

**Snježana Firšt Rogale, Dubravko Rogale,  
Gojko Nikolić, Zvonko Dragčević**

## **INTELIGENTNA ODJEĆA**

- Izdavač:* Sveučilište u Zagrebu  
Tekstilno-tehnološki fakultet
- Urednik:* izv. prof. dr. sc. Snježana FIRŠT ROGALE
- Recenzenti:* prof. dr. sc. Jelka GERŠAK,  
Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo
- prof. dr. sc. Alka MIHELIC-BOGDANIĆ  
Sveučilište u Zagrebu, Tekstilno-tehnološki fakultet
- prof. dr. sc. Siniša FAJT  
Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i  
računarstva
- Lektura:* Nevenka PAŠTROVIĆ, prof.
- Kompjutorski prijelom:* izv. prof. dr. sc. Snježana FIRŠT ROGALE
- Oblikovanje naslovnice:* izv. prof. dr. sc. Snježana FIRŠT ROGALE  
prof. dr. sc. Dubravko ROGALE
- Naklada:* 120 kom
- Tisak:* Tiskara Zelina d.d., Sveti Ivan Zelina

Sva prava pridržana. Niti jedan dio knjige ne smije se reproducirati u bilo kojem obliku bez prethodne pismene dozvole autora. Izrada kopije bilo kojeg dijela knjige u bilo kojem obliku znači povredu Zakona.

Odlukom Fakultetskog vijeća Sveučilišta u Zagrebu Tekstilno-tehnološkog fakulteta, Klasa: 602-04/14-77/5 Ur. broj 251-68-06/1-14-28 od 24. rujna 2014. rukopisu pod nazivom **Inteligentna odjeća** autora izv. prof. dr. sc. Snježane Firšt Rogale, prof. dr. sc. Dubravka Rogalea, prof. dr. sc. Gojka Nikolića, Zvonka Dragčevića, odobrava se korištenje naziva **znanstvena knjiga**.

CIP zapis dostupan je u računalnom katalogu  
Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu  
pod brojem 884977

ISBN 978-953-7105-52-5

Izdavanje ove knjige financiralo je Sveučilište u Zagrebu u sklopu kratkoročne financijske potpore istraživanjima *Inteligentna i zaštitna odjeća - karakteristike i parametri visokotehnoloških metoda spajanja njihovih dijelova* voditelja prof. dr. sc. Dubravka Rogalea

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
TEKSTILNO-TEHNOLOŠKI FAKULTET

Izv. prof. dr. sc. Snježana Firšt Rogale, prof. dr. sc. Dubravko Rogale,  
prof. dr. sc. Gojko Nikolić, prof. dr. sc. Zvonko Dragčević

# INTELIGENTNA ODJEĆA



Zagreb, 2014.

## PREDGOVOR

Inteligentna odjeća je potpuno nova vrsta odjevnih predmeta koja se pojavila početkom 21. stoljeća. Odlikuje ju ugradnja, međusobna povezanost i skladan rad mnogih elektroničkih elemenata, sklopova i uređaja.

Ljudi su, tijekom stoljeća svoje povijesti, najvećim dijelom koristili svakodnevnu konvencionalnu odjeću izrađenu od tkanina, pletiva, krzna, kože, a u novije vrijeme i od tehničkog tekstila ili folija izrađenih od polimernih materijala. U tom razdoblju načelno se u većoj mjeri nije mijenjala funkcija odjeće, njena konstrukcija i načini namjene. Modni izričaj mijenjao je uglavnom vizualnu pojavnost odjeće dok je tehnička strana ostajala nepromijenjenom.

Krajem 20. stoljeća u odjeću su se počele ugrađivati jednostavnije električke komponente i elektronički uređaji koje su prvenstveno imale zabavni ili modnovizualni izričaj pri čemu je nastala jednostavna e-odjeća. Zbog razmjerno slabe koristi za svog nositelja, visoke cijene, složenosti i općenite neatraktivnosti te uskog kruga korisnika, ova vrsta odjeće nije zaživjela u većoj mjeri.

