna prevleka vsebuje 64 senzorjev, ki zaznavajo porazdelitev

pritiska ležeče osebe, slika 11 [37]. Senzorje sestavljajo električne prevodne niti in Velostat, tekstilni senzor pritisne sile [38].



Slika 11: Pametna prevleka za vzemtnico za preprečevanje prelezananja [37]

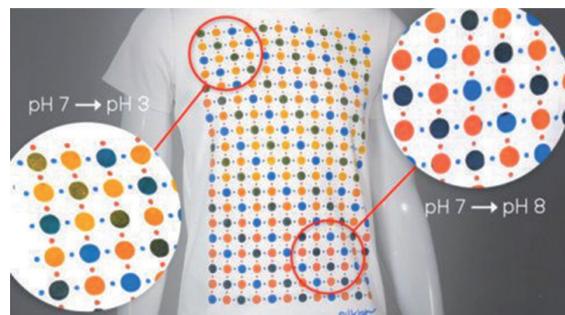
Skupina študentov Inštituta za tehnologijo Lausanne v Švici je z zagonskim podjetjem IcosaMed razvila pametni nedrček, slika 12 [39]. To je prvo pametno oblačilo za zgodnje odkrivanje raka dojk. Pri snovanju oblačila so za diagnostiko uporabili neinvazivno, nebolečo metodo, ki temelji na kontroli z ultrazvočnimi valovi [40]. V nasprotju z obstoječimi tehnologijami za odkrivanje raka tehnologija podjetja IcosaMed oddaja ultrazvočne valove, ki nastajajo s pomočjo piezoelektričnih senzorjev, ki so tako majhni, da se



Slika 12: Prototip pametnega nedrčka za zgodnje odkrivanje raka dojk [39]

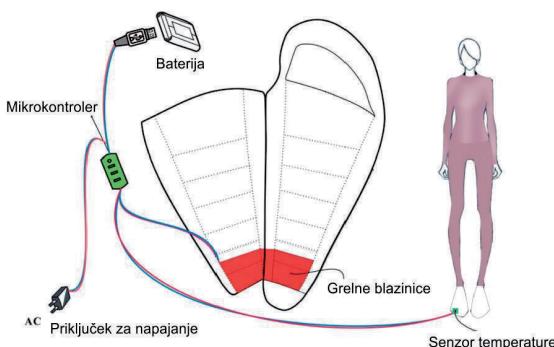
lahko vgradijo v pametni nedrček. Če sistem zazna nenavadno maso celic v dojki, opozori uporabnico, da mora obiskati specialista. Raziskovalci upajo, da bo ta sistem nekega dne ne samo odkrival raka, temveč z nadzorovanim oddajanjem nepreklenjenih majhnih odmerkov ultrazvočnih valov spodbudil manjšanje rakastih celic v dojkah [41].

Raziskovalci z Univerze Tufts so razvili črnila na osnovi biomateriala, ki se odzivajo na spremembe okolice s spremenjanjem barve in kvantificirajo kemikalije, ki se sproščajo iz telesa (npr. znoj in potencialne druge biološke tekočine) [42]. Črnila se lahko natisnejo v obliki drobnih vzorcev visoke ločljivosti na oblačila, obutev ali celo obrazne maske. Njihov napredok je v odkrivanju in kvantificiraju širokega spektra bioloških pogojev, molekul in patogenov s površine telesa z navadnimi oblačili in uniformami, slika 13.



Slika 13: Na majici natisnjena bioaktivna črnila nadzirajo patogene s površine telesa s spremenjanjem barve [42]

Neprijetnosti, povezane s temperaturo, kot so vročinski udar, vročinski izpuščaji, ozebljene, podhladitev idr., so stalna težava številnih oseb. Spremljanje temperature z nosljivimi senzorji in pametno hlajenje ali ogrevanje uporabnika je druga veja pametnih aplikacij, ki jih je mogoče vgraditi v oblačila in druge tekstilne izdelke za varovanje zdravja ter povečanje udobja in dobrega počutja posameznika [43, 44, 45]. Za izboljšanje lokalnega toplotnega udobja v območju stopal je bila razvita pametna električno ogrevana spalna vreča, ki ima v tradicionalno spalno vrečo vključen sistem za nadzor ogrevanja, slika 14. Pametna spalna vreča vzdržuje temperaturo nog v toplotno neutralnem območju človeka ( $25,0 - 34,0^{\circ}\text{C}$ ) tako, da samodejno v realnem času prilagaja toplotno moč v območju stopal na podlagi realno izmerjene temperature prstov nog s senzorjem temperature [46].



Slika 14: Skica pametne grelne spalne vreče [46]

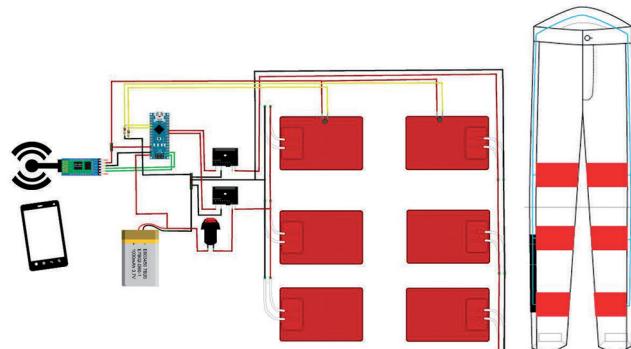
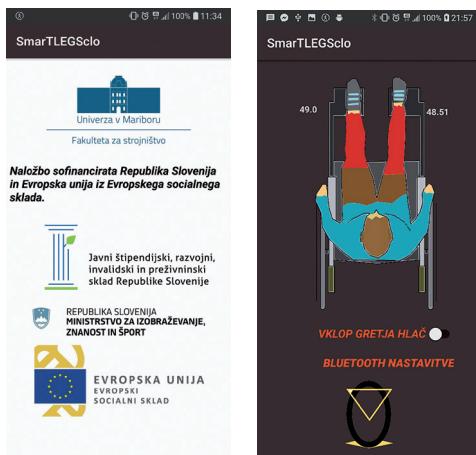
Izjemen napredek v razvoju številnih pametnih oblačil v zadnjih letih zasledimo za starostnike in invalidne osebe z namenom varovanja njihovega zdravja in preprečevanja poškodb ter omogočanja njihovega enakovrednega vključevanja v urbano družbeno okolje.

