

Realizacija prototipa inteligentnog odjevnog predmeta s aktivnom termičkom zaštitom

Dr.sc. **Snježana Firšt Rogale**, dipl.ing.
 Prof.dr.sc. **Dubravko Rogale**, dipl.ing.
 Prof.dr.sc. **Zvonko Dragčević**, dipl.ing.
 Prof.dr.sc. **Gojko Nikolić**, dipl.ing.
 Tekstilno-tehnološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu
 Zavod za odjevnu tehnologiju
 Zagreb, Hrvatska
 e-mail: sfrogale@ttf.hr
 Prispjelo 02.08.2007.

UDK 687.1.016/073
 Izvorni znanstveni rad

U radu su prikazani ustroj, konstrukcija, eksperimentalni razvoj i rezultati djelovanja prvog prototipa inteligentnog odjevnog predmeta s aktivnom termičkom zaštitom koji je patentno zaštićen u zemlji i inozemstvu. Prikazani su rezultati utvrđene arhitekture takve vrste inteligentne odjeće, sustava senzora, mikrokontrolerskog sustava, aktuatora te racionalizacije energetskih resursa sustava napajanja. Također su prikazani rezultati integracije svih tehničkih podsustava u inteligentnom odjevnom predmetu s aktivnom termičkom zaštitom.

Ključne riječi: inteligentna odjeća, aktivna termička zaštita

1. Uvod

Prelaskom u treće tisućljeće započelo se govoriti o inteligentnoj odjeći koja bi po svojim obilježjima trebala daleko nadmašiti konvencionalnu odjeću. To bi se trebalo ostvariti ugradnjom minijaturnih elektroničkih komponenti, izrazito malih nanotehnoloških osjetila i izvršnih naprava, komunikacijskih elemenata i elektroničkih računala izravno u tekstilne materijale, odnosno u odjeću. Tako bi inteligentni odjevni predmet stalno motrio stanje okoliša i stanje svoga nositelja kako bi se mogao optimalno prilagođavati potrebama nositelja u skladu s uočenim promjenama okoliša. Na taj bi način suvremena inteligentna odjeća poprimila aktivni karakter s elementima umjetne inteligencije, za razliku od konvencionalne odjeće čiji je karakter poglavito pasivan.

Na sastanku tematske skupine eksperata **TEG 6** (Thematic Expert Group, TEG 6) **Smart Textiles & Clothing** u sklopu European Tech-

nology Platform for the Future of Textiles and Clothing u organizaciji EURATEX-a (The European Apparel and Textile Organisation) održanog 20. siječnja 2006. godine u Bruxellesu, 37 eksperata iz svih zemalja Europe prihvatilo je pojam i obilježja termina inteligentne odjeće u koju moraju biti ugrađene tri skupine uređaja:

- senzorska skupina za mjerenja i ulaz informacija koja prikuplja ulazne informacije,
- obradbeni jedinica za interpretaciju ulaznih informacija i donošenje odluka (mikroračunala, mikroprocesori ili mikrokontroleri s pripadajućim programima) i
- izlazne izvršne (aktuatorske jedinice) koje će izvoditi prilagodbu odjevnog predmeta i davati izlazne informacije.

Nakon što je skupina TEG 6 postavila opisanu klasifikaciju, na drugom sastanku održanom u Bruxellesu, 29. ožujka 2006. godine pri organizaciji Europske zajednice EURATEX u Bruxellesu zak-

ljučeno je da će središnje zanimanje biti istraživanje na području sljedeće nove funkcionalne klasifikacije [1,2]:

- senzori i mjerenja (tijela, okoliša, unutar tekstila),
- aktuatori,
- obrada i pohranjivanje podataka,
- energija napajanja sustava (generiranje, pohranjivanje, racionalna distribucija) i
- komunikacija (unutar tekstila ili tehničkih sustava ugrađenih u odjeću, s nositeljem tekstila ili odjeće, tekstil/odjeća – okoliš).

Ova razrađena klasifikacija i postavljeni ciljevi istraživanja utvrđeni na sastancima skupine TEG 6 potvrdili su na najbolji mogući način ispravnu koncepciju izvedenih i objavljenih istraživanja [3-12] i patentne zaštite inteligentnog odjevnog predmeta s aktivnom termičkom zaštitom kojeg je načinila skupina znanstvenika iz Zavođa za odjevnu tehnologiju Tekstilno-tehnološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

2. Temeljne postavke konsenzualnog patenta PK20030727

Do sada se u tehnici i tehnologiji proizvodnje odjeće nije koristila integracija elektroničkih komponenta kao temperaturnih osjetila na i/ili unutar odjevnog predmeta, pretvornika, mjernih pojačala, sklopova i regulacijskih sustava u odjeću s ciljem automatske toplinske zaštite. Autorskim idejnim rješenjem istraživačka autorska skupina Zavoda za odjevnu tehnologiju Tekstilno-tehnološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu u sastavu: **D. Rogale, S. Firšt Rogale, Z. Dragčević, G. Nikolić** i s vanjskim suradnikom **M. Bartošem**, odlučila je na temelju prikupljenih spoznaja i preliminarnih ispitivanja konstruirati inteligentni odjevni predmet s aktivnom termičkom zaštitom i time promijeniti stanje tehnike na tom području. U Državnom zavodu za intelektualno vlasništvo Republike Hrvatske 2003. godine predan je zahtjev za priznavanje patentnih prava. Naziv izuma je **Inteligentni odjevni predmet s aktivnom termičkom zaštitom** oznake **HR P20030727 A2**, sl.1 [13].

Najznačajniji patentni zahtjevi u navedenim patentnim prijavama bili su:

- Inteligentni odjevni predmet s aktivnom termičkom zaštitom **naznačen time** da ima više neovisno upravljivijih zračnih brtvenih komora, senzore temperature, senzore tlaka, minijaturni kompresor s pneumatskim elektroventilima i računalni ili mikrokontrolerski sustav.
- Inteligentni odjevni predmet s aktivnom termičkom zaštitom prema zahtjevu 1, **naznačen time** da ima ramenu zračnu brtvenu komoru, prsnu lijevu i desnu zračnu brtvenu komoru, leđnu zračnu brtvenu komoru i pojasnu zračnu brtvenu komoru koje, kada su napuhane, imaju brtvena svojstva koja ne dozvoljavaju cirkulaciju

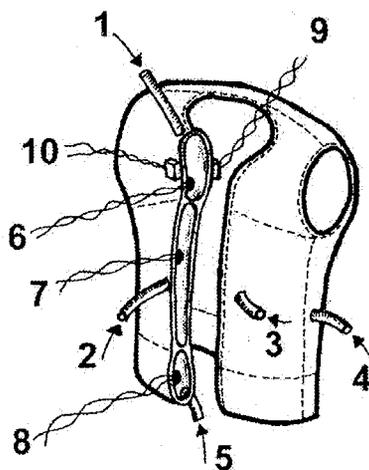
zraka iz prostora između tijela i odjevnog predmeta, a kada su zračne brtvene komore ispuhane, dozvoljavaju maksimalnu cirkulaciju zraka, tzv. efekt dimnjaka.

- Inteligentni odjevni predmet s aktivnom termičkom zaštitom

prema zahtjevu 1, **naznačen time** da se reguliraju debljine zračnih brtvenih komora, na način da se preko pneumatskih elektroventila pomoću minijaturnog kompresora upuhuje zrak u zračne brtvene komore dok se sensorima

- (51) MKP (10) **HR P20030727 A2**
A41D 13/005 (2006.01)
- (21) P20030727A (22) 11.09.2003.
(43) 30.04.2006.
- (54) **INTELIGENTNI ODJEVNI PREDMET S AKTIVNOM TERMIČKOM ZAŠTITOM**
INTELLIGENT ARTICLE OF CLOTHING WITH AN ACTIVE THERMAL PROTECTION
- (71)(72) Dubravko Rogale, Sutlanska 16, 10292 Šenkovec, HR
Snježana Firšt Rogale, Sutlanska 16, 10292 Šenkovec, HR
Zvonko Dragčević, Kunišćak 10b, 10000 Zagreb, HR
Gojko Nikolić, Jordanovac 119, 10000 Zagreb, HR

(57) Inteligentni odjevni predmet s aktivnom termičkom zaštitom ima brtvene komore s prigradenim cjevčicama kroz koje se može upuhivati stlačen zrak. Kroz cjevčicu (1) napuhava se ramena brtvena komora, kroz (2) lijeva, a kroz (3) desna prsna brtvena komora. Kroz cjevčicu (4) napuhava se leđna, a kroz (5) pojasna brtvena zračna komora. Svaka komora ima svoj senzor tlaka stlačenog zraka, ramena senzor (6), prsna (7) i pojasna (8). O tlaku zraka ovisi debljina brtvene komore i njezina brtvena svojstva. Stanje termodinamičkih parametara unutar odjevnog predmeta mjeri se senzorom (9), a okoliša senzorom (10). U ovisnosti o odnosima parametara unutar i izvan odjevnog predmeta donosi se odluka o debljini brtvenih komora, a time i o termoizolacijskim svojstvima odjevnog predmeta koja se postiže promjenama tlaka zraka u komorama. Neaktivirane komore omogućuju maksimalnu cirkulaciju zraka i hlađenje tijela, a aktivne komore onemogućuju cirkulaciju zraka i tzv. efekt dimnjaka. Dodatna termička svojstva mogu se postizati i različitim kombinacijama aktiviranih i neaktiviranih brtvenih komora na istom odjevnom predmetu.



Sl.1 Izvorna patentna prijava objavljena u Hrvatskom glasniku intelektualnog vlasništva od 30. 4. 2006.

tlaka, koji se nalaze po jedan u svakoj brtvenoj komori, ne izmjeri tlak koji odgovara postignutim brtvenim svojstvima zračnih brtvenih komora ili kad treba smanjiti izolacijska svojstva ispuhuje zračne brtvene komore.

- Inteligentni odjevni predmet s aktivnom termičkom zaštitom prema zahtjevu 1, **naznačen time** da sadrži senzore i sustav za mjerenja temperature okoliša i temperature između tijela i odjeće, kako bi na temelju odnosa izmjerenih temperatura računalni ili mikrokontrolerski sustav donosio odluke o potrebi napuhivanja ili ispuhivanja zračnih brtvenih komora u cilju onemogućavanja ili ostvarenja optimalne cirkulacije zraka s pomoću aktiviranja različitih kombinacija zračnih brtvenih komora, čime se postiže aktivna termička zaštita.

Upućen je zahtjev za svjetsko priznavanje patenta u WIPO, pod istim nazivom i s istim izumiteljima 2004. godine [14], a na temelju patentne prijave 12. lipnja 2007. dobivena je isprava o konsenzualnom patentu, sl.2.

