

Inteligentna odjeća za prevenciju bolesti i smanjenje opterećenja zdravstvenih resursa

Prof.dr.sc. **Gojko Nikolić**
Prof. dr. sc. **Dubravko Rogale**
Sveučilište u Zagrebu
Tekstilno-tehnološki fakultet
e-mail: gojko.nikolic@ttf.hr; dubravko.rogale@ttf.hr
Prispjelo 30.10.2017.

UDK 687:621.38
Pregled

Zdravstveni sustavi u svijetu najviše su opterećeni liječenjem kroničnih bolesnika. Kronične bolesti pretežno su vezane za stariju populaciju. Kako se stalno produljuje životni vijek ljudi zbog boljih uvjeta života, taj se problem stalno povećava. Razvijenije države pokušavaju naći adekvatno rješenje za zdravstveni sustav. Ono se traži u stalnom nadzoru bolesti korištenjem pametne i inteligentne odjeće, koja sadrži sve minijaturnije senzore, sposobne za otkrivanje različitih vrsta zdravstvenih simptoma bolesti. Senzori u određenoj mjeri mogu zamijeniti analize i pretrage u laboratoriju. Podaci se, osim nositelju odjeće, šalju i osobnom liječniku koji na temelju njih procjenjuje potrebnu hospitalizaciju i dodatne pretrage. Osim pametne i inteligentne odjeće, za nadzor i prevenciju bolesti za iste namjene koriste se i pametne kuće. Procjena je da će se tim pristupom i opremom smanjiti opterećenost zdravstvenog sustava koji je sada opterećen kroničnim bolesnicima, s 80 % na 15 %.

Ključne riječi: pametna i inteligentna odjeća, senzori u odjeći, pametne kuće, prevencija bolesti

1. Uvod

Suočeni smo sa stalnim produljenjem trajanja života i sve većim brojem starijih osoba. Taj trend potiče mnoge sredine da traže nova rješenja za probleme koje donosi starost. Rješenja su usmjerena u više pravaca. Jednom je to poput Japana želja da se stariji ljudi zadrže što dulje kod kuće, a ne da idu odmah u domove, pa je potaknut razvoj humanoidnih robota, koji bi ne samo pomagali ljudima u kući već i nadzirali njihovo zdravlje (ponašanje), a mogli bi s ukućanima voditi i smislen razgovor. Drugi pravac je veće angažiranje starijih osoba,

koje su se spremne uključiti u korisne aktivnosti od obrazovanja, rada u humanitarnim ili kulturnim udrugama i slično. Treći smjer se odnosi na kvalitetu življenja čuvanje zdravlja od daljnjeg pogoršanja, čime će se smanjiti opterećenje zdravstvenih institucija.

Nije iznenađujuće, iz više razloga, što se u EU potiče kasniji odlazak u mirovinu i rad do 67 godina. Vjerojatno će postojati i mogućnost da se i taj rok produlji po želji osoba koje su navršile te godine, ako su zdravstveno i metalno sposobne. Ograničenje radnog vijeka od 65 godina uveo je Bizmark jer je tada prosječni vijek

čovjeka bio 65 godina. Ti umirovljenici nisu dugo uživali u mirovini niti opterećivali BDP države. Sadašnji životni vijek je znatno dulji i umirovljeničke godine postaju stvarno duže treće životno razdoblje s kojim država treba ozbiljno računati. Mogu znatno pridonijeti vlastitoj obitelji i društvu, zato je nužno osigurati im bolje zdravlje i zdravstvenu skrb. Time se smanjuje opterećenje zdravstvenih institucija, dulje su aktivni i manje opterećuju domove umirovljenika. Jedno od rješenja je pametna i inteligentna odjeća koja se u svijetu sve intenzivnije razvija dijelom upravo za ovu svrhu.

2. Starenje populacije i kronične bolesti

Rast standarda i kvalitetnija zdravstvena zaštita, produljili su životni vijek ljudi u razvijenim zemljama. Porastao je značajno udio starijih ljudi u ukupnoj populaciji, što je sigurno imalo utjecaj na financiranje određenih sektora u državi, kao i na planove razvoja države [1].

Prema podacima Ujedinjenih naroda, danas je svaka deseta osoba u svijetu starija od 60 godina, a za 50 godina taj će se broj udvostručiti i iznositi će 20 %, ili svaka peta osoba. Što je već sada slučaj u EU. U pojedinim najrazvijenijim zemljama očekuje se porast na 33 %. U svim razvijenim zemljama zabilježen je rast vrlo stare populacije, tj. one od 80 i više godina. Taj rast nije podjednak u raznim zemljama, sl.1 [3].

Prosječno očekivanje trajanja života u Hrvatskoj je 1981. godine iznosilo 70,5 godina, a deset godina kasnije 72,4 godine [3]. U Hrvatskoj je osoba starijih od 65 godina 2013. bilo 18 %, a projekcije za 2060. godinu smatraju da će se njihov broj povećati na oko 30 % ukupnog stanovništva. Dijagramom na sl.2 prikazan je rast stanovništva starijeg od 65 godina u sljedećih trideset godina [5].

Još je 1948. godine očekivani životni vijek iznosio 66 godina, a danas je 78 godina – tako da je sada prvi put je više 65-godišnjaka nego 18-godišnjaka. Jedna anketa u Engleskoj je pokazala da se zbog sve skuplje skrbi za starije, najveći broj Engleza ne boji smrti već bolesti pod stare dane te kako će tada oni postati teret obitelji i bližnjima [2].

Starost najčešće donosi i bolest kao posljedicu slabljenja organizma i imunološkog sustava. Najčešće su to kronične bolesti koje kod osoba starijih od 65 godina, uz psihičke poremećaje, iznose i do 30 %. [1] Prevencija i stalni nadzor zdravlja tijekom života, sigurno bi poboljšali kvalitetu života u starosti i smanjili broj oboljelih. Iznad 70 godina česte su Alzheimerova i Parkinsonova bolest, čiji se simptomi mogu otkriti u ranoj fazi, te se bolest može usporiti [6].

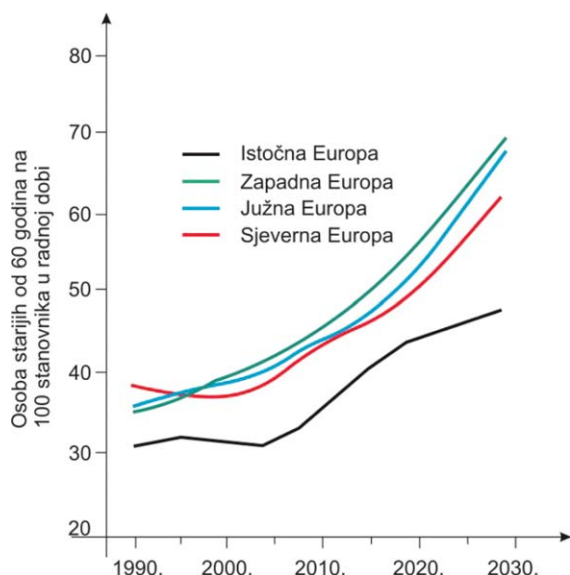
Kada se govori o kroničnim bolestima treba imati na umu da su bolnički kapaciteti najviše opterećeni kroničnim bolesnicima, čak 80 %, jer su česti odlasci takvih bolesnika u bolnicu na preglede ili pretrage. Smatra se da će se s pametnom i inteligentnom odjećom namijenjenom praćenju zdravlja kroničnih bolesnika taj postotak svesti na 15 % (TV emisija o starim ljudima).

Porast broja starijih osoba posebno onih iznad 75 godina povećava potrebe za zdravstvenom skrbi jer osjetno raste invalidnost i gubitak sposobnosti samostalnog življenja. To stvara velike probleme sustavima socijalne sigurnosti, naročito mirovinskom, zdravstvenom i sustavu socijalne pomoći [3]. Ta starija populacija s gledišta izdataka za liječenje, izuzetno je skupa jer traži značajni broj zdravstvenih usluga, sl.3 [5].

