

Od kalkulatora do računala 21. stoljeća: uspjesi i mogućnosti digitalne tehnologije u tekstilstvu

Emeritus Prof. **John W. S. Hearle**
University of Manchester
Mellor, Engleska
e-mail: johnhearle@hearle.eclipse.co.uk
Prispjelo 8.10.2014.

UDK 677:687
Izlaganje na skupu

U radu se daje pregled primjena digitalne tehnologije u tekstilnim industrijama od sredine 20. stoljeća do 21. stoljeća. Na početku je opisan napredak alata koji se koriste. Nakon toga se u poglavljima prikazuje estetski dizajn, strojevi i postupci, te uporaba digitalne tehnologije u veleprodaji i maloprodaji. Navodi se da postoje velike mogućnosti u području tehničkog oblikovanja i virtualnih pogona, ali programska rješenja proizišla iz znanstvenih istraživanja još nisu dospjela do industrije.

Ključne riječi: računanje, tekstilni dizajn, upravljanje strojevima, strukturna mehanika, vizualizacija

1. Uvod

Tekstilne industrije prošle su kroz nekoliko razdoblja brzih promjena. Prvi izumi širili su se godinama, počevši u pretpovijesno vrijeme i uglavnom su se ustalili i učvrstili do oko 1000. godine. Vanjska pogonska snaga počela se koristiti za strojeve između 1775. i 1825. U razdoblju između 1950. i 1980. došlo je do velikih inovacija u strojevima i procesima. Od sedamdesetih godina prošlog stoljeća nadalje elektonička digitalna tehnologija ima sve veći utjecaj na industriju. Svrha ovoga rada je dati široki pregled uspješnih razvojnih dostignuća i razmotriti izazove s kojima je industrija suočena. U dijelu, koji sadržava program Prve međunarodne konferencije o digitalnim teh-

*Plenarno predavanje na međunarodnoj konferenciji 7th INTERNATIONAL TEXTILE, CLOTHING & DESIGN CONFERENCE – Magic World of Textiles, 5.-8. 10. 2014., Dubrovnik, Hrvatska

nologijama za tekstilne industrije, održane u Manchesteru u rujnu 2013. godine, prikazana je širina interesa u razvoju i primjeni digitalnih tehnologija u tekstilnoj i odjevnoj industriji.

2. Razvoj alata

Krajem četrdesetih i početkom pedesetih godina 20. stoljeća, kad sam počinjao svoju istraživačku karijeru, alati koje smo imali za matematiku, obradu podataka i modeliranje strukture i svojstava vlakana sastojali su se od olovke i papira, logaritamskih i drugih tablica i šibera. Jedina matematička pomagala bili su elektromehanički kalkulatori (sl.1), posebno pogodni za statističke analize. No, promjene su došle. F. C. Williams je konstruirao računalo „Baby“ na Sveučilištu u Manchesteru (sl.2), koji je bio, tako kažu, prvo računalo koje se moglo programirati – uređaj s elektronskim cijevima i poštanskim relejima. Nakon toga su došla veća

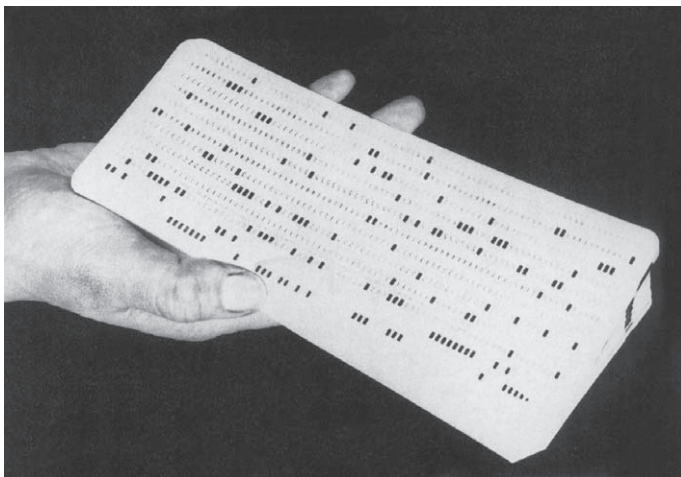
računala koja su se koristila za zahtjevnija istraživanja na Sveučilištu. Do vremena kad sam počeo voditi studente poslijediplomskog studija,



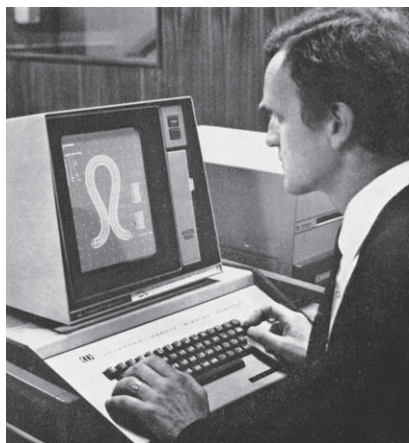
Sl.1 Elektromehanički kalkulator



Sl.2 Replika računala „Baby“, izrađena za 50. rođendan



Sl.3 Bušene kartice



Sl.4 On-line pristup

sredinom pedesetih, ATLAS računalo mogli su koristiti svi u Manchesteru. Programe su u jeziku Atlas Autocode pisali studenti. Bio je to dobar računalni jezik koji je na kraju izumro zbog konkurencije Fortrana iz IBM-a. Program se unosio bušenim karticama (sl.3), a odgovor računala došao bi na čitač karata za nekoliko sati ili dana. Kasnije se računalu moglo pristupiti teleprinterom, no na odgovore se još uvijek čekalo u redu. Pohađao sam tečaj Fortrana, ali nikad nisam bio vješt u programiranju. Moja je uloga bila strateška, ne taktička.

Akadske godine 1963./64. proveo sam godinu dana na MIT-u. Time-share i on-line pristup bile su velike novosti. Profesor Stanley Backer koristio je ove koncepcije za razvoj on-line sustava služenja literaturom za američku tekstilnu industriju. Godine 1966. to je prikazano u Manchesteru,

korištenjem prekoatlantske komercijalne Telex mreže, kako bi se uspostavio kontakt s računalom u Cambridgeu, Massachusetts. Međutim, situacija u Manchesteru bila je složena. Profesor Gordon Black, direktor Središnjeg računala, vjerovao je samo u pojedinačna računala. Na sreću, profesor Howard Rosenbrock, direktor Centra za kontrolne sustave, imao je drugačije stavove i instalirao je PDP10, s većim brojem terminala za on-line pristup. Milos Konopasek iskoristio je te uređaje (sl.4) kad je 1968. došao u Manchester kao istraživač. Njegov je rad, koji je nastavio nakon što je otišao u SAD, pokrивao širok raspon, od mrežnih algoritama za strukturu tkanina (što je postalo osnovom za matematički računalni program), TK Solvera i krivulja savijanja pletiva, sve do algoritama za planiranje krojnih slika.