2.1. Senzori i mjerni sustavi ulaznih varijabli inteligentnog odjevnog predmeta

Inteligentni odjevni predmet s termičkom zaštitom mora imati **senzore ulaznih varijabli** kako bi posjedovao informacije o stanju u svom okolišu i prostoru mikroklimi između inteligentnog odjevnog predmeta i ljudskog tijela, kao i informacije o tlakovima u termoizolacijskim komorama. To se u slučaju patentno zaštićenog inteligentnog odjevnog predmeta s aktivnom termičkom zaštitom odnosi na sljedećih pet ulaznih varijabli:

- temperatura okoliša inteligentnog odjevnog predmeta s aktivnom termičkom zaštitom (tzv. vanjska temperatura ili ambijentalna temperatura okoliša) - t_{out} ,
- temperatura unutar inteligentnog odjevnog predmeta s aktivnom



Sl.2 Isprava o konsenzualnom patentu

termičkom zaštitom (tzv. unutarnja temperatura ili temperatura mikroklimi) - t_m ,

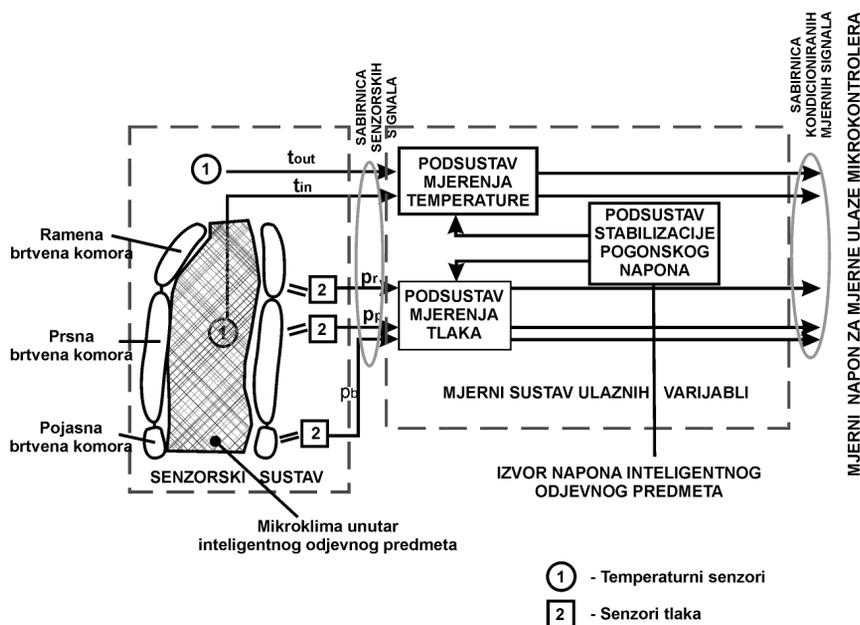
- tlak ramene termoizolacijske komore - p_r ,
- tlak prsne termoizolacijske komore - p_p ,
- tlak pojasne termoizolacijske komore - p_b .

Inteligentni odjevni predmet s aktivnom termičkom zaštitom koji je eksperimentalno konstruiran ima, u skladu s prikazom ulaznih varijabli, pet senzora: dva senzora temperature i tri senzora tlaka, prema prikazu na sl.3.

U skladu s prikazom na sl.3 mjerni sustav ulaznih varijabli sastoji se od:

- podsustava mjerenja tlaka,
- senzora tlaka u termoizolacijskim komorama,
- mjernog pojačala senzora tlaka,
- podsustava mjerenja temperature,
- senzora temperature prostora mikroklimi odjeće i okoliša i
- podsustava stabilizacije pogonskog napona.

Kondicionirani i pojačani mjerni naponi ulaznih varijabli temperatura okoliša i mikroklimi inteligent-



Sl.3 Prikaz senzorskog i mjernog sustava ulaznih varijabli inteligentnog odjevnog predmeta

nog odjevnog predmeta, te tlakova zračnih termoizolacijskih komora vode se putem **mjerne sabirnice** na mjerne ulaze mikrokontrolera. Pod-sustav stabilizacije pogonskog napona, potrebnog za rad mjernog sustava ulaznih varijabli, ujedno se koristi i za napajanje mikrokontrolerskog sklopa.

2.1.1. Senzori tlaka u termoizolacijskim komorama

Za mjerenja tlaka u termoizolacijskim komorama korišten je pretvornik tlaka tvrtke RS Computers, SAD, oznake RS235-5784. Pretvornik je razmjerno malih dimenzija i dobrih karakteristika, što je omogućilo uspješnu integraciju pretvornika u inteligentni odjevni predmet. Pretvornik ima dva ulaza za mjerenje tlaka, tako da može mjeriti razlike tlakova (diferencijalni manometar) ili apsolutnu vrijednost tlaka.

Ovaj pretvornik tlaka može mjeriti tlakove do 1 PSI, odnosno do 68,95 mbara [15]. Dozvoljava dvadesetostruko preopterećenje do približno 1,4 bara. Senzor tlaka u pretvorniku je tanka dijafragma koja se deformira pri porastu tlaka. Na njoj su

pričvršćena četiri piezorezistivna otpornika koji mijenjaju svoj električni otpor u skladu s deformacijom dijafragme. Piezorezistivni otpornici povezani su u Wheatstonov most.

U provedenim eksperimentima, zbog sniženog napona napajanja, postignuta je osjetljivost od 0,327 mV/mbar, odnosno najviši izlazni napon iz mjernog mosta od 22,55 mV, pri najvišem priključenom tlaku na mjerni pretvornik.

Opisani izlazni naponi iz mjernog pretvornika su preniski za mjerenja mikrokontrolerom, stoga je konstruirano i umjereno mjerno pojačalo signala koje pojačava mjerni signal približno 200 puta.

2.1.2. Mjerno pojačalo senzora tlaka

Potreba izvora napajanja operacijskih pojačala predstavljala je posebno zahtjevan problem s obzirom na to da u razvoju inteligentnog odjevnog predmeta s aktivnom termičkom zaštitom treba koristiti što manji i lakši izvor električne energije što većeg kapaciteta. Dogradnja još jednog naponskog izvora negativnog polariteta, značajno bi

poskupila i otežala razvoj i konstrukciju, a kasnije i uporabu inteligentnog odjevnog predmeta s aktivnom termičkom zaštitom.

Zbog toga se prišlo razvoju mjernog pojačala s jednim pozitivnim izvorom napajanja pri čemu se koristio isti baterijski izvor koji je napajao i podsustav mjerenja temperature, sustav mikrokontrolera i mikro-pneumatskog aktuatorskog sustava. Tako je odabran integrirani krug LM224N sa četiri operacijska pojačala koja proizvode ugledni proizvođači poluvodičkih elemenata National Semiconductor, Motorola i Philips [16].

2.1.3. Senzori temperature prostora mikroklima odjeće i okoliša

Inteligentni odjevni predmet s aktivnom termičkom zaštitom je, prema postavljenom planu eksperimenta, zamišljen tako da može izmjeriti dva važna temperaturna parametra: vanjsku temperaturu (ili temperaturu okoliša) i temperaturu mikroklima unutar odjevnog predmeta. Za mjerenja temperature odabran je mjerni pretvornik III generacije digitalne obrade mjernih podataka oznake DS18B20 tvrtke Dallas Maxim Semiconductors, SAD [17].

Točnost mu je bolja od 0,2 °C, a mjerno područje mu je od -55 do +125 °C. Ima ugrađen A/D pretvornik čija se rezolucija može postaviti na 9 do 12 bitovnu rezoluciju, ovisno o korisnikovim potrebama. Svaki pretvornik temperature DS18B20 ima jedinstvenu i nepromjenjivu oznaku ugrađenu u 64 bitovni serijski broj u ROM memoriji pretvornika koji služi kao adresna oznaka na sabirnici na koju može biti priključen praktički neograničeni broj mjernih pretvornika, svaki sa svojom adresom. Svi oni mogu biti spojeni na sabirnicu koju sačinjava samo jedan podatkovni vodič i masu (tzv. "1-Wire bus"). Napajanje pretvornika se može izvesti iz 3 do 5,5 V lokalnog izvora istosmjernog napona ili preko podatkovnog vodiča (tzv. "par-

asite power”). Pretvorba temperaturnih podataka u najvišoj rezoluciji 12 bitovne digitalne riječi traje najviše 750 ms, a 9 bitovne (najniže rezolucije) oko 94 ms.

Potrošnja električne energije temperaturnog pretvornika DS18B20 je u stanju mirovanja oko 0,75 μ A, a u aktivnom stanju oko 1 mA.

Pretvornik ima tri vanjska priključka: za serijski ulaz i izlaz podataka preko jednožične sabirnice, za spajanje negativnog priključka naponskog napajackog izvora i za spajanje pozitivnog priključka naponskog napajackog izvora.

Unutar pretvornika se nalazi više sklopova: za načine napajanja preko lokalnog izvora ili na parazitski način preko podatkovne sabirnice, ROM memorija s adresnim podacima, podatkovni sklop, radna RAM i EEPROM memorija, temperaturni senzor, alarmni sklopovi za preniske i previsoke temperature i 8 bitovni CRC (Cyclic Redundancy Check) generator za provjeru točnosti upisa ili ispisa.

Zbog potpuno digitalne arhitekture mjernog senzora temperature, za njega nije bilo potrebno konstruirati i ugrađivati analogna pojačala mjernih signala kao što je to slučaj kod analognih senzora tlaka.

2.2. Mikrokontrolerski sustav

Radom inteligentnog odjevnog predmeta s aktivnom termičkom zaštitom upravljaju dva mikrokontrolera. Većinu funkcija, uključujući izvođenje algoritma inteligentnog ponašanja, obavlja vrlo snažan mikrokontroler tvrtke Microchip, SAD, oznake PIC 16F877, a zadaće racionalnog gospodarenja električnom energijom obavlja nešto manji mikrokontroler iste tvrtke, oznake PIC 16F628 [18].

Mikrokontroler PIC 16F877 ima 40 priključaka na kućištu u kojem je smještena snažna centralna procesna jedinica RISC arhitekture (arhitekturom sa smanjenim setom instrukcija – Reduced Instruction Set Computer) tako da može pre-

poznati i izvršiti 35 različitih računalnih instrukcija potrebnih za izvođenje pohranjenih programa. Brzina rada mu se može podešavati promjenom upravljačke frekvencije koja može iznositi do 20 MHz. U isto kućište ugrađena je FLASH programska memorija kapaciteta 8 kB, podatkovna RAM memorija kapaciteta 368 x 8 bajta i EEPROM podatkovna memorija kapaciteta 256 x 8 bajta. Zahtjevi za obradu mogu biti upućeni sa čak 14 mogućih izvora, ima mogućnost rada u tzv. sleep modu, odnosno stanju mirovanja sa smanjenim utroškom električne energije. Može raditi s naponima napajanja od 2 do 5,5 V, a izlazne struje na pojedinim priključcima mu mogu dosezati i do 25 mA. Tipična potrošnja mu je 0,6 mA pri napajanju s 3 V pri radnom taktu od 4 MHz. Ukoliko se radna frekvencija smanji na 32 kHz, pri istom naponu napajanja troši samo 20 μ A struje. U sleep modu potrošnja mu je manja od 1 μ A.

Opisani mikrokontroler ima ugrađena tri timera, dva komparatora, višekanalne analogno-digitalne pretvornike s 10-bitnom rezolucijom te mogućnosti serijske i paralelne komunikacije sa svojim okolišem.