Minijaturizacijom mikroročunala započela je i njihova ugradnja izravno u odjeću, primjena i ugradnja senzoričke koja je uz primjerenu programsku podršku, zaslone i komunikacijske mogućnosti omogućila tzv. proširenu stvarnost (eng. augmented reality), a uz to je mogla obavljati jednostavnije pametne zadaće za svog nositelja. Stoga je nazvana pametnom odjećom (eng. smart clothing). Svoju atraktivnost pokazala je ponajprije pri očuvanju zdravlja ljudi i za vojne primjene pa je vrlo brzo dobila na atraktivnosti i stekla široki krug zahtjevnih korisnika što je pospješilo njen daljnji razvoj koji još traje.

Inteligentna odjeća (eng. intelligent clothing) je zasad najsloženija vrsta i predstavlja najviši dosadašnji stadij razvoja odjeće. Ona izvodi daleko složenije i brojnije zadaće od onih koje se postavljaju pred pametnu odjeću. Osnovno svojstvo joj je mogućnost razabiranja stanja u okolišu, ispravna interpretacija tog stanja, donošenje racionalne odluke o novoj prilagodbi karakteristika odjavnog predmeta spram eventualnih promjena u okolišu i, što je najvažnije, automatska provedba te prilagodbe primjenom ugrađenih izvršnih naprava u

odjeći. Osnovno svojsvo inteligentne odjeće predstavlja njena smislena autonomna prilagodba kao odziv na uočene promjene u okolišu te time iskazuje, zasada, jednostavne načine inteligentnog ponašanja. U skladu s time odjeća sama mijenja i podešava svoje karakteristike kako bi svom nositelju stvorila optimalne uvjete nošenja.

Skupina autora ove knjige se, u Zavodu za odjevnu tehnologiju Tekstilno-tehnološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu sa svojim suradnicima, bavi razvojem inteligentne odjeće još od 2000. godine, dakle punih 14 godina, pri čemu su izradili prve funkcionirajuće prototipove za dva različita tipa inteligentne odjeće s toplinskom zaštitom. Odabrana je vrsta inteligentne odjeće koja pruža aktivnu termičku regulaciju na način da sama mijenja i podešava toplinska izolacijska svojstva, a razrađena je osnovna arhitektura, definirani su i razvijeni brojni tehnički ugradbeni podsustavi iz više različitih tehničkih područja. Razvoj i istraživanja su bili izazovni, od nove metode konstrukcije odjeće, koja je jedinstvena po tome što za vrijeme nošenja ove vrste odjeće ona mijenja svoju debljinu, do izvršne naprave u obliku termoizolacijskog umetka koji može mijenjati svoju debljinu u ovisnosti o tlaku upuhanog zraka. Nakon brojnih tehničkih usavršavanja prototipova, izrade potrebne programske podrške i algoritama inteligentnog ponašanja, izvedena su i temeljita istraživanja tehničkih karakteristika inteligentne odjeće, načinjeno više patentnih prijava i dobivena brojna priznanja na vodećim svjetskim izložbama inovacija i novih tehnologija, što je sve opisano u ovoj knjizi. Autori ove znanstvene knjige su nositelji prava europskog patenta koji je zaštićen u 13 EU zemalja, patentne prijave u Sjedinjenim Američkim Državama i Kanadi kao i više domaćih patenata s područja inteligentne odjeće što dovoljno govori o originalnosti pristupa razvoju te nove vrste odjeće izuzetne tehničke složenosti.

Arhitektura inteligentne odjeće je tehnički vrlo složena i zahtijeva brojna tehnička i tehnološka znanja. Sastoji se od vanjske školjke, termoizolacijskog umetka, ugrađenih senzora, mjernih sklopova, mikroračunala, softvera za mjerenja, obradu i interpretaciju mjernih rezultata, algoritma inteligentnog ponašanja i realizaciju odluka, izvršnih naprava za provođenje odluka, baterijskog napajanja, potom iz upravljačkih, mjernih, podatkovnih i napajajčkih sabirnica kao kompleksnog ožičenja unutrašnjosti, pokaznih naprava i displeja, komunikacijskih uređaja i na kraju podstavnih tkanina.