S vremenom je on-line pristup središnjim računalima postao standard nakon kojeg su došla mikroručunala. Početkom osamdesetih godina Odjel za tekstil nabavio je BBC Acorn osobno računalo. Malo prije mog umirovljenja s UMIST-a u 1985., dr. Susitoglu koristio je ta računala za modeliranje mehaničkih svojstava vune, što smo predstavili u svom radu na 7. International Wool Textile Research Conference. Danas, u skladu s predviđanjima Mooreovog zakona, standard su osobna računala opće namjene ili mali specijalizirani uređaji

koji udovoljavaju većini potreba tekstilnog dizajna, upravljanja strojevima i modeliranja, dok velika računala rade s većim bazama podataka.

Što će biti u budućnosti? Da bi se dobio uvid u veći broj inovativnih novih načina korištenja digitalnih tehnologija za tekstilnu industriju, treba sagledati najnovija dostignuća na polju superračunala i rada u oblacima.

3. Dizajn tekstila

Razvoj računalne grafike doveo je do toga da tekstil postane važno područje primjene. Na početku dizajneri nisu bili skloni računalima, govoreći da im računala ugrožavaju slobodu rada rukom. Početkom sedamdesetih godina Roger Nicholson, profesor dizajna tekstila na Royal College of Art u Londonu, istraživao je korištenje računalne grafike rabeći uređaje u kartografskom odjelu svoje institucije. W.D. Cooke i ja pridružili smo se u izradi jedne aplikacije za Wolfson Fundacije, koja je namjeravala razviti CAD sustav za tekstil. Ocjene projekta bile su dobre, no priča kaže da je tajnik Fundacije sreo nekog proizvođača u svom klubu koji mu je rekao „A zašto dizajneri trebaju računala? Pa imaju pantografe!“ To je ubilo našu ideju.

Ipak, tvrtke i akademski istraživači počeli su razvijati sustave. Primjer toga, posebno prilagođen tartanima i kariranim uzorcima, bio je ScotCad, nastao u Škotskom koleđu tekstila iz Galashielsa. Peter Grigg, elektroinženjer s iskustvom u računalstvu izabran je 1975. na UMIST-u u Manchesteru za predavača tekstilnog inženjstva, sa zadaćom da razvije CAD sustav za tekstil, iako dizajneri na odjelu nisu pokazivali previše zanimanja za taj projekt. Ne želeći biti vezan za središnje računalo Sveučilišta, Grigg je nabavio dva samostalna računala od Britanske mornarice. Ta su računala dimenzijama sličila na okomito postavljene klavire, a snaga im je bila nekoliko razina ispod suvremenih osobnih računala. Ipak,

Griggova nastojanja doživjela su uspjeh, a subvencije vlade i Wolfson Fundacije dovele su do formiranja TCS Ltd. početkom osamdesetih godina. Prva narudžba bila je posao za jednog novozelandskog proizvođača tepiha. Tvrtku je devedesetih godina kupila kompanija NedGraphics BV. Zanimljivo, na stranici Ned Graphics tvrdi se da „već više od 30 godina

NedGraphics radi na razvoju računalnih programa za modnu industriju.” To potvrđuje da su osamdesete bile vrijeme kad su tekstilni dizajneri počeli prihvaćati CAD sustave. Danas je CAD gotovo univerzalni način rada u industriji i brojne računalne tvrtke opskrbljuju tržište svojim proizvodima. Usporedno s tim, modni dizajneri danas koriste računalnu grafiku za svoje kreacije.

4. Strojevi i operacije

Tekstilstvo je prva grana kod koje je digitalna tehnologija primijenjena na strojeve. Basile Bouchon, proizvođač svilenih tkanina iz Liona, 1725. godine svom ručnom tkalačkom stroju dodao je rolu bušenog papira. Do tada je tkalac (ili njegov pomoćnik) morao nakon svakog utkaja podignuti donju skupinu uzica koje drže niti osnove, kako bi se dobio jednostavan uzorak. Ručno bušeni papir omogućavao je da se taj postupak provede automatski. Bouchonovo ime nije ostalo zapamćeno, a 75 godina kasnije Joseph Marie Jacquard (sl.5) shvatio je da se pojedinačnim nitima može upravljati dugačkim smotkom bušenih kartica. Tako je nastalo „žakarsko tkanje“ – način izrade složenih uzoraka (sl.6), pa i malih umjetničkih djela. U osnovi je to potpuno mehanički, digitalni postupak i do danas je, tijekom dvije stotine godina, ostao jedinim načinom proizvodnje plošnih proizvoda složenih uzoraka.

Do promjena je došlo osamdesetih godina prošlog stoljeća. Najprije se dogodila kratka međufaza u kojoj je elektromehaničko bušenje karata zamijenilo ručno. Izravno upravljanje tkalačkim strojevima nije bio lagan korak. Peter Grigg je pokušavao razviti takav stroj na UMIST-u u Manchesteru, no nije mogao savladati problem zagrijavanja aktivatora. Tek na izložbi ITMA u Milanu 1983. godine tvrtka Bonas Machine Company Ltd. lansirala je prvi elektronski žakarski uređaj. Slijedili su i drugi proizvođači strojeva, posebno Stäubli. Put je bio otvoren od dizajnerskog računala do računala koje kontrolira tkalački stroj. Upravljanje računalom može se koristiti ne samo za konvencionalno plošno tkanje već i za novija dostignuća u 3D tkaninama, kod kojih se isprepliću višestruki slojevi i tvore složeni 3D oblici. Program Weave Engineer, koji je razvila tvrtka Xiaogang Chen, omogućava jednostavan pristup tkanoj strukturi i može se lako koristiti za upravljanje strojevima. Na sl.7 su prikazana dva primjera uporabe.

Do sličnog je razvoja došlo i u drugim dijelovima tekstilne industrije. Kod oplitanja se koristi digitalna kontrola nosača niti, kod pletenja uzorka očica, a kod vezenja kretanje igle za vezenje.

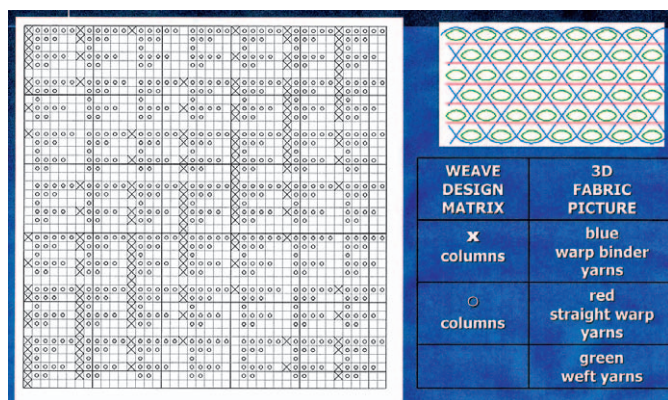
Digitalna tehnologija dovela je do još revolucionarnije promjene u proizvodnji pletiva. Umjesto da se odvojeni komadi pletiva spajaju šivanjem,