Prototip pametnega oblačila za topotno zaščito spodnjih okončin uporabnikov invalidskega vozička so razvili tudi študenti v okviru projekta SmarTLEGS'Bag, ki je v letu 2019 tekel pod okriljem projektov ‚Po kreativni poti do znanja‘ [47]. Ob njihovih spoznanjih, da je termoregulacijski center paraplegikov zaradi poškodbe hrbtnače moten in sta tako motena njihovo zaznavanje in uravnavanje temperature spodnjih okončin ter posledično pogošti problemi s hipotermijo spodnjih okončin, so bile izvedene raziskave temperature spodnjih okončin in raziskave dovoljene nevralne temperature spodnjih okončin. Z interdisciplinarnim raziskovanjem in sinergijo znanj s področja medicine, oblikovanja in tehnologij izdelave oblačil, funkcionalnih tekstilnih materialov in mehatronike so bile razvite grelne hla-

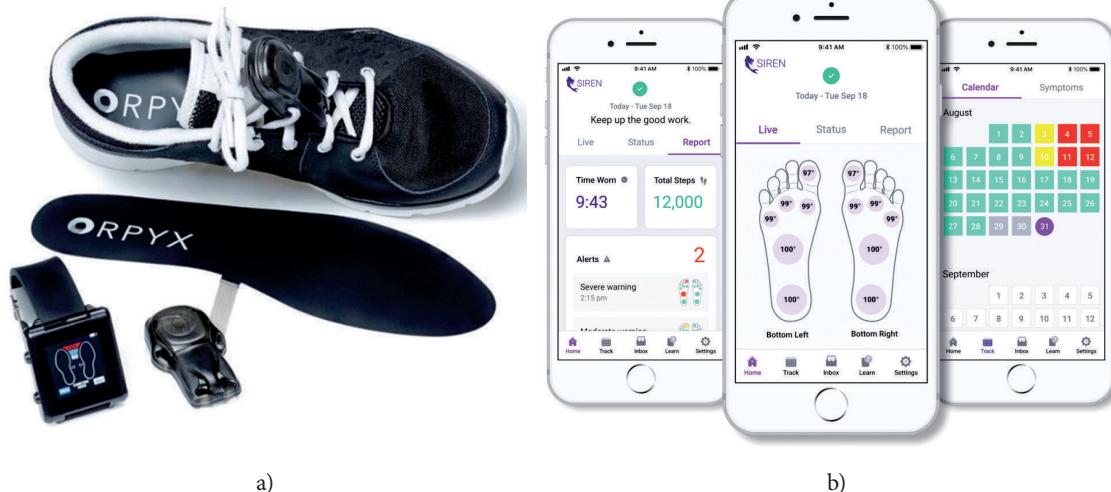
če, ki temperaturo kože paraplegika približajo temperaturi kože zdravega posameznika (pod oblačili je to približno  $36^{\circ}\text{C}$ ). Hlače, imenovane SmarTLEGS'clo, uporabnika informirajo o temperaturi v hlačnicah in omogočajo samodejno uravnavanje temperature v hlačnicah na podlagi aplikacije za komunikacijo sistema z regulacijskim sistemom. Uporabljen je bila komunikacijska metoda s protokolom Bluetooth za telefone z operacijskim sistemom Android, ki posamezniku omogoča spremljati zunanjou temperaturo in temperaturo v obeh hlačnicah, slika 15.

Stopala zagotavljajo primarno površino interakcije z okoljem med gibanjem. Zato je pomembno, da težave s stopali diagnosticiramo v zgodnji fazi za preprečevanje poškodb, obvladovanje tveganj in splošno dobro počutje. Eden od pristopov k merjenju zdravja stopal, ki se pogosto uporablja v različnih aplikacijah za zdravje in šport, je proučevanje pritisne sile stopala s tlemi in temperature stopal. V zvezi z aplikacijami, ki vključujejo diagnozo bolezni, so se številni raziskovalci osredotočili na težave z razjedami stopal zaradi diabetesa, ki lahko izhajajo iz čezmernega plantarnega pritiska stopala na določene predele podplata. Ob tem je neustrezna porazdelitev plantarnega pritiska stopala lahko povezana tudi z nestabilnostjo hoje pri starejših in drugih posameznikih z motnjami ravnotežja, ploskim stopalom idr. [48].

Sistem SurroSense Rx z vložkom za čevlje (podjetje Orpyxov) zbira podatke o pritisnih silah stopala s tlemi in je v pomoč pri preprečevanju razjed na diabetičnem stopalu pri osebah z blago do zmerno izgubo občutka, povezano z diabetično periferno nevropatijo, slika 16 (a) [49]. Vložek za čevlje je debel 0,5 mm in se namesti pod standardni vložek za čevlje. Podatki o pritisnih silah stopala se zbirajo in pretvorijo v profil



Slika 15: Pametne hlače za topotno zaščito spodnjih okončin uporabnikov invalidskega vozička [47]



Slika 16: (a) Sistem SurroSense Rx s pametnim vložkom za čevlje, ki zbirajo podatke o pritisnih silah stopala [49], (b) aplikacija za pametne nogavice Siren za diabetike [51]

tveganja, ki se brezčično pošlje bodisi v pametno uro, ki jo nosi pacient, ali v aplikacijo za mobilni telefon. Prikaže se tlačni diagram stopala, ki pacienta opozori na lokacije območij podplata, na katere je bil v določenem časovnem obdobju stalni pritisk (vsaj 15 minut), kar omogoča osebi, da identificira in spremeni svoje vedenje ali situacije, zaradi katerih obstaja tveganje za nastanek razjed na nogah [49].

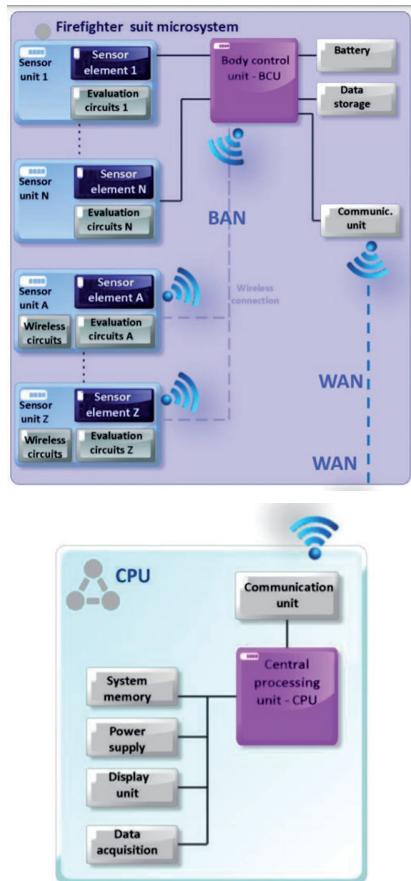
Navadne diabetične nogavice pomagajo preprečevati razjede stopal s funkcionalnostjo izboljšanja cirkulacije stopal in preprečevanja potenza stopal. Pametne nogavice Siren nenehno spremljajo temperaturo stopal in zdravniku pošljajo informacije, da lahko sledi težavam pacienta, ki so povezane z vnetjem stopal. Pametne nogavice delujejo takole: (a) nogavica ima vgrajenih šest termistorjev, ki merijo temperaturo stopal, (b) aplikacija primerja temperaturi obeh stopal v istih točkah merjenja in išče spremembe v temperaturi, (c) podatki o temperaturi se zajemajo v daljšem časovnem obdobju, da se lahko ugotovi morebitno vnetje ali poškodba, (d) takoj ko senzorji zaznajo težavno območje, pošljejo opozorilo v aplikacijo Siren Care, ki je nameščena na uporabnikovem pametnem telefonu, slika 16 (b) [50, 51].