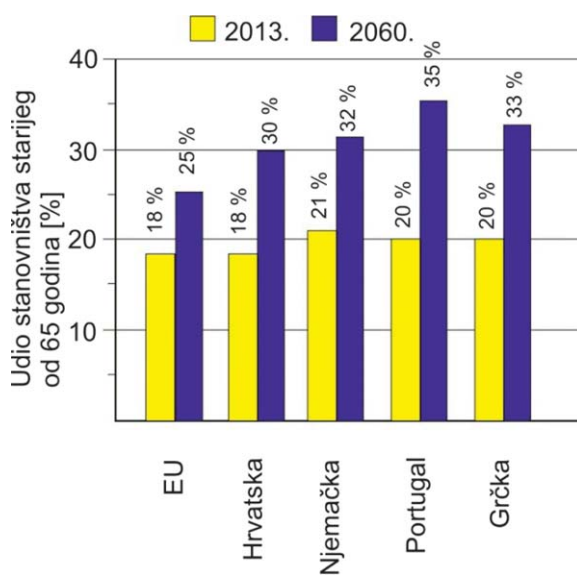
Nisu samo kronične bolesti one koje opterećuju zdravstveni sustav, jer je i 32,3 % mladih radno sposobnih osoba u Hrvatskoj zbog zdravstvenih razloga ograničeno u svakodnevnim aktivnostima. Hrvatska je po tom pokazatelju u sredini europskih zemalja. Prosjek EU je znatno niži i kreće se 24.1 %. Zemlje u našem okruženju Slovenija, Mađarska i Italija imaju taj postotak niži, dok Austrija neznatno viši. Najbolja je situacija u Švedskoj (12,6 %) i Irskoj (16,5 %) [4].

3. Pametna i inteligentna odjeća za bolesnike

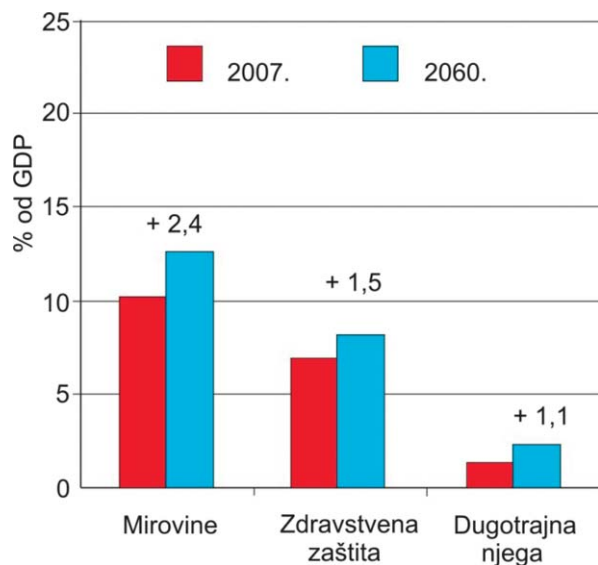
Razvoj tekstilnih materijala, elektronike, računarstva i telekomunikacija potaknuo je razvoj e-, pametne i inteligentne odjeće i učinio je mogućom, raznolikom i dostupnom. Primjenjuje



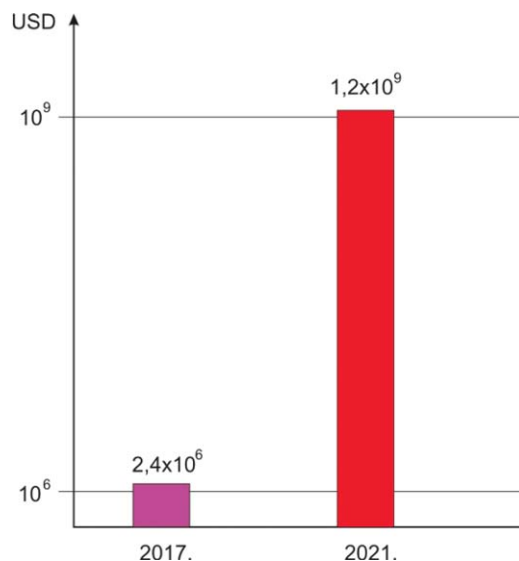
Sl.1 Porast broja osoba starijih od 60 godina u odnosu na populaciju u radnoj dobi (dorađeni dijagram) [3]



Sl.2 Udio stanovništva starijeg od 65 godina i predviđeni porast u nekim zemljama (dijagram izrađen temeljem podataka lit. [5])



Sl.3 Udio troškova starije populacije stanovništva u BDP-u u EU 2007. i 2060. (dorađeni dijagram) [5]



Sl.4 Investicije u inteligentnu odjeću za zdravstvo (dijagram izrađen prema podacima [10])

se nešto više od dvadesetak godina, u početku za zabavu tinejdžera (3D plejer povezan s mobitelom, svjetlosni efekti i poruke i sl.), a potom za zaštitu tijela od hladnoće, pomoć sportašima kod treninga, za dizajnerske i marketinške efekte, za vojne potrebe i potrebe specijalnih službi. Danas joj predstoji najšira civilna primjena u medicinske svrhe za praćenje zdravlja i prevenciju bolesti [15,16]. U tom smislu pametna i inteligentna odjeća predstavljaju revoluciju u praksi zdravstvene skrbi. Mogu poslužiti i kao pomoć pri liječenju jer smanjuju oslanjanje na skupe opremu i jako opterećeni zdravstveni sustav. Odjeća koja prati kronične bolesti ili stanje zdravlja, pomaže pri zdravstvenim problemima rastuće populacije starijih osoba. S njom se povećava uvid u zdravstveno stanje pacijenta i smanjuju troškovi. Zbog toga se ulažu znatna financijska sredstva u razvoj odjeće za bolesnike, sl.4 [10].

4. Senzori za dobivanje različitih zdravstvenih podataka

Postoji veliki broj različitih rješenja pametne i inteligentne odjeće. Suvremene tehnologije omogućuju stalno nova rješenja te dobivanje podataka o stanju organizma koji su prije bili

nezamislivi i bili isključivo omogućeni pretragama u laboratoriju. Osim standardnih mjerenja poput temperature, otkucaja srca, ritma disanja, pokreta i sl. inteligentna odjeća npr. kroz europski projekt BIOTEX omogućuje analizu tjelesnih tekućina, sline, znoja. Razvijeni ionski biosenzori sposobni su za mjerenje natrija, kalija i klorida u uzorcima znoja. Drugi tip minijaturnih senzora koristi se za mjerenje vrijednost pH znoja. Imunosenzor, integriran u zavoje, može otkriti prisutnost specifičnih proteina i sl. Mnoge kemijske ili biokemijske reakcije koje se koriste u testovima uzorka nisu reverzibilne te se dio biosenzora mora mijenjati. U prvim BIOTEX testovima, inteligentnu odjeću s tim sensorima nositi će pretili ljudi s dijabetesom, kao i sportaši. Nakon što se rješenja potvrde u ispitivanju na ljudima, krenut će se u industrijsku proizvodnju. U međuvremenu, EU financiran veliki projekt nazvan PROETEX, integrira ovu tehniku s drugim mikro- i nanosustavima za specifične aplikacije [7]. Pojava novog senzora za kontinuirano praćenje glukoze (CGM) velika je pomoć pacijentima koji često moraju mjeriti količinu šećera u krvi stalnim bockanjem vrha prsta. Taj novi senzor za CGM već je odobren za uporabu. Razvojni tim nastoji integrirati

biosenzor i izvor napona kako bi se stvorio prikladan uređaj za CGM povezan s inzulinskom pumpom čime bi se stvorio sustav "umjetne gušterače" [8].