Za realizaciju brojnih spomenutih tehničkih podsustava inteligentne odjeće potrebna su

tehnička znanja koja obuhvaćaju znanja iz suvremenih tehnoloških procesa proizvodnje odjeće, nove metode konstrukcije odjeće promjenjive geometrije, znanja sensorike i mjeriteljstva, konstrukcije mikroročunalnih ili mikrokontrolerskih sustava, programiranja računala, strojarstva, elektrotehnike, elektronike, komunikacijske tehnike, novih materijala i visokotehnoloških metoda spajanja. Stoga će, jamačno, znanstvenici koji će raditi na razvoju inteligentne odjeće morati imati izvrsna tehnička multidisciplinarna znanja i imati izraženu sposobnost rada u isto takvim timovima.

U ovoj znanstvenoj knjizi pokušali smo, nakon uvoda u 1. poglavlju prikazati čovjekove prve povijesne iskorake pri konstrukciji nove vrste odjeće koja više nije bila konvencionalna, a koja je morala osigurati preživljavanje čovjeka u novim, do tada nesvakidašnjim, opasnim i negostoljubivim uvjetima (ronilačka odijela, antigravitacijska i svemirska odijela) u 2 poglavlju. Ova vrsta nove odjeće usko specijaliziranih namjena, zahvaljujući u ono doba vrlo naprednim tehničkim rješenjima i iskoracima, može se smatrati ranim uvodom u buduću inteligentnu odjeću.

Poglavlje 3. donosi pregled dosadašnjeg razvoja e-odjeće, pametne i inteligentne odjeće, značajke važnijih gradbenih komponenti, ciljne korisničke skupine spomenutih vrsta odjeće, pravce istraživanja i značajke razvoja, a dato je i originalno autorsko razmišljanje o temeljnim značajkama svake spomenute vrste odjeće.

U poglavlju 4. razmotrili smo temeljne značajke toplinske zaštite odjeće i povijesno stanje svjetske patentne zaštite tog područja gdje smo obuhvatili stanje pasivne, poluaktivne i aktivne toplinske zaštite drugih svjetskih autora.

Vlastita promišljanja, od idejnog tehničkog rješenja prvog patentiranog inteligentnog odjevnog predmeta s aktivnom termičkom zaštitom, odabirom modela, konstrukcije i načina izrade vanjske školjke, podstave i termoizolacijskog umetka te ispitivanja na termoizolacijskim komorama kao dijelu termoizolacijskog umetka, prikazali smo u poglavlju 5. Tu su opisani korišteni senzori, način realizacije mjernih sustava, ugrađen mikrokontrolerski sustav, aktuatorski sustav, ožičenje, napajanje, komunikacija, programska podrška, integracija svih tehničkih podsustava i istraživanja funkcionalnog rada vlastitih prototipova inteligentne odjeće.

U poglavlju 6. opisane su značajke našeg poboljšanog i novog rješenja drugog patentiranog inteligentnog odjevnog predmeta s adaptivnim termoizolacijskim svojstvima, visokotehnološke metode spajanja inteligentne odjeće ispitanja toplinskih svojstava inteligentne odjeće. Naime, na temelju izvedenih i opisanih istraživanja razvoja inteligentne odjeće i konstruiranja funkcionirajućih prototipova, razvidno je da se inteligentna odjeće ne može izrađivati bez tehnika toplinskog spajanja kondukcijom ili konvekcijom, spajanja dijelova odjeće primjenom ultrazvučne tehnike i spajanja u visokofrekventnom elektromagnetskom polju. Nadalje, prikazana su ispitivanja toplinskih svojstava inteligentne odjeće i originalni mjerni sustav za određivanje statičkih i dinamičkih toplinskih svojstava kompozita i odjeće koji je također razvijen, patentiran i instaliran u laboratoriju za procesne parametre Zavoda za odjevenu tehnologiju. Tim ispitivanjima znanstveno je dokazano da funkcionirajući prototipovi uistinu imaju svojstva inteligentne odjeće koja prati promjene temperatura okoliša i u mikroklimi odjeće, donosi potrebne odluke i s pomoću aktuatorskog sustava automatski podešava potrebna toplinska svojstva koja osiguravaju optimalnu toplinsku ugodu nošenja odjeće. Isto tako je dokazano da je raspon toplinske zaštite velik te da može zamijeniti slojevito odijevanje više konvencionalnih odjevnih predmeta. Najvažnije od svega, dokazano je da je originalna patentirana arhitektura i svi tehnički podsustavi inteligentne odjeće ispravno zamišljeni, konstruirani i postavljeni te da harmonizirano djeluju sačinjavajući funkcionirajuće nove vrste napredne odjeće.