Manji mikrokontroler, zadužen za racionalni utrošak električne energije smješten je u kućište s 20 izvoda u koje je ugrađena RISC procesna jedinica, programska i podatkovna memorija. Programska FLASH memorija ima kapacitet od 2 kbajta, RAM podatkovna memorija od 224 x 8 bajta, a podatkovna EEPROM 128 x 8 bajta. Radna frekvencija mu također može dosezati do 20

MHz. U kućištu su također ugrađeni dva analogna komparatora i jedan izvor referentnog napona te komunikacijski sklop. Potrošnja mikrokontrolera je manja od 2 mA pri naponu napajanja od 5 V i radnoj frekvenciji od 4 MHz. Pri smanjenoj radnoj frekvenciji od 32 kHz troši oko 15 μ A, da bi mu u sleep modu struja mirovanja iznosila manje od 1 μ A. Prepoznaje i izvodi također 35 programskih instrukcija.

2.3. Aktuatorski sustav

Aktuatorski sustav se temelji na primjeni elemenata mikropneumatike. Temeljni elementi sustava su mikrokompresor za dobavu stlačenog zraka, elektromagnetski ventili za upuhivanje zraka u termoizolacijske komore, elektromagnetski ventili za ispuhivanje zraka iz termoizolacijskih komora, savitljive cijevi za provođenje stlačenog zraka, kao i L i T utični spojevi te dvodijelni priključni konični elementi.

Za dobivanje stlačenog zraka služi mikrokompresor tvrtke Clark, SAD, oznake DR-4X2PN dimenzija 25x50x66 mm, mase 197 g, sl.4. Mikrokompresor radi na načelu dijafragme načinjene od neoprena i napaja se istosmjernim naponom od 9 do 14 V pri čemu troši 200 mA struje. Maksimalni radni tlak mikrokompresora može iznositi 0,75 bara. Navedeni mikrokompresor može raditi u bilo kojoj poziciji, a kapacitet dobave stlačenog zraka je 4,5 l/min. Svi pokretni dijelovi mikrokompresora smješteni su unutar zaštićenog kućišta, tako da ne mogu oštetiti okoliš u koji se mikrokompresor montira [19].

Za aktiviranje postupka upuhivanja stlačenog zraka u termoizolacijske komore služe elektromagnetski ventili tvrtke FESTO GmbH, serije Micro-Pneumatic, oznake MZH-3-M3-L-LED, sl.5.

Temeljna obilježja navedenoga elektromagnetskog pneumatskog ventila su prije svega njegove male dimenzije, pogodne za ugradnju u odjevni predmet. Širina elektromagnetskih ventila je samo 10 mm,



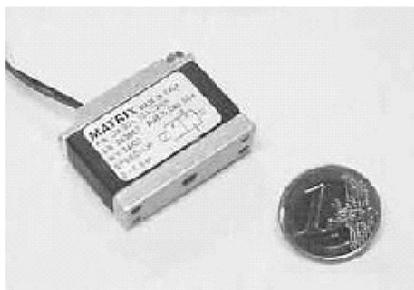
Sl.4 Mikrokompresor oznake DR-4X2PN, tvrtke Clark



Sl.5 Elektromagnetski ventil oznake MZH-3-M3-L-LED, tvrtke FES-TO

priključni napon mu je istosmjerni, vrijednosti 24 V. Omogućava najveći protok stlačenog zraka do 80 l/min, aktivira se električnim putem s mogućnošću ručnog, pomoćnog aktiviranja. Ima ugrađenu mini-jaturnu LED-diodu koja indicira aktivirano stanje elektromagnetskih ventila. Može raditi pri temperaturama od -5 do 50 °C, a vrijeme aktiviranja mu je 13 ms [20].

Za ispuštanje zraka iz aktiviranih termoizolacijskih komora koriste se elektromagnetski ventili tvrtke Matrix, SAD, oznake Matrix 821 2/2 NC, sl.6. Ova vrsta elektromagnetskih ventila je izabrana zbog vrlo malih dimenzija i mase, a vrlo velike protočnosti zraka. Masa elektromagnetskih ventila je 25 g, protok zraka 180 l/min, a vrijeme aktiviranja samo 1 ms [21]. U aktuator-ski sustav povezane su i termoizolacijske komore s pretvornicima tlaka, a njihovi opisi prikazani su u poglavlju 2.1.1. ovoga rada.



Sl.6 Elektromagnetski ventil oznake 821 2/2 NC, tvrtke Matrix

2.4. Sustav napajanja

Za električno napajanje senzora, mikrokontrolerskog sustava i aktuatora koristi se slog punjivih NiCd baterija ukupnog napona od 24 V. Slog baterija sastoji se od pet skupina baterijskih paketa sastavljenih od po četiri punjive NiCd baterije napona 1,2 V i kapaciteta 1200 mAh. Tako je i ukupni kapacitet baterije također 1200 mAh. Predviđeno je da stanje napunjenosti baterija povremeno prati mikrokontroler rutinom za dijagnostiku napunjenosti, a rezultate mjerenja ispisuje na displeju. Radi racionalnoga korištenja baterijskih resursa u inteligentnom odjevnom predmetu s aktivnom termičkom zaštitom, predviđeno je slijedno upravljanje aktuatorskim sustavom, gdje je u određenom vremenu aktivnog rada odjevnog predmeta istodobno uključen minimalan broj elemenata aktuatorskog sustava koji predstavljaju trošila sustavu napajanja. Programaska podrška je zamišljena na način da se slijedno aktiviraju elektromagnetski ventili za napuhivanje komora, a isto tako i za ispuhivanje, tako da ni u jednom trenutku u sustavu nije aktivno više od jednog ventila i mikrokompresora [8].

Kao druga mjera za racionalno korištenje resursa sustava napajanja razvijen je poseban sustav aktiviranja i napajanja aktuatora u sustavu. Zamišljeno je da se sva trošila u prvoj fazi aktivacije pokreću svojim punim radnim naponom i početnim strujama tijekom vremenskog intervala od nekoliko desetaka ms, a da se nakon pokretanja u drugoj fazi aktivacije koristi tzv. PWM (Pulse Width Modulation) napajanja. Time bi se značajno uštedjeli resursi sustava napajanja.

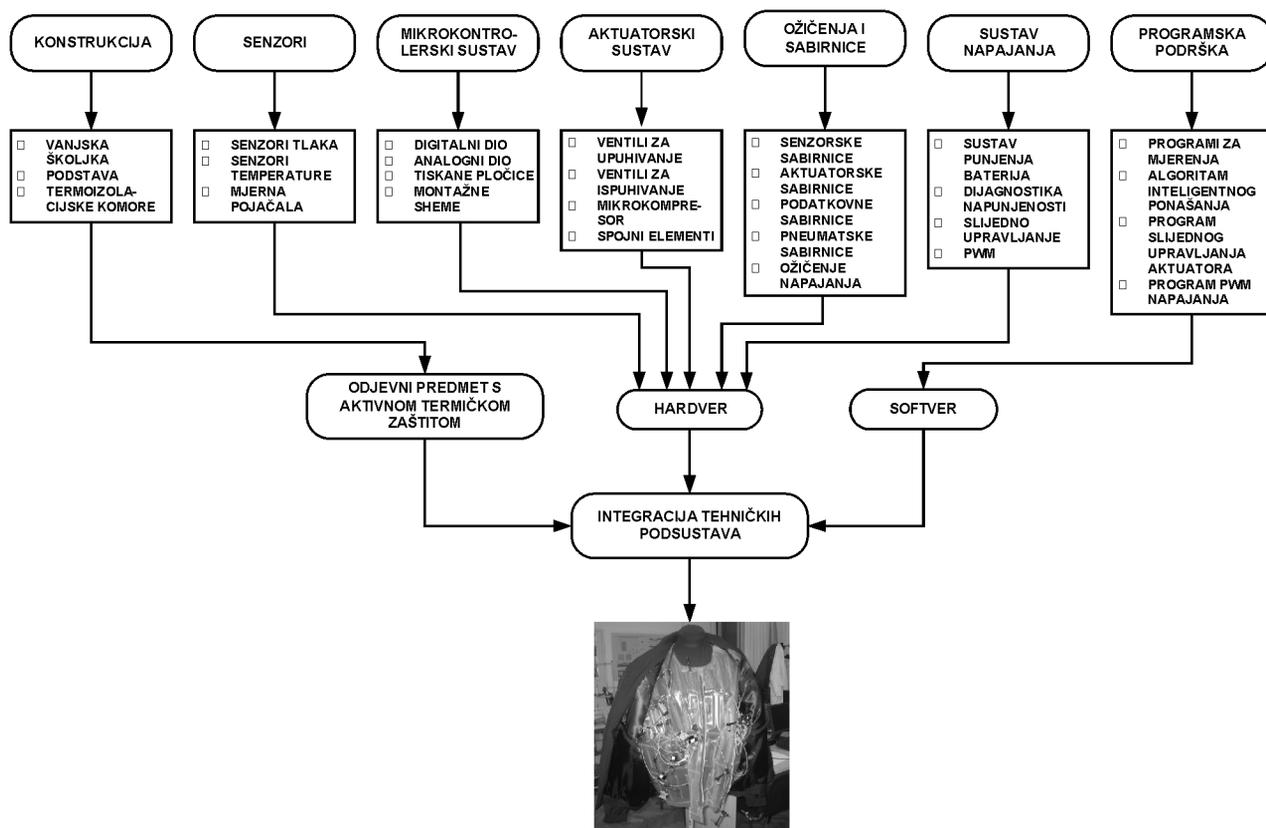
3. Eksperimentalni rad i rezultati

Rad na razradi cjelokupne arhitekture i funkcionalnom djelovanju inteligentnog odjevnog predmeta s aktivnom termičkom zaštitom započeo je krajem 2001. godine, kada

je skupina istraživača iz Zavoda za odjevnu tehnologiju Tekstilno-tehnološkog fakulteta u Zagrebu donijela odluku o novom pravcu istraživanja. Od tada je započelo pretraživanje literature i praćenje stanja razvoja znanosti u tom području. Isto tako, nakon izvedenog istraživanja objavljenih radova započelo se i s pretraživanjem stanja patentne zaštite vezane uz odjevne predmete u koje su ugrađivani različiti tehnički sustavi. Nakon opsežnih analiza i preliminarnih pokusa, u rujnu 2003. godine prijavljen je prvi patent u kojem se zaštićuje originalno autorsko rješenje inteligentnog odjevnog predmeta s aktivnom termičkom zaštitom, opisano u prethodnim točkama ovoga rada.

Za praktičnu realizaciju inteligentnog odjevnog predmeta s aktivnom termičkom zaštitom, prema vlastitoj patentnoj prijavi HR P20030727A postala je razvidna cjelovita arhitektura inteligentnog odjevnog predmeta s aktivnom termičkom zaštitom, koja se sastoji od sljedećih tehničkih podsustava, sl.7:

- sustav vanjske školjke programirljive debljine s vanjskim i unutarnjim zaštitnim slojem tkanine,
- sustav termoizolacijskih komora s mogućnošću upravljanja kondukcijom i konvekcijom tjelesne topline,
- senzori i mjerni sustavi ulaznih varijabli (podsustavi mjerenja temperature okoliša i mikroklima odjevnog predmeta i mjerenja tlaka u termoizolacijskim komorama),
- mikrokontroler - mjerni i upravljački sustav inteligentnog odjevnog predmeta,
- aktuatorski sustav inteligentnog odjevnog predmeta s aktivnom termičkom zaštitom s elementima mikropneumatike za upravljanje izlaznim varijablama,
- sustav napajanja i
- mjerni i upravljački program mikrokontrolera s algoritmom in-



Sl.7 Arhitektura inteligentnog odjevnog predmeta s aktivnom termičkom zaštitom

teligentnog ponašanja odjevnog predmeta.