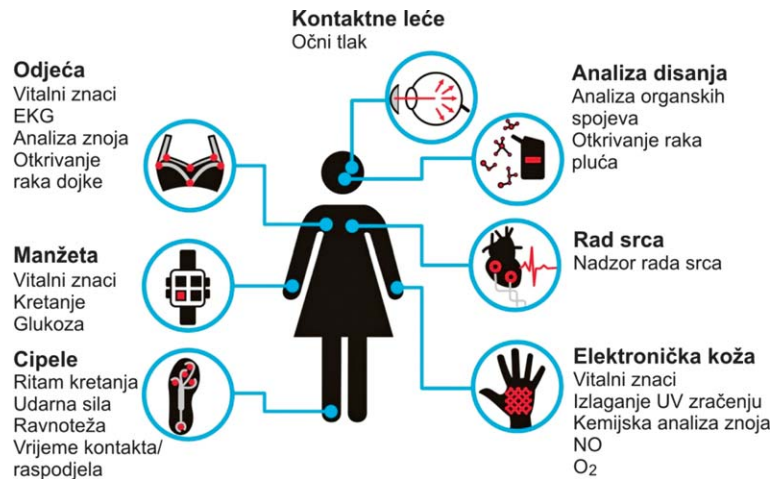
Minijaturizirani uređaji mogu mjeriti jednostavne parametre, kao što su puls ili impulsna oksimetrija, kao i napredna mjerenja, poput elektrokardiograma (EKG). Umjesto skupog holter EKG monitora s više vodiča, pacijent sada može nositi jedan EKG „patch“ (priključak elektrode) za otkrivanje aritmija. Nova tehnička rješenja integriraju dijagnostiku radi otkrivanja bolesti, poput npr. raka. Promjene u cirkadijanskim temperaturama u dojci pokazale su da koreliraju s karcinomom dojke. Provede se klinička ispitivanja grudnjaka s tim integriranim toplinskim sensorima. Razvija se i fotoakustički "pametni grudnjak" koji koristi endogeni fotoakustični signal iz hemoglobina kako bi se pratila povećana vaskularnost i otkrio rani karcinom dojke [9]. Senzori koji moraju imati kontakt s kožom ugrađuju se u intimno rublje, kod žena najčešće u grudnjak, a kod muškaraca u elastičnu potkošulju pripijenu uz tijelo. Jedan dio tih senzora postavlja se direktno na kožu (sl.5). Senzori koji se moraju mijenjati postavljaju se u tzv. zakrpe koje se prišiju na odjevni predmet, kako bi se

mogle skinuti i ponovno postaviti s novim sensorom. Ostali dio senzora nalazi se na vanjskoj odjeći.

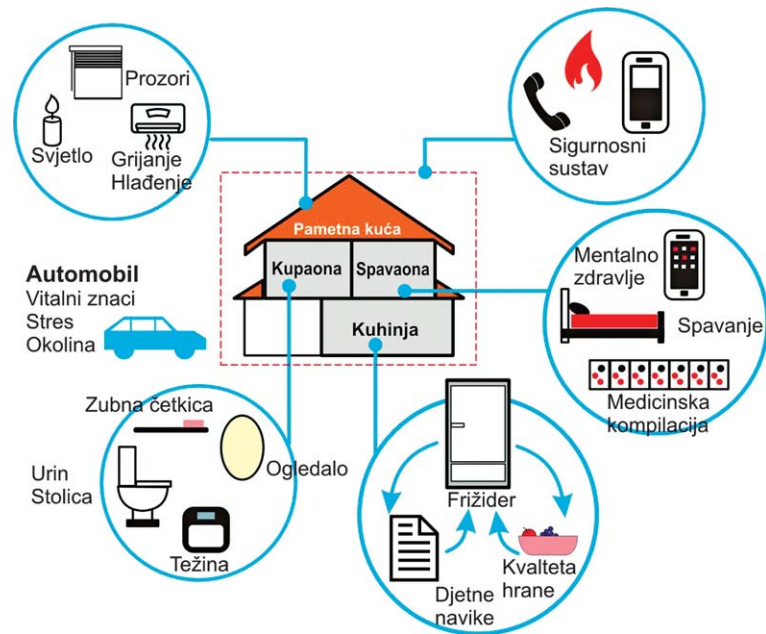
Zasićenje krvi kisikom, rad srca i ritam disanja ispitivati će se impulsnim oksimetrom i sensorom ritma otkucaja srca (Maxim MAX30102). Eksperimentira se s ugradnjom kemijskih i biosenzora, za analizu tjelesnih tekućina ili para (*Maxim Integrated*). U provedenim kliničkim ispitivanjima pametna i inteligentna odjeća je pokazala dobru zaštitu i od raznih bolesti [10].

Za praćenje zdravlja, osim s pametnom i inteligentnom odjećom koristi se i dodatni nadzor u kući u sklopu „pametne kuće“. Uređaji u domu ili automobilu također mogu pasivno pratiti biološke tekućine, ljudsko ponašanje i fiziološke znakove. Prate se prehrambene i životne navike te obavlja analiza urina i stolice, sl.6 [9]. Kod spavanja na posteljini ili madracu mogu se pratiti kardiopulmarne funkcije. Isto tako može se koristiti četkica za zube preko koje se obavlja biokemijska analiza sline. Kamere iza prozirnog ogledala preko izraza i boje lica prepoznaju moguće psihičke probleme kao i opće stanje osobe. U pametnom WC-u (poput TOTO-a) može se automatski analizirati mokraćna i stolica s markerima za određene bolesti. Urin sadrži biomarkere, poput metabolita, proteina, egzosoma i nukleinske kiseline, koji daju korisne informacije o bolestima od infekcija mokraćnog sustava, mjehura do raka prostate. Dobivaju se podaci o razini šećera u mokraći kao indikator dijabetesa. Slično tome, stolica pruža dijagnostičke informacije za razne bolesti, uključujući upalu crijeva i rak debelog crijeva, što predstavlja potencijalnu alternativu kolonoskopiji. Senzori u automobilu mogu pratiti razinu stresa i pospanost kroz ponašanje u vožnji, spriječiti vožnju ako se registriraju alkoholne pare i sl. [9].

Ugradnjom senzora tlaka u npr. posteljinu ili madrac moguće je ustanoviti uzrok boli u leđima i odrediti mjere kako bi se one smanjile. Bol u



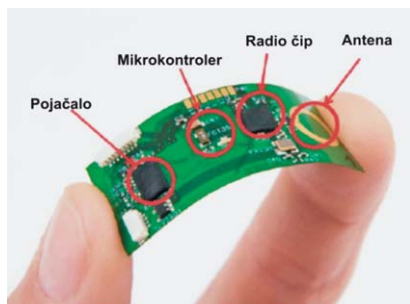
Sl.5 Senzori koji prate zdravlje čovjeka [9]



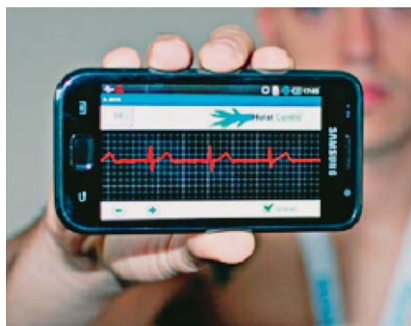
Sl.6 Senzori za zdravlje u pametnoj kući (dorađena slika [9])

leđima i inkontinencija kod starijih osoba opterećuju bolničke kapacitete i financije. Za inkontinenciju postavljaju se u inteligentnu odjeću senzori vlage što može biti korisno kod npr. dugotrajnih vožnji [10]. Sve prikupljene informacije o zdravlju putem senzora na tijelu ili iz „pametne kuće“ bežično se prenose liječniku putem mobilnog telefona. Liječnik može koristiti ove informacije za poduzimanje intervencija po potrebi. Očekuje se da će fleksibilna elektronika ugrađena u pametnu i inteligentnu odjeću dovesti do pojave manjih, lakših i udobnijih nosivih sustava, sl.7 [11].

Mnogi se uređaji i senzori povezuju s pametnim mobitelima radi olakšavanja slanja, obrade i prikaza podataka. Mobilna aplikacija putem mobitela temeljena je na Androidu i omogućuje sensorima male snage da komuniciraju bežično. S povećanjem računalnog kapaciteta i kapaciteta pohrane podataka očekuje se da će pametni mobitel moći kontinuirano pratiti zdravlje korisnika, sl.8 [11]. Na sl.9 prikazani su senzori ugrađeni u inteligentnu odjeću, za kontinuirano praćenje fizioloških podataka i podataka o kretanju, te daljinske povezanosti s medicinskim institucijama. Ugrađeni senzori pružaju mo-



Sl.7 Fleksibilni bežični EKG senzor s mikrokontrolerom tvrtke IMEC [11]



Sl.8 Pametni mobitel za praćenje EKG-a [11]

gućnost snimanja elektrokardiografskih podataka (EKG) pomoću različitih konfiguracija elektroda, kao i elektromiografskih (EMG) podataka. Dodatni senzori omogućuju snimanje torakalnih i abdominalnih signala povezanih s podacima o disanju i kretanju vezanom uz istežanje odjeće [11]. Prikazana je i mogućnost samozaštite tijela kod temperaturnih oscilacija [18].

