

Tetraaksialne tkanine kot armatura kompozitov in laminatov?

Multiaksialne pletenine in tkanine so vsaj nekatere znane že več desetletij. Multiaksialne pletenine omogočajo popolno izravnanoost vseh sistemov niti razen sistema, ki povezuje druge sisteme v enovito plosko tekstilijo. Ta sistem tvori zanke in nima nosilne vloge. Do sedaj razvite tehnike tkanja triaksialnih in tetraaksialnih tkanin ne omogočajo popolne izravnanoosti kateregakoli sistema niti. To je pač posledica načina medsebojnega prevezovanja sistemov niti. Če noben sistem niti ni izravnano, je takšno tkanino problematično uporabiti kot armaturo posebej, če sodeluje z drugo komponento kompozita pri prenašanju zunanje obremenitve. Avtor tega prispevka je več let preučeval lastnosti in uporabnost multiaksialnih tkanin in prišel do spoznanja, da je potrebno spremeniti tehniko izdelave multiaksialnih tkanin tako, da omogoča izravnanoost vsaj enega sistema niti in da je izdelek – tkanina po kakovosti in ceni izdelave konkurenčna drugim multiaksialnim ploskim tekstilijam kot tudi biaksialni tkanini. Da bi statve to omogočile, jih je potrebno tako konstruirati, da izpolnjujejo vsaj sedem potrebnih pogojev, ki so analizirani v prispevku. Primerjalna analiza je tudi pokazala, da so tetraaksialne tkanine dominantne v primerjavi s triaksialnimi tkaninami.

Ključne besede: multiaksialna tekstilija, triaksialne tkanine, tetraaksialne tkanine, primerjalna analiza, dominantnost, konkurenčnost, področja uporabe, izravnanoost sistemov niti.

Tetraxial Fabrics as Reinforcement of Composites and Laminates?

Multiaxial knitted and woven fabrics have been, at least some of them, known for more decades. Multiaxial knitted fabrics allow full extendedness of all thread systems except of the system which links other systems into a uniform flat textile. This system forms loops and has no supporting role. Weaving techniques for triaxial and tetraxial fabrics do not allow full extendedness of any thread system. This is the result of the way of thread systems interconnection. If neither of systems is extended, such fabric is problematic to be used as the reinforcement, particularly if it cooperates with the other component of composite in carrying external load. After having investigated the properties and applicability of multiaxial fabrics, the author of this paper has realized that the manufacturing technique of multiaxial fabrics should be modified so that at least one thread system will be extended and the fabric will be by quality and by production price competitive to other multiaxial flat textiles as well as to a biaxial fabric. The loom should be constructed so that it will fulfill at least seven required conditions that are analysed in this paper. The comparative analysis has shown that tetraxial fabric are predominant over tetraxial fabrics.

Keywords: multiaxial textile, triaxial textile, tetraxial textile, comparative analysis, domination, competitiveness, application fields, thread systems extendedness

1.0 UVOD

Že v naslovu je postavljeno vprašanje, na katerega je zelo težko odgovoriti brez zadostnega števila informa-

cij o možnih področjih uporabe tetraaksialnih tkanin, optimalni kakovosti tkanin za uporabo na določenem področju, potrebnih dejavnosti za realizacijo zahtevane kakovosti tkanin ipd.