Na temelju utvrđene arhitekture i tehničkih podsustava utvrđena je struktura daljnjih istraživanja usmjerenih praktičkoj realizaciji inteligentnog odjevnog predmeta s aktivnom termičkom zaštitom kojoj je bila prilagođena struktura eksperimentalnog rada i utvrđivanje rezultata u ovom radu.

Za izradu vanjske školjke i podstave inteligentnog odjevnog predmeta s aktivnom termičkom zaštitom odabran je model muške sportske jakne, sl.8, za čiju je konstrukciju i modeliranje napravljena posebna konstrukcija temeljnog kroja, koja je prihvatljiva za sve modele od kojih se traži udobnost nošenja i sloboda pokreta.

Kako bi se, radi ugradnje termoizolacijskih komora, izvela modifikacija osnovnog kroja modela muške jakne, konstruirala se vanjska školjka i podstava inteligentnog odjevnog predmeta s aktivnom ter-

mičkom zaštitom, kod konstrukcije termoizolacijskih komora utvrdila se funkcijska ovisnost debljina uzoraka termoizolacijskih komora pri maksimalno dozvoljenom tlaku od 50 mbara te promjene dimenzija uzorka po širini i duljini.

Nadalje, pristupilo se odabiru materijala za izradu termoizolacijskih komora i istraživanjima najpovoljnijih metoda spajanja tih materijala u cilju izrade zrakonepropusnih spojeva (šavova). Susretljivošću tvrtke Bayer Epurex Films GmbH iz Njemačke, za izradu termoizolacijskih komora za istraživanje je ustupljeno nekoliko vrsta visokoelastičnih folija. Sve vrste folija podvrgnute su ekstremnim opterećenjima i tlakovima, a najbolje rezultate pokazala je visokoelastična poliuretanska folija oznake Walopur 4201AU, debljine 0,15 mm, površinske mase 181,98 g/m², gustoće materijala od 1,15 g/cm³, točke omekšavanja 140-150 °C i vrlo visoko prekidno istezanje od 550%



Sl.8 Vanjska školjka inteligentnog odjevnog predmeta s aktivnom termičkom zaštitom

[22]. Osim toga, materijal ima visoku UV postojanost, hidrolitičku postojanost, dobra svojstva spajanja toplinskim i ultrazvučnim metodama te dobru mikrobiološku otpornost, važnu za ugradnju u odjeću.

Spajanje mjernih uzoraka termoizolacijskih komora izvedeno je ultrazvučnim strojem tvrtke Pfaff GmbH, oznake Seamsonic 8310-003 za spajanje folija načinjenih od umjetnih polimera. Polimerne materijale spaja ultrazvučnom sonotrodom koja radi na frekvenciji od 35 kHz, a ultrazvučne vibracije prenosi na rotirajući disk od slitine aluminija i titana, promjera 105 mm i širine u rasponu od 2 do 10 mm. Brzina spajanja može iznositi od 0,1 do 13,6 m/min. Debljina spojenog kompozita materijala mora biti u rasponu od 50 μm do 2 mm. Raspon između sonotrode i protuvaljka može se mijenjati s točnošću od 20 μm uz silu spajanja od 0 do 800 N. Stroj je opremljen procesnim mikroracionalom koje izračunava i podešava kontinuiranu gustoću ultrazvučne energije spajanja pri nejednolikim brzinama spajanja čime se postiže vizualna jednoličnost spajanja i čvrstoća ultrazvučnog spoja [23]. Parametri spajanja dvaju slojeva folije oznake Walopor 4201AU su: raspon između sonotrode i protuvaljka 0,31 mm, sile spajanja od 300 W te brzine spajanja od 0,43 m/min. Ispitivanje zrakopropusnosti spojeva izvedeno je pomoću uređaja za ispitivanje zrakopropusnosti tvrtke Pfaff, sl.9, te je ustanovljeno da su i nakon 24 h pri konstantnom tlaku od 0,36 bara uzorci i spojevi zračno nepropusni.



Sl.9 Uređaj za ispitivanje zrakopropusnosti šavova tvrtke Pfaff

3.1. Istraživanja konstrukcijskih obilježja termoizolacijskih komora

Istraživanja na mjernim uzorcima termoizolacijskih komora izvodila su se s ciljem da se utvrdi zakonitost promjena dimenzija termoizolacijskih komora kada se nalaze u napuhanom stanju. Mjerenja su se izvodila na osam različitih mjernih uzoraka termoizolacijskih komora. Zbirni rezultati ispitivanja konstrukcijskih karakteristika termoizolacijskih komora u ispuhanom stanju i napuhanima na tlak od 50 mbara prikazani su u tab.1.

Tijekom provedbe ispitivanja mjernih uzoraka izvođena su mjerenja duljina i širina mjernih uzoraka termoizolacijskih komora u ispuhanom i napuhanom stanju i visine termoizolacijskih komora u napuhanom stanju pri tlaku od 50 mbara. Na temelju izmjerenih podataka izračunavani su faktori ispune (f_i), koeficijenti kontrakcije duljina mjernih uzoraka u napuhanom stanju (K_d) i koeficijenti kontrakcije širine (K_s) mjernih uzoraka u napuhanom stanju [8].

Faktor ispune (f_i) predstavlja omjer visine termoizolacijske komore u

napuhanom stanju pri tlaku od 50 mbara (h_k) i koraka komore termoizolacijskih komora (K_k):

$$f_i = \frac{h_k}{K_k} \quad (1)$$

Koeficijent kontrakcije duljina mjernog uzorka u napuhanom stanju (K_d) definiran je kao omjer duljine uzorka u nenapuhanom stanju (l_{ui}) i napuhanom stanju (l_{un}) pri tlaku od 50 mbara:

$$K_d = \frac{l_{un}}{l_{ui}} \quad (2)$$

Koeficijent kontrakcije širine mjernog uzorka u napuhanom stanju (K_s) definiran je kao omjer širine uzorka u nenapuhanom stanju (\check{s}_{ui}) i napuhanom stanju (\check{s}_{un}) pri tlaku od 50 mbara:

$$K_s = \frac{\check{s}_{un}}{\check{s}_{ui}} \quad (3)$$

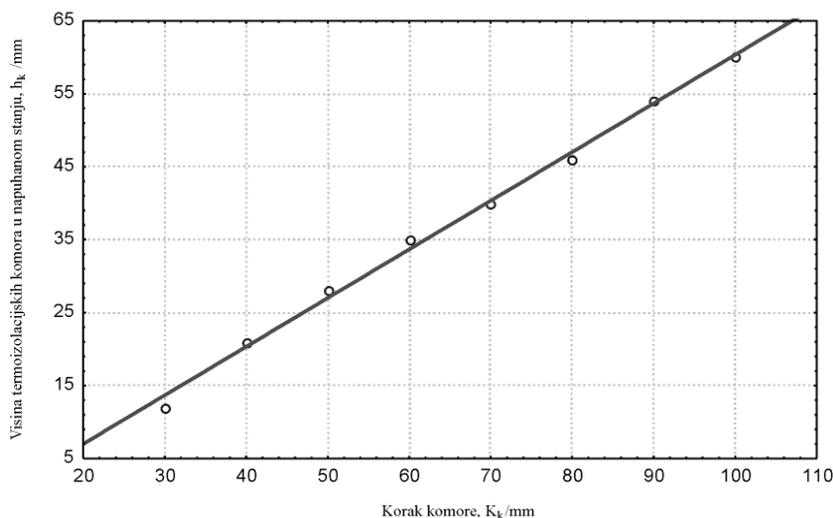
Na sl.10 prikazana je grafička ovisnost visina termoizolacijskih komora u napuhanom stanju (h_k) pri tlaku od 50 mbara o koracima komora (K_k).

Provedenom regresijskom analizom utvrđeno je da vrijednost visi-

Tab.1 Zbirni rezultati ispitivanja karakteristika termoizolacijskih komora

Oznaka uzorka	h_k (mm)	f_i	l_{ui} (mm)	l_{un} (mm)	K_d	\check{s}_{ui} (mm)	\check{s}_{un} (mm)	K_s
1	12	0,400	944	776	0,822	436	405	0,929
2	21	0,525	944	716	0,758	443	421	0,950
3	28	0,560	889	662	0,745	437	414	0,947
4	35	0,583	943	687	0,729	439	426	0,970
5	40	0,571	966	693	0,717	435	419	0,963
6	46	0,575	945	668	0,707	437	420	0,961
7	54	0,600	887	610	0,688	438	416	0,950
8	60	0,600	885	609	0,688	436	413	0,947

h_k - visina komore u napuhanom stanju, f_i - faktor ispune, l_{un} - duljina uzorka u napuhanom stanju, K_d - koeficijent kontrakcije duljina mjernih uzoraka u napuhanom stanju, \check{s}_{un} - širina uzorka u napuhanom stanju, K_s - koeficijent kontrakcije širine mjernih uzoraka u napuhanom stanju



Sl. 10 Ovisnost visina termoizolacijskih komora u napuhanom stanju (h_k) pri tlaku od 50 mbar o koracima komora (K_k)

na napuhanih termoizolacijskih komora (h_k) u ovisnosti o koracima komora (K_k) funkcijsku ovisnost određenu izrazom:

$$h_k = 0,667 \cdot K_k - 6,333 \quad (4)$$

Ukoliko je zadana visina termoizolacijske komore u napuhanom stanju (h_k) o kojoj će ovisiti termoizolacijska svojstva, tada je potrební korak komore (K_k):

$$K_k = \frac{h_k + 6,333}{0,667} \quad (5)$$

Provedenom regresijskom analizom utvrđen je matematički izraz za izračunavanje koeficijenta kontrakcije duljine mjernog uzorka u napuhanom stanju (K_d) ukoliko je poznat korak termoizolacijske komore (K_k):

$$K_d = 0,841 - 0,002 \cdot K_k \quad (6)$$

Provedenom regresijskom analizom utvrđen je matematički izraz za izračunavanje koeficijenta kontrakcije širine mjernog uzorka u napuhanom stanju (K_s) ukoliko je poznat korak termoizolacijske komore (K_k):

$$K_s = 0,94 + 0,0001917 \cdot K_k \quad (7)$$

Istraživanje zakonitosti promjene dimenzijskih karakteristika termoizolacijskih komora su osnova

za dizajn i projektiranje vanjske školjke i prihvatljiv estetski izgled odjevnog predmeta.

3.2. Realizacija konstrukcije mjernog sustava

Mjerno pojačalo signala tlaka u termoizolacijskim komorama realizirano je s četiri operacijska pojačala smještena u jednom integriranom krugu oznake LM224, proizvođača National Semiconductor.