### 2.1.1 Pametna oblačila za spremljanje zdravja v različnih delovnih okoljih

Stalno spremljanje fizioloških parametrov oseb ni le cilj medicinske uporabe. Pametna delovna oblačila potrebujejo različni strokovnjaki, astronauti, vojaki, gasilci, policija idr. za zaščito pred nevarnimi situacijami in poškodbami ter za spremljanje in va-

rovanje zdravja posameznika. Pametna oblačila, ki so usmerjena v profesionalno uporabo, uporabljajo že razvite tehnologije, kot so prevodni senzorji za merjenje srčnega utripa, dihanje, ravni kisika v krvi, telesne temperature itd., in te možnosti uvajajo npr. v kontekst situacije gasilca med gašenjem požara. V številnih poklicih je temperatura velik izziv z vidika toplotnega udobja in varnosti pri delu zaposlenih. Temperatura v nujnih nalogah gasilskeh in reševalnih služb, pa tudi v rudnikih in na gradbiščih ter drugih delovnih razmerah pogosto povzroča izredno fizično obremenitev.

V prispevku [52] avtorji predstavljajo razvit pametni zaščitni sistem na tekstilni osnovi, namenjen zagotavljanju večje varnosti gasilcev. Sistem je v celoti vgrajen v gasilsko zaščitno obleko in je sposoben spremljati srčni utrip (HR), zaznavati premike oz. lokacijo gasilca, zaznavati strupene in gorljive pline v okolju ter meriti temperaturo (T) in relativno vlažnost (RH) v gasilski obleki in zunaj nje. Zaščitni sistem je sestavljen iz razvitih integriranih senzorskih modulov, e-tekstilnih kabelskih snopov, krmilne enote telesa (BCU), centralne procesne enote (CPU), karoserijskega omrežja (BAN) in širokega omrežja (WAN). Izmerjeni podatki se brezčično prenašajo po širokem omrežju z avtomatsko usmerjenim algoritmom na centralno procesno enoto, ki jo preverja vodja gasilske operacije in je tako sproti obveščen o dejanskem stanju posameznih gasilcev. Če kateri od nadzorovanih parametrov prekorači vnaprej nastavljene mejne vrednosti, BCU samodejno obvesti gasilca z zvočnim alarmom o prihajajoči nevarnosti [52].



Slika 17: Osnovni koncept pametne gasilske obleke [52]

Znanstveniki z Univerze v Manchesteru so razvili novo vrsto pametne tekstile na osnovi grafena, ki bi lahko dobila prostor med toplotno prevodnimi oblačili, ki so sposobna uporabnika hladiti, ko mu je vroče, in ogreti, ko ga zebe, v različnih delovnih okoljih ali med izvajanjem drugih aktivnosti na prostem. Za predstavitev dinamične kontrole toplotnega sevanja so izdelali prototip oblačila z aktivno napravo, ki se nahaja na prsih v obliki našitka in jo je mogoče vklopiti in izklopiti, slika 18 [53].



Slika 18: Majica z našitkom iz grafena [53]

Prvo idejo za vgradnjo senzorjev v oblačila na vojaškem področju so imeli raziskovalci s Tehnološkega inštituta Georgia v okviru donacije ameriške Agencije za napredne raziskovalne projekte [54]. Glavni cilj je bil spremljati status vojaka ter razkrivati morebitne poškodbe in njihov vpliv na njegovo zdravje. V prispevku Scataglinija sodelavci [55] je podan pregled uporabe pametnih oblačil za vojake z vidika spremljanja zdravja, spremljanja okoljske varnosti, obvladovanja stresa in krepitve človeških funkcij.

## 2.2 Pametna oblačila za šport

Pametne tehnologije so vključene v številna športna oblačila za izboljšanje zdravja, počutja in zmogljivosti športnikov. Uporaba pametnih oblačil v športnem sektorju se vseskozi povečuje, raznolikost aplikacij pametnih oblačil, ki so na voljo v literaturi, je izjemno obsežna [3]. V številnih študijah so raziskovali uporabo senzorjev za merjenje bioloških parametrov (tj. srčnega utripa, nasičenosti mišic in kisika) in z varnostjo povezanih parametrov (tj. položaj, gibanje in učinek) za izboljšanje zdravja, dobrega počutja in zmogljivosti športnikov [3, 56, 57]. Paiva sodelavci [58] je npr. razvil pametno oprijeto majico in športne hlače za merjenje srčne in mišične aktivnosti, hitrosti dihanja in temperature, slika 19. Komplet vključuje senzorje za EKG in elektromiografijo (EMG), senzorje dihanja in temperature za konstantno ocenjevanje fizioloških podatkov športnika ali pacienta. V majico in hlače so vpleteni prevodni elementi (elektrode in prevodne poti) oziroma poliamidno/srebrna preja - Elitex 110/f34, kot jih prikazuje slika 19b. Elektrode tvorijo 3-D strukturo, medtem ko imajo prevodne poti enako strukturo pletenja kot preostalo oblačilo [58].

Druga veja razvoja pametnih športnih oblačil se osredotoča na sledenje in analiziranje treningov poklicnih in rekreativnih športnikov za spremljanje in prilagajanje treningov njihovim telesnim specifikam in za izboljšanje napredka športnikov. Tako so npr. razvili napredno različico pametne nogavice, imenovane DAid® Pressure Sock System (DPSS), ki omogoča podrobno proučevanje časovno povezanih parametrov hoje ali teka, kot so kadanca, biomehanika in kinetika teka ali hoje itd. [59].