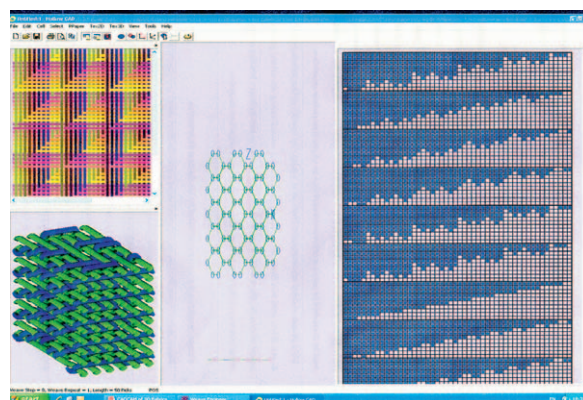
Sl.5 J. M. Jacquard



Sl.6 Žakarska tkanina

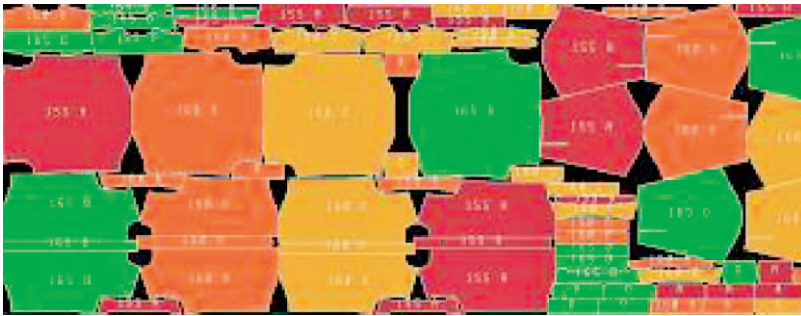


a)

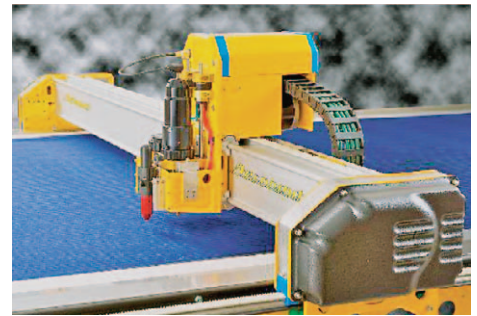


b)

Sl.7 Oblikovanje 3D tkanja: a) šest se slojeva isprepleće da se dobije ojačanje kompozita, b) šuplja struktura koja se može koristiti za protubalističku zaštitu



Sl.8 Digitalni plan iskrojanja



Sl.9 Digitalno upravljani stroj za krojenje

računalno upravljani ravnoprepletači strojevi, koje su prvi proizveli Shima Seiki i Stoll, omogućavaju kontroliranje čitavog oblika odjevnog predmeta i njegovu proizvodnju u jednom dijelu. Za tehničke se potrebe mogu proizvesti i svi mogući drugi oblici.

Digitalni tisak uobičajen je za tekstove i grafiku na papiru, no visoku je kvalitetu teže postići na tekstilnom materijalu. Razvoj je ponešto zaostao za onim u tkanju, no danas se digitalni tisak na tekstilu uvelike koristi. Dizajnerima to otvara nove perspektive. Ponavljanje uzoraka više nije obvezno, kao što je to bilo kod tiska valjcima ili šablonama. Varijacije su ograničene samo veličinom datoteke, a mogu se uvesti i nasumični efekti. Na primjer, kod uzorka krugova mogu se ostvariti promjene u razmještanju unutar određenog raspona, veličine i boja, ili, kod cvjetnog uzorka, mogu se uvesti nasumične varijacije u obliku cvjetova, listova i stabljika. Dizajnerski detalji mogu se uskladiti imajući na umu njihov položaj na gotovom proizvodu, poput ženske haljine ili tkanine za namještaj. Dizajnerima se, uz dobar program, otvara novi svijet – u sasvim drugim dimenzijama nego što je to tiskanje logotipa na majicu.

Na početku tekstilno/odjevnog lanca, tvrtke poput Toyote koriste digitalnu tehnologiju kod dizajna i proizvodnih strojeva na sličan način kako se koristi u proizvodnji automobila. Isto se tiče tvrtki koje djeluju samo na tekstilnom tržištu, no o tome se u ovom radu neće ići u detalje.

Na drugom kraju lanca, masovna proizvodnja odjeće predstavlja dodatni

izazov za programere. Dizajner odjeće određuje kolekciju više dijelova različitih odjevnih veličina i oblika, koje treba šivanjem spojiti. Matematička zagonetka glasi: “*Koji raspored dijelova svodi gubitke uslijed razmaka između dijelova na minimum?*” Mogućnosti slaganja su neograničene. Na sreću, razvijeni su pametni algoritmi koji, ako već ne dosežu apsolutni optimum, dolaze praktički blizu optimumu. Primjer se vidi na sl.8. Datoteka se nakon toga može prenijeti na uređaje za automatsko upravljanje strojem za krojenje, sl.9.

5. Komercijala i maloprodaja

Financijsko upravljanje, planiranje i praćenje proizvodnje, upravljanje zalihama i isporukama, kao i druge komercijalne operacije, očito su mjesto za korištenje digitalne tehnologije, no to je zajedničko svim industrijskim granama. Dvije posebnosti tekstilne industrije, koje se posebno tiču maloprodaje, su širina proizvodnog asortimana i kratki rok od oblikovanja do kupovine. Za ilustraciju može se usporediti brzina promjene ponude odjeće u dućanu i brzina dolaska novih modela u prodavaonicu automobila. Prvi period je izuzetno kratak a drugi može trajati i nekoliko godina.

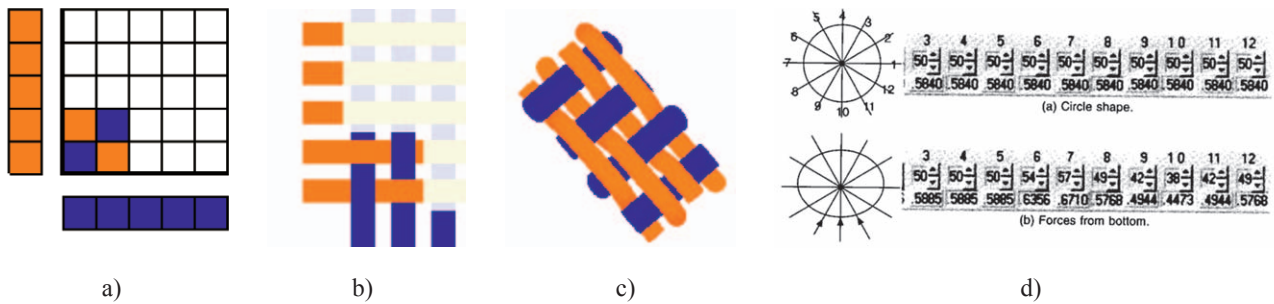
6. Inženjersko oblikovanje

Prethodna tri poglavlja bave se digitalnim tehnologijama koje se najčešće koriste u današnjoj tekstilnoj industriji. Inženjersko oblikovanje predstavlja izazov s obzirom na komercijalnu uporabu. Mehanička svojstva tekstilnih materijala, uz druga svojstva povezana s određenom primje-

nom, očito su važna kod korištenja tekstila. Ta svojstva također određuju subjektivne aspekte tekstilija, poput udobnosti i pada, a o kojima se govori u sljedećem poglavlju, a odlučujuća su za potrošačevu ocjenu odjevnog predmeta.

