

Industrija 4.0 – pravac razvoja tekstilne i odjevne industrije

Prof.dr.sc. **Gojko Nikolić**
Prof.dr.sc. **Dubravko Rogale**
Sveučilište u Zagrebu, Tekstilno-tehnološki fakultet u Zagrebu
Zagreb, Hrvatska
e-mail: gojko.nikolic@ttf.hr; dubravko.rogale@ttf.hr
Prispjelo 2.2.2017.

UDK 677+687:338.45
Pregled

Četvrta industrijska revolucija, ili kako se danas uglavnom naziva industijom 4.0, nije potaknuta nekim posebnim izumom poput prethodne tri. Njenim iniciranjem od strane Njemačke 2011. dobiven je poticaj razvoja industrije i automatizacije procesa proizvodnje korištenjem svih modernih proizvodnih sredstava koja su objedinjena pod nazivom kibernetičko-fizički sustavi (CPS – Cyber-Physical System). Oni integriraju računalnu tehniku, prijenos i obradu podataka te suvremene mehaničke sustave. Suvremena tvornica nije izolirana od društvenih promjena razvoja gospodarstva, razvoja znanosti i obrazovanja, što je prikazano Modelom trostruke uzvojnice (Triple Helix Model). Taj trend prisutan je i u proizvodnji tekstila i odjeće te se može govoriti o industriji tekstila 4.0 i industriji odjeće 4.0. Istaknuti su neki trendovi razvoja automatizacije proizvodnje odjeće koji opravdavaju taj naziv.

Ključne riječi: industrija 4.0, Triple Helix Model, koboti, kibernetičko-fizički sustavi

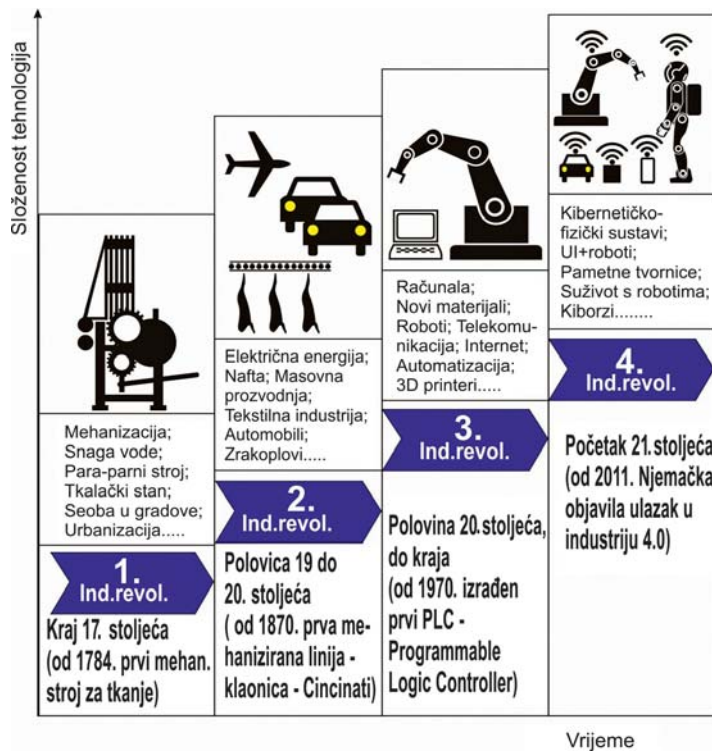
1. Industrija 4.0

Industrijskom revolucijom nazivani su tehnološki skokovi u povijesti koji su mijenjali prethodni način rada, ne samo u proizvodnji dobara, već su utjecali na svakodnevni život ljudi i podizali ga na višu razinu. Naziv *industrijska revolucija* uzet je jer je promjena načina rada u industriji utjecala na promjenu načina života, društvene i socijalne odnose, obrazovni sustav i sl. Prva industrijska revolucije započela je izradom prvog mehaničkog tkalačkog stroja pogonjenog energijom koja nije ljudska (1784.). Za pogon strojeva počela se koristiti energija pare. Početak obilježavaju vrlo turbulentne godine, pobunu radnika koji su izgubili posao. Posebno je to bilo izraženo u

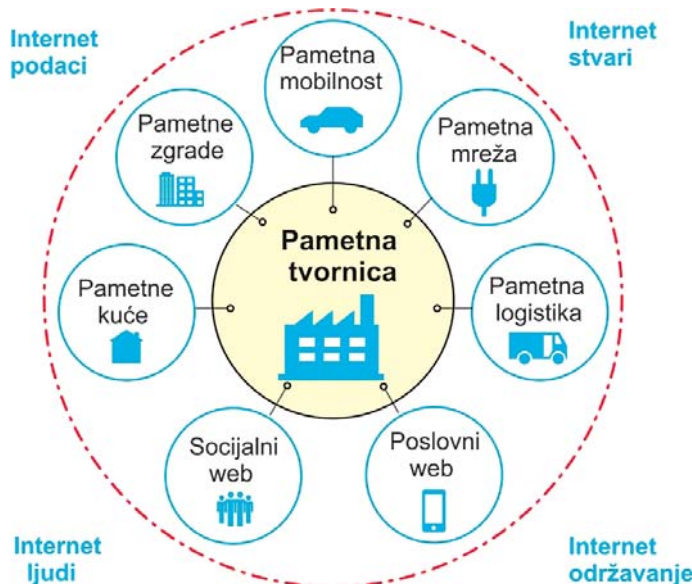
tekstilnoj industriji. Drugu industrijsku revoluciju karakterizira masovna primjena električne energije koja je zamijenila energiju pare, a započinje 1870. godine. Treću industrijsku revoluciju obilježava uporaba elektroničkih i informacijsko-komunikacijskih sustava te široka primjena automatizacije u proizvodnim procesima. Kao godina njenog početka uzima se 1970. [1] Nakon nje dolazi četvrta industrijska revolucija koja obilježava početak 21. stoljeća, sl.1. [2] Što je četvrta industrijska revolucija ili kako se danas češće naziva industrija 4.0? Na to pitanje pokušavaju dati odgovor, uspješno ili manje uspješno, brojni članci, znanstvene rasprave, koji su potaknuti lansiranjem tog pojma na sajmu Hanoverskom sajmu 2011. Taj termin je pro-

moviran kao nova njemačka strategija razvoja industrije. Dio stručnjaka je odmah prihvatio taj pojam jer je došao od jedne od industrijski najrazvijenijih zemalja, pa se ne opterećuju dodatnim pitanjima, a drugi koji pokušavaju pronaći tehničko značenje tog pojma nisu ga prihvatili u potpunosti [3].