5. Tekstilni materijali za e-odjeću

Pametna i inteligentna odjeća mora prije svega zadovoljiti zahtjev udobnosti kod nošenja, ali istovremeno i funkcionalnost. Kako se u tkanine za pametnu inteligentnu odjeću mogu utkati vodljive niti za međusobno povezivanje elektroničkih elemenata, one su ujedno prikladne i za prihvatanje tih elemenata poput biomedicinskih senzora, mikrokontrolera i neophodne antene. Ta elektrovdoljiva vlakna mogu biti i metalna od srebra, nikla, bakra, aluminija, nehrđajućeg čelika ili od ugljika [10].

Danas se najčešće u tekstil ugrađuju optička vlakna za prijenos signala, ali koja omogućuju i praćenje cirkulacije krvi u koži, sl.10. Time se na vrijeme može uočiti opasnost nastanka dekubitusa odnosno nekroze tkiva i stvaranje rana. Ta vlakna izdrže isti tretman pranja i dezinfekcije kao i tekstil. Optička vlakna moraju odgovarati karakteristikama tekstilnih vlakana kako bi se omogućio proces tkanja te udobnost tkanine [10].

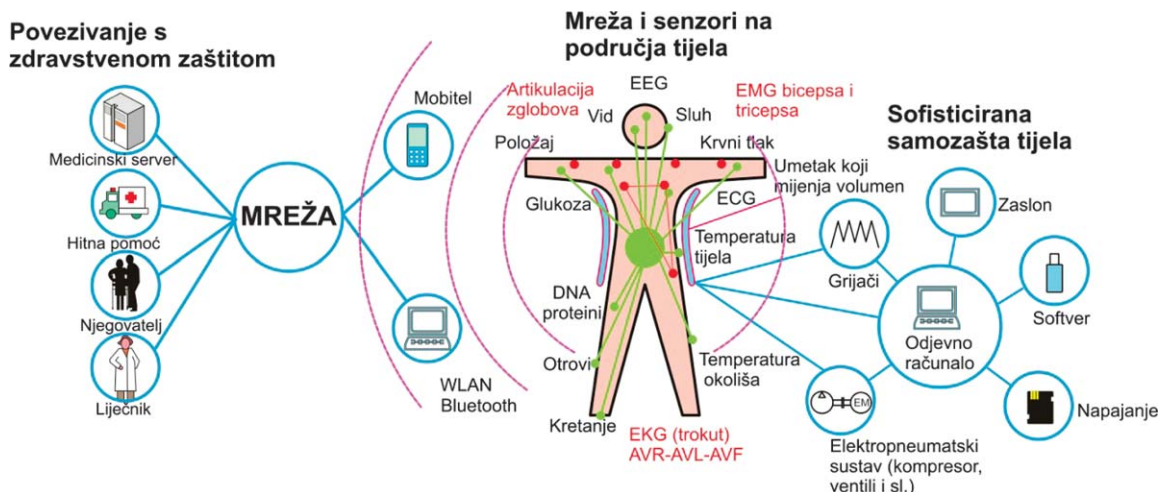
Da bi napravili što jednostavniju i prikladniju pametnu ili inteligentnu odjeću koja bi se primjenjivala za različite namjene, istraživači sa Sveučilišta u Tokiju razvili su novu elektrovdoljivu tintu koja omogućuje da se elektronika tiska na rastezljivim tkaninama [24].

Primjenom i korištenjem elektrovdoljive tinte uspjelo se u tekstil tiskar-

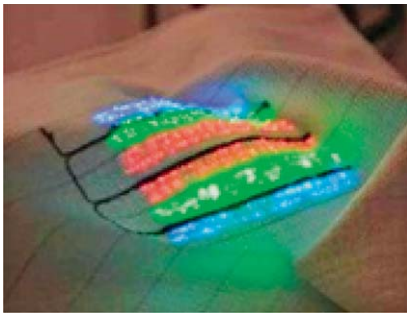
skom tehnikom ugraditi integrirane elektroničke sklopove koji se mogu prati. Ti otisnuti elektronički sklopovi podnose istežanje, što otvara nove mogućnosti za pametni tekstil i nosive tekstilne elektroničke uređaje. Krugovi su napravljeni s jeftinim, sigurnim i ekološki prihvatljivim tintama i tiskani uobičajenim tiskarskim tehnikama [17]. S ovom tintom tiskanje se obavlja u jednom koraku. Mogu se tiskati svjetleće diode, solarne paneli, aktivne i pasivne komponente, što je ranije bilo moguće samo na krutim podlogama. Korištenjem mekog, rastezljivog materijala stvorila bi se nova generacija nosivih uređaja koji bi se prilagodili ljudskom tijelu. Tinta je mješavina fluora, organskog otapala i srebrnog praha koji, kada se pomiješaju, zadržavaju svoju funkciju čak i ako se produlje više od tri puta u odnosu na svoju izvornu duljinu, sl.11 [24].

Drugi su razvili tinte s grafenima s kojima se mogu također tiskati elektronički integrirani krugovi. Tinta je otporna na nošenje i pranje te izdrži i do 20 ciklusa pranja u perilici [17].

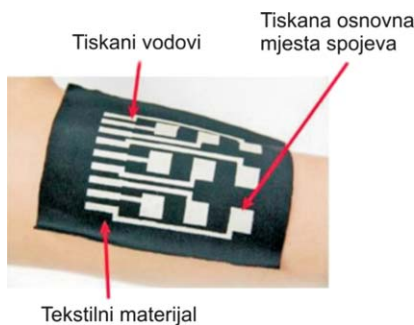
Ove nove tinte imaju nisko vrelište, što omogućava da se izravno tiskaju na poliestersku tkaninu. Hrapavost tkanina poboljšava performanse tiskanih uređaja. S njima se također mogu tiskati integrirani elektronički sklopovi s komponentama. Fleksibilnost ovih integriranih krugova uz nisku potrošnju električne energije,



Sl.9 Ugrađeni senzori u inteligentnu odjeću i bežična povezanost s medicinskim institucijama [16, 20]



Sl.10 Svjetlosni vodovi integrirani u npr. deku ili košulju mogu pratiti cirkulaciju krvi kroz kožu [10]



Sl.11 Uzorak integriranog kruga tiskan na tkanini [24]

postaju izuzetno prikladni za nosivu pametnu i inteligentnu odjeću, sl.18 [17].

6. Korist od pametne i inteligentne odjeće za zdravlje bolesnika i zdravstvo

U literaturi se spominje da je Finski Technical Research Center izradio pametnu tkaninu, koja se može koristiti kao odjeća ili pokrivač koja izračunava da li je potrebno osobu, odnosno pacijenta, hladiti ili zagrijavati temeljem izmjerene vanjske i temperature tijela [10]. Znatno ranije 2008. su profesori s TTF-a patentirali takvu vrstu odjeće [18]. Namjena je široka, a koristili bi je svi oni koji rade u nepovoljnim vremenskim uvjetima. Sveučilište u Bristolu radi na mekoj robotskoj odjeći koja bi pomogla oslobađanju osoba s invaliditetom od upotrebe medicinskih pomagala. Mogla bi pomoći osobama s problemima u kretanju, a istodobno bi se smanjili troškovi zdravstvene zaštite [10].

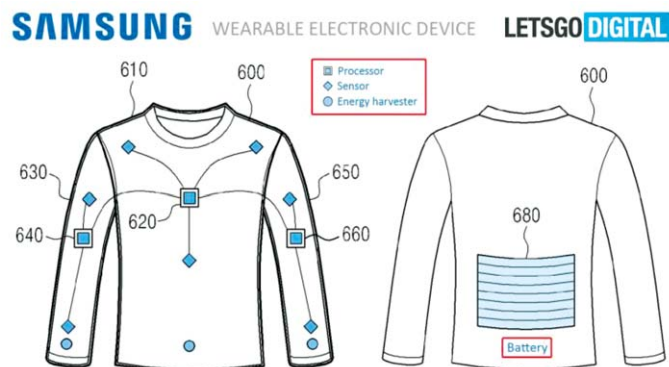
Inteligentna odjeća koju je razvio Samsung, sl.12, moći će obavljati korisne funkcije bez potrebe punjenja baterije. Posebni senzori koji se nalaze na cijeloj površini odjeće prikupit će podatke o aktivnosti korisnika pa će najvjerojatnije, kao i mnoga druga, postati „fitness tracker“. Ima svoje vlastito napajanje energijom [13].