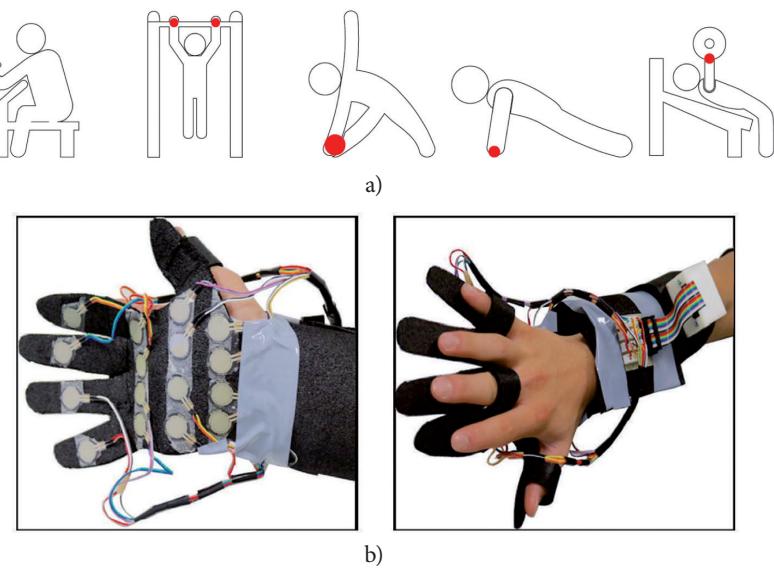
Namen razvoja pametne športne nogavice SmartGo4Goal je bil spremljati statistike med treningi športnikov in na podlagi teh z usmerjenimi treningi spremljati napredok poklicnih in rekreativnih športnikov [60]. Izdelan je bil prvi prototip pametne



Slika 19: Pametna športna majica: (a) zunanjega dela majice, (b) notranjega dela majice s pletenimi elektrodami [58]

športne nogavice, ki uporabnika po vnosu njegovih osnovnih podatkov informira o treh pomembnih pritisnih silah stopala s tlemi, številu korakov, razdalji in hitrostih med tekom ter o porabljenih kalorijah in GPS lokaciji na podlagi aplikacije za komunikacijo sistema s protokolom Bluetooth za telefone z operacijskim sistemom Android. V nogavico so vgrajeni tekstilni senzorji pritisnih sil na treh mestih podplata in senzor srčnega utripa v predelu gležnja. Položaji vseh senzorjev so natančno določeni na podlagi izvedenih meritev in izračunov odtisov stopal, srčnega utripa na različnih predelih telesa in meritev značilnih faz teka. Senzorji so povezani z enoto za sprejem, obdelavo, izračun in pošiljanje podatkov s prevodnim sukancem [60].

Intenzivne medicinske študije so pokazale, da lahko športna aktivnost izboljša duševno in fizično zdravje oseb [61]. V zadnjih letih je fitnes postal najpogostejši način motiviranja in vključevanja ljudi v različne športne aktivnosti. Večina športnih aktivnosti (razen aerobnih aktivnosti, kot je tek) vključuje eno ali več interakcij med športnikovimi dlanmi in telesom ali med dlanmi in predmetom za vadbo, slika 20 (a). Tako so raziskovalci [61] izkoristili biomehanske interakcije dlani za sledenje športnih aktivnosti s pametno rokavico, ki temelji na uporovnih senzorjih (FSR - force-sensitive resistor), integriranih v športno rokavico in občutljivih na pritisno silo, slika 20 (b). Le-ti omogočajo prepoznavanje in štetje športnih aktivnosti s pomočjo analize časovno porazdeljenih serij obremenitev dlani med športno vadbo.



Slika 20: (a) Primeri športnih aktivnosti in (b) pametna športna rokavica za sledenje športnih aktivnosti [61]

Tekstilne površinske elektrode, vgrajene v športno oblačilo, se lahko uporabljajo za merjenje miomelektričnih potencialov skeletnih mišic s pomočjo snemalne tehnike, imenovane EMG [62]. Po tem principu deluje tudi Athos, pametni sistem športnih oblačil, ki meri aktivnosti mišic med vadbo, srčni utrip, porabljenne kalorije ter razliko med aktivnim časom in časom počitka [63]. Sistem sestavljajo majica in hlače, tekstilne elektrode in e-modul, imenovan Athos Core, prek katerega se uporabnik lahko poveže z aplikacijo na pametnem telefonu, slika 21 [64, 65]. Oblačila uporabljajo tako rekreativni kot poklicni športniki, podjetje pa predvideva, da se bodo njegova oblačila uporabljala tudi v kliničnih okoljih, kot so bolnišnice in rehabilitacijske klinike. Pametna oblačila na osnovi elektromiografije bi lahko koristila bolnikom z različnimi zdravstvenimi težavami, vključno s srčnimi boleznimi in debelostjo [66].



Slika 21: Pametna majica Athos, ki deluje na principu elektromiografije [65]

Pametni kompresijski rokav podjetja Komodotec je izdelan iz mehke, fleksibilne in antimikrobne tekstile, ki vsebuje prevodne niti, povezane s senzoričnimi napravami, slika 22 [67]. S pomočjo rokava

pridobimo podatke o uporabnikovem srčnem utripu, opravljeni razdalji med aktivnostjo, kakovosti spanja, posredno pa tudi informacije o telesni odvisnosti od alkohola in drog, času regeneracije telesa po vadbi, stopnji stresa in reakcije na določeno hrano [67]. Rokav vsebuje tudi senzorje za spremljanje telesne temperature, kakovosti zraka in moči UV-žarkov. Podjetje načrtuje, da bo pametni rokav poleg uporabe med ljubitelji športa uporaben tudi za merjenje stresa in zaznavanje vnetja srca, kot tudi za ugotavljanje srčno-žilnih bolezni [68].



Slika 22: Pametni kompresijski rokav Komodotec [67]

Ameriški podjetji Levi's in Google sta združili moči in oblikovali pametno jakno, namenjeno kolesarjem v velikih mestih, slika 23 (a). Jakna skupaj s prevodnimi nitmi, vtkanimi v rokav, deluje kot elektronska platforma in je digitalno povezana prek napravice, imenovane Jacquard, ki je pritrjena na zapestnik jakne, slika 23 (b) [69]. Jakna uporabnika opozarja na sporočila in kllice s pametnega telefona z vgrajenimi LED-žarnicami in vibracijami. Prek stranske perforacije na zapestniku jakne, slika 23 (b), lahko uporabnik odgovarja na kllice in sporočila brez rokovanja z mobilno napravo, kot tudi upravlja in posluša glasbo [70].



a)



b)

Slika 23: Pametna jakna, zasnovana v sodelovanju podjetij Levi's in Google [70]

Nadi X so pametne oprijete športne hlače, ki imajo vgrajen merilnik pospeška in haptično povratno tehnologijo za treniranje joge, slika 24 [71]. Hlače z vrsto senzorjev spremljajo uporabnikove gibe in zagotavljajo povratne informacije v obliki majhnih vibracij, zato ob uporabi aplikacije med treningom delujejo kot osebni inštruktor joge [71].



Slika 24: Nadi X, pametne oprijete športne hlače za trening joge [72]

Tehnološko podjetje Spinali Design izdeluje različna pametna oblačila z vgrajenimi senzorji in inteligenčnimi funkcijami [73]. Ena takih funkcij je v pametne kopalke vgrajen UV-senzor, ki prek aplikacije na pametnem telefonu opozori uporabnika, da naj se



Slika 25: UV-senzor v kopalkah [73]

namaže z zaščitno kremo za sončenje ali umakne v senco. UV-senzor se nahaja v snemljivem medaljonu na kopalkah, slika 25. Ko uporabnik vnese v aplikacijo podatke o svojem tipu kože, aplikacija ves čas sprembla temperaturo in pošilja opozorila [73].