U 21. stoljeću računalni dizajn (CAD) je standard za sve grane inženjerstva kad se radi o oblikovanju struktura i predviđanju njihovog ponašanja. Iznimka je tekstilna industrija. Razlozi su djelomično tehnički. Proizvodi se izrađuju od milijuna vlakana, sa složenim visko-elastičnim-plastičnim svojstvima, a deformacije materijala su velike i izuzetno složene. Ti čimbenici znače da se ovdje ne mogu primijeniti aproksimacije malog naponanja, linearno-elastičnih svojstava, kao što je to slučaj kod krutih struktura. No, isto je tako važan čimbenik i konzervativizam. Tvrtke su uglavnom male i osoblje u njima ima veliko praktičko iskustvo i osjećaj za posao, a trenutačno se gotovo svagdje preferiraju tradicionalni postupci. Ipak, kod svih primjena digitalna tehnologija nudi bolje optimiranje, uz potrebu za manjim brojem praktičkih pokusa, uz veću učinkovitost i bolje prilagođavanje proizvoda krajnjoj namjeni.

Korisnici inženjerskih usluga moraju vjerovati da se moderni, kvantitativni CAD postupci koriste za dizajniranje njihovih proizvoda. Tipični primjer je dizajner zrakoplova koji želi koristiti 3D tekstiliju u kompozitima. Iskustvo mi govori da je jedina primjena vlakana kod koje je korišten ovaj pristup izrada užadi – a i to treba zahvaliti potrebama tvrtki s dovoljno sredstava da plate razvoj. Američka mor-



Sl.10 Geometrija tkanja: a) tkalački papir, b) mreža, c) s oblikom pređe, d) algoritam za oblik pređe s poprečnim silama i bez njih

narica već dulje vrijeme želi razviti i proizvesti veliku plutajuću platformu koja bi se mogla koristiti kao zrakoplovna pista i vojna baza, a koja bi se u svakom trenutku mogla stabilizirati gdje je potrebno. Krajem osamdesetih godina, Mornarički građevinski laboratorij (Naval Civil Engineering Laboratory), koji je radio na rješavanju problema stabiliziranja platforme u dubokim vodama, zatražio je od novoformirane konzultantske tvrtke, Tension Technology International (TTI), da razvije program modeliranja užadi. To je rezultiralo programom Fibre Rope Modellerom (FRM), koji se danas često koristi u užarskoj industriji.

Akademski istraživanja strukturne mehanike tekstila započela su već prije stotinjak godina s Gegaufovom člankom o pamučnim pređama 1907. i Haasovim o tkaninama 1912. godine, a radovi su se povremeno javljali sve do sredine četrdesetih godina. U to je vrijeme Laboratorij za istraživanje tekstila (Fabric Research Laboratories) iz Bostona otvorio eru kontinuiranog istraživanja u području tekstila. Mehanika končanih, beskrajskih filamentnih pređa ilustrira promjenu metodologije. Čak se i velika istežanja pređe mogu povezati s istežanjem vlakana pomoću jednostavne geometrijske jednadžbe. U prvom su modelu komponente napetosti vlakana zbrojene. Da bi se u obzir uzele i poprečne sile između vlakana, koristila se ravnoteža sila, no matematika postaje izuzetno složena u slučaju većih naprezanja i nelinearnih svojstava vlakana. Treloarov rad na kor-

dovima za automobilske gume bio je prekretnica: očuvanje energije je jednostavnije i iznimaka je manje, a nekoliko potrebnih jednadžbi lako se programira. Pređa ispredena od kratkih vlakana složeniji je slučaj. Kod takve bi pređe možda najbolje bilo ne pokušati modelirati detaljni raspored vlakana, već stvoriti bazu podataka za izmjerena svojstva, uz poluempirijske odnose kojima se predviđa učinak promjena u pređi, odnosno sirovinski sastav, duljinska masa, uvojitost i sl.

Kod tkanina (slično načelo vrijedi i za opticanje, a kad se u obzir uzme struktura očica, i za pletiva) je topologija tradicionalno određena binarnim sustavom tkalačkog papira, sl.10a. Na računalu je mrežna grafika, sl. 10b, još informativnija. Klikom na sjecišta niti može se promijeniti gornji položaj osnove ili potke. Ako je poznata udaljenost između niti, prikaz može biti još realniji, sl.10c. Oblik pređe prikazuje se kružnim, prugastim ili lećastim formama, no prikladniji način određivanja poprečnog presjeka pod opterećenjem na veznim točkama niti jest metoda vektora koju su razvili Jiang i Chen [2].

Kao i kod pređa, početni rad na mehanici tkanina koristio se metodama sila i momenta. Godine 1978. Hearle i Shanahan [3] predložili su energetsku metodu, svestraniji i moćniji postupak od prethodno korištenih. Taj je postupak usavršen u zadnjih nekoliko godina. Element tkanine se određuje glavnim kontrolnim točkama na uglovima elemenata koji se ponav-

ljaju, a koji čine sporedne kontrolne točke na svakoj veznoj točki. U prvoj aproksimaciji pretpostavlja se da se sporedne kontrolne točke deformiraju srodno glavnim kontrolnim točkama. Stoga proizlazi:

$$\begin{aligned} \text{Ukupna energija deformacije} &= \\ &= \Sigma[\text{pređa (produljenje + savijanje +} \\ &\quad + \text{spljoštenje) energija}] \end{aligned}$$

Duljina, krivulja savijanja i oblik pređe na sporednim kontrolnim točkama i između njih utječu jedni na druge. Minimalizacijom se određuju njihove vrijednosti. Razlika između sveukupne energije uslijed rasta deformacije omogućava da se odrede sile koje nastaju u tkanini.

Inačica ovakvog energetskog pristupa koristila se u Weave GeoModelleru tvrtke TexEng Software Ltd, TexGen s Nottingham University, i WiseTex s Leuven University, no komercijalno se ovi programi nisu koristili. Bilo bi korisno iskoristiti velike mogućnosti inače široko uporabljenih programa analize konačnih elemenata, poput ABAQUSA i sličnih programa. Poznatije metode koje koriste 3D geometrijske elemente nisu pogodne za opisivanje strukturne mehanike tkanina. Manje poznata metoda zrake pogodnija je za strukture sastavljene od fleksibilnih linearnih elemenata, poput vlakana i pređa.

Za razliku od rada na užadi, koji je dobio daljnji poticaj kroz potrebe naftnih kompanija da ustabile platforme u dubokim vodama, modeliranje tkanina napredovalo je samo zbog garanja akademske zajednice,

a ne zbog potražnje. Još uvijek je potrebno pokazati što bi se moglo napraviti prije nego što industrija zatraži programe koji će je uvesti u CAD 21. stoljeća. Temeljno znanje za razvoj programa postoji i potreban je značajan napor koji će to znanje pretvoriti u komercijalne računalne programe. Što može akademska zajednica svojim inicijativama postići kako bi potakla potrebu industrije? Postoje tri međusobno povezane točke: (1) pokušati idenificirati korisna pojednostavnjenja, a ne proizvoditi univerzalne programe; dva primjera mogu biti tkanine s monofilamentom ili visokouvijenom predom, gdje je promjena oblika zanemariva odosno tkanine s mekom predom gdje nema slobodnog prostora između križnih točaka, (2) koncentrirati se na programe koji su vezani sa specifičnim problemima i ne pokušavati ostvariti univerzalnu primjenu programa, (3) pokušati naći kupce koji imaju posebne i hitne potrebe.