Jedna od ideja za inteligentnu odjeću odnosi se na biopedijski prsluk koji mjeri akumulaciju vode u plućima, što upućuje na loš rad srca, a mogu se nositi kod kuće za analizu trendova bolesti prije hospitalizacije, što štedi vrijeme i novac. Isto tako razvija se i pojas oko prsnog koša koji prati plućni učinak kroz topografsku sliku pluća kao i svjetlosna terapijska deka za bebe oboljele od žutice [10]. Jedan od razloga prihvatljivosti inteligentne odjeće je neprikladnost po-

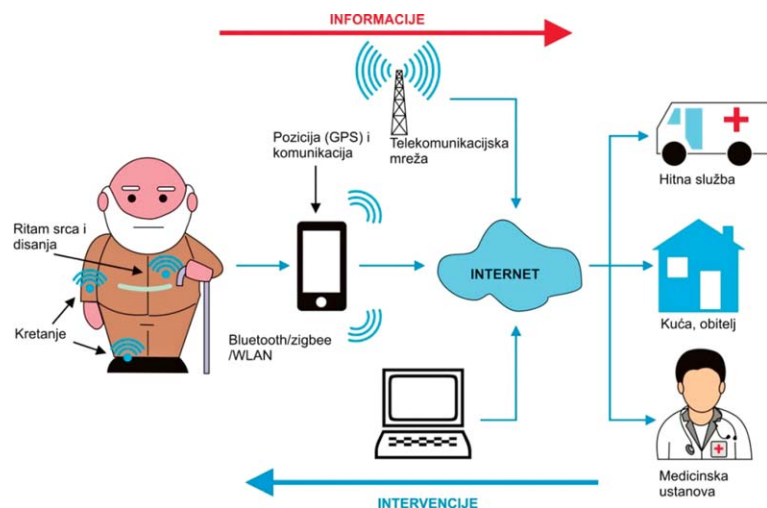
stojećih mobilnih nosivih tradicionalnih uređaja (poput holtera i dr.), a ujedno i manja točnost. Posebno su neprikladni kada je potrebno dugo trajno nošenje.

Signali elektrokardiografije prikupljeni pametnom odjećom koriste se za praćenje raspoloženja i otkrivanje emocija [14].

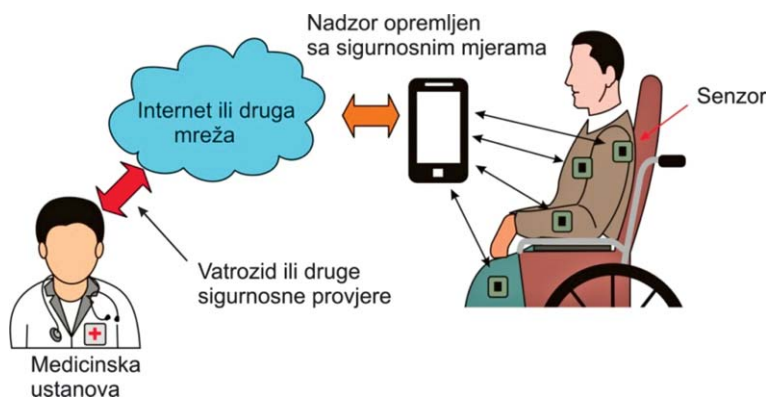
Čak i veliki sustavi kao što je Američki zdravstveni sustav tradicionalno su usredotočeni na liječenje bolesti, a ne na prevenciju. Veliki troškovi liječenja prije svega kroničnih bolesti, sve više usmjeravaju aktivnosti prema prevenciji. Svatko bi sam mogao spriječiti razvoj vlastite bolesti. Kako bi se cjelovito sagledali svi elementi nastanka ili liječenja bolesti nužno je imati niz podataka ne samo o pacijentu već i o okolišu gdje živi. Zato se, kako je već navedeno, postavljaju senzori ne samo na odje-



Sl.12 Samsungova inteligentna jakna [13]



Sl.13 Povezanost inteligentne odjeće s medicinskom službom (izrađeno prema lit. [11])



Sl.14 Nadzor zdravlja invalida u kolicima (izrađeno prema [12])

ći, već i na raznim mjestima u kući i automobilu. Podaci se dobivaju u stvarnom vremenu te se integrišu i obrađuju. Želi se postići mogućnost predviđanja bolesti na osnovi praćenja osnovnih fizioloških znakova i složenijih biokemijskih podataka povezujući ih s godinama, načinom života i svakodnevnim navikama [9]. Procjenjuje se da će ta tehnika daljinskog nadgledanja pacijenata donijeti uštede u Američkom sustavu zdravstvene zaštite oko 200 mlrd. USD tijekom idućih 25 godina.

Još uvijek zdravstveni sustav i institucije nisu spremne za prihvaćanje ovih novih tehničkih rješenja poput nadzora pacijenta inteligentnom odjećom. Više su se fokusirale na klasičnu zdravstvenu zaštitu češćim odlascima pacijenata liječniku u bolničkim institucijama. Procjenjuje se da će tek za nekoliko godina sazreti uvjeti za proizvodnju jeftinije inteligentne odjeće, s još većim mogućnostima nadzora zdravlja, kao i sprem-

nost većeg broja ljudi da ih koristi. Odjeća npr. iz projekta BIOTEX koja omogućuje kontinuirano daljinsko praćenje može značajno poboljšati način na koji pristupamo liječenju personaliziranih metaboličkih oboljenja. Tada će zdravstveni sustav vidjeti velike prednosti koje nudi ova nova vrsta odjeće [7, 10].

Veliki broj starijih osoba nakon odlaska u mirovinu često je okrenut sam sebi i svojim zdravstvenim problemima, te su nesigurni kada se pojave neki neuobičajeni simptomi da li se radi o ozbiljnom narušavanju vlastitog zdravlja. Povezivanje putem inteligentne odjeće s odgovarajućim liječnikom ili zdravstvenom institucijom, dalo bi im sigurnost da će svaka ozbiljna promjena zdravlja biti registrirana i dojavljena, te se smanjuje njihovo opterećenje samim sobom, čini ih sigurnijim i zado-

voljnijima, a ujedno znatno manje opterećuju zdravstveni sustav, njihovim čestim odlascima liječniku, sl.13 [11].

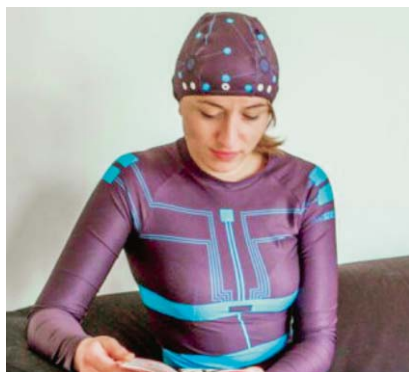
Jednako tako koristan je i nadzor nad bolesnim i nepokretnim osobama u kolicima, s aspekta ne samo zdravstvenih problema već i nesreća pri kretanju, podizanju ili sjedanju u invalidska kolica, sl.14 [12].

7. Prikaz nekih izvedenih rješenja pametne i inteligentne odjeće

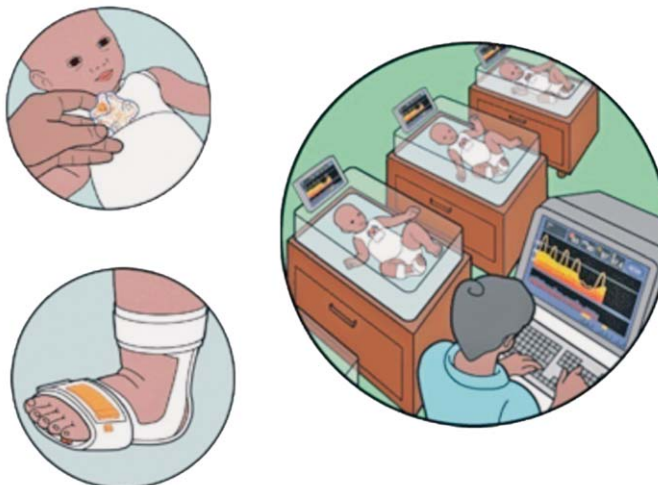
Jedan od problema bolesnika s epilepsijom su napadaji koji, ako okolina nije pripremljena, mogu završiti i tragično za bolesnika. Predviđanje skorog nastupa napadaja je sada riješeno korištenjem posebne inteligentne odjeće, sl.15. Prate se razni parametri EFG, ECG i daje signal za skori epileptički napadaj.