Zadnje pametno oblačilo podjetja Spinali Design so pametne rokavice, ki varujejo pred virusi in bakterijami [73]. Zahvaljujoč načelu fotokatalize se rokavice, ko so enkrat izpostavljene UV-A ali UV-B sevanju naravne ali umetne svetlobe, razkužijo same [73]. Rokavice imajo vgrajen senzor, ki omogoča merjenje UV-svetlobe v določenem časovnem obdobju. Če na voljo ni dovolj dnevne svetlobe, si uporabnik lahko pomaga z UV-lučjo. Zadnje tovrstne pametne rokavice so namenjene tudi zaščiti pred novim korona virusom, slika 26 [74].

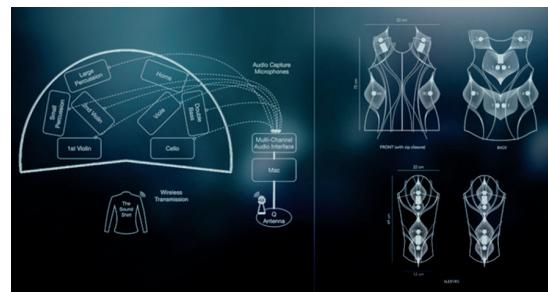


Slika 26: Pametne rokavice, namenjene tudi zaščiti pred novim korona virusom [74]

Soundshirt je pametna zvočna majica tehnološkega podjetja CuteCircuit, ki omogoča gluhim osebam, da uživajo v glasbi, slika 27 (a) [75]. Oblačilo je izdelano iz tekstilije, v katero je vgrajenih 16 mikropogonov, slika 27 (b) [76]. Mikropogoni pretvarjajo zvok v dražljaje, ki jih uporabnik pametne majice občuti na koži. Tehnologija je brezzična, uporabljeni so samo prevodne tekstilije, zato je oblačilo prilegajoče se in udobno za nošenje. Zvočna majica ima zaradi visokoločljivega digitalnega tiska na površini pletiva edinstven videz.



a)



b)

Slika 27: Soundshirt, pametna zvočna majica za gluhe [76]

### 3 Sklep

Prispevek obravnava pametna oblačila z vidika področij njihove uporabe in prikazuje primere pametnih oblačil, razvitih v zadnjih letih. Uvodni del prispevka pojasnjuje, kaj pametna oblačila so, in v nadaljevanju na kratko prikaže razvoj generacij pametnih tekstilij, od pasivnih in aktivnih do ultrapametnih tekstilij, in se zaključi z razlago o e-tekstilijah.

Predstavljena so pametna oblačila oziroma vanje vgrajene pametne tekstilije ali e-tekstilije, katerih zasnova temelji predvsem na vključevanju aplikacij za spremljanje zdravja in športnih aktivnosti ter odzivanja na zajete parametre za varovanje in izboljšanje zdravja, izboljšanje počutja in napredka vadečih pri športnih aktivnostih.

Spremljanje zdravja je splošna skrb za bolnike, ki potrebujejo medicinsko pomoč v vseh življenjskih obdobjih. Večina nosljivih pametnih sistemov oziroma pametnih oblačil, ki jih ponuja trg, najpogosteje spremlja fiziološke parametre, kot so dihanje, srčna aktivnost, količina kisika v krvi, telesna temperatura idr. Veliko pozornosti zasledimo pri razvoju pametnih oblačil za starostnike tudi pri spremljanju kakovosti spanja, nadzoru med spanjem, nadzoru jemanja zdravil in bolnikom z demenco in na drugi strani spremljanju gibanja bolnikov z vidika medicinske rehabilitacije, kot tudi zgodnjem odkrivanju nastanka preležanin in ran diabetičnih stopal. Spet druga veja razvoja pametnih oblačil in drugih tekstilnih izdelkov je spremljanje in varovanje zdravja z vidika spremljanja zunanje in telesne temperature z nosljivimi senzorji, katerih pametni sistem omogoča načrtovano hlajenje ali ogrevanje uporabnika. Novo vejo razvoja pametnih oblačil pa zasledimo v inovaciji pametnega nedrčka za zgodnje odkrivanje raka dojk, katerega razvoj je usmerjen v tehnologijo, vgrajeno v nedrček in namenjeno manjšanju rakastih celic v dojkah.

Za stalno spremljanje fizioloških parametrov so razvita tudi pametna delovna oblačila, ki jih potrebujejo različni strokovnjaki, astronauti, vojaki, gasilci, policija idr. za zaščito pred nevarnimi situacijami in poškodbami ter na splošno za spremljanje in varovanje njihovega zdravja.

Pametne tehnologije so vključene v aplikacije športnih oblačil za izboljšanje zdravja, počutja, zmogljivosti in napredka športnikov. Uporaba pametnih oblačil v športnem sektorju se vseskozi povečuje, zato zasledimo raznolike aplikacije pametnih športnih oblačil za rekreativne in poklicne športnike. Nekatera

od njih pa se uporablajo tudi v kliničnih okoljih, kot so bolnišnice in rehabilitacijske klinike.

Najnovejše tehnološke inovacije pri razvoju pametnih tekstilij, ki jih navajajo zadnji viri, ki bodo močno pospešile razvoj pametnih oblačil, so (1) triboelektrične tekstilije, ki so sposobne iz različnih virov, kot so veter, dež in človeško gibanje, pretvarjati kinetično energijo v električno, (2) preje, ki ob zaznavi različnih plinov spremeni barvo, (3) metatekstilije, ki skrbijo za udobje človeka in se prilagajajo glede na razmere v okolini tako, da njenemu uporabniku ni prevroče ali prehladno, (4) različne vrste novih prevodnih vlaken in (5) črnila na osnovi biomateriala, ki se odzivajo na spremembe okolice s spremjanjem barve in kvantificirajo kemikalije, ki se sproščajo iz telesa.

Kljud Številnim dosežkom v razvoju pametnih oblačil, pametnih tekstilij in e-tekstilij je v teh raziskavah vedno poudarek tudi na njihovi trajnostni uporabi oziroma negi oblačil in njihovi cenovni dostopnosti.