U knjizi slijedi još i indeks pojmova i popis korištene literature, a na kraju je dodatak u kojem autori čitatelju nesebično daruju originalne tekstove složenih vlastitih patentnih prijava kako bi im poslužili kao predlošci prihvaćenih patenata u slučaju da se sami upuste u izazove tehničkog stvaranja i patentiranja. Tu su i drugi primjeri zaštite intelektualnog vlasništva u obliku industrijskog oblička i zaštitnog znaka (logo) koje smo također načinili u sklopu razvoja inteligentne odjeće.

Prikazali smo i dobivene brojne nagrade i priznanja za naš četrnaestogodišnji trud originalnog razvoja inteligentne odjeće koji je prepoznat u nas i u svijetu. Drago nam je da su prvi hrvatski i europski patenti iz područja inteligentne odjeće upravo naši patenti, potekli iz Hrvatske i da su baš u Hrvatskoj, na Sveučilištu u Zagrebu, načinjeni i ispitani prvi

funkcionalni prototipovi inteligentne odjeće.

Ova znanstvena knjiga nastala je na temelju potpore dodijeljene od strane Sveučilišta u Zagrebu. Nadamo se da smo njome praktično dokazali tezu o istraživačkom sveučilištu na kojem se stvara novo znanje koje povećava fondus postojećeg znanja, a njime se obogaćuje i nastavni proces s kompetentnim nastavnicima koji su uz to i vrsni znanstvenici i istraživači.

Osim novog znanja i funkcionalnih prototipova inteligentne odjeće, opisana istraživanja urodila su plodom da na Tekstilno-tehnološkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu sada postoji moderno opremljen laboratorij za razvoj i istraživanja konvencionalne, funkcionalne i inteligentne odjeće, mnoštvo sofisticirane mjerne opreme (od koje je dio također vlastiti i patentirani razvoj) te instalirani sustavi za visokotehnološka spajanja.

Trenutačno se u našem laboratoriju izvodi minijaturizacija tehničkih podsustava te brojna istraživanja tehničkih obilježja inteligentne odjeće. Istražuju se i mnogi utjecajni parametri, korelacije između njih, a interes u istraživanjima su našli i mladi doktorandi, tako da se nadamo drugom, proširenom izdanju u narednih nekoliko godina u kojem će biti opisani novi rezultati i postignuća.