7. Čvrsta veza s tržištem

Kad se radi o tržištima tehničkog tekstila, zahtjevi koji se postavljaju pred proizvođače mogu se obično opisati izrazima koje lako razumiju inženjeri, fizičari ili kemičari. Kvalitativno su znanstvene veze sasvim jasne, premda je očit izazov pretvaranja složenih situacija u funkcionalne analitičke i računalne modele. Kod nekih je primjera neophodno razviti eksperimentalne procedure kako bi se dobili ulazni podaci za „nepoznata“ svojstva vlakana, poput brzine habanja vlakna koja se međusobno trljaju. Za veći dio onoga što ljudi smatraju tekstilnim tržištem ne postoji jasna terminologija. Možemo govoriti o potrošačkim tekstilijama, modnoj robi ili preciznije, o odjeći, namještaju i sl. Na tim tržištima pojedinci donose estetske, osjetilne i psihološke odluke o tome što će kupiti, nositi ili koristiti. Tu su tehnički zahtjevi, poput neprozirnosti da se zaštititi tijelo ili blokiraju prozori ili prijenos topline i vlage da se upravlja udobnošću,

mada i takvi zahtjevi uvode subjektivnost koja se ne može lako kvantificirati. Za neke potrebe, poput sportske ili zaštitne odjeće, postoje i zahtjevi funkcionalnosti, koji često mogu prevagnuti nad „modnim“ aspektima. Ipak, najčešće je estetika ona koja prevladava.

Način uvođenja digitalne tehnologije za boju i uzorak je jednostavan. Vizualni izgled teksturiranog tekstila nešto je složeniji, no to je tehnički problem koji ne zahtijeva neko dublje razumijevanje tekstilnih materijala. Najvažniji izazov je to kako materijal pada statički u mirovanju ili dinamički kroz pokrete. To je također problem kod nekih tehničkih primjena, na primjer kako tkanina pada ili se oblikuje preko kalupa (u pokusima se ponekad koriste pepeljare) prije impregniranja u tvorbi kompozita. Znanstveni pristup koji određuje oblik nije do kraja razrađen.

Cilj kojem se teži u ovom aspektu digitalne tehnologije je „virtualna modna pista“ po kojoj „modeli“ šeću realno kao kod prave modne revije, odnosno po kojoj kupac može šetati i ući u trgovinu, odnosno doći on-line iz svog doma, odabrati predmet iz kolekcije slika i onda na zaslonu vidjeti kako bi izgledao da nosi taj predmet, te se kretati u različitim okolinama i pod različitim osvjetljenjem, kao u pravoj virtualnoj stvarnosti. Praktični aspekti bi uključili jednostavan izbor, poput promjena boja, odabira različitih materijala za haljine, pa i provođenje većih dizajnerskih izmjena.

Do ograničenog napretka (ako je to uopće napredak) došlo je u jednom

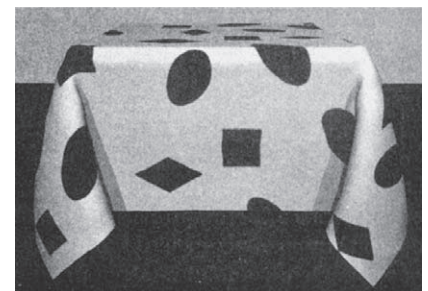
aspektu ove maloprodajne vizije. Izrada odjeće po mjeri, kod koje krojač mjeri kupca i izrađuje odjeću koja odgovara njegovim/njenim mjerama, može se zamijeniti skeniranjem tijela, gdje se digitalni podaci prenose u tvornicu i prema njima se mijenja plan krojenja kako bi odjeća odgovarala konkretnom kupcu. Još nije pronađen način prikazivanja vizualne estetike prema standardima koji se vide na filmu ili TV.

Postoje tri razine virtualne stvarnosti. Kod crtanih filmova izobličenje (nestvarnost) je prihvatljivo, pa čak i poželjno. Na TV i filmu došlo je do zapanjujućeg napretka glede virtualnih slika. No ono što je ovdje potrebno jest jednostavno omogućiti gledatelju da dobije životni izgled stvarnosti. Tu se radi isključivo o računalnoj grafici, genijalnoj i nepovezanoj sa stvarnim materijalima. Problem pred kojim se nalaze tekstilna i odjevna industrija više je razine složenosti i uključuje povezivanje izgleda sa stvarnim fizičkim svojstvima tekstilnog materijala.

Ovom se problemu pokušavalo pristupiti korištenjem metoda konačnih elemenata ili konačnih čestica, kako bi se na minimum svela deformacija na čitavoj površini plošne tekstilije. Jedni od prvih koji su koristili ovu metodu bili su 1994. godine Breen i sur. [4]. Primjer, a zahtijevao je dugo vrijeme računalnih proračuna, se vidi na sl. 11. Izgled je razumno prihvatljiv jer se radi o vrlo jednostavnom obliku pada materijala koji ne uključuje višestruko presavijanje do kakvog dolazi kod odjeće. Drugi su istraživači modelu dodali pokret, no



a)



b)

Sl. 11 Predviđanje pada materijala: a) stvarni pad, b) simulirani pad

nitko nije uspio postići kvalitetu kakvu bi korisnik očekivao.

Vjerojatno postoje dva aspekta problema.

Organizacijski, ove su pristupe iskkušavale skupine koje su se uglavnom sastojale od jednog istraživača i asistenta. Da bi se postigao izgled kao na filmu, a to je ono što potrošač želi vidjeti, potreban je značajno veći i angažiraniji napor i uključivanje stručnjaka u računalnoj grafici koji bi surađivali s ljudima koji razumiju mehaniku tekstila, i drugima, koji razumiju modna i maloprodajna tržišta. Tehnički, vjerujem da postoji potreba da se detaljnije istraži 3D deformacija tekstila i nađe način na koji bi se ta deformacija najbolje modelirala. Složena deformacija plošnih proizvoda

je tema kojom se umjetnici već dugo bave, sl.12a i vide ju kao umjetnost, sl.12b. Za razliku od oštih bridova koji se dobiju kad se zgužva papir, istraživanja tijekom šezdesetih [5] pokazala su da zaobljeni trodimenzijski oblici deformiranja u dvostrukim zakrivljenim oblicima ne ovise samo o niskoj krutosti savijanja već i o niskom otporu na smicanje. Kasnija istraživanja Hearlea i Amirbayata [6, 7] pokazala su da je trostruko pregib uobičajeni oblik, sl.13a. Tu je zaobljena kupola dvostrukog zaobljenja u središtu i nabori dvostrukog zaobljenja na rubovima. Analiza linearno elastičnog, izotropnog materijala pokazala je taj oblik, sl.13b, no potrebno je još mnogo rada za izračunavanje plošnih proizvoda koji su

anizotropni i imaju nelinearna mehanička svojstva. Javljaju se još dva oblika deformacije: jedan je ravno izbočenje po osnovi ili potki, a drugi uključuje dugačka poprečna izbočenja do kojih dolazi kad dođe do napetosti u kosom smjeru na tkanini, koja se može vidjeti, na primjer, na bedru hlača. Ova svojstva treba uzeti u obzir kod vrednovanja računalnog programa. Moguće je da će se ta načela koristiti u razvoju pametnih algoritama kao alternativa „sirovoj sili“ kod postupaka primjene konačnih elemenata na čitavom odjevnom predmetu. Pri tome treba u obzir uzeti i ulogu šavova.