Izvedeno mjerno pojačalo napaja se stabiliziranim istosmjernim naponom od 5 V. Mjerno pojačalo ima četiri mjerna kanala AN0 do AN3, na koje se priključuju mjerni mostovi senzora tlaka. Kratkospojnici JP3 do JP6 služe za odabir grane mjernog mosta na kojoj će se izvoditi kompenzacija razdešenja mjernog mosta. Kompenzacija razdešenja izvodi se trimer potencimetrima R17, R19, R20 i R21. Vrijednost pojačanja svakog mjernog kanala može se namjestiti pomoću trimer potencimetara R16, R18, R23 i R22. Izlazni signali iz mjernog pojačala dovode se na priključnicu JP1, a odatle se odvođe na mikrokontrolersku pločicu.

Za razliku od senzora tlaka, koji su se morali spojiti na posebno mjerno pojačalo, senzori temperature mogu se izravno priključiti na

mikrokontroler putem konektora. Na jedan konektor spojen je senzor temperature DS18B20, tvrtke Dallas Maxim Semiconductors, SAD, koji mjeri temperature mikroklimе unutar inteligentnog odjevnog predmeta s aktivnom termičkom zaštitom, a na drugi konektor priključuje se jednaki senzor koji mjeri temperaturu okoliša. Senzori su spojeni na stabilizirani izvor napona vrijednosti 5 V. Tranzistori oznake BC547 služe za aktivaciju njihovoga rada, odnosno za inicijaciju početka postupka mjerenja temperature. Inicijacija se obavlja preko priključnih nožica mikrokontrolera PIC16F877P za mjerenje temperature mikroklimе, odnosno temperature okoliša.

Potom slijedi serijski prijenos podataka o vrijednosti temperature iz senzora mikroklimе. Kada mikrokontroler aktivira senzor mjerenja temperature okoliša slijedi serijski prijenos podataka s toga senzora u unutrašnjost mikrokontrolera.

Iz utvrđenih rezultata provedenog eksperimentiranja najpogodnijim vrstama senzora za realizaciju inteligentnog odjevnog predmeta s aktivnom termičkom zaštitom, vidljivo je da analogni senzori tlaka traže složene mehaničke i električke izvedbe s posebnim pojačalima mjernih signala, a da su digitalni senzori vrlo jednostavni s aspekta ožičenja i pratećih elektroničkih komponenti.

S druge strane, programiranje mikrokontrolera s aspekta prihvata podataka s analognih senzora je jednostavnije, a s digitalnih složenije.

3.3. Realizacija aktuatorskog sustava

Rad inteligentnog odjevnog predmeta s aktivnom termičkom zaštitom temelji se na aktiviranju termoizolacijskih komora u koje se upuhuje komprimirani zrak najvišeg tlaka do 50 mbara. Postoje tri skupine termoizolacijskih komora koje se aktiviraju u različitim kombinacijama, ostvarujući različite

učinke termičke zaštite odjevnog predmeta. Zbog toga je kao aktuatorski sustav u inteligentnom odjevnom predmetu s aktivnom termičkom zaštitom izabran sustav temeljen na elementima mikropneumatike. Sustav koji je pokazao najpovoljnije rezultate u radu inteligentnog odjevnog predmeta s aktivnom termičkom zaštitom prikazan je na sl.11.

Osnovni element sustava zadužen za dobavu komprimiranog zraka je mikrokompresor tvrtke Clark, SAD, oznake DR-4X2PN, oznake 1 na sl.11. Komprimirani zrak se putem pneumatskih cjevčica tvrtke Festo GmbH, oznake PUN-4x0,75-BL i pomoću L i T utičnih spojeva oznake QSLM-1/8-4-100 i QSMT-4 dovodi do elektromagnetskih ventila 3, 4 i 5, koji ga upuhuju u termoizolacijske komore 6, 7 i 8. Na taj način elektroventil 3 nakon svoje aktivacije putem aktuatorske sabirnice AS, sl.11, omogućuje protok komprimiranog zraka u ramenu termoizolacijsku komoru 6. Na sličan način elektroventil 4 omogućuje napuhavanje prsne termoizolacijske komore 7, a elektroventil 5 pojasne termoizolacijske komore 8. Na termoizolacijske komore priključeni su i senzori tlaka u termoizolacijskim komorama tvrtke RS Computers, SAD, oznake RS 235-5784. Signali sa senzora tlaka odvođe se na senzorsku sabirnicu SS, zatim do pojačala mjernih signala, a potom i do mikrokontrolerskog sustava. Punjenje određene termoizolacijske komore komprimiranim zrakom izvodi se nakon odluke utvrđene izvođenjem na temelju algoritma inteligentnog ponašanja. Tada mikrokontroler uključuje mikrokompresor 1 i istodobno s njime jedan od tri elektroventila za upuhivanje zraka 3, 4 ili 5 pripadajuće termoizolacijske komore 6, 7 ili 8. Tijekom rada mikrokompresora i određenog elektroventila senzor tlaka stalno mjeri vrijednost tlaka u pripadajućoj termoizolacijskoj komori. Mikrokontroler stalno prati vrijednost tog tlaka pa kada je dosegnuta vrijed-

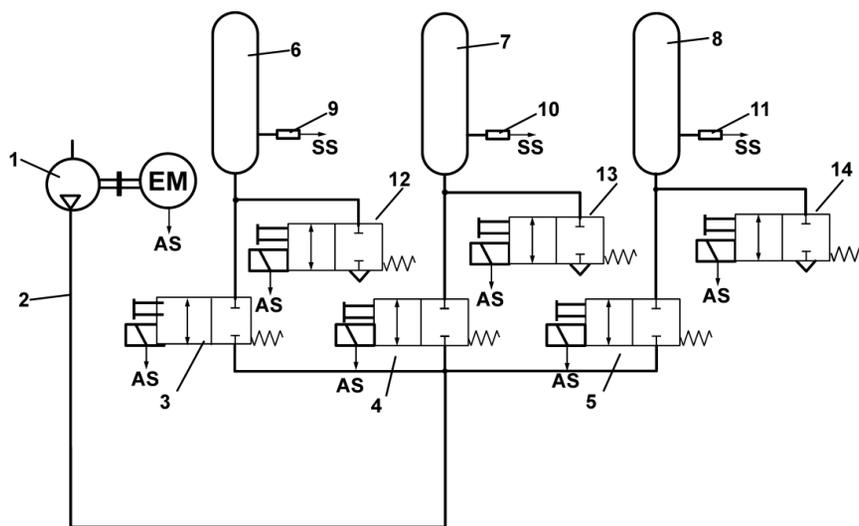
nost od 50 mbara iskapča mikrokompresor i elektroventil za upuhivanje.

Ako je potrebno ispuhati određenu termoizolacijsku komoru, uključuje se jedan od elektroventila 12, 13 ili 14, sl.11, za ispuhivanje zraka. Elektroventil 12 služi za ispuhivanje ramene termoizolacijske komore 6, elektroventil 13 prsne termoizolacijske komore 7, a elektroventil 14 pojasne termoizolacijske komore 8. U slučaju potrebe aktiviranja više termoizolacijskih komora, programskom podrškom osigurano je da se koristi slijedni način aktiviranja, tako da se u istom trenutku zrakom puni samo jedna komora te da je aktiviran samo jedan elektroventil za upuhivanje i mikrokompresor. Tek kada se napuni prva termoizolacijska komora pristupa se slijed-

nom nizu punjenja ostalih termoizolacijskih komora. Tijekom ispuhivanja zraka iz termoizolacijskih komora, budući da nije aktiviran mikrokompresor kao potrošač jačih struja, moguće je aktivirati više ispusnih elektroventila u isto vrijeme.

3.4. Realizacija sustava napajanja

Za potrebe racionalnog korištenja električkog kapaciteta baterijskog sklopa, eksperimentiralo se s kombinacijom kratkotrajnog aktiviranja elektroventila punim naponima i strujama u trajanjima od nekoliko desetaka ms, a potom je uslijedio niz PWM impulsa. Tim načinom upravljanja postignuti su vrlo zanimljivi i originalni rezultati utvrđeni i prikazani mjerenjima pomoću



Legenda:

- 1 - mikrokompresor tt. Clark oznake DR-4X2PN
- 2 - pneumatska cjevčica tt. Festo oznake PUN-4x0,75-BL
- 3, 4, 5 - elektromagnetski ventili za upuhivanje komprimiranog zraka u termoizolacijske komore
- 6, 7, 8 - termoizolacijske komore
- 9, 10, 11 - senzori tlaka u termoizolacijskim komorama
- 12, 13, 14 - elektromagnetski ventili za ispuhivanje komprimiranog zraka iz termoizolacijskih komora
- AS - aktuatorske sabirnice
- SS - senzorske sabirnice
- EM - elektromotor mikrokompresora

Sl.11 Aktuatorski sustav inteligentnog odjevnog predmeta s aktivnom termičkom zaštitom utemeljen na elementima mikropneumatike

digitalnog osciloskopa s memorijom.

Na sl.12 vidljivo je da se nakon davanja naredbe od centralnog mikrokontrolera uključuje rad pomoćnog mikrokontrolera koji na svom izlazu generira impuls trajanja od oko 60 ms (prvi pravokutni impuls dugog trajanja) koji služi za aktiviranje elektroventila punom snagom, a potom slijedi niz PWM impulsa (niz kratkih širinsko moduliranih pravokutnih impulsa) radi štednje energije.

elektroventila aktivira i deaktivira frekvencijom od 1 kHz.

Iz prikazanih oscilograma vidljivo je da je za aktiviranje elektroventila punom snagom dovoljan vremenski interval od samo 60 ms, a da se kasnije držanje elektroventila u aktiviranom stanju može izvesti i sa PWM impulsima s odnosima 1/5 s obzirom na ukupno trajanje. Drugi ciklus mjerenja pokazuju sljedeće rezultate:

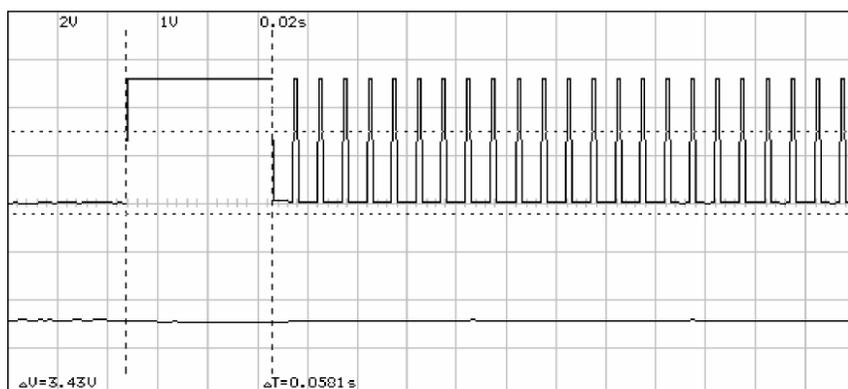
Mjerenja potrošnje struje iz pogonske baterije pokazuju neočekivano

dobre rezultate. Naime, elektroventil pri naponu od 24 V troši struju od 21,4 mA, odnosno za aktivirano stanje potrebna mu je snaga od 0,514 W.