Praćenje zdravstvenih parametara kod novorođenčadi u bolnicama, prikazano je na sl.16 [15].

U SAD-u je za vojsku razvijena, tzv. „odjevna računalna matična ploča - ORMP“ (engl. Wearable motherboard) načinjena od optičkih vlakana s zadatkom detektiranja prostrijelih mjesta tijekom borbe te povezivanja senzora za vitalne tjelesne funkcije. Kod nje su utkana polimerna optička vlakna i vodiči koji s tkaninom čine jedinstvenu cjelinu. Budući da je ta

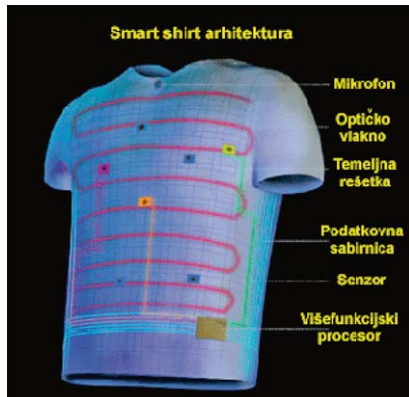


Sl.15 Odjeća za nadzor bolesnika s epilepsijom [21]



Sl.16 Nadzor vitalnih funkcija novorođenčadi [15]

matična ploča namijenjena kao podloga za ugradnju senzora, upravljačkih funkcija i računalno informatičkih naprava, ona je centralni nosiv dio sustava pametne i inteligentne odjeće (sl.17). U nju su utkane podatkovne sabirnice, a spojeno je i višefunkcijsko računalo [15]. U Hrvatskoj je na Tekstilno-tehnološkom fakultetu razvijeno nekoliko



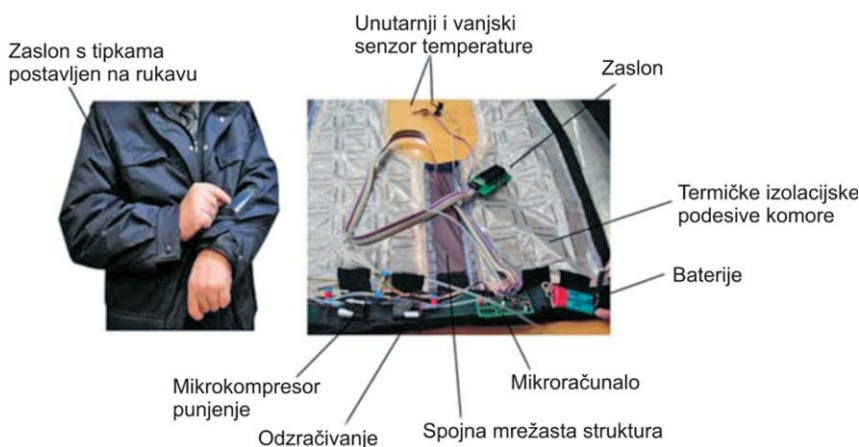
Sl.17 Odjevna računalna matična ploča ORMP [18]



Sl.18 Suвременa inteligentna odjeća s ugrađenim elektroničkim sklopovima i senzorima [22]

rješenja inteligentne odjeće namijenjeni samozaštiti korisnika od temperaturnih promjena. Temeljem mjerenja vanjske temperature i temperature tijela određuju se parametri toplinsko izolacijskih podesivih komora kako bi se promijenili koeficijenti prijelaza topline ili uključilo hlađenje strujanjem zraka. Sva elektronika, baterije i pneumatski elementi postavljeni su u pojasu, sl.19 [18, 19].

Valja istaknuti da se na spomenutom fakultetu izučava problematika inteligentne odjeće na kolegiju Inteligentna odjeća i da studenti samostalno izrađuju prototipove takve vrste odjevnih predmeta. Kao primjer se može istaknuti diplomski rad na temu praćenja srčanog pulsa, sl.20 [25]. Mjeriteljski i komunikacijski sustav za praćenje srčanog pulsa ugrađen je u kapu nositelja, a očitavanje pulsa se prikazuje na pametnom telefonu. Razvijen softver omogućava aktivaciju zvučnog alarma pri prekoračenju dozvoljenih granica srčanog pulsa i automatski poziv za pomoć drugih osoba ako nositelj ne reagira na zvučno upozorenje. Kompletni razvoj mikrokontrolerskog sustava, senzoričke napajanja, ožičenja, ugradnja u odjevni predmet, razvoj softvera za mikrokontroler i aplikacija za mobitel su načinjeni u Laboratoriju za procesne parametre odjevnog inženjerstva Zavoda za odjevnu tehnologiju Tekstilno-tehnološkog fakulteta.



Sl.19 Inteligentna odjeća razvijena na zagrebačkom Tekstilno-tehnološkom fakultetu [18, 19]

8. Očekivani budući razvoj pametne i inteligentne odjeće i problematika

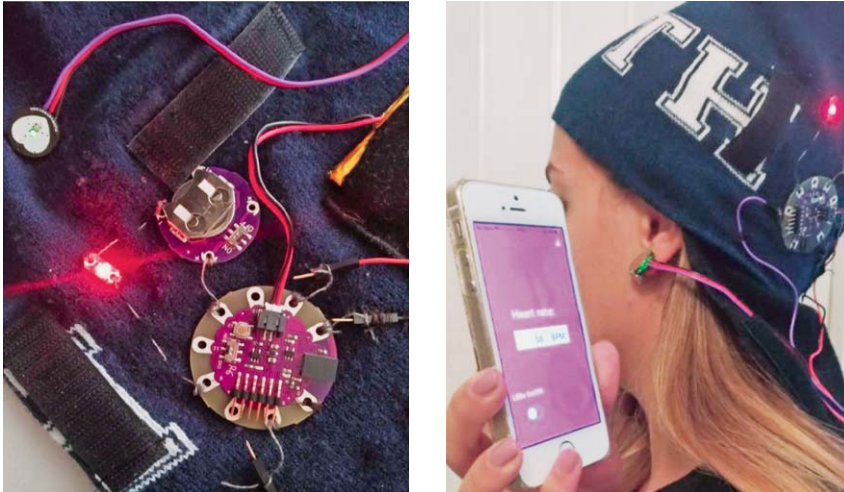
Na razvoju se intenzivno radi. Razvijaju se pilotni projekti koji uključuju majice za olakšanje kronične boli u leđima, majice sa senzorima za praćenje respiratornih organa pacijenata s kroničnom plućnom bolesti, mekim cjelodnevnim trbušnim pojasevima koji prate kontrakcije maternice i brzine otkucaja srca fetusa kod trudnica i niz drugih [10].

Neki stručnjaci vide inteligentnu odjeću kao kvalitetnu zamjenu nadziranja osoba u bolnicama kojima je potrebno stalno pratiti ritam otkucaja srca, krvni tlak, disanje i još mnogo toga.

Pametna odjeća s tehnologijom *haptic feedback* može se koristiti tijekom cijelog dana i nositi na bilo kojem dijelu tijela kako bi stimulirala pokrete mišića ili obavljala rehabilitaciju. Takva je odjeća trenutno u razvoju a prototipovi se očekuju do kraja ove godine [10].

Različito je zanimanje za razvoj pametne i inteligentne odjeće, ovisno o razvijenosti zemlje. Broj prijavljenih patenata potvrđuje trend stalnog i brzog rasta (sl.21). U odnosu na druge zemlje, EU zaostaje, iako se ona, sada objedinjena, smatra intelektualnom velesilom [26].