### Viri

1. TAO, Xiaoming. Smart technology for textiles and clothing. In *Smart fibres, fabrics and clothing: fundamentals and applications*. Edited by Xiaoming Tao. Cambridge : Woodhead Publishing, 2001.
2. CHO, Gilsoo, LEE, Seungsin, CHO, Jayoung. Review and reappraisal of smart clothing. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 2009, **25**(6), 582-617, doi: 10.1080/10447310902997744.
3. AL MAHMUD, Abdullah, WICKRAMARATHNE, Tharushi Indewari, KUYS, Blair. Effects of smart garments on the well-being of athletes: a scoping review protocol. *BMJ Open*, 2020, **10**(11), 1-4, doi: 10.1136/bmjopen-2020-042127.
4. WOODROW, Barfield, MANN, Steve, BAIRD, Kevin, GEMPERLE, Francine, KASABACH, Chris, STIVORIC John, BAUER Malcolm, MARTIN Richard, CHO Gilsoo. Computational clothing and accessories. In *Fundamentals of wearable computers and augmented reality*. Edited by Woodrow Barfield and Thomas Caudell. CRC Press, 2001, 471-509, doi: 10.1201/9780585383590.
5. STOPPA, Matteo, CHIOLERIO, Alessandro. Wearable electronics and smart textiles: a critical review. *Sensors*, 2014, **14**(7), 11957-11992, doi: 10.3390/s140711957.
6. VAGOTT, Jackob, PARACHURU, Radhakrishnaiah. An overview of recent developments

- in the field of wearable smart textiles. *Journal of Textile Science & Engineering*, 2018, **8**(4), 1-10, doi: 10.4172/2165-8064.1000368.
7. CANAN ÇELIKEL, Dilan. Smart e-textile materials. In *Advanced functional materials*. Edited by Nevin Tasaltin, Paul Sunday Nnamchi and Safaa Saud. IntechOpen, 2020, doi: 10.5772/intechopen.92439.
  8. CARDOSO, Virginia, BOLDT, Rachel, CARVALHO, Helder, FERREIRA, Fernando. LIGHTness: interactive luminous ballet outfit. In *HELIX 2018: Innovation, engineering and entrepreneurship. International conference on innovation, engineering and entrepreneurship (Lecture Notes in Electrical Engineering, vol. 505)*. Edited by J. Machado, F. Soares and G. Veiga. Cham : Springer, 2019., 214-220, doi: 10.1007/978-3-319-91334-6\_30.
  9. PAILES-FRIEDMAN, Rebeccah. Smart textiles for designers: inventing the future of fabrics. London: Laurence King Publishing, 2016.
  10. Solar charged jacket. [Part running jacket. Part high tech toy.] Winner of TIME's Best Inventions [online]. Vollebak [accessed 7.2.2021]. Available on World Wide Web: <<https://www.vollebak.com/product/solar-charged-jacket/>>.
  11. Self-heating smart jacket responds to changes in temperature [online]. Dezen [accessed 7.2.2021]. Available on World Wide Web: <<https://www.dezeen.com/2018/02/28/ministry-of-supply-self-heating-smartjacket-responds-temperature-changes-technology/>>.
  12. GONÇALVES, Carlos, FERREIRA DA SILVA, Alexandre, GOMES, João, SIMOES, Ricardo. Wearable e-textile technologies: a review on sensors, actuators and control elements. *Inventions*, 2018, **3**(1), 1-13, doi: 10.3390/inventions3010014.
  13. DE ROSSI, Danilo, VELTNIK, Peter. Wearable technology for biomechanics: e-textile or micromechanical sensors? *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, 2010, **29**(3), 37-43, doi: 10.1109/MEMB.2010.936555.
  14. HELMER, Richard, BLANCHONETTE, Ian, FARROW, Damian, BAKER, John, PHILLIPS, Elissa. Interactive biomechanics and electronic textiles. In *Proceedings of the 30th Annual Conference of Biomechanics in Sports*. Edited by Elizabeth J. Bradshaw, Angus Burnett and Patria A. Hume. Melbourne: International Society of Biomechanics in Sports, 2012, 223-226, <https://ojs.ub.uni-konstanz.de/cpa/article/view/5269>.
  15. TOGNETTI, Alessandro, LORUSSI, Federico, DALLE MURA, Gabriele, CARBONARO, Nicola, PACELLI, Maria, PARADISO, Rita, DE ROSSI, Danilo. New generation of wearable goniometers for motion capture systems. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 2014, **11**(56), 1-17, doi: 10.1186/1743-0003-11-56.
  16. SHORTER, K. Alex, KOGLER, Géza F., LOTH, Eric, DURFEE, William K. in HSIAO-WECKSLER, Elizabeth T. A portable powered ankle-foot orthosis for rehabilitation. *Journal of Rehabilitation Research & Development*, 2011, **48**(4), 459-472, doi: 10.1682/jrrd.2010.04.0054.
  17. FARINA, Dario, LORRAIN, Thomas, NEGRO, Francesco, JIANG, Ning. High-density EMG e-textile systems for the control of active prostheses. In *2010 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology, Buenos Aires, Argentina, 31 August - 4 September 2010*. Engineering in Medicine and Biology Society, 2010, 3591-3593, doi: 10.1109/IEMBS.2010.5627455.
  18. PARK, Yong-Lae, CHEN, Bor-rong, YOUNG, Diana, STIRLING, Leia, WOOD, Robert, GOLDFIELD, Eugene in NAGPAL, Radhika. Bio-inspired active soft orthotic device for ankle foot pathologies. In *IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 2011, 4488-4495, doi: 10.1109/IROS.2011.6048620.
  19. OESS, Nina P., WANEK, Johann, CURT, Armin. Design and evaluation of a low-cost instrumented glove for hand function assessment. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 2012, **9**, doi: 10.1186/1743-0003-9-2.
  20. 5 inovacij, ki bodo pomagale pri razvoju pametnih oblek [online]. Računačniške novice [accessed 7.2.2021]. Available on World Wide Web: <<http://m.racunalnische-novice.com/index.php?id=5-inovacij-ki-bodo-pomagale-pri-razvoju-pametnih-oblek.html>>.
  21. Turning SILK into SENSORS [online]. AI Silk [accessed 7.2.2021]. Available on World Wide Web: <<http://www.ai-silk.com/english/>>.
  22. Vital Jacket Holter [online]. Biodevices [accessed 10.2.2021]. Available on World Wide Web: <<http://www.vitaljacket.com/en/vitaljacket-holter-2/>>.
  23. CUNHA, João P. Silva, CUNHA, Bernardo, SOUSA PEREIRA, António, XAVIER, William, FERREIRA, Nuno in MEIRELES Luis. VitalJacket: a wearable wireless vital signs monitor for patient's mobility in cardiology and sports.