Izmjereno je da je u stanju držanja aktiviranog elektroventila pomoću PWM impulsa struja držanja svega 1,8 mA, pa mu je potrebna snaga da bi se održao u aktiviranom stanju samo 0,043 W.

Dakle, primjenom PWM moduliranih impulsa potrebna je 12 puta manja snaga od snage izravno pobuđenog elektroventila, što iznosi 8,4%. Drugim riječima, resursi pogonske baterije predviđeni za upravljanje elektroventilima mogu trajati 12 puta dulje od elektroničkog upravljanja bez PWM impulsa.

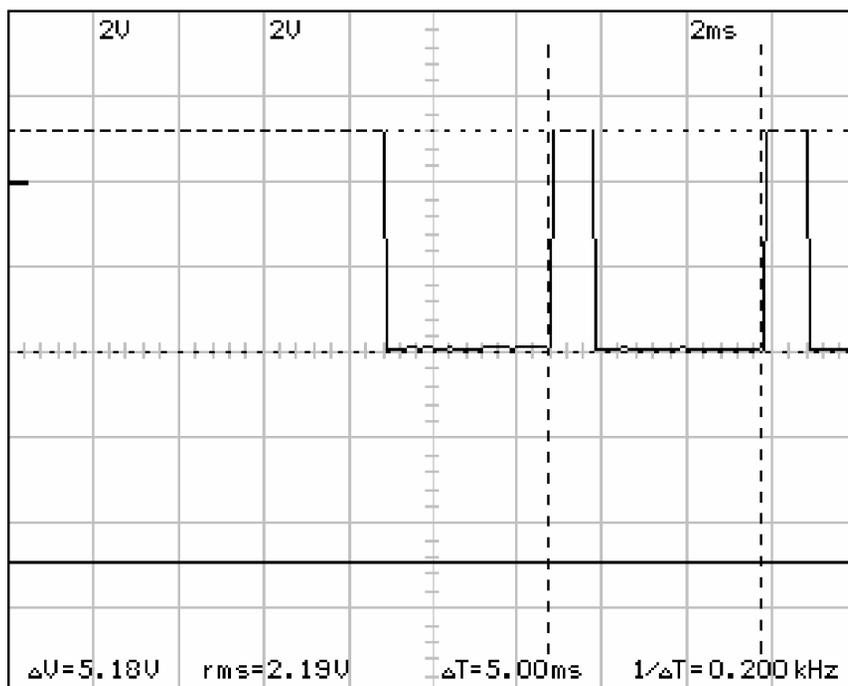
Za očekivati je da će smanjenje biti oko 5 puta, jer je aktivni dio PWM impulsa iznosio 20% od ukupnog trajanja (1 ms u odnosu na 5 ms trajanja), ali je očito da svitak elektroventila nije samo omski otpor za istosmjernu struju, nego predstavlja kompleksan otpor induktivne im-



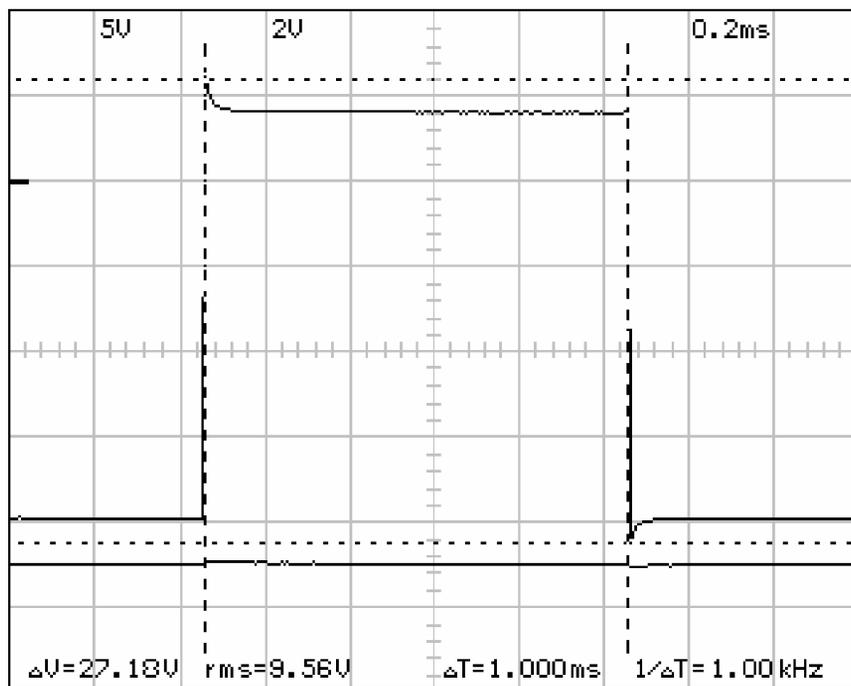
Sl.12 Oscilogram izlaza pomoćnog mikrokontrolera za aktiviranje elektroventila

Na sl.13 prikazan je oscilogram i struktura PWM impulsa. Lijevi dio oscilograma predstavlja završetak impulsa za aktiviranje elektroventila punom snagom, a na desnoj strani se vide dva početna u nizu PWM impulsa za držanje elektroventila u aktiviranom stanju. Izmjereno je da, kako je programom predviđeno, trajanje PWM impulsa traje 5 ms, odnosno da se PWM impulsi obnavljaju frekvencijom od 200 Hz.

Na sl.14 prikazan je oscilogram napona na priključnicama svitka elektroventila. Aktivni dio PWM impulsa ukupnog trajanja 5 ms iznosi samo 1 ms, odnosno samo 20%. Izlaz je pogonjen na 24 V, ali zbog induktivnog karaktera svitka napon od vrha do vrha impulsa iznosi oko 27,2 V i ograničavaju ga zaštitne diode. Budući da aktivni dio PWM impulsa ima trajanje od 1 ms, može se smatrati da se svitak



Sl.13 Oscilogram završetka impulsa aktivacije elektroventila punom snagom i prikaz prva dva u nizu PWM impulsa za držanje elektroventila u aktiviranom stanju sa smanjenom snagom aktivacije



Sl.14 Prikaz aktivnog dijela PWM impulsa ukupnog trajanja 1 ms

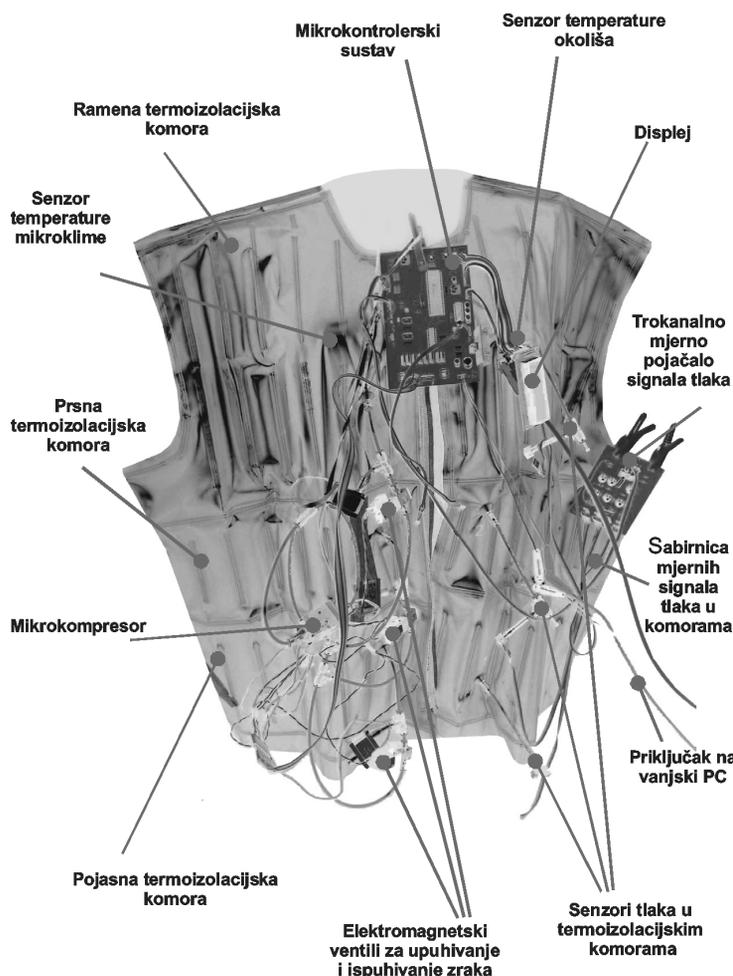
pedancije koji je razmjerno visok s obzirom na frekvenciju PWM impulsa (200 Hz), a još viši s aspekta trajanja aktivnog dijela PWM impulsa (1 kHz). Zbog toga je struja napajanja elektroventila niža od očekivane.

Isto tako, uočeno je da se elektroventil koji je izravno napajan naponom od 24 V dosta grije, a elektroventil napajan PWM impulsima ne pokazuje znakove zagrijavanja.

3.5. Integracija tehničkih podsustava

Rezultati završne integracije svih tehničkih podsustava i prva praktična izvedba prototipa prvog inteligentnog odjevnog predmeta s aktivnom termičkom zaštitom u skladu s hrvatskom patentnom prijavom **HR P20030727 A2** i svjetskom patentnom prijavom **WO 2005/023029 A1** prikazani su na sl.15. Podloga za integraciju tehničkih podsustava su ramena, prsna i pojasna termoizolacijska komora na koju su smještene tiskane pločice mikrokontrolerskog sustava i mjernog pojačala signala tlaka. S tiskane pločice mikrokontrolerskog sustava

odlazi skupina vodiča na koju je spojen displej za prikaz podataka radnih parametara i trenutnog stanja inteligentnog odjevnog predmeta s aktivnom termičkom zaštitom, senzori temperature mikrokline i temperature okoliša, kao i drugo ožičenje za upravljanje aktuatorskim sustavom. Aktuatorski sustav spojen je s mikropneumatskim komponentama, a sastoji se od tri elektromagnetska ventila za upuhivanje i tri za ispuhivanje zraka u ramenu, prsnu i pojasnu termoizolacijsku komoru i mikrokompresora koji sustav opskrbljuje komprimiranim zrakom. Na sl.15 također su vidljive tri skupine priključnih elemenata sa sensorima tlaka u ramenoj, prsnoj i pojasnoj termoizolacijskoj komori, kao i priključak za spoj mikrokontrolerskog

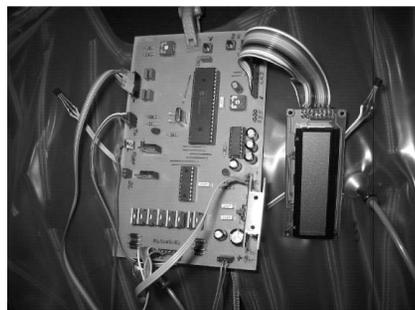


Sl.15 Rezultat završne integracije svih tehničkih podsustava i prva praktična izvedba prototipa prvog inteligentnog odjevnog predmeta s aktivnom termičkom zaštitom

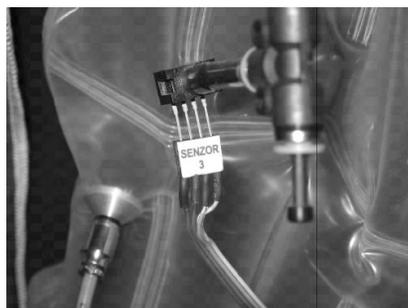
sustava s vanjskim PC računalom za programiranje mikrokontrolera i kontrolu njegovog rada, priključak za baterijski sustav napajanja i ostala pomoćna ožičenja. Integracijom svih tehničkih podsustava omogućeno je tehničko funkcioniranje inteligentnog odjevnog predmeta s aktivnom termičkom zaštitom na način da samostalno mjeri temperaturu okoliša i temperaturu mikroklimu u odjevnom predmetu, pravilno interpretira i donosi odluke o potrebnoj reakciji s aspekta potrebne termičke zaštite u skladu s postavkama dijagrama toka iz algoritma inteligentnog ponašanja, te samostalno provodi donesene odluke aktivirajući mikrokompresor i ostale aktuatorne elemente, kontrolirajući njihov rad pomoću ugrađenih senzora tlaka. Opisanom integracijom svih tehničkih podsustava postiže se samostalan i učinkovit rad inteligentnog odjevnog predmeta s aktivnom termičkom zaštitom.