Autori







# SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b> .....	1
<b>2. ODJEVNI PREDMETI KOJI SU BILI PRETHODNICE RAZVOJA PAMETNE I INTELIGENTNE ODJEĆE</b> .....	3
2.1. RONILAČKO ODIJELO .....	3
2.2. LETAČKO ANTIGRAVITACIJSKO ODIJELO ILI G – ODIJELO .....	4
2.3. ASTRONAUTSKO ODIJELO .....	6
<b>3. POJAVA I DOSADAŠNJI RAZVOJ PAMETNE I INTELIGENTNE ODJEĆE</b> .....	11
3.1. POJAVA ODJEVNOG RAČUNALA .....	11
3.2. e-ODJEĆA .....	17
3.3. PAMETNA ODJEĆA .....	21
3.4. INTELIGENTNA ODJEĆA .....	26
3.5. RAZVOJ NANOTEHNOLOŠKIH SENZORA I AKTUATORA ZA PAMETNU I INTELIGENTNU ODJEĆU .....	29
3.6. PRIMJENA PNEUMATSKIH (FLUIDIČKIH) SUSTAVA U INTELIGENTNIM PROIZVODIMA OD TEKSTILA .....	32
3.6.1. Izvori tlaka fluida .....	34
3.6.2. Upravljački elementi .....	40
3.7. PRAVCI RAZVOJA UPRAVLJIVOG PAMETNOG TEKSTILA ZA PAMETNU ODJEĆU ..	52
3.8. RAZVOJ ODJEVNE RAČUNALNE MATIČNE PLOČE .....	58
3.9. TEHNOLOŠKA RJEŠENJA NAPAJANJA ELEKTRIČNOM ENERGIJOM .....	66
3.10. KOMUNIKACIJA IZMEĐU PAMETNE I INTELIGENTNE ODJEĆE I UDALJENIH SUSTAVA .....	73
3.11. CILJNE SKUPINE KORISNIKA PAMETNE I INTELIGENTNE ODJEĆE .....	75
3.12. PRAVCI I ISTRAŽIVANJA NA POLJU PAMETNE I INTELIGENTNE ODJEĆE .....	96
3.13. SMJERNICE RAZVOJA PAMETNE I INTELIGENTNE ODJEĆE .....	108
3.14. PREGLED TEMELJNIH ZNAČAJKI KONVENCIONALNE, e-ODJEĆE, PAMETNE I INTELIGENTNE ODJEĆE .....	112
<b>4. TOPLINSKA ZAŠTITA ODJEĆE</b> .....	117
4.1. TERMOREGULACIJSKA SVOJSTVA PAMETNE I INTELIGENTNE ODJEĆE .....	120
4.2. STANJE PATENTNE ZAŠTITE NA PODRUČJU INTELIGENTNOG VLASNIŠTVA ODJEĆE S TERMOREGULACIJSKIM SVOJSTVIMA .....	126
4.2.1. Odjeća s pasivnom toplinskom zaštitom pri niskim temperaturama .....	125
4.2.2. Pasivna toplinska zaštita od niskih temperatura na temelju odabira složenih izvedbi zaštitnih slojeva .....	131

4.2.3.	Poluaktivna toplinska zaštita od niskih temperatura složenim laminatnim konstrukcijama .....	136
4.2.4.	Pasivna toplinska zaštita hlađenjem odjevnog predmeta prirodnom ili prisilnom ventilacijom pri višim temperaturama .....	140
4.2.5.	Aktivna toplinska zaštita sa sustavima regulacije koja obuhvaća različite načine grijanja ili hlađenja unutrašnjosti odjevnog predmeta .....	147
<b>5.</b>	<b>INTELIGENTNI ODJEVNI PREDMET S ADAPTIVNIM TERMOIZOLACIJSKIM SVOJSTVIMA .....</b>	<b>161</b>
5.1.	AUTORSKO IDEJNO RJEŠENJE INTELIGENTNOG ODJEVNOG PREDMETA S AKTIVNOM TERMIČKOM ZAŠTITOM .....	159
5.2.	ODABIR MODELA ZA IZRADU VANJSKE ŠKOLJKE I PODSTAVE INTELIGENTNOG ODJEVNOG PREDMETA S AKTIVNOM TERMIČKOM ZAŠTITOM .....	159
5.3.	KONSTRUKCIJA VANJSKE ŠKOLJKE, PODSTAVE I TERMOIZOLACIJSKOG UMETKA	165
5.4.	SENZORI I MJERNI SUSTAVI ULAZNIH VARIJABLI INTELIGENTNOG ODJEVNOG PREDMETA .....	174
5.4.1.	Senzori tlaka u termoizolacijskim komorama .....	176
5.4.2.	Mjerno pojačalo senzora tlaka .....	177
5.4.3.	Senzori temperature prostora mikroklima i okoliša .....	180
5.5.	REZULTATI REALIZACIJE MJERNIH SUSTAVA .....	183
5.6.	REZULTATI REALIZACIJE MIKROKONTROLERSKOG SUSTAVA .....	188
5.7.	REZULTATI REALIZACIJE AKTUATORSKOG SUSTAVA .....	192
5.8.	REZULTATI OŽIČENJA I SABIRNICA .....	195
5.9.	REZULTATI REALIZACIJE SUSTAV NAPAJANJA .....	199
5.10.	REZULTATI REALIZACIJE KOMUNIKACIJE INTELIGENTNOG ODJEVNOG PREDMETA S AKTIVNOM TERMIČKOM ZAŠTITOM S NOSITELJEM I VANJSKIM RAČUNALOM.....	202
5.11.	PROGRAMSKA PODRŠKA .....	205
5.12.	INTEGRACIJA TEHNIČKIH PODSUSTAVA I REALIZACIJA INTELIGENTNOG ODJEVNOG PREDMETA .....	208
5.13.	ISTRAŽIVANJA FUNKCIONALNOG RADA INTELIGENTNOG ODJEVNOG PREDMETA S AKTIVNOM TERMIČKOM ZAŠTITOM .....	215
5.13.1.	Sustav za neovisna mjerenja temperature mikroklima i okoliša .....	215
5.13.2.	Sustav za neovisna mjerenja stanja aktuatora .....	218
5.13.3.	Računalni mjeriteljski sustav PMD-1208FS .....	220
5.13.4.	Integracija mjernog sustava neovisnog mjerenja temperature i stanja aktuatora .....	220
5.13.5.	Istraživanja funkcionalnog rada u automatskom i ručnom načinu rada inteligentnog odjevnog predmeta s aktivnom termičkom zaštitom .....	221