- In 4th international conference on pervasive computing technologies for healthcare, Munich, Germany, 7 June 2010, 1-2, <https://ieeexplore.ieee.org/document/5482268>.
24. Vital jacket will monitor your health [online]. The future of things [accessed 11.2.2021]. Available on World Wide Web: <<https://thefutureofthings.com/6389-vital-jacket-will-monitor-your-health/>>.
  25. Health research [online]. Hexoskin [accessed 11.2.2021]. Available on World Wide Web: <<https://www.hexoskin.com/pages/health-research>>.
  26. Hexoskin white paper. Implementing a remote patient monitoring platform to support home-based pulmonary rehabilitation programs [online]. Hexoskin Health Sensors & AI [accessed 11.2.2021]. Available on World Wide Web: <[https://www.hexoskin.com/pages/white-paper-pulmonaryrehab?\\_pos=1&\\_sid=883aedb01&\\_ss=r](https://www.hexoskin.com/pages/white-paper-pulmonaryrehab?_pos=1&_sid=883aedb01&_ss=r)>.
  27. Atroskin vital signs monitoring platform [online]. Hexoskin Health Sensors & AI [accessed 11.2.2021]. Available on World Wide Web: <<https://www.hexoskin.com/pages/astroskin-vital-signs-monitoring-platform-for-advanced-research>>.
  28. Owlet smart sock 3rd generation [online]. Owlet [accessed 11.2.2021]. Available on World Wide Web: <<https://owletcare.ca/products/smart-sock-3>>.
  29. Owlet smart sock [online]. Owlet [accessed 11.2.2021]. Available on World Wide Web: <<https://owletbabycare.co.uk/products/owlet-smart-sock>>.
  30. Smart sock technology - a closer look [online]. Owlet [accessed 11.2.2021]. Available on World Wide Web: <<https://blog.owletcare.com/smart-sock-technology/>>.
  31. Owlet introduces new smart sock 2 and connected care platform for parents [online]. Owlet [accessed 11.2.2021]. Available on World Wide Web: <[https://blog.owletcare.com/owlet-introduces-new-smart-sock-2-and-connected-care-platform-for-parents](https://blog.owletcare.com/owlet-introduces-new-smart-sock-2-and-connected-care-platform-for-parents/)>.
  32. E-skin sleep & lounge [online]. Xenoma [accessed 11.2.2021]. Available on World Wide Web: <<https://xenoma.com/products/eskin-sleep-lounge>>.
  33. Xenoma [online]. Ryosho Europe [accessed 11.2.2021]. Available on World Wide Web: <<https://ryosho-europe.com/xenoma>>.
  34. Xenoma's smart pajamas are for well-being of the elderly [online]. Gadgets & Wearables [accessed 11.2.2021]. Available on World Wide Web: <<https://gadgetsandwearables.com/2020/01/06/xenoma-smart-pajamas>>.
  35. Product [online]. Visseiro [accessed 11.2.2021]. Available on World Wide Web: <<https://www.visseiro.com/en/product>>.
  36. SIKKA, Monica, GARG, Samridhi. Functional textiles for prevention of pressure ulcers – a review. *Research Journal of Textile and Apparel*, 2020, 24(3), 185-198, doi: 10.1108/RJTA-10-2019-0047.
  37. HUDEC, Robert, MATUŠKA, Slavomir, KAMENCAY, Patrik, BENCO, Miroslav. A smart IoT system for detecting the position of a lying person using a novel textile pressure sensor. *Sensors*, 2020, 21(1), 1-21, doi: 10.3390/s21010206.
  38. Pressure-sensitive conductive sheet [online]. Digi-Key [accessed 11.2.2021]. Available on World Wide Web: <<https://www.digikey.com/catalog/es/partgroup/pressure-sensitive-conductive-sheet-velostat-linqstat/71881>>.
  39. Turck Duotec S.A. supports the early detection of breast cancer [online]. Duotec [accessed 11.2.2021]. Available on World Wide Web: <<https://www.turck-duotec.com/en/news/turck-duotec-s-a-supports-the-early-detection-of-breast-cancer.html>>.
  40. 'Smart bra' to detect early-stage breast cancer [online]. Healthcare in Europe [accessed 11.2.2021]. Available on World Wide Web: <<https://healthcare-in-europe.com/en/news/smart-bra-to-detect-early-stage-breast-cancer.html>>.
  41. A smart bra for detecting early-stage breast cancer [online]. EPFL [accessed 11.2.2021]. Available on World Wide Web: <<https://actu.epfl.ch/news/a-smart-bra-for-detecting-early-stage-breast-cancer>>.
  42. New smart fabrics with bioactive inks monitor body and environment by changing color [online]. Tufts Now [accessed 25.2.2021]. Available on World Wide Web: <<https://now.tufts.edu/news-releases/new-smart-fabrics-bioactive-inks-monitor-body-and-environment-changing-color>>.
  43. PAUL, Gregory, GIM, Edward, WESTERFELD, David. Battery powered heating and cooling suit. In *IEEE Long Island Systems, Applications and Technology (LISAT) Conference 2014*, 1-5, doi: 10.1109/LISAT.2014.6845221.
  44. SUZUKI, Yuta, TOYOZUMI, Naoya, TAKAHASHI, Junji, LOPEZ, Guillaume, HOSAKA, Hiroshi, ITAO, Kiyoshi. Wearable individual adapting cooling system using smartphone and