Pri uporabi tetraaksialnih tkanin se lahko pojavita dve skrajnosti. Če je tkanina izpostavljena tlaku, je zaželena izotropna struktura tkanine. Če na primer tkanino uporabimo kot armaturo v betonskem nosilcu, ki je obremenjen na upogib, mora biti tkanina anizotropna. Breme prenaša predvsem normalna osnova, ki ima lego kot v biaksialni tkanini. To pomeni, da mora biti ta sistem niti v tkanini popolnoma izravnani in uporabljena morajo biti visoko modulna vlakna, kot so aramidna vlakna, spektra, karbonizirana vlakna ipd. Uporabljena vlakna morajo imeti zelo visoko trgalno trdnost in raztezek pri pretrgu, po možnosti okrog 1%. To je mogoče doseči, če tkanino prednapnemo pri vlivanju betonskega nosilca podobno, kot to delamo s prednapetim betonskim železom. S tem upoštevamo le dejstvo, da je beton tog (neraztegljiv). Če bi uporabili biaksialno ali triaksialno tkanino, pri katerih se težko doseže izravnost osnove, posebno v triaksialni tkanini, bi imeli armaturo, ki to ni.

Pri uporabi tkanine kot armature v betonskih elementih ali cestišču moramo upoštevati še lepljivost (oprijemljivost) betona s površino tkanine in tudi velikost por v tkanini, ki morajo biti dovolj velike, da se skozi povežejo plasti betona. Že iz tega primera je razvidno, da sta razvoj in uporaba tetraaksialne tkanine kot armature v različnih tehničnih proizvodih zelo zahtevna. Oblika poprečnega preseka vlakna lahko vpliva na prijemljivost («lepljenje») betona na tkanino. Če imajo vlakna zvezdast poprečni presek, se bodo bolj sprijela v betonsko maso kot v primeru okroglega poprečnega preseka vlakna. Pri tem moramo upoštevati, da lahko uporabimo le monofilamentne ali multifilamentne niti.

V prispevku so analizirani potrebni pogoji za doseg izotropnosti tetraaksialne tkanine v primerih, kjer je to zaželeno, in dejanske tehnološke možnosti izdelave takšnih tkanin. Glavni poudarek v prispevku je na analizi dejanskih možnosti izdelave kakovostnih tetraaksialnih tkanin po konkurenčnih cenah. Pri tem se pod konkurenčno ceno razume takšna cena, ki na določenem področju uporabe izpodriva biaksialne in triaksialne tkanine ter multiaksialne pletenine in izdelke drugih tehnologij, ki bi prišle v poštev zaradi svojih lastnosti.

2.0 IZOTROPNOST TEKSTILNIH IZDELKOV

Če bi pojem izotropnost vzeli dobesedno, kot ga razumemo v fiziki, bi ugotovili, da je izotropnost ploske tekstilije lahko le iluzija. Plin se na primer v zaprti tlačni posodi obnaša izotropno glede tlaka, s katerim deluje na notranjo steno posode. To je popolnoma razumljivo, saj imajo molekule plina približno enako energijo oziroma hitro predajo določene »odvečne« kvante energije druga drugi v številnih trkih.

Ploska tekstilija se lahko obnaša izotropno le v dveh dimenzijah. Tekstilija je izdelana iz vlaken, v našem primeru iz finih monofilamentov. Ti se med sabo precej razlikujejo. Razlike so zanemarljive, če jih opazujemo s tekstilno tehnološkega vidika. Vendar so razlike dovolj velike, da povzročijo določen delež anizotropije tudi v primeru, če so izpolnjeni vsi drugi potrebni pogoji za doseganje izotropije. Če pa upoštevamo še medsebojno lego vlaken, je očitno, da ne moremo doseči popolne izotropnosti niti v ravnini, ki nas dejansko zanima. Lahko se zadovoljimo tudi s približno izotropijo, ker nam v večini primerov tudi zadostuje takšno stanje ploske tekstilije.

2.1 Pogoji izotropnosti in realne možnosti uresničitve teh pogojev

a) Medsebojna lega sistemov niti

Eden od pogojev za doseganje izotropnosti tetraaksialnih tkanin je vsekakor medsebojna lega niti sistemov. Potrebno je, da sistemi med sabo zaklepajo kot 45 stopinj (v triaksialni tkanini pa kot 60 stopinj). Vprašanje je, ali je to možno doseči. Normalna osnova (normalna na smer lege votka) leži pravokotno