Kakav god program da se razvije, sljedeća temeljna mehanička načela moraju se uzeti u obzir:

- Odnos između istezanja i presavijanja. Kod krutih materijala, krutost kod savijanja povezana je s vlačnom krutošću parametrom EI , gdje je E Youngov modul, a I ima oblik momenta inercije. Za razliku od toga, nema izravnog odnosa između vlačne krutosti i presavijanja kod struktura kao što su tekstilni plošni proizvodi;
- Anizotropija. Šest smjerova treba imati na umu kod plošne tekstilije. To dovodi do matrice elastičnih konstanti, sl.14a, i analognih odnosa za nelinearnost visokog naprezanja. Sufiksi 1 i 2 odnose se na ravninsko naprezanje/rasteza-

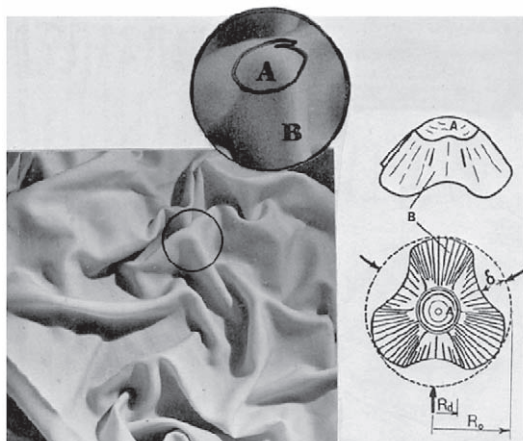


a)

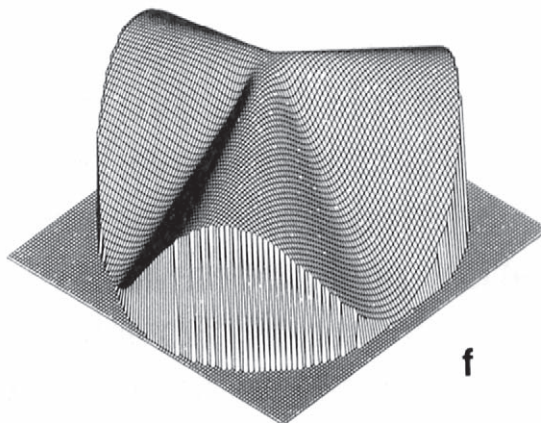


b)

Sl.12 Studija pada tkanina: a) Leonarda da Vincija, b) naslovna stranica knjige objavljene devedesetih godina prošlog stoljeća



a)



b)

Sl.13 Oblici deformacije: a) s tri pregiba, b) računalni model jednostavnog materijala, iz članaka Hearlea i Amibayate [4] i Hearlea [5]

$$\begin{pmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \\ F_4 \\ F_5 \\ F_6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} & B_{14} & B_{15} & B_{16} \\ & A_{22} & A_{23} & B_{24} & B_{25} & B_{26} \\ & & A_{33} & B_{34} & B_{35} & B_{36} \\ & & & D_{44} & D_{45} & D_{46} \\ & & & & D_{55} & D_{56} \\ & & & & & D_{66} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \delta_1 \\ \delta_2 \\ \delta_3 \\ \delta_4 \\ \delta_5 \\ \delta_6 \end{pmatrix}$$

a)

b)

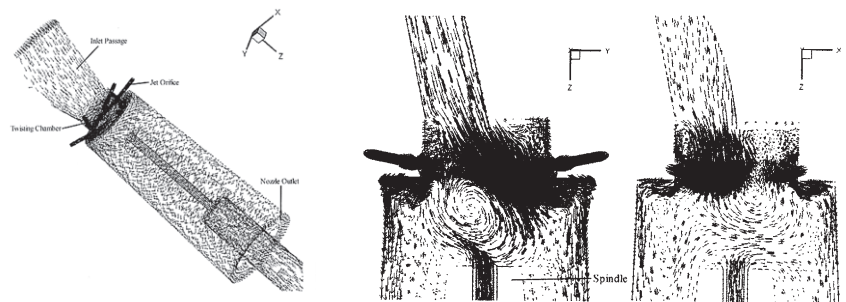
Sl.14 a) Matrica elastičnih konstanti; b) presavijanje po dijagonali - dva presavijanja i uvijanje (uzeto iz rada Shanahana i suradnika [8])

nje po osnovi i potki, a 3 na moment/smicanje. Sufiksi 4 i 5 odnose se na moment/zakrivljenje po osnovi i potki. Smjer 6 se često zanemaruje i nije ga lako izravno izmjeriti, no mora se uzeti u obzir. Odnosi se na moment/uvijanje i jednak je načinu na koji se rastezanje po dijagonali može dovesti u vezu s dva vlačna smjera plus smicanje. Sl.14b pokazuje kako je presavijanje po dijagonali povezano s dva smjera presavijanja plus uvijanja. Ispitivanje presavijanja u tri smjera može dati potrebne informacije;

- Međudjelovanje u krutosti između smjerova. Matrica na sl.14a pokazuje da su različiti smjerovi međusobno povezani. Na primjer, krutost kod savijanja ovisit će o napetosti tkanine. Kod modeliranja mogu se koristiti pojednostavnjenja: pri visokoj napetosti savijanje će biti zanemarivo;
- Jednostavno geometrijsko međudjelovanje između smjerova. Poissonov efekt omjera, po kojem je bočno skraćivanje povezano s osnim rastezanjem dobro je poznat, a promjene duljine povezuju se i sa smicanjem. Efekti izvan ravnine manje su jasni;
- Nejednakomjernost deformacije. Jednostavan test uvijanja provodi se tako da se krajevi uzorka spoje i uviju. Ako je udaljenost između hvataljki koje drže uzorak fiksna, neće doći do promjene duljine u središtu uzorka, ali će se duljina povećati prema rubovima;

- Kompresija. Kad se tkanina napne preko čvrste površine, npr. kod hlača na koljenu, deformacija izvan ravnine odredit će se oblikom površine. No, sile će se prenositi na slobodna područja, a utjecaj će imati i trenje;
- Dinamika. Rješavanje statičkog oblika pada tkanine samo je početak problema. Kretanje plošnog proizvoda ovisit će o inerciji, a na njega će utjecati pasivno i otpor zraka, kao i aktivno djelovanje eventualne sile vjetrova.

Očito su problemi složeni i opravdavaju prethodnu napomenu da je potreban veliki i raznorodan tim koji bi razvio program za virtualnu modnu reviju i virtualno kupovanje u dućanu ili on-line. Taj će rad uključiti eksperimentalna proučavanja kako bi se problem razumio i vrednovao, razvoj metoda ispitivanja (ili, što je manje vjerojatno, modeliranje od vlakna do pređe i do plošnog proizvoda) kako bi se dobila svojstva tkanina potrebna za on-line ulaz modeliranja, geometrijsku i mehaničku analizu te programiranje i prikazivanje na način koji



Sl.15 Simulacija zračne struje kod Muratovog zračno-mlaznog stroja, preuzeto od Pei i Yu [9]

je učinkovit i udovoljava potrebama korisnika. Vjerujem da će se sve to dogoditi do kraja ovog stoljeća. Sve veća snaga suvremenih računala olakšat će ostvarenje ovih zadataka.