Razvoj inteligentne odjeće za prevenciju bolesti vezan je uz zdravstvo i bolničke uvjete te će se stoga, uz opisane zahtjevne funkcionalne probleme, morat obratiti pozornost i na potpuno specifične razvojne probleme. U razvoju će trebati uvažiti potrebu čestog pranja pri uporabi odjevnog predmeta, što za ugrađene elemente u odjeći može imati poguban karakter. To se odnosi prije svega na djelovanje visoke temperature kupelji za pranje na ugrađene komponente, djelovanje sila pri mehaničkom pranju u strojevima za pranje koje mogu oštetiti ugradbenu geometriju i veze te prodor kupelji u elemente i sustave koji može uzrokovati trajna oštećenja. Vjerojatno će biti potrebno razvi-



Sl.20 Pametna kapa za praćenje signala srčanog pulsa: a) Unutrašnjost pametne kape s integriranim elementima, b) Prikaz srčanog pulsa na pametnom telefonu [25]

ti deterdžente s niskom električkom vodljivošću u kupelji za pranje jer i male zaostale električke vodljivosti mogu totalno poremetiti rad visoko-impedancijskih sustava. Da se izbjegnu navedeni problemi, moguće je izvaditi osjetljive elektroničke komponente iz odjeće prije pranja što predstavlja dodatan rad, traži određenu razinu stručnosti i istodobno povećava mogućnost mehaničkih oštećenja komponenta pri demontaži i montaži. Čak i da se tako postupa, otvoreno je pitanje barem primjerene dezinfekcije izvađenih komponenta i mogućih štetnih posljedica pri tome. Pri njezi pametnog ili inteligentnog odjevnog predmeta kemijskim čišćenjem valjati će paziti da organska

otapala ne otope izolaciju na vodičima, sabirnicama, konektorima, baterijama, komponentama i sustavima. Konstruktori elektroničkih sustava, posebno sustava za radiokomunikaciju s okolišem, morat će paziti da sustavi ugrađeni u inteligentnu odjeću za prevenciju bolesti ne uzrokuju smetnje pri radu drugih bolesničkih instrumenata i opreme s obzirom na moguće fatalne posljedice.

Isto tako, neugodna pojava statičkog elektriciteta na odjeći za suha i hladna vremena kada je relativna vlažnost zraka vrlo niska, a koja pri nošenju odjeće generira napone reda nekoliko desetaka tisuća volti, može trajno oštetiti komponente koje najčešće rade pri niskim naponima od nekoli-

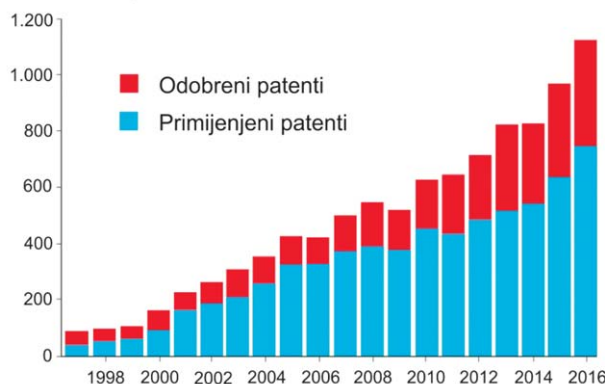
ko volti. Stoga će odjeću trebati tretirati sredstvima za povećanje električke vodljivosti kako bi se povećala elektrovodljivost tekstilnih materijala i time spriječilo nastajanje statičkog elektriciteta. To će zahtijevati posebnu pozornost i inženjersko umijeće jer prekomjerna uporaba takvih sredstava može uzrokovati i neželjenu elektrovodljivost između ugrađenih elektroničkih komponentata te smetnje u radu uz moguće trajno oštećenje, čime bi se ostvario kontraefekt zaštitne mjere.

Ljudski znoj, zbog otopljenih soli i drugih elektrolita u njemu, također ima visoku električku vodljivost pa će se i tom čimbeniku, pri projektiranju pametne i inteligentne odjeće za prevenciju bolesti morat posvetiti primjerena pozornost.

Uz ovih nekoliko vrlo specifičnih zahtjeva koje zahtijeva tehnička konstrukcija ove vrste odjeće, valja spomenuti i potrebu izuzetne zaštite medicinskih podataka koji bi presretanjem komunikacijskih kanala spomenutih u ovom članku, mogli doći u neželjeni posjed razotkrivajući pritom najintimnije podatke o zdravstvenom stanju nositelja inteligentne odjeće za prevenciju bolesti.

Razvidno je da će opisani razvoj i složena razvojna problematika zahtijevati izrazita znanja iz područja odjevne tehnologije uz poštivanje i primjenu znanja iz niza drugih inženjerskih struka.

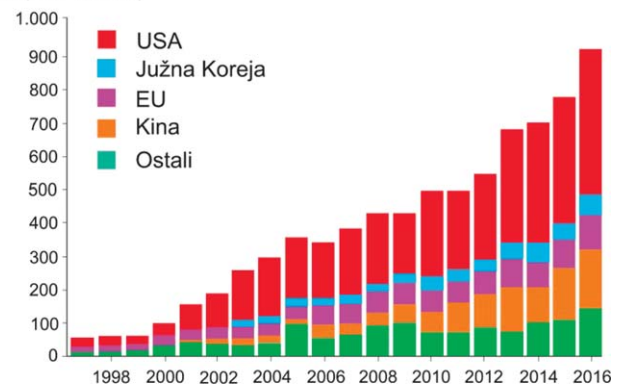
Broj patenata (ukupno 10.051)



Source: Lux Research, Inc.

a)

Broj patenata (ukupno 10.051)



Source: Lux Research, Inc.

b)

Sl.21 Broj patenata iz područja inteligentne odjeće, a) ukupno i b) po državama [26]

9. Daljinski nadzor bolesnika

Iako je to područje različito od ovog pametne i inteligentne odjeće jer se obavlja robotima, poput TelePresence robota „Roda“, sl.22, može u određenom smislu biti povezano na način da inteligentna odjeća služi drugoj namjeni. Olakšava (a time znatno pojeftinjuje) rješenje izrade uslužnog robota koji bi uz neke kućanske poslove nadgledao i obavljao određene manje zahtjevne medicinske preglede uz nadzor liječnika putem videolinka. Tako bi mogao obavljati npr. slušanje rada srca i pluća, a markeri na inteligentnoj odjeći obilježili bi mjesta gdje robot treba postaviti stetoskop. Liječniku bi se bežično prenosili šumovi iz stetoskopa kako bi ocijenio stanje pacijenta. Mogao bi i preko montiranog uređaja za digitalno očitavanje dojaviti tlak.

Postoje i jednostavnije varijante robota TelePresence, ali one nisu predmet ovog razmatranja.

10. Zaključak

Može se očekivati da će se u skoroj budućnosti realizirati dva ključna pravca razvoja tekstilne industrije. Jedan pravac je vezan za sveobuhvatnu digitalizaciju tvrtki i implementaciju koncepta industrije 4.0 (5.0), u kojoj roboti obavljaju sve radne procese proizvodnje. Tu treba istaknuti i sve veću potrebu i želju kupaca za personaliziranom odjećom. Drugi pravac je masovna proizvodnja pametne i inteligentne odjeće namijenjene prije svega za praćenje zdravlja. Taj će trend sigurno poticati i zdravstvene institucije jer će smanjivati njihovo opterećenje čestim intervencijama, posebno kod kroničnih bolesnika, a čiji se broj sve više povećava produljenjem života ljudi. Znanstvene i sveučilišne institucije, intenzivno rade na razvoju oba ova pravca. Rezultati su prisutni u pogledu smanjenja udjela ručnog rada u proizvodnji raznim rješenjima od dovođenja tkanine u kruto stanje, do suradničkog rada s kobotima. Također, već je danas moguće industrijski



Sl.22 Provjerava rad pluća pitem TelePresence robota „Roda“ [23]

proizvoditi odjeću za krajnjeg korisnika prema njegovim željama i mjerama. Razvoj inteligentne odjeće daleko je odmakao, a intenzivira se rad usmjeren na njeno pojeftinjenje, jednostavnost rukovanja, kao i prikladnost i ugodnost nošenja uz istodoban razvoj povećanja autonomije rada odabirom prikladnih izvora električnog napajanja i racionalizacijom trošenja energetske potreba ugrađenih uređaja i sustava. Već sada je nužno obrazovati stručnjake s polidiscipliniranim znanjima, koji će moći odgovoriti zahtjevima te suvremene proizvodnje [27].

Rad je izrađen u sklopu bilateralnog hrvatsko-slovenskog projekta Pametna odjeća za demencijne osobe

Literatura:

- [1] Starije životno doba, dostupno na <https://www.centarzdavlja.hr/zdrav-zivot/trecja-dob/starije-zivotno-doba/>, pristup 19. 04. 2018.
- [2] D.Š.: Stariji ljudi više se boje gubitka neovisnosti nego smrti, dostupno na <http://ordinacija.vecernji.hr/budi-sretan/upoznaj-sebe/stariji-ljudi-vise-se-boje-gubitka-neovisnosti-nego-smrti/>, objavljeno 09. 02. 2010.
- [3] Puljiz V.: STARENJE STANOVNIŠTVA EUROPE, dokumentacija, Rev. soc. polit., god. 7, br. 1, str. 109-112, Zagreb 2000.