Na sl.16 prikazana je praktička izvedba mikrokontrolerskog sustava s priključenim sensorima temperature okoliša i temperature mikroklimu odjevnog predmeta. Na pločici je vidljiv glavni mikrokontroler u kojem je smješten temeljni program upravljanja inteligentnim odjevnim predmetom s aktivnom termičkom zaštitom, pomoćni mikrokontroler za racionalno upravljanje elektroenergetskim sustavima i integrirani krug za serijsku komunikaciju s vanjskim PC računalom.

Vidljiv je i priključeni LCD displej za komunikaciju između nositelja



Sl.16 Mikrokontrolerski sustav sa sensorima temperature i displejom



Sl.17 Senzor tlaka ramene komore, priključni konektor i dvodijelni konični priključni element za spoj zrakovoda

odjevnog predmeta i mikrokontrolerskog sustava. Na spomenutoj slici vidljiva je i serija MOSFET tranzistora za upravljanje aktuatorima te dijelovi ožičenja inteligentnog odjevnog predmeta s aktivnom termičkom zaštitom .

Na sl.17 prikazan je senzor tlaka ramene komore, priključni konektor i dvodijelni konični priključni element za spoj zrakovoda. Fotografirani senzor priključen je na zrakovod realiziran s pomoću plastične savitljive cijevi oznake PUN-4x0,75-BL tvrtke FESTO i T utičnog spoja oznake QSMT-4 tvrtke FESTO. Zrakovod je priključen preko dvodjelnog koničnog priključnog elementa na termoizolacijsku komoru kako bi se tlak zraka u komori mogao prenijeti do senzora tlaka. Podaci o naponima na mjernom mostu senzora tlaka prenose se na utični konektor i potom, putem sabirnice signala mjernih pretvornika tlaka na mjerno pojačalo signala tlaka. Na izvedenom prototipu postoje još dva potpuno identična senzora tlaka za prsnu i pojasnu termoizolacijsku komoru.

Na sl.18 prikazan je elektromagnetski ventil za upuh i ispuh komprimiranog zraka u ramenu termoizolacijsku komoru s dijelom zrakovodnog sustava i T utičnim spojem.

Elektromagnetski ventil tvrtke FESTO služi za upuhivanje komprimiranog zraka u termoizolacijske komore, a elektroventil tvrtke Matrix služi za ispuhivanje zraka iz komora.



Sl.18 Elektromagnetski ventili za upuh i ispuh komprimiranog zraka u termoizolacijske komore s dijelom zrakovodnog sustava i T-utičnim spojem

Na izvedenom prototipu postoje još dva potpuno identična para elektromagnetskih ventila za prsnu i pojasnu termoizolacijsku komoru.

Na sl.19 prikazan je mikrokompresor tvrtke Clark oznake DR-4X2PN koji je smješten ispod termoizolacijskih komora i spojen je na zrakovod mikropneumatskog sustava.

Svi elementi integriranih tehničkih sustava u inteligentni odjevni predmet s aktivnom termičkom zaštitom su razmjerno male debljine te su tanji od termoizolacijskih komora.



Sl.19 Mikrokompresor za punjenje termoizolacijskih komora priključen na zrakovodni sustav

4. Rasprava

Tijekom realizacije inteligentnog odjevnog predmeta s aktivnom termičkom zaštitom ispitani su mjerni uzorci termoizolacijskih komora. Ispitivan je pogodni zrakonepropusni materijal visokoelastičnih svojstava s dovoljno malom površinskom masom i sa svojstvima

zrakonepropusnog spajanja. Isto tako, istraživane su i najpogodnije metode međusobnog spajanja visokoelastičnih folija termoizolacijskih komora postupkom lijepljenja, toplinskog spajanja kondukcijom i konvekcijom te ultrazvučnog spajanja. Optimalni rezultati spajanja postignuti su strojem za ultrazvučno spajanje.

U cilju istraživanja ponašanja promjena dimenzija i debljina termoizolacijskih komora u napuhanom i ispuhanom stanju načinjeno je deset različitih vrsta termoizolacijskih komora s različitim koracima i brojevima segmenata komora. Na komore su priključivani posebno konstruirani dvodijelni pneumatski elementi, a ispitivanja na mjernim uzorcima obavljena su uz primjenu više mikropneumatskih komponenata. Utvrđeno je da visina napuhanih komora gotovo linearno ovisi o promjenama koraka komora, sl.10, a faktor ispuna komora je gotovo konstantan i za praktičnu uporabu se može uzeti da poprima vrijednosti oko 0,55, što znači da će komora napuhana na optimalni tlak od 50 mbara poprimiti visinu koja je nešto malo viša od polovice koraka termoizolacijske komore, tab.1.

Koeficijent kontrakcije duljine mjernih uzoraka termoizolacijskih komora u napuhanom stanju lagano pada s porastom vrijednosti komore i poprima praktičke vrijednosti između 0,7 i 0,8. To praktički znači da će napuhane komore imati između 70 i 80% svoje izvorne duljine u ispuhanom stanju, tab.1.

Nakon konstrukcije vanjske školjke i termoizolacijskih komora pristupilo se projektiranju, konstruiranju, izvedbi i eksperimentiranju s mjernim sustavima ulaznih varijabli inteligentnog odjevnog predmeta s aktivnom termičkom zaštitom. U tu svrhu razvijena su dva tehnička podsustava za mjerenje temperature okoliša i mikroklime inteligentnog odjevnog predmeta s aktivnom termičkom zaštitom, kao i za mjerenja tlaka u termoizolacijskim komorama.

Za mjerenja tlaka izabrani su analogni pretvornici u spoju Wheatstoneovog mosta, a za njih su konstruirana analogna mjerna pojačala s operacionim pojačalima te zbirno mjerno pojačalo s četiri operacijska pojačala.

Za mjerenja temperature izabrani su digitalni pretvornici temperature, a za njih je konstruiran mjerni sklop uz mikrokontrolerski sustav.

Tijekom provedenih eksperimentalnih istraživanja zaključeno je da su digitalni mjerni pretvornici iz treće generacije obrade i kondicioniranja mjernih signala po tzv. DSSP (Digital Sensor Signal Processing) arhitekturi pokazali izuzetna svojstva tijekom mjerenja temperature. U daljnjem razvoju inteligentne odjeće svakako bi valjalo koristiti navedenu generaciju senzora.

U prvoj fazi eksperimentiranja s inteligentnim odjevnim predmetom s aktivnom termičkom zaštitom korišten je mikrokontrolerski sustav s jednim mikrokontrolerom. Kako su rasli zahtjevi za učinkovitom obradom svih ulaznih varijabli i složenog upravljanja složenim tehničkim sustavima ugrađenim u inteligentni odjevni predmet s aktivnom termičkom zaštitom, tako se došlo do spoznaje da će se morati koristiti snažne inačice mikrokontrolera te da će se mikrokontrolerski sustav morati temeljiti na simultanom radu dvaju mikrokontrolera. Zbog tog razloga je napušten mikrokontrolerski sustav razvijen oko jednog mikrokontrolera te je razvijen novi sustav sa snažnim osnovnim i jednim pomoćnim mikrokontrolerom. Mjerenja temperatura okoliša i mikroklime te tlaka u tri termoizolacijske komore, upravljanje displejom i upravljačkim tipkama kao i izvođenje algoritma inteligentnog ponašanja, obavlja vrlo snažan mikrokontroler tvrtke Microchip, oznake PIC 16F877, a zadaće racionalnog gospodarenja električnom energijom obavlja nešto manji mikrokontroler iste tvrtke, oznake PIC 16F628. Glavni mikrokontroler još obavlja i

poslove komunikacije s vanjskim PC računalom preko integriranog kruga MAX232.

Nakon realizacije mikrokontrolerskog sustava pristupilo se projektiranju, konstruiranju, izvedbi i eksperimentiranju s aktuatorским sustavom inteligentnog odjevnog predmeta s aktivnom termičkom zaštitom. Aktuatorски sustav u načelu sačinjavaju mikrokompresor, tri elektroventila za upuhivanje komprimiranog zraka, tri elektroventila za ispuhivanje komprimiranog zraka iz termoizolacijskih komora, utični spojevi i ostali manji elementi potrebni za spajanje na termoizolacijske komore. Shema spajanja aktuatorskog sustava, koja je dala najpovoljnije rezultate tijekom provedenih eksperimentiranja, prikazana je u točki 3.4. i na sl.10. Mikrokompresori i elektroventili spojeni su preko sabirnica izravno na pločicu mikrokontrolerskog sustava. Tijekom eksperimenata utvrđeno je da aktuatorски sustav može učinkovito upravljati termoizolacijskim svojstvima inteligentnog odjevnog predmeta s aktivnom termičkom zaštitom. Dimenzije elemenata aktuatorskog sustava su nešto veće od elemenata senzorskog mjernog sustava, ali su još uvijek dovoljno male i primjerene mase, da se mogu ugraditi između vanjske školjke i termoizolacijskih komora, odnosno podstave inteligentnog odjevnog predmeta s aktivnom termičkom zaštitom.

Može se istaknuti da je razvijen novi pristup učinkovitoj i racionalnoj potrošnji električne energije iz ugrađenih baterija u inteligentni odjevni predmet s aktivnom termičkom zaštitom. Za te svrhe korištena su poznata iskustva iz PWM upravljanja. Kao novost korištena su dva načina za racionalno trošenje energije iz ugrađenih baterija inteligentnog odjevnog predmeta s aktivnom termičkom zaštitom. To je tzv. slijedno upravljanje na način da se u određenom trenutku upravljanja aktuatorским sustavom koristi minimalni broj elemenata aktuatorskog sustava, tako da će se u slučaja

ju potrebe više termoizolacijskih komora one napuhivati slijedno jedna za drugom, a ne sve istodobno, što bi povećalo utrošak električne energije, a ne bi povećalo učinak punjenja termoizolacijskih komora. Kao drugi element novosti korišten je autorski pristup složenog PWM upravljanja koji se sastoji od dva niza PWM impulsa. Prvi u nizu impulsa je impuls trajanja od oko 60 ms (prvi pravokutni impuls dugog trajanja) koji služi za aktiviranje elektroventila punom snagom, a potom slijedi niz PWM impulsa (niz kratkih širinskih moduliranih pravokutnih impulsa) radi štednje energije.