8. Druga razmišljanja

Digitalna tehnologija se do sada malo koristila za modeliranje procesa. Takva bi uporeba bila vrlo korisna prije nekoliko godina, u trenutku kad je došlo do velikog napretka u proizvodnji regeneriranih i sintetskih vlakana i kad su se novi strojevi i procesi uvodili u pređenje i tkanje. Međutim, danas su to stabilnije tehnologije. Većina koraka do kojih je došlo odnosi se na same strojeve, a tek manji broj istraživanja bavio se međudjelovanjem s vlaknima. Na primjer, simulacija mlaznog pređenja koju su izveli Pei i Yu [9], sl.15, bavi se isključivo zračnom strujom. Postoje i izuzeci. Na primjer, Overington [10] je simulirao postupak teksturiranja prividnim uvijanjem.

Veći dio dosadašnjih istraživanja mehanike struktura koristio je pojednostavljene putove kretanja vlakana i pređe, odnosno pređe u tkanini. Veća snaga računala znači da je danas moguće modelirati pojedine elemente vlakana. Primjer su istraživanja habanja tepiha [10] i kretanje vlakana u sklopovima koje dovodi do pilinga [11]. Praćenje pojedinačnih elemenata vlakana omogućilo bi da se umjetni sedmerostrukli model migriranja vlakana u pređi iz 1962. godine [12] primijeni na stvarno ponašanje brojnih vlakana koja se kreću kroz pređu tijekom pređenja i mogao bi se pratiti njihov po-

ložaj u pređi. Digitalno modeliranje možda bi bilo korisno i u rješavanju problema konverzije elektrosprednih nanovlakana i ugljikovih nanocjevčica u pređu.

9. Zaključak

U časopisu *The Observer* od 20. travnja 2014. godine, IT kolumnist John Naughton napisao je recenziju *The People's Platform: Taking Back Power and Culture in the Digital Age* od Astre Taylor i dao je sljedeće komentare:

Tijekom prvih 20 godina evolucije interneta – od početka „međumrežnog radnog“ (internetworking) projekta 1973. do lansiranja prvog velikog mrežnog pretraživača 1993. - cyberspace (virtualni svijet iza zaslona, kako ga je nazvao William Gibson) i “meatspace” (izraz kojeg John Perry Barlow koristi za materijalni svijet) bili su u praksi paralelni svemiri. Virtualni svijet je bio mjesto za privilegiranu elitu – poznavatelje računala koji su zajednički oblikovali svijet i imali mu pristup. A stanovnici materijalnog svijeta bili su, najčešće, blagoslovljeni potpunim nedostatkom svijesti o postojanju drugog svemira.

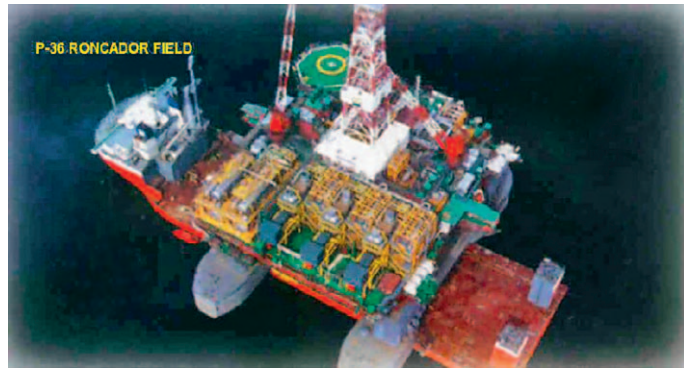
Ova su dva svemira bila u potpunosti različita. Građanima virtualnog svijeta, materijalni svijet – svijet u kojem su vladali neugodni divovi napravljeni od mesa i čelika”, govorio je Barlow – taj je svijet kupio jednosmjernu kartu u povijesni otpad. Vjerovali su da će internet „uništiti organizacije, globalizirati društvo, decentralizirati upravljanje i pomoći da se ljudi slažu”, kao što je govorio Nicholas Negroponte, guru sa MIT-a.

To se podudara s onim što se opisuje u ovom radu. Tekstilni i modni dizajneri, konstruktori strojeva i komercijalni svijet preselili su se u virtualni svijet. S druge strane, dizajn tekstila je svojim potrebama za mehaničkim i drugim fizičkim svojstvima, svejedno da li za odjeću ili tehničke tekstilije, osuđen na materijalni svijet. Maloprodaja bi, iz svojih raz-

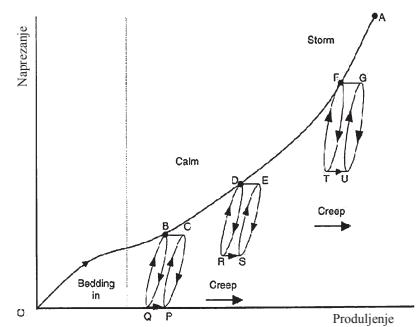
loga, rado premjestila kupčev izbor iz materijalnog u virtualni svijet, ali poduzetnici i programeri, koji žive na mjestima poput Silicijske doline, a tvrtke su im u jefinijim mjestima, poput Bangalorea, nisu ostvarili kreativno partnerstvo s onima među nama koji razumijemo ponešto od složenosti mehanike tekstila.

Zanimljivo je da je Naughton odredio početkom svoje priče 1973. godinu jer je u to vrijeme otpočela revolucija aplikacijom digitalne tehnologije u dizajnu tekstila i modnom dizajnu, u upravljanju strojevima i u komercijalnim aktivnostima poput kontrole dionica i lansirano načelo „proizvedi i isporučiti“. S druge strane, tekstilna industrija zaostaje za drugim industrijskim granama. Kod tehničkih primjena tekstila, stare metode, temeljene na praktičnom iskustvu, intuiciji i metodi pokušaja i pogrešaka, još uvijek prevladavaju. CAD se gotovo uopće ne koristi za oblikovanje struktura i predviđanje ponašanja. Jedina poznata iznimka je Fibre Rope Modeller. Na tržištu nema komercijalnih programa na način da su konačni elementi i drugi programski paketi dostupni drugim inženjerima. Akademski temelj je poznat, no nema volje industrije da zatraži svoju vlastitu aplikaciju s programskim paketom koji bi se lako koristio. Kad bi se razvio takav programski paket, to bi otvorilo put rješavanju složenijih problema subjektivnih impresija o tekstilu za potrebe modnog tržišta.