- [4] Svaka 3. odrasla osoba u Hrvatskoj smatra da je zbog lošeg zdravlja ograničena u svakodnevnom životu, *Jutarnji list*, 20.04. 2018. strana 4
- [5] Puljiz V.: Starenje stanovništva – izazov socijalne politike, pregledni rad. UDK: 364.65-053.9:364 10.3935/rsp.v23i1.1281, Rev. soc. polit., god. 23 (2015.), br. 1, 81-98
- [6] Koje su uobičajene bolesti u starijih osoba, dostupno na <http://allforhealth.in.ua/bolesti-i-njihova-obrada/29531-koje-su-uobičajene-bolesti-u-starijih-osoba.html>, pristup 19.04.2018.
- [7] Smart clothes: textiles that track your health, dostupno na <https://phys.org/news/2008-03-smart-textiles-track-health.html>, objavljeno 24. 03. 2008.
- [8] Dolgin E.: Skin-Like Biosensor Offers Needle-Free Blood Sugar Monitoring, dostupno na <https://spectrum.ieee.org/the-human-os/biomedical/devices/skinlike-biosensor-offers-needlefree-blood-sugar-monitoring>, pristup 18.04. 2018.
- [9] Gambhir S.S, Ge T.J., Vermesh O., Spittler R.: Toward achieving precision health, dostupno na <http://stm.sciencemag.org/content/10/430/eaao3612.full>, objavljeno 28. 02.2018.
- [10] Brown P.: The Future of Healthcare May Reside in Your Smart Clothes, dostupno na <https://hr.mouser.com/applications/healthcare>

- care-may-reside-in-smart-clothing/, pristup 20.04.2018.
- [11] Literature review on wearable systems in upper extremity rehabilitation, dostupno na https://www.researchgate.net/publication/269291229_Literature_review_on_wearable_systems_in_upper_extremity_rehabilitation/figures?lo=1, objavljeno lipnja 2014.
- [12] Security and Privacy Issues in Wireless Sensor Networks for Healthcare Applications, dostupno na https://www.researchgate.net/publication/45630640_Security_and_Privacy_Issues_in_Wireless_Sensor_Networks_for_Healthcare_Applications/figures?lo=1, objavljeno 02. 2012.
- [13] Shcherban E.: Samsung patented smart clothes that generate human energy, dostupno na <http://gadget.com/en/30334-samsung-patented-smart-clothes-that-generate-human-energy/>, objavljeno 10. 12.2017.
- [14] Chen M., Ma Y., Song J., Lai C.H., Hu B.: Smart Clothing: Connecting Human with Clouds and Big Data for Sustainable Health Monitoring, dostupno na <https://link.springer.com/article/10.1007/s11036-016-0745-1>, objavljeno 07. 07.2016.
- [15] Firšt Rogale S., Rogale D., Nikolić G., Dragčević Z.: Inteligentna odjeća, znanstvena knjiga, Tekstilno-tehnološki fakultet, Tiskara Zelina, 2014. ISBN 978-953-7105-52-5
- [16] Nikolić G.: Dolazi vrijeme inteligentne odjeće, *Polytechnic&Design* Vol.3 (2015) No.2, 215-226
- [17] Integrated circuits printed directly onto fabric for the first time, dostupno na http://www.kurzweilai.net/integrated-circuits-printed-directly-onto-fabric-for-the-first-time?utm_source=KurzweilAI+Weekly+Newsletter&utm_campaign=b30463ed0e-UA-946742-1&utm_medium=email&utm_term=0_147a5a48c1-b30463ed0e-282203097, objavljeno 10. 11. 2017.
- [18] Firšt Rogale S., Rogale D., Nikolić G.; Dragčević Z., Bartoš M.: Odjevni predmet s adaptivnim mikroklimatskim stanjima, Patent PK20080116, Zagreb 2008.
- [19] Firšt Rogale S., Rogale D. & Nikolić G.: Intelligent clothing: first and second generation of clothing with adaptive thermal insulation properties, znanstveni rad, *Textile Research Journal* 1–20, 2017
- [20] Pitu T.: Tag: smart clothing, dostupno na: <http://www.zmescience.com/tag/smart-clothing/>, objavljeno 10.12.2014.
- [21] CES 2015: Wearable Sensors for Clinical Patient Monitoring, dostupno na: <http://healthtechinsider.com/2015/01/15/ces-2015-wearable-sensors-clinical-patient-monitoring/>, objavljeno 15.-1.2015
- [22] 18 million items of intelligent clothing are expected to be sold in 2017, dostupno na <http://textilefocus.com/18-million-items-intelligent-clothing-expected-sold-2017/>, objavljeno 5.2.2018.
- [23] Halverson N.: The Robot Doctor Will See You Now, dostupno na <http://news.discovery.com/tech/robotics/robot-doctor-will-see-you-130125.htm>, dostupno 25.01. 2013.
- [24] Connecting a paper notepad to the Internet of Things, dostupno na <https://atmelcorporation.wordpress.com/tag/conductive-ink/>, objavljeno 1.7.2015.
- [25] Rogale D., Firšt Rogale S., Veldić M.: Pametna odjeća za bolesnike i rekonvalescente, *Polytechnic&Design* Vol.6 (2018.) 2, 93-108
- [26] Dawidczyk T.: Evaluating the Patent Activity in Smart Textiles, objavljeno na <http://blog.luxresearchinc.com/blog/2017/06/evaluating-the-patent-activity-in-smart-textiles/>, objavljeno listopad 2017.
- [27] Nikolić G.: Industrija 4.0 i obrazovni sustav, *OpenInfoTrend*, 207/3/2018, 28-36

SUMMARY

Intelligent clothing for the prevention of disease and the reduction of the burden of health care resources

G. Nikolić, D. Rogale

Health care systems in the world are most burdened with the treatment of chronic patients. Chronic diseases are mainly associated with the older population. As the life expectancy of people is continually prolonged due to better living conditions, this problem increases. More developed countries are trying to find an appropriate solution for the health care system. It is sought in connection with continuous monitoring of disease by using intelligent clothing, containing miniature-sized sensors capable of detecting different types of disease symptoms. They can often replace analyses and lab tests. In addition to the wearer, the data is also sent to the personal physician who evaluates the required hospitalization and additional examinations. Besides intelligent clothing for monitoring and preventing diseases, smart houses are also used for the same purpose. It is estimated that this approach and equipment will reduce the burden on healthcare systems, which are now burdened with chronic patients, from 80 % to 15 %.

Key words: intelligent clothing, sensors embedded in clothing, smart houses, disease prevention

University of Zagreb

Faculty of Textile Technology

Zagreb, Croatia

e-mail: gojko.nikolic@ttf.hr; dubravko.rogale@ttf.hr

Received October 30, 2017

Intelligente Kleidung zur Verhütung von Krankheiten und zur Verringerung der Belastung von Gesundheitsressourcen

Gesundheitssysteme in der ganzen Welt sind mit der Behandlung der chronischen Patienten am meisten belastet. Chronische Krankheiten werden hauptsächlich mit der älteren Bevölkerung in Zusammenhang gebracht. Da die Lebenserwartung der Menschen kontinuierlich aufgrund besserer Lebensbedingungen verlängert wird, wird dieses Problem noch verstärkt. Mehr entwickelte Länder versuchen, eine passende Lösung für das Gesundheitswesen zu finden. Es wird durch kontinuierliche Überwachung von Krankheiten unter Verwendung intelligenter Kleidung gesucht, die Sensoren in Miniaturgröße enthält, die verschiedene Arten von Krankheitssymptomen erkennen lassen. Sie können Analysen und Labortests häufig ersetzen. Neben an den Träger werden die Daten auch an den persönlichen Arzt geschickt, der den erforderlichen Krankenhausaufenthalt und zusätzliche Untersuchungen bewertet. Neben intelligenter Kleidung zur Überwachung und Vorbeugung von Krankheiten werden zu diesem Zweck auch intelligente Häuser eingesetzt. Es wird geschätzt, dass dieser Ansatz und diese Ausrüstung die Belastung des Gesundheitssystems, das jetzt mit chronischen Patienten belastet ist, von 80 % auf 15 % verringert.