- heart beat sensor. In *55th Annual Conference of the Society of Instrument and Control Engineers of Japan (SICE)*, 2016, 531–536, doi: 10.1109/SICE.2016.7749266.
45. LI, Hongqiang, YANG, Haijing, LI, Enbang, LIU, Zhihui, WEI, Kejia. Wearable sensors in intelligent clothing for measuring human body temperature based on optical fiber Bragg grating. *Optics Express*, 2012, **20**(11), 11740–11752, doi: 10.1364/OE.20.011740.
  46. ZHANG, Chengjiao, REN, Chongguang, LI, Ying, SONG, Wenfang, XU, Pengjun, WANG, Faming. Designing a smart electrically heated sleeping bag to improve wearers' feet thermal comfort while sleeping in a cold ambient environment. *Textile Research Journal*, 2017, **87**(10), 1251–1260, doi: 10.1177/0040517516651104.
  47. RUDOLF, Andreja, GOTLIH, Karl, MAROLT, Boštjan, ERMENC, Hana, ŠTAMPFER, Jasna, SADEK, Jan, SURLA-PAVLOVIĆ, Boris, HUDOURNIK, Monika, KOLANOVIĆ, Vanja, NOVAK, Jakob, BOROVEC, Matej, BELŠAK, Rok. Pametno oblačilo za toplotno zaščito spodnjih okončin uporabnikov invalidskega vozička (SmarTLEGS'bag): končno poročilo. Projekt Po kreativni poti do znanja 2017–2020. Ljubljana : Javni štipendijski, razvojni, invalidski in preživninski sklad RS, RS MIZŠ, EU evropski socialni sklad, UM Fakulteta za strojništvo, Prevent&Deloza, Zveza paraplegikov Slovenije, 2020.
  48. RAZAK, Abdul Hadi Abdul, ZAYEGH, Aladin, BEGG, Rezaul, WAHAB, Yufridin. Foot plantar pressure measurement system: a review. *Sensors (Basel)*, 2012, **12**(7), 9884–9912, doi: 10.3390/s120709884.
  49. The SurroSense RxTM system for prevention of diabetic foot ulcers NIHR [online]. Horizon Scanning Centre [accessed 7.2.2021]. Available on World Wide Web: <<http://www.io.nihr.ac.uk/wp-content/uploads/migrated/2501.57fe19e0.FinalOrpyxSurroSenseRxforpreventionofdiabeticfootulcers.pdf>>.
  50. Siren care weaves temperature monitoring into diabetic socks [online]. Wearablezone [accessed 7.2.2021]. Available on World Wide Web: <<https://wearablezone.com/news/diabetic-socks-siren-smart-socks/>>.
  51. Temperature monitoring for better foot care [online]. SIREN [accessed 7.2.2021]. Available on World Wide Web: <<https://siren.care/>>.
  52. SOUKUP, Radek, BLECHA, Tomas, HAMACEK, Aleš, REBOUN, Jan. Smart textile-based protective system for firefighters. In *Proceedings of the 5th Electronics System-integration Technology Conference (ESTC) Helsinki*, 2014, 1–5, doi: 10.1109/ESTC.2014.6962821.
  53. Graphene smart textiles developed for heat adaptive clothing [online]. Tectales [accessed 12.2.2021]. Available on World Wide Web: <<https://tectales.com/wearables-sensors/graphene-smart-textiles-developed-for-heat-adaptive-clothing.html>>.
  54. SCATAGLINI, Sofia, ANDREONI, Giuseppe, GALLANT, Johan. Smart clothing design issues in military applications. In *Advances in human factors in wearable technologies and game design. International conference on applied human factors and ergonomics. (Advances in Intelligent Systems and Computing, vol. 795)*. Edited by Tareq Z. Ahram. Cham : Springer, doi: 10.1007/978-3-319-94619-1\_15.
  55. SCATAGLININ, Sofia, ANDREONI, Giuseppe, GALLANT, Johan. A review of smart clothing in military. In *WearSys ,15: Proceedings of the 2015 workshop on wearable systems and applications, May 2015*, 53–54, doi: 10.1145/2753509.2753520.
  56. HOLLECZEK, Thomas, RÜEGG, Alex, HARMS, Holger, TRÖSTER, Gerhard. Textile pressure sensors for sports applications. In *SENSORS, 2010 IEEE, Waikoloa, HI, USA, 2010*, 732–737, doi: 10.1109/ICSENS.2010.5690041.
  57. SESHADRI, Dhruv R., LI, Ryan T., VOOS, James E., ROWBOTTOM, James R., ALFES, Celeste M., ZORMAN, Christian A., DRUMMOND, Colin K. Wearable sensors for monitoring the internal and external workload of the athlete. *npj Digital Medicine*, 2019, **2**(71), 1–18, doi: 10.1038/s41746-019-0149-2.
  58. PAIVA, André, FERREIRA, F, CATARINO, André, CARVALHO, Miguel. Design of smart garments for sports and rehabilitation. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2018, **459**(1), 1–7, doi: 10.1088/1757-899X/459/1/012083.
  59. OKS, Alexander, KATASHEV, Alexei, EIZENTALS, Peteris, ROZENSTOKA, Sandra, SUNA, Dance. Smart socks: new effective method of gait monitoring for systems with limited number of plantar sensors. *Health and Technology*, 2020, **10**, 853–860, doi: 10.1007/s12553-020-00421-w.

60. RUDOLF, Andreja, GOTLIH, Karl. Razvoj pametnih športnih nogavic (SmartGo4Goal): končno poročilo. Projekt Po kreativni poti do znanja 2017–2020. Maribor : Fakulteta za strojništvo, 2020.
61. ELDER AKPA, A.H., FUJIWARA, M., SUWA, H., ARAKAWA, Y., YASUMOTO, K. A smart glove to track fitness exercises by reading hand palm. *Journal of Sensors*, 2019, **2019**, 1–19, doi: 10.1155/2019/9320145.
62. GARCIA, M.C., VIEIRA, T.M.M. Surface electromyography: why, when and how to use it. *Revista Andaluza de Medicina del Deporte*, 2011, **4**(1), 17–28.
63. Athos connected apparel; next level smart clothes [online]. Body Hacks [accessed 12.2.2021]. Available on World Wide Web: <<https://bodyhacks.com/athos-connected-apparel-next-level-smart-clothes/>>.
64. Athos [online]. Athos [accessed 12.2.2021]. Available on World Wide Web: <<https://shop.liveathos.com/>>.
65. Athos reises \$35.5 million provide unique touch wearable technology [online]. Sport Techie [accessed 12.2.2021]. Available on World Wide Web: <<https://www.sporttechie.com/athos-raises-35-5-million-provide-unique-touch-wearable-technology/>>.
66. Will smart clothing amp up your workout? [online]. NPR [accessed 12.2.2021]. Available on World Wide Web: <<https://www.npr.org/sections/health-shots/2015/04/03/397108232/will-smart-clothing-amp-up-your-workout?t=1612999314559>>.
67. AIO smart sleeve [online]. Komodotec [accessed 7.2.2021]. Available on World Wide Web: <<https://komodotec.com/>>.
68. The best smart clothing: from biometric shirts to contactless payment jackets [online]. Wareable [accessed 7.2.2021]. Available on World Wide Web: <<https://www.wearable.com/smart-clothing/best-smart-clothing/>>.
69. Levi's and Google unveil new smart jacket with smaller Jacquard tech [online]. Wareable [accessed 10.2.2021]. Available on World Wide Web: <<https://www.wearable.com/smart-clothing/levi-commuter-trucker-jacket-2-google-price-release-date-specs-7657>>.
70. This Levi's jacket with a smart sleeve is finally going on sale for \$350 [online]. The Verge [accessed 10.2.2021]. Available on World Wide Web: <<https://www.theverge.com/2017/9/25/16354712/google-project-jacquard-levis-commuter-trucker-jacket-price-release-date>>.
71. [The world's smartest yoga pants for men and women] [online]. Wearable X [accessed 10.2.2021]. Available on World Wide Web: <<https://www.wearablex.com/collections/nadi-x-smart-yoga-pants>>.
72. Wearablex activated yoga apparel [online]. ANA Marketing futures [accessed 10.2.2021]. Available on World Wide Web: <<http://marketingfutures.ana.net/VFTrend01/landing-129H1-988Y8.html>>.
73. Neviano [online]. Spinali Design. [accessed 7.2.2021]. Available on World Wide Web: <<https://www.spinali-design.com/pages/neviano>>.
74. Spinali gloves [online]. Spinali Design [accessed 7.2.2021]. Available on World Wide Web: <<https://www.spinali-design.com/pages/smart-gloves>>.
75. COVID-19: Forget about hydroalcoholic gel thanks to these self disinfecting gloves [online]. Stech infos [accessed 7.2.2021]. Available on World Wide Web: <<https://www.stech-infos.com/en/2020/09/covid-19-forget-about-hydroalcoholic-gel-thanks-to-these-self-disinfecting-gloves.html>>.
76. Cutecircuit's soundshirt [online]. CUTECIRCUIT [accessed 7.2.2021]. Available on World Wide Web: <<https://cutecircuit.com/soundshirt/>>.