Kako se tekstilni dizajn može preseliti u kulturu 21. stoljeća? Temeljna



Sl.16 Naftna platforma



Sl.17 Svojstva produljenja poliester-skog užeta pod opterećenjem

istraživanja mogu ponuditi neke odgovore, ali iskustvo 70 godina kontinuiranog istraživanja strukturne mehanike tekstilija pokazuje da to nije dovoljno. Vjerujem da će do napretka doći usljed usredotočenog napada na određene potrebe u kojem može doći do međudjelovanja potreba korisnika i umješnosti programera. Način, koji i nije najbolji pokazuje nedavni projekt Višerazinsko integrirano modeliranje visokoučinkovitih fleksibilnih materijala (Multi-Scale Integrated Modelling for High Performance Flexible Materials). Projekt je financijski podržala britanska vlada, a uključio je veliki broj tvrtki, s poslovnim interesima koji se protežu od kemije do mehanike, od zračnih jastuka do skupe muške odjeće, od kemijskog čišćenja i pranja do superračunala. Svrha projekta je proizvesti integrirani programski paket koji bi pokrio tehnologiju, od vlakana, preko pređa i plošnih proizvoda do krajnjeg proizvoda, uključujući i virtualnu modnu reviju, a detaljna istraživanja

provode samo tri pomoćna istraživača, locirana na tri različita sveučilišta!

I na kraju, osvrst na poveznicu između užarske industrije, koja djeluje na tradicionalan, praktičan način, poput većine tekstilnih tvrtki i pomorskih inženjera. Problem koji je trebalo riješiti bio je učvršćivanje naftnih platformi, sl.16. Užad od čelične žice koristila se za dubine veće od 500 metara. Krajem osamdesetih godina prošlog stoljeća, naftne tvrtke izrazile su želju da vade naftu s dubina većih od 1000 metara. Konvencionalna žičana užad i lančani vezovi bili su preteški i rezultirali bi napetošću na rubu kidanja ili preko njega. Bilo je potrebno izraditi napetu užad od vlakana. Na iznenađenje naftnih tvrtki, najbolje ponašanje nisu pokazala nova visokoučinkovita vlakna, poput aramida ili HMPE, već poliesterska užad. Inženjeri nisu bili naučeni raditi s nelinearnim, viskoelastičnim svojstvima visokog rastezanja, kakva se javljaju kod polimernih vlakana. TTI je morao predložiti način na koji će se složena mehanička svojstva poliesterskih užadi, sl.17, unijeti u digitalne programe vezanja kakve koriste pomorski inženjeri da predvide napetost i ponašanje konopa pod raznim uvjetima mora i vjetra. Programski paket trebalo je modificirati za vezanje napetom užadi i pojednostavniti digitalni unos za različite uvjete rada. Prednosti digitalne tehnologije omogućile su međudjelovanje inženjera i onih među nama koji razumiju vlakna i užad.

Krajnji rezultat bio je vodič tehničkog oblikovanja za vezivanja u dubokim vodama [13]. Možda jednog dana nastane i vodič za modne dizajnere, koji bi govorio o izgledu manekena na modnoj pisti u veličanstvenoj odjeći. U tom će trenutku tekstilna i odjevna industrija završiti svoje putovanje iz stvarnog u virtualni svijet.

Literatura:

- [1] Backer S.: An engineering approach to textile structures, Chapter 1, In Structural Mechanics of Fibers, Yarns and Fabrics, Wiley-Interscience, New York, (1969), Vol. 1
- [2] Jiang Y., X. Chen: Geometric and algebraic algorithms for modelling yarn in woven fabrics, *Journal of the Textile Institute* 96 (2005) 8, pp. 237-246, ISSN 0040-5000
- [3] Hearle J.W.S., W.J. Shanahan: An energy method for calculations in fabric mechanics. Part I. Principles of the method. Part II. Examples of the application of the method to woven fabrics, *Journal of the Textile Institute* 69 (1978) 4, pp. 81-91, 92-100, ISSN 0040-5000
- [4] Breen D.E., D.H. House, M.J. Wozny: A particle-based model for simulating the draping behavior of woven cloth, *Textile Research Journal* 64 (1994) 11, pp. 663-685, ISSN 0040-5175
- [5] Hearle J.W.S.: Shear and Drape of Fabrics, Chapter 12, in Structural Mechanics of Fibers, Yarns and Fabrics, Wiley-Interscience, New York, (1969), Vol. 1
- [6] Hearle J.W.S., J. Amirbayat: The complex buckling of textile materials. Part I. Theoretical approach.

Part II. Experimental study of threefold buckling, *International Journal of Mechanical Sciences* 28 (1986) 6, pp. 339-358, 359-370, ISSN 0020-7403

- [7] Hearle J.W.S., J. Amirbayat: The anatomy of buckling of textile fabrics: drape and conformability, *Journal of the Textile Institute* 80 (1989) 1, pp. 51-70, ISSN 0040-5000
- [8] Shanahan W.J., D.W. Lloyd, J.W.S. Hearle: Characterising the elastic behaviour of textile fabrics in complex deformation, *Textile Research Journal* 48 (1978) 5, pp. 495-505, ISSN 0040-5175
- [9] Pei Z., C. Yu: Study on the principle of yarn formation of Murata vortex spinning using numerical simulation, *Textile Research Journal* 79 (2009) 14, pp.1274-1280, ISSN 0040-5175
- [10] Hearle J.W.S. et al: Computational model of wool carpet wear, *Journal of the Textile Institute* 96 (2005) 2, pp. 137-142, ISSN 0040-5000
- [11] Hearle J.W.S., A.H. Wilkins: Mechanistic modelling of pilling. Part I, Detailing of mechanisms. Part II. Individual fibre computational model, *Journal of the Textile Institute* 97 (2006) 4, pp. 359-368, 369-376, ISSN 0040-5000
- [12] Hearle J.W.S., V.B. Merchant: Interchange of position among the components of a 7-ply structure: mechanism of migration, *Journal of the Textile Institute* 53 (1962), T537-T552, ISSN 0040-5000
- [13] Tension Technology International and Noble Denton, Deepwater Fibre Moorings – an engineers' design guide, Oilfield Publications Ltd, Ledbury, UK, 1999.

SUMMARY

From calculators to 21st century computing: successes and opportunities in digital technology for textiles

J. W. S. Hearle

The paper reviews the applications of digital technology to the textile industries from the mid-20th century to the 21st century. The advances in the available tools are first described. Sections then cover aesthetic design, machines and operations, and commercial and retail, all of which are in general use. For engineering design and the “virtual catwalk”, there are great opportunities but software from academic research has hardly been taken up by industry.

Key words: computing, textile design, machine control, structural mechanics, visualization.

University of Manchester

Engleska

e-mail: johnhearle@hearle.eclipse.co.uk

Received October 8, 2014

Von Rechnern bis zum Computerwesen des 21. Jahrhunderts:

Erfolge und Möglichkeiten in der Digitaltechnologie für Textilien

Der Artikel prüft die Anwendungen der Digitaltechnologie für die Textilindustrie seit der Mitte des 20. Jahrhunderts bis zum 21. Jahrhundert nach. Die Fortschritte im Bereich von verfügbaren Werkzeugen werden zuerst beschrieben. Einzelne Abschnitte behandeln dann ästhetisches Design, Maschinen und Operationen sowie Gross- und Einzelhandel, die alle im allgemeinen Gebrauch sind. Für die konstruktive Gestaltung und den «virtuellen Laufsteg» gibt es große Chancen, aber die Software von der akademischen Forschung ist kaum von der Industrie aufgegriffen worden.