Često se industrija 4.0 poistovjećuje s robotima i njihovoj sveobuhvatnoj prisutnošću na svim radnim mjestima, te digitalizacijom i umrežavanjem svih funkcija unutar tvornice i izvan nje. Ta koncepcija stavlja u centar „pametnu“ tvornicu (*Smart Factory*) koja koristi informacijsku i komunikacijsku tehnologiju za upravljanje proizvodnim i poslovnim procesima. Sve u cilju dominacije na tržištu ostvarivanjem poboljšane kva-



Sl.1 Industrijske revolucije s najvažnijim obilježjima (modificirana slika iz lit. [2])



Sl.2 Pametna tvornica integrirana i umrežena u sustav (dorađena slika prema [2])

litete, nižih troškova i fleksibilnije proizvodnje [1]. Automatski se postavlja pitanje kako kompaniju pripremiti za realizaciju tih zadataka? Za takav ambiciozni cilj na raspolaganju stoji razvijena oprema u svim područjima, integrirana s informatičkim sustavima, u kojima je moguće sve umrežiti, trenutno ažurirati i prilagoditi traženim zahtjevima. Koristi

se i naziv tvornica koja uči (*Learning Factory*), budući da se sukladno promjenama na tržištu, tehnici, znanosti, raspoloživim resursima koji su uključeni, odmah ili brzo prilagođava, sl.2 [2].

Tvornica nije izolirana od društvenih promjena ukupnog razvoja gospodarstva, razvoja znanosti i obrazovanja te svi ti elementi utječu na njeno

proizvodno poslovno ponašanje, sl.3 [4]. Model trostruke uzvojnice (*Triple Helix Model*) označava odnos između sveučilišta, industrije i vlade koji su pokrenuli 1990. Etzkowitz i Leydesdorf u društvu znanja, sl.3 [5]. U tom kontekstu tvornica koja uči (*Learning Factory*), označava proizvodni sustav (tvornicu) koji se brzo prilagođava promjenama u okruženju. To se odnosi na promjenjive zahtjeve tržišta, kooperacijske procese, zakonske i financijske promjene, na potrebne stručnjake s novim znanjima. Utjecaj je reverzibilan, obostran. Pametna tvornica je bitan čimbenik promjene odnosa u društvu te utjecaja na obrazovnu politiku, iskazivanjem svojih potreba za obrazovanjem stručnjaka odgovarajućeg profila potrebnog znanja i vještina. Crpi razvojne mogućnosti iz vlastitih inovacija i inovacija sa sveučilišta ili zajedničkih projekata. Jedino usklađenim djelovanjem sa svrhom povećanja efikasnosti gospodarstva stvara se financijska baza za razvoj društva.

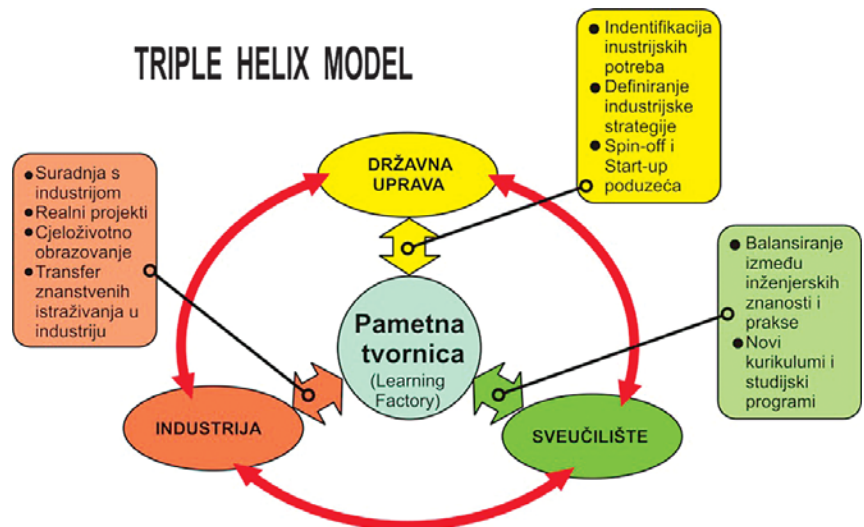
1.1. Kritički osvrt na koncept industrija 4.0

Kako je vidljivo iz sl.1 svaka od prethodnih industrijskih revolucija imala je datum koji je obilježio buduća događanja i promjene koje su bile izrazito ključne i donjele značajne promjene. Početak prve obilježila je izrada prvog tkalačkog stroja pokretanog parom 1784. Kod druge, to je prva mehanizirana klaonička linija u gradu Cincinnatiju 1870. Treću je pokrenula izrada prvog PLC (*Programmable Logic Controller - programirajući logički kontroler*), ključnog upravljačkog uređaja za automatizaciju 1969. Kod četvrtje industrijske revolucije nema nekog značajnog datuma vezanog za revolucionarni proizvod, uređaj ili postupak koji može obilježiti novi pristup u procesima proizvodnje ili organizaciji rada u industriji.

Objava koncepta *industrija 4.0* je samo važan poticaj industriji da se suvremeno organizira, da se stvori stručno i javno mišljenje koje će poticati taj koncept. To bi trebao biti, i

bez te proklamirane ideje, stalni oblik razvoja i organizacije svakog privrednog subjekta, kako bi se iskoristile nove mogućnosti tehnike i informatičkih sustava koji danas stoje na raspolaganju. Cilj je da gospodarski subjekti stalno pokušavaju biti bolji na tržištu i odgovoriti sve zahtjevnijim kupcima. Pri tome se sigurno mijenjaju proizvodne filozofije. Pitanje je samo postoje li stručnjaci odgovarajućeg znanja koji to mogu ostvariti i neophodni potreban kapital. Uloga Njemačke i proglašenje *industrije 4.0* imalo je za cilj da usmjeri ulaganja u takve projekte, što je rezultiralo tada ulaganjem od 400 mil. eura u istraživanja. Željelo se potaknuti obrazovne institucije da još više usmjere obrazovanje u tom pravcu. S filozofijom ili pojmom industrije 4.0 povezuje se i pojam STEM (*science, technology, engineering, mathematics - znanost, informatika, tehnika, matematika*) koji ukazuje u kojem smjeru treba obrazovanje usmjeriti da se ti ciljevi ostvare. Pod tim pojmom Amerikanci razumijevaju sve ono što obuhvaća u širem smislu ta područja, te osim navedenih područja uključuju i biologiju, astronomiju, neurobiologiju i niz drugih.

Zamisao i filozofija industrije 4.0 kako bi trebala izgledati takva pametna tvornica neodoljivo podsjeća na nekada hvaljeni CIM (*Computer Integrated Manufacturing - računalom objedinjenu proizvodnju*), ali u potpuno novim uvjetima i mogućnostima. Budući da je jedan od autora ovog članka osam godina, krajem osamdesetih godina prošlog stoljeća, vodio tim za implementaciju CIM-a u jednu našu veliku i proizvodno složenu tvornicu, jasni su mu svi elementi računalno integrirane proizvodnje. Ta je tvornica tada implementacijom ostvarila velike financijske i poslovne rezultate, ali i potpuno prilagodila organizaciju tvornice primjeni računalne tehnologije, sredi-la sve prateće podatke i dokumente, što je bilo najteže. Tadašnji CIM ostvaren je računalnom integracijom poslovnih procesa unutar tvrtke, ali



Sl. 3 Pametna tvornica uklopljena u Model trostruke uzvojnice - *Triple Helix Model* (dorađena slika iz lit [5, 4])

su se svi vanjski podaci (nabava, skladišta, novi tehnološki postupci, promjena sastavnica proizvoda, promjena parametara tržišta i dr.) ručno unosili u sustav. Sada je to moguće osigurati automatski s vrlo brzim unosom podataka iz mreže sustava u kojoj je uključena tvornica. Obrada i kolanje podataka, promjena parametara procesa je automatska. Za ostvarivanje tog cilja, postoje nove brojne tehničke mogućnosti poput već ranije korištenih industrijskih robota, novih suradničkih robota - *kobota*, interneta, raznih vrsta osjetljivih senzora, već značajno unapredovale umjetne inteligencije, razvijenih računalnih sustava, kompletne mreže, oblaka (cloudova) i programa za ostvarivanje svih zacrtanih ciljeva buduće pametne industrije i ostvarene povezanosti s tržištem i kupcima.

1.2. Primjena robota

Često se ističe da su suradnički roboti izmišljeni zbog industrije 4.0 i bitno doprinijeli realizaciji osnovne ideje pametne tvornice. Te tvrdnje ne stoje, makar su oni našli široku primjenu u industriji na onim poslovima gdje je čovjek morao raditi zbog vrste posla. Prihvaćeni su kao pomoć radniku pri obavljanju specifičnih poslova montaže ili sličnih poslova, sl.4a [6]. Suradnički roboti – odnosno „kolaborativni“ roboti (*collaborative ro-*

bots) ili kratko koboti (*cobots*), su logički razvoj robota koji ide prema potpunoj suradnji sa čovjekom na svim područjima. Fundamentalna razlika novih robota i robota prethodne generacije je u tome da su sada roboti i ljudi postali ravnopravni partneri. Ljudi s njima mogu usko surađivati, postali su prave „radne kolege“. Da bi mogli ostvariti tu ulogu moraju biti osigurani mnogi preduvjeti: umrežena tvornica, viši stupanj ugrađene umjetne inteligencije, bogata sensorika, mogućnost komunikacije s ljudima (M2H - Machine To Human), mogućnost komunikacije s drugim robotima i strojevima (M2M - Machine to Machine), ali i s proizvodima [7, 8]. Kod visokoserijske proizvodnje koristit će se i dalje klasični industrijski roboti jer zadovoljava njihov načina rada, koji stalno ponavljaju iste pokrete, odnosno operacije, temeljem upisanog programa, bez percepcije okoline. Zato ljudi moraju biti zaštićeni od njih da ih ne ozlijede te su u halama uvijek odvojeni ogradama, sl.4a [9].

Kod kobota to nije slučaj; zbog ugrađene sensorike, oni prepoznaju okolinu. Njihova primjena bit će bitno veća u drugim područjima djelatnosti nego u industriji, poput kućanskih poslova, poslova u uredu, u restoranima, prometu, obrazovanju, bolnicama, domovima umirovljenika i pali-



a)



b)

Sl.4 Roboti u tvornicama a) tipična suvremena robotizirna tvornica automobila [9], b) suradnički robot UR10 u tvornici BMW pomaže pri ugradnji dijelova u vrata automobila [16]

javnoj skrbi, rehabilitaciji, kiborgizaciji, istraživanjima kao i u vojsci u funkciji vojnika robota. Ugrađuje im se sve više umjetna inteligencija, djelomično zbog zahtjeva da samostalno mogu obavljati pojedine zadatke u industriji, a znatno više da zamjene čovjeka u drugim područjima u okruženju čovjeka i da budu uspješni. Prigovara se da su spori, ali oni moraju biti takvi i toliko brzi koliko trebaju biti da rade poslove zajedno s ljudima kao njihove kolege na poslu. Na tim (novim) poslovima pokušava se maksimalno iskoristiti ljudske sposobnosti kao što su: osjećaji i emocije, iskustvo, sposobnost procjene, donošenje odluka i rješavanje problema, mašta, fleksibilnost, motivacija, a od robota: brza obrada podataka, objektivnost, sposobnost čitanja poruka senzora i pouzdana reakcija na fizikalne vrijednosti, brzo povezivanje i promjena procesa i sl. Cilj je oblikovanje radnog mjesta u kojem bi se dopunjavale sposobnosti čovjeka i robota [10-12].

Ti procesi implementacije robota u svim područjima ljudske djelatnosti sigurno će imati i znatan utjecaj na promjenu tržišta rada, jer će mnoge radnike zamijeniti roboti koji će obavljati njihove poslove. To znači gubitak velikog broja radnih mjesta, zahtjev za novim zanimanjima s novim znanjima i vještinama. Utjecat će na život ljudi i promjene u njihovom ponašanju. Prema nekim predviđanjima u sljedećih pet godina u 15

najrazvijenijih zemalja svijeta (zapošljavaju 65 % radne snage) 7,1 mil. radnih mjesta zamijenit će nova tehnološka rješenja (računala, roboti, automatizacija) ili će postati nepotrebna, a otvoriti će se dva milijuna novih poslova. Predviđa se da će 65 do 70 % današnjih osnovnoškolaca, raditi u zanimanjima koja danas još ne postoje. Najveći gubici radnih mjesta biti će u uređima i administraciji, odnosno biti će zamijenjena repetitivna radna mjesta bez obzira na to gdje ona bila. Engleska banka je upozorila da bi u sljedećih dvadeset godina moglo nestati čak 15 mil. radnih mjesta u Velikoj Britaniji zbog uvođenja robota u proizvodnju [13, 14]. Najveći udarac može očekivati zdravstveni sektor, zbog uspona telemedicine, čiji će razvoj smanjiti broj poslova i u zdravstvu, a očekuje se smanjenje potreba za radnicima i u energetici te financijama [13]. Nisu ugroženi poslovi u kojima se traži kreativnost poput inženjera, umjetnika, fotografa, pisaca, kompozitora, muzičara, modnih dizajnera, pjevača, glumaca i sl. [13] Drugi pak predviđaju da će gubitkom tih radnih mjesta nastati znatno veći broj potpuno novih od onih koja su izgubljena [4]. Automatizacija će stvoriti najviše radnih mjesta u informacijsko-komunikacijskom sektoru, profesionalnim uslugama i medijima, kao i industriji zabave [13]. Te globalne promjene traže već sada pripreme da se ta budućnost spremno dočeka [15].

1.3. Drugačiji stavovi o industriji 4.0

Iz prethodnog teksta se može izvući zaključak da se proklamirani pojam industrija 4.0 ne oslanja na nešto novo otkriveno što je potaklo poseban (skokoviti) razvoj industrije i društva, kao u prethodnim industrijskim revolucijama, jer su sve tehnike na koje se ona oslanja već izumljene i koriste se. Treba ih samo primjeniti na industriju, a što je standardni proces razvoja i aplikacije novih tehničkih rješenja i dostignuća [17]. Zato nije čudo da neki znanstvenici koji razmišljaju na ovaj način nazivaju industriju 4.0 „carevim novim ruhom“ (C. Roser [18], I. Čatić [19]) i u tom pogledu imaju pravo.

Taj pojam se može prihvatiti ne kao nekakav poseban revolucionarni skok, već kao onaj koji označava potrebu i poticaj potpune automatizacije procesa proizvodnje koristeći sva moderna proizvodna sredstva koja su objedinjena pod nazivom kibernetičko-fizički sustavi (CPS – *Cyber-Physical System*), jer integriraju računalnu tehniku, prijenos i obradu podataka, te suvremene mehaničke sustave koji su s njima integrirani.

2. Industrija tekstila i odjeće 4.0

Kada se govori o tekstinoj i odjevnoj industriji postoje dvije cjeline obzirom na gotovi proizvod. Jedna se odnosi na proizvodnju tekstilnog mate-

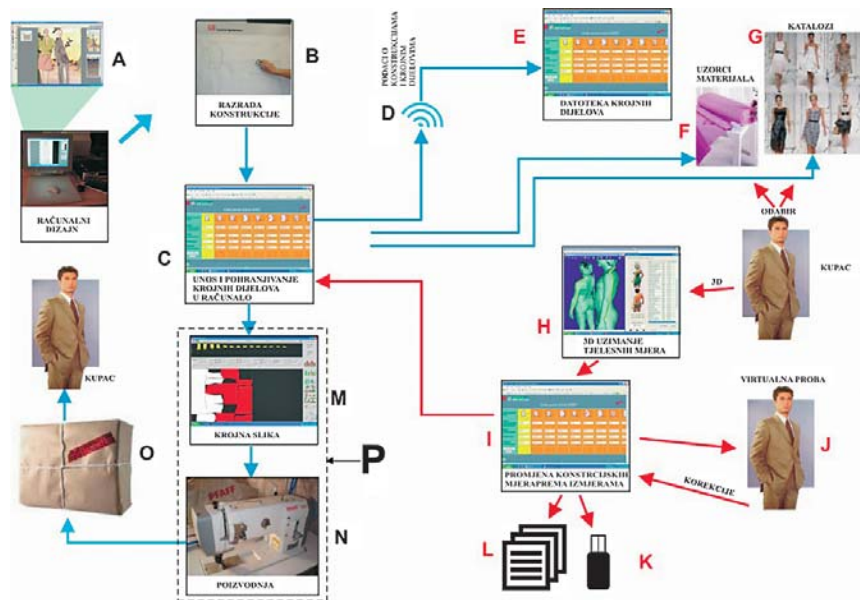
rijala, a druga na proizvodnju odjevnog predmeta od tih materijala. Sva-ka od njih ima svoj način proizvodnje, tehnologiju, postupke, strojeve. Problemi i rješenja su različita.

U sve postojeće procese rada s klasičnom sirovinom i proizvodnim materijalom pojavljuju se sve više nove vrste pametnih materijala, s velikim rasponom vrsta polazne sirovine, do ugrađenih senzorskih, računalnih i aktuatorskih elementa s elektrovodljivim povezivanjem. Kod odjevnog predmeta brzi je trend izrade inteligentnih odjevnih predmeta namijenjenih vojsci, bolesnicima, sportašima, sigurnosnim službama i sl. [20, 21].

Za procese proizvodnje tekstilnih materijala postoje već razrađena suvremena tehnološka rješenja i može govoriti o primjeni svih elementa industrije tekstila 4.0. O njima se može naći mnogo članaka i opisa rješenja kibernetičko-mehaničkih sustava. Druga skupina tekstilne industrije namijenjena proizvodnji odjeće nije još uvijek u potpunom procesu automatiziranja. U tekstu koji slijedi bit će opisana rješenja primijenjene automatizacije i robota u tim procesima.

2.1. Izrada odjeće

U posljednja dva desetljeća tekstilna industrija u većini zemalja Zapada nestajala je potpuno ili se djelomično odselila prema zemljama s jeftinijom radnom snagom. U međuvremenu mnogo toga se izmijenilo, od sve automatiziranih strojeva za izradu osnovnog materijala (pređenje i tkanje), izrade pametnog tekstila, do stalnog laganog rasta satnice radnika u zemljama u koje se preselila tekstilna industrija. Cijene troškova prijevoza također su važna stavka u ukupnoj cijeni. Kod odjevne industrije problemi su još uvijek nepostojanje potpune automatizacije proizvodnih linija. Međutim, prisutne su promjene na tržištu, te se osim masovne konfekcijske proizvodnje sve više zahtjeva izrada odjeće po mjeri. Potrošači žele fleksibilna rješenja i udovoljavanje zahtijeva pojedinca [22]. Su-

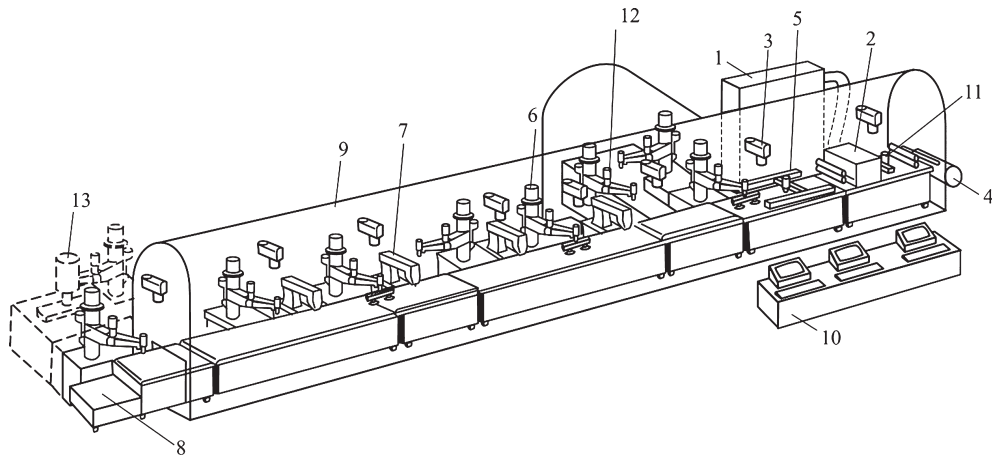


Sl.5 Proces izrade odjevnog proizvoda od dizajna do gotovog proizvoda za pojedinačnog kupca (velika slova označavaju vrste operacija i postupka)

vremena proizvodnja traži rješenja pojedinačne izrade prilagođene kupcu, te bi proizvodnja pojedinačnih proizvoda predstavljala nevisokoserijsku (velik broj istovrsnih proizvoda), već masovnu proizvodnju (velik broj različitih proizvoda istog načina proizvodnje). Tehničko i proizvodno rješenje tog problema predstavlja inženjerski izazov i njegovo rješenje vratilo bi dio te proizvodnje na Zapad, jer bi se mogla proizvoditi i jeftinije i kvalitetnije po zahtjevu krajnjeg korisnika. Taj pristup i rješenje predstavlja primjenu ideje i načela industrije 4.0 u odjevnu industriju, pa se može nazvati i *industrija odjeće 4.0*.

Danas je u CPS-u (*Cyber-Physical System*) razrađen sustav dizajniranja odjeće, te individualni pristup svakom krajnjem korisniku, na industrijski suvremen način, sukladno tehnologiji proklamiranoj industrijom 4.0, sl.5. U tom smislu riješeno je automatsko uzimanje mjera kupcu korištenjem 3D body skenera (H), automatska korekcija krojnih dijelova prema izmjerama kupca (I), virtualna proba odjevnog predmeta radi moguće korekcije (J), te proces automatske proizvodnje odjeće (P), i na kraju isporuke kupcu gotovog proizvoda (O). U tom procesu ostao je do kraja

neriješena samo potpuno automatska izrada odjeće. Na sl.5 proces proizvodnje odjeće radi jednostavnosti prikazan je u obliku samo dvije faze: izrada krojne slike (M) i šivanja (N). Već niz godina su usmjereni veliki naponi i istraživanja u potpunu automatizaciju tog procesa [23]. Prije svega istraživanja su usredotočena na senzorske sustave koji neugodnom tekstilnom materijalu, podložnom zauzimanju raznih prostornih oblika i nabora, prepoznaju položaj u prostoru i robotske sustave usmjeravaju da prihvate taj materijal (detaljnije o tome u [23]). Drugi pristup obećava brža i sigurnija rješenja jer dovodi tekstilni materijal u relativno kruto stanje za koje je do sada automatizacija u potpunosti riješena. Taj postupak ukratko se objašnjava u nastavku. Ideja, koju su još 2006. patentirali profesori sa TTF- a u Zagrebu [24] temeljila se na efektu skrućivanja tekstilnog materijala kada se on navlaži i zamrzne, sl.6. Cijeli proces odvijao se u prostoru kontrolirane temperature od -5 °C, kada se tkanina nakon navlaživanja zamrznu i tijekom procesa ponašala kao kruta tvorevina poput kartona. Za rad s tim krutim materijalom već ranije je riješena automatska manipulacija i proces rada s robotima. Za svaki proizvod prema mjeri kraj-



Sl.6 Idejna skica rješenja automatizacije izrade odjevnih predmeta postupkom ovlaživanja i zamrzavanja tekstilnog materijala s označenim fazama [24]



Sl.7 Robot Sewbot (UR) prostorno prenosi skrućeni krojni dio [25]

njeg korisnika izrezuju se krojni dijelovi i šivaju s robotima koji nose male šivaće strojeve. Krojni dijelovi se mogu i po potrebi prostorno oblikovati (rukavi, nogavice i sl.) i u tom obliku šivanjem spajati. Na kraju procesa obavlja se glačanje već ovlaženih odjevnih predmeta. Nažalost, u Hrvatskoj nije bilo interesa za investiranje u istraživanje i realizaciju te ideje. Američka tvrtka SoftWear Automation koju je osnovala skupina inženjera s Georgia Tech univerziteta razvila je robota Sewbot koji se koristio za manipulaciju krutim krojnim dijelovima prilikom šivanja, sl.7. [25] Da bi se tkanina ukrutila i bila poput kartona koristilo se premazivanje tkanine neštetnim polimerom, koji se potom očvrstne, a kasnije završetkom procesa lagano skinu s tkanine. Odmah na početku rada tvrtke 2012. američka vojna agencija DARPA dala joj je početnu donaciju

od 1,75 milijuna USD, a nedavno još 4,5 mil. USD [26, 27].

Ovaj sljedeći korak je na pragu realizacije kada će se, za sada ipak, moći raditi automatski samo jednostavniji odjevni predmeti (suknje, hlače, košulje, i sl.) po mjerama korisnika bez uključivanja radnika. Taj korak kao i ostala već realizirana rješenja u tekstilnoj industriji pokazuju da se i ona uključila u suvremenu filozofiju proizvodnje iskazane kroz načela industrije 4.0 neovisno o promidžbi tog koncepta. Rješenje s TTF-a nekoliko godina prethodi uvođenju koncepta industrije 4.0.

Već ranije je bilo automatiziranih rješenja izrade složenijih odjevnih predmeta (sako, kaput i sl.) koje prikazuje sl.8. Ta rješenja nisu još primijenjena u proizvodnim procesima, iako se mnogo eksperimentiralo s njima [23]. Vjerojatno će se umjesto industrijskih robota koristiti koboti, na sasvim

drugачiji način. Biti će uključeni u proces rada gdje će čovjek rješavati probleme nastale nepravilnim ponašanjem tkanine, a kobot pomagati držanjem izratka i obavljanjem strojnog procesa rada (šivanje i sl.). Na sl.7 prikazan je jedan takav robot tip UR5 koji prenosi krojni dio na mjesto šivanja. Istraživanja idu prema cilju zajedničkog rada radnika i robota na procesima izrade odjeće, kao međukorak do potpune automatizacije, korištenjem robota s razvijenom umjetnom inteligencijom.

Treba istaknuti da je još prije više od dva desetljeća engleski znanstvenik s područja odjevnih tehnologija G. Stylios najavio uvođenje inteligentnih šivaćih strojeva u procese proizvodnje odjeće [28]. Strojevi su se temeljili na primjeni neuronskih mreža i neizravne logike, a imali su više ulaznih senzora i aktuatora koji su mogli podešavati pojedine elemente strojeva zahtjevima tehnološkog procesa. Strojevi su mogli prepoznati promjene u proizvodnom okolišu i potpuno automatski se prilagoditi tim promjenama te su time poprimali attribute inteligentnih strojeva. Promjene u proizvodnim linijama su vrlo česte, a odnose se na promjene odjevnih veličina, pri čemu se mijenja geometrija dijelova odjevnih predmeta, promjene sirovinskog sastava materijala koji se šiva, promjene boja i dezena, promjene vrsta šavova i šivaćih uboda i sl. Navedenim promje-



Sl.8 Radna stanice za postavljanje rukava na sakou [23]

nama potrebno je svaki puta mijenjati putanje šavova, brzinu šivanja, pritisak pritisne nožice, napetosti donjih i gornjih konaca, vrijednosti posmika i druge parametre.

Posvemašnom digitalizacijom proizvodnih procesa značajno se povećava mogućnost primjene inteligentnih šivaćih strojeva u proizvodnom procesu, kao i brzina te kvaliteta njihovog odziva na uočene promjene.

Mnogi proizvođači strojeva i opreme za proizvodnju odjeće počeli su ugrađivati u svoju opremu vrlo snažna elektronička računala s obilnom programskom podrškom. Pri tome traže da takvi strojevi budu stalno priključeni na internetsku mrežu, a za to navode prividno valjane razloge. Navode da je to važno radi periodičkih nadogradnji softvera, preventivnog održavanja, praćenja radnih režima strojeva u svrhu iznalaženja optimalnih radnih karakteristika te pri pravodobnoj detekciji kvarova i iznalaženju potrebnih rezervnih dijelova za uklanjanje kvarova koji se brзом poštom mogu isporučiti korisniku, odnosno servisnoj službi.

2.2. Opasnosti digitalizacije izrade odjeće

Na opisani način proizvođači strojeva i opreme danas mogu i motriti stanje u računalnim sustavima za gradiranje krojeva, modeliranje i izradu krojnih slika, izradu računalne dokumentacije u tehnološkom procesu i drugim automatskim proizvodnim strojevima i

procesima. Osim korisnih podataka za proizvođače strojeva moguće je da uvidom u podatke koji se nalaze u svim spomenutim strojevima i sustavima, oni dobivaju informacije o proizvodnji koji su načelno proizvodna tajna. Vrlo lako se mogu doznati činjenice o dobavljačima repromaterijala, kupcima za koje se proizvodi odjeća, traženi modni detalji, količine i udjeli pojedinih vrsta odjeće u proizvodnom programu, kapaciteti proizvodnje, tržišta i zahtjevi tržišta te modni trendovi, učinkovitost proizvodnje, proizvodna fleksibilnost i drugo. Ti podaci koji su u pravilu poslovna tajna, a na taj način dostupni proizvođačima opreme, mogu predstavljati stanovitu prijetnju proizvođačima odjeće, osobito u uvjetima oštre tržišne konkurencije. Poznato je i u drugim područjima rada da sve dublja i širokospektralna digitalizacija, uz nesumnjive koristi može donijeti i vrlo ozbiljne prijetnje zbog lake mogućnosti neovlaštenog prikupljanja i distribucije dostupnih podataka iz proizvodnih procesa, kao i zlonamjerne intervencije u proizvodni proces.

2.3. Inteligentna i odjeća

Istraživački tim iz Zavoda za odjevnu tehnologiju Tekstilno-tehnološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu razvio je konceptualno potpuno novi tip odjeće nazvane inteligentnom odjećom. Do sada su razvijene i patentirane već tri generacije inteligentne odjeće s aktivnom toplinskom zašti-

tom. Navedena vrsta odjeće također opaža promjene u svom okolišu te se automatski prilagođava tim promjenama [9]. Stoga ima arhitekturu senzori-računalo-aktuatori, tako da senzora (vanjskim i unutrašnjim) uočava promjene u okolišu odjevnog predmeta, računalom uz pomoć algoritma inteligentnog ponašanja interpretira uočene promjene u okolišu i donosi smislenu reakciju prilagodbe na uočene promjene, a potom, angažiranjem aktuatora, izvršava potrebnu prilagodbu. Postupak prilagodbe je interakcijski tako da se nakon nekoliko pokušaja prilagodbe postiže zadovoljavajuće stanje [29, 21].

Novorazvijena vrsta odjevnih predmeta izvrsno se može uklopiti u nove proizvodne koncepcije, s motrišta proizvodnje kao i nošenja, odnosno eksploatacije nove vrste odjeće.

3. Zaključak

U području proizvodnje tekstila i tekstilnih proizvoda, prodorom digitalnih tehnologija, novih pametnih materijala i inteligentnih proizvoda za sve namjene, mijenjaju se procesi i tehnologija proizvodnje i organizacija. Načela industrije 4.0 počinje se primjenjivati u većoj ili manjoj mjeri u tekstilnoj i odjevnoj industriji i slobodno se može govoriti o industriji kojoj se može pridodati oznaka 4.0. Procesi koji definiraju industriju 4.0 predstavljaju suštinski novi pristup za tu industriju i imperativ su da se ona što brže prilagodi i prestrukturira. To

je ujedno i zadatak obrazovnim institucijama da se hitno okrenu obrazovanju za tu budućnost koja je već nastupila. Iako su te promjene obrazovnih programa i educiranje nastavnika često spore, nužno je tome hitno pristupiti. Presudna je polidisciplinarnost koja treba biti temelj novih obrazovnih programa.

Literatura:

- [1] Industrija 4.0 – nova opasnost za većinu domaćih proizvođača, (autor lider.media), dostupno na <https://lider.media/aktualno/tvrtke-i-trzista/poslovna-scena/industrija-40-nova-opasnost-za-vecinu-domacih-proizvodaca/>, objavljeno 23. 04. 2015.
- [2] Grech R.: Intelligent automation - smart manufacturing, dostupno na http://www.tecnalia.com/images/stories/Eventos/3_ROBOTNET_TrainingEventTECNALIA-I4_0_andAI_byMTC.pdf, (2017.)
- [3] Petrić J.: Industrija 4.0, *Industrija_4.0.pdf*, dostupno na http://titan.fsb.hr/~jpetric/Predavanja/Industrija%204_0.pdf, objavljeno 04. 2015.
- [4] Veža I.: Industrija 4.0 – novi strojarski izazov, objavljeno https://bib.irb.hr/datoteka/830338.Strojarski_izazov_SB_Veza.pdf, Slavonski Brod 19. 05. 2016.
- [5] Triple Helix koncept, dostupno na https://triplehelix.stanford.edu/3_helix_concept,
- [6] Firšt-Rogale S., Rogale D., Nikolić G. Intelligent clothing: first and second generation clothing with adaptive thermal insulation properties, *Textile Research Journal* (2017.): DOI: 10.1177/0040517517718190
- [7] Cicvarić B.: Hannover Messe oduševio i ove godine – Industrija 4.0 postaje sadašnjost!, dostupno na <http://www.fpz.unizg.hr/prom/?p=6991>, (2017.)
- [8] Industrija 4.0: Umreženi ljudi i strojevi ugrozili i stručne radnike, dostupno na <https://www.vecernji.hr/techsci/industrija-40-umrezeni-ljudi-i-strojevi-ugrozili-i-strucne-radnike-1000338>, objavljeno 15. 04. 2015.
- [9] Sharma R.: Automation towards factory of future (Industry 4.0), dostupno na <https://www.linkedin.com/pulse/industrial-robotics-journey-automation-towards-factory-sharma>, objavljeno 21. 03. 2017.
- [10] Matthias B.: Industrial Safety Requirements for Collaborative Robots and Application, dostupno na http://roboproject.h2214467.stratoserver.net/cms/upload/euRobotics_Forum/ERF2014_presentations/day_2/Industrial_HRC_-_ERF2014.pdf, objavljeno 10. 03. 2014.
- [11] Nikolić G.: Budućnost robota je u suradnji (kolaboraciji) sa čovjekom, Partner robot, časopis Open InfoTrend 205/09/2017, 58-63
- [12] Roboti za četvrtu industrijsku revoluciju, dostupno na <http://balkans.aljazeera.net/vijesti/robotiza-cetvrtu-industrijsku-revoluciju>, objavljeno 01. 10. 2015.
- [13] Blanuša B.: Robotizacija-četvrtu industrijsku revolucija koja pretržištu rada, dostupno na <http://www.ekonomski.net/robotizacija-cetvrtu-industrijska-revolucija-koja-pretrzištu-rada>, objavljeno 11. 01. 2017.
- [14] M. R.: Stiže četvrtu industrijsku revolucija: Niz poslova ubuduće će raditi roboti, jeli i vaš među njima?, dostupno na <http://www.index.hr/vijesti/clanak/stize-cetvrtu-industrijska-revolucija-niz-poslova-ubudu-ce-raditi-roboti-jeli-i-vas-medju-njima/869136.aspx>, objavljeno 19. 01. 2016.
- [15] Nikolić G.: Na pragu robotske revolucije, časopis Open InfoTrend200/09/2015, 66-69
- [16] Calderone L.: Collaborative Robots Working In Manufacturing, dostupno na <http://www.manufacturingtomorrow.com/article/2016/02/collaborative-robots-working-in-manufacturing/7672/>, objavljeno 25. 02. 2016.
- [17] De Bernardini I.: Industry 4.0: Evolution or Revolution?, dostupno na <https://www.automation-world.com/industry-40-evolution-or-revolution>, objavljeno 19. 12. 2016.
- [18] Roser C.: A Critical Look at Industry 4.0, dostupno na <http://www.allaboutlean.com/industry-4-0/>, objavljeno 29. 12. 2015.
- [19] Čatić I.: Je li industrija 4.0 doista četvrtu industrijsku revolucija?, *Svet polimera*, 20 (2017.) 2, 71-73
- [20] Firšt-Rogale S., Rogale D., Nikolić G., Dragčević Z.: Intelligentna odjeća, znanstvena knjiga, TTF Zagreb, Tiskara Zelina, (2014.) ISBN 978-953-7105-52-5
- [21] Nikolić G.: Dolazi vrijeme inteligentne odjeće, časopis *Politehnic & Design* Vol. 3, (2015.) No. 2, 215-226
- [22] Sonnenberg N. (2016.): Teil 1: Herausforderungen an die Textilindustrie, dostupno na <https://www.brightsolutions.de/blog/industrie-40-der-textil-und-modeindustrie-chancen-und-m%C3%B6glichkeiten-12>, objavljeno 03. 04. 2016.
- [23] Nikolić G., Katalinić B., Rogale D., Jerbić B., Čubrić G. (2008.): Roboti & primjena u industriji tekstila i odjeće, sveučilišni udžbenik, Tekstilno-tehnološki fakultet, Zrinski, Zagreb 2008.
- [24] Nikolić G., Rogale D., Šomodri Ž. (2003.): Patent PK20031024: Automatizirani proces izrade odjevnih predmeta korištenjem tkanine dovedene u kruto stanje vlaženjem i zamrzavanjem, Zavod za intelektualno vlasništvo RH, 2003.
- [25] Tweets & replies, dostupno na <https://twitter.com/innovanoticias>, objavljeno 09. 09. 2016.
- [26] Raphael R.: Is this sewing robot the future of fashion? <https://www.fastcompany.com/3067149/is-this-sewing-robot-the-future-of-fashion>, objavljeno 24. 01. 2017.
- [27] Pentagon's Robot Sewing Machines Take Aim at China's Factories, dostupno na <https://www.livescience.com/20814-pentagon-robot-sewing-machines-aim-china-factories.html>, objavljeno 07. 06. 2012.
- [28] Stylios G., Sotomi J. O.: A neuro-fuzzy control system for intelligent overlock sewing machines, *International Journal of Clothing Science and Technology* 7 (1989) 2/3, 49-55
- [29] Firšt-Rogale S., Rogale D., Dragčević Z., Nikolić G.: Constructing a Prototype of an Intelligent Article of Clothing with Active Thermal Protection, *Tekstil* 56 (2007.) 10, 593-609

SUMMARY

Industry 4.0 – Direction of the textile and clothing industry development

G. Nikolić, D. Rogale

The fourth industrial revolution, or, as it is today commonly called Industry 4.0, was not inspired by any particular invention as the three previous ones. It was launched by Germany in 2011 and it has given rise to the development of industry and automation of manufacturing processes using all modern production means known under the name of Cyber-Physical System (CPS). They integrate computer technology, data transfer and processing and modern mechanical systems. The modern factory is not isolated from social changes in economy development, development of science and education as represented by Triple Helix Model. This trend is also present in the textile and clothing production and can be spoken of Textile Industry 4.0 and Clothing Industry 4.0. There are some trends in the development of clothing manufacturing that justify this name.

Key words: Industry 4.0, Triple Helix Model, robots, cyber-physical systems
*University of Zagreb, Faculty of Textile Technology
Zagreb, Croatia*

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

Received February 2, 2017

Industrie 4.0 – Entwicklungsrichtung in der Textil- und Bekleidungsindustrie

Die vierte industrielle Revolution, oder, wie es heute allgemein Industrie 4.0 genannt wird, wurde nicht durch eine bestimmte Erfindung als die drei vorangegangenen inspiriert. Es wurde von Deutschland 2011 gestartet und hat zur Entwicklung von Industrie und Automatisierung von Herstellungsprozessen mit allen modernen Produktionsmitteln geführt, die unter dem Namen Cyber-Physical System (CPS) bekannt sind. Sie integrieren Computertechnologie, Datenübertragung und -verarbeitung sowie moderne mechanische Systeme. Die moderne Fabrik ist nicht isoliert von sozialen Veränderungen in der Wirtschaftsentwicklung, der Entwicklung von Wissenschaft und Bildung, wie sie durch Triple Helix Model repräsentiert sind. Dieser Trend ist auch in der Textil- und Bekleidungsherstellung zu beobachten und man spricht von Textilindustrie 4.0 und Bekleidungsindustrie 4.0. Es gibt einige Trends in der Entwicklung der Bekleidungsherstellung, die diesen Namen rechtfertigen.