5.13.5.1.	<i>Istraživanja funkcionalnog rada u ručnom načinu rada .....</i>	222
5.13.5.2.	<i>Istraživanja funkcionalnog rada u automatskom načinu rada .....</i>	223
<b>6.</b>	<b>INTELIGENTNI ODJEVNI PREDMET S ADAPTIVNIM TERMOIZOLACIJSKIM SVOJSTVIMA .....</b>	<b>231</b>
6.1.	MJERNI UZORCI TERMOIZOLACIJSKIH KOMORA I ISPITIVANJA .....	238
6.1.1.	Odabir materijala za izradu termoizolacijskog umetka .....	238
6.1.2.	Mjerni uzorci termoizolacijskih komora u termoizolacijskom umetku .....	239
6.1.3.	Ispitivanja mjernih uzoraka termoizolacijskih komora i konstrukcija termoizolacijskih komora .....	242
6.2.	<b>VISOKOTEHNOLOŠKE METODE SPAJANJA INTELIGENTNE ODJEĆE S ADAPTIVNIM TERMOIZOLACIJSKIM SVOJSTVIMA.....</b>	<b>251</b>
6.2.1.	Tehnika ultrazvučnog spajanja.....	252
6.2.2.	Tehnika visokofrekvencijskog spajanja.....	257
6.2.3.	Tehnika toplotnog spajanja.....	260
6.2.4.	Ispitivanje zrakonepropusnosti i vodonepropusnosti spojeva inteligentnog odjevnog predmeta s adaptivnim termoizolacijskim svojstvima.....	263
<b>6.3.</b>	<b>ISPITIVANJE TOPLINSKIH SVOJSTAVA INTELIGENTNOG ODJEVNOG PREDMETA S ADAPTIVNIM TERMOIZOLACIJSKIM SVOJSTVIMA.....</b>	<b>264</b>
6.3.1.	Mjerni sustavi za ispitivanje toplinskih svojstava kompozita i odjeće.....	265
6.3.2.	Ispitivanje toplinskih svojstava inteligentnog odjevnog predmeta s adaptivnim termoizolacijskim svojstvima.....	287
	<b>LITERATURA .....</b>	<b>293</b>
	<b>KAZALO POJMOVA .....</b>	<b>307</b>
	<b>DODATAK 1: ZAŠTITA INTELAKTUALNOG VLASNIŠTVA .....</b>	<b>309</b>
	<b>DODATAK 2: NAGRADE I PRIZNANJA .....</b>	<b>359</b>
	<b>DODATAK 3: ZAVRŠNI ALGORITAM INTELIGENTNOG PONAŠANJA INTELIGENTNOG ODJEVNOG PREDMETA S AKTIVNOM TERMIČKOM ZAŠTITOM .....</b>	<b>383</b>