Sve spoznaje koje su utvrđene provedenim eksperimentima urodile su integracijom svih tehničkih podsustava i realizacijom prototipa prvog inteligentnog odjevnog predmeta s aktivnom termičkom zaštitom. Na sl.15 prikazani su rezultati završne integracije svih tehničkih podsustava na ramenu, prsnu i pojasnu termoizolacijsku komoru i prikaz prve praktičke izvedbe prototipa. Valja istaknuti da na području odjevnog inženjerstva do sada nije bio idejno postavljen i cjelovito funkcionalno realiziran odjevni predmet koji mijenja svoju debljinu.

5. Zaključci

U ovom je radu prikazano kako je idejno osmišljen, patentno zaštićen i praktički tehnički realiziran prvi prototip inteligentnog odjevnog predmeta s aktivnom termičkom zaštitom te je postignuto sljedeće:

- Razvijena je ideja o načinu funkcioniranja termoizolacijskih komora koje se mogu ugrađivati u odjeću s ciljem poprivanja termoizolacijskih svojstava usklađenih s promjenama temperature okoliša i temperature mikroklima odjeće. U tom smislu je posebno razvijena i realizirana ideja o korištenju različitih skupina komora čije kombinacije mogu ostvarivati različite razine termičke zaštite. Na području odjevnih tehnologija do sada nije
- bila realizirana takva ideja.
- Razvijena je i realizirana ideja uspostavljanja automatske termičke zaštite. Za te potrebe osmišljen je i realiziran sustav senzor-mikrokontroler-aktuator koji mjeri stanja u okolišu i mikroklimi odjevnog predmeta, pravilno ih interpretira i usklađuje s željenom temperaturom, donosi odluke o aktivaciji aktuatora i samostalno uspostavlja potrebnu razinu termičke zaštite korištenjem unaprijed definirane matrice aktivacije. Budući da odjevni predmet samostalno nalazi potrebna rješenja, odnosno smisljeno reagira na promjene u svom okolišu time poprima attribute inteligentnog ponašanja. Konstruiran je prototip prvog inteligentnog odjevnog predmeta s aktivnom termičkom zaštitom, a razvijeni prototip predstavlja prvu tehničku izvedbu takve vrste odjeće u povijesti odjevnih tehnologija.
- Rad na konstrukciji i ispitivanju svojstava termoizolacijskih komora također predstavlja novost aspekta odabira materijala stijenki komora koji može zadovoljiti uvjete elastičnosti pri nošenju, aktivaciji i deaktivaciji, a koji ujedno ima i potrebnu konstrukcijsku čvrstoću i mogućnost spajanja složenih oblika koji moraju zadržati svojstvo zrakonepropusnosti. Provedenim ispitivanjem tehnika spajanja dokazano je da su optimalni rezultati postignuti primjenom ultrazvučnih spajanja polimernih materijala. Doprinosom se mogu smatrati i rezultati utvrđeni na mjernim uzorcima termoizolacijskih komora, kao i razrađena metodika istraživanja na njima. Provedenim mjerenjima istražene su promjene dimenzija termoizolacijskih komora u napuhanom stanju važnih za konstrukciju odjeće te optimalan tlak aktivirane komore (50 mbara).
- U znanstvenom području odjevnih tehnologija do sada nije bila ostvarena integracija dva ili više tehničkih podsustava u

odjeću, tako da se realizirani prototip inteligentnog odjevnog predmeta s aktivnom termičkom zaštitom odlikuje izuzetnom složenošću. Iako su patentirana i objavljena neka tehnička rješenja ugradnje elektroničkih, električkih i strojarskih komponenti u odjeći, ovim radom po prvi puta su u odjeću ugrađeni mikropneumatski elementi te uspješno izvedena složena integracija više sinkroniziranih tehničkih podsustava, specijalno razvijenih za točno određene funkcije i ugrađenih u odjevni predmet (senzori i mjeriteljski sustavi temperatura i tlaka, mikrokontrolerski sustav, aktuatorski sustav te sustav za racionalno trošenje ugrađenih baterijskih resursa).

Realizirani novi inteligentni odjevni predmet s aktivnom termičkom zaštitom će u prvom redu poslužiti kao temelj i poticaj za naredna, izuzetno zanimljiva, znanstvena istraživanja u području odjevnog inženjerstva vezanog uz razvoj inteligentne odjeće u budućnosti, algoritama inteligentnog ponašanja takve odjeće, računalnoj konstrukciji specijalne odjeće koja tijekom nošenja mijenja svoje obličje i debljinu, konstrukcije termoizolacijskih komora, ergonomije nošenja odjeće promjenjivih dimenzija i termodinamičkih obilježja odjeće.

Za svoj rad na inteligentnom odjevnom predmetu s aktivnom termičkom zaštitom tim je dobio prvu nagradu za inovacije u visokim tehnologijama i najinovativniji hrvatski visokotehnoški proizvod VIDI e-novation nagradu nazvanu Zlatno Teslino jaje u kategoriji fizičke osobe za 2007. godinu.

Literatura:

- [1] Thematic Expert Group No 6 Smart textiles and garment, SRA Template, 2006
- [2] European Technology Platform for the Future of Textiles and Clothing, EURATEX Newsletter, March 2006, 2-3
- [3] Firšt Rogale S. et al: Architecture of

- Clothing with an Active Thermal Protection, Proceedings of the 16th DAAAM International Symposium, Beč, DAAAM International Vienna, 19-22nd October 2005, Opatija, Croatia, 121-122
- [4] Rogale D. et al: Development Of Intelligent Clothing With An Active Thermal Protection, 6th World Textile Conference AUTEX 2006, 11 – 14th June 2006, North Caroline, 1-9
- [5] Firšt Rogale S. et al: Technical Systems in Intelligent Clothing with Active Thermal Protection, Book of Proceedings of the 3rd International Textile, Clothing and Design Conference – Magic World of Textiles, Zagreb, Faculty of Textile Technology, University of Zagreb, 2006, 413-419
- [6] Firšt Rogale S. et al: The Algorithm of the Intelligent Behavior of the Article of Clothing, Proceedings of the 17th International DAAAM Symposium “Intelligent Manufacturing & Automation: Focus on Mechatronics and Robotics”, DAAAM International Vienna, 2006, 125-126
- [7] Firšt Rogale S. et al: Technical systems in intelligent clothing with active thermal protection, International Journal of Clothing Science and Technology, **19** (2007) 3/4, 222-233
- [8] Firšt Rogale S.: Inteligentna odjeća s aktivnom termičkom zaštitom, doktorska disertacija, Tekstilno-tehnološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 2007.
- [9] Firšt Rogale S. et al: Construction and Function of Thermoinsulating Chambers in the Intelligent Clothing with Active Thermal Protection, 5th International Conference Innovation and Modeling of Clothing Engineering Processes – IMCEP 2007, Faculty of Mechanical Engineering, October 10-12, 2007, Moravske Toplice, Slovenia, 23-33
- [10] Firšt Rogale S. et al: Actuator System of the Intelligent Article of Clothing with Active Thermal Protection, The 18th INTERNATIONAL DAAAM SYMPOSIUM, “Intelligent Manufacturing & Automation: Focus on Creativity, Responsibility, and Ethics of Engineers”, 24-27th October 2007, 285-286
- [11] Firšt Rogale S. i sur.: Inteligentni odjevni predmet s aktivnom termičkom zaštitom, Zbornik radova 1. znanstveno-stručno savjetovanje Tekstilna znanost i gospodarstvo 2008. (prihvaćeno za tisak)
- [12] Firšt Rogale S. et al: Technical Systems in Intelligent Clothing with Active Thermal Protection, Annual of the Croatian Academy of Engineering 2007. (prihvaćeno za tisak)
- [13] Rogale D. i sur.: Inteligentni odjevni predmet s termoaktivnom zaštitom, Državni zavod za intelektualno vlasništvo, P20030727A, Zagreb, Croatia, 2004.
- [14] Rogale D. et al: Intelligent Article of Clothing With an Active Thermal Protection, European Patent Office, International application No.PCT/HR2004/000026, Munich, Njemačka, 2005.
- [15] Instruction Leaflet, Uncompensated Pressure Transducers RS235-5784, tt. RS Computers, SAD, 1998, 1-4
- [16] LM124/224/324/324A/SA534/LM2902 Low power quad op amps, Data sheet, tt. Philips Semiconductors, SAD, 2003, 1-19
- [17] DS18S20 High-Precision 1-Wire Digital Thermometer, Data sheet, tt. Dallas Semiconductors Maxim, USA, 2003, 1-21
- [18] Microchip PIC 16F62X Data Sheet: Flash-Based 8-Bit CMOS Microcontrollers, DS39582B, tt. Microchip Technology Inc., Chandler, Arizona, USA, 2003, 1-25
- [19] Microcompresor DR-4X12PN Data Sheet, tt. Clark, USA, <http://www.drummondinc.com/dr4x2pn.htm>, pristup 30. rujna 2004.
- [20] <http://www.festo.com>, pristup 24. svibnja 2006.
- [21] <http://lucy.vub.ac.be/gendes/actuators/valves.htm>, pristup 19. travnja 2005.
- [22] <http://www.epurex.de>, pristup 28. prosinca 2004.
- [23] <http://www.pfaff.com>, pristup 5. ožujka 2005.

SUMMARY**Constructing a Prototype of an Intelligent Article of Clothing with Active Thermal Protection**

S. Firšt Rogale, D. Rogale, Z. Dragčević, G. Nikolić

The organization, construction, experimental development of the first prototype of an intelligent article of clothing with active thermal protection are described. The prototype has been protected by patent rights in Croatia and abroad. The results of the architecture of this kind of intelligent clothing, sensor system, microcontroller system, actuators and the rationalization of energetic resources of the power supply system are presented, together with the results of the integration of all the technical subsystems into an intelligent article of clothing with active thermal protection.

Key words: intelligent clothing, active thermal protection

University of Zagreb, Faculty of Textile Technology

Department of Clothing Technology

Zagreb, Croatia

e-mail: sfrogale@ttf.hr

Received August 2, 2007

Realisierung des Prototyps des intelligenten Kleidungsstücks mit aktivem Thermalschutz

Der Artikel beschreibt die Organisation, Konstruktion und die experimentelle Entwicklung sowie Ergebnisse der Einwirkung des ersten Prototyps eines intelligenten Kleidungsstücks mit aktivem Thermalschutz, das durch das Patent im In- und Ausland geschützt wird. Die Ergebnisse der Architektur dieser Art der intelligenten Kleidung, des Sensorsystems, des Mikrokontrollleur-Systems, der Aktuatoren und der Rationalisierung von Energieresources des Stromversorgungssystems werden präsentiert. Die Ergebnisse der Integration aller technischen Untersysteme in das intelligente Kleidungsstück mit aktivem Thermalschutz werden auch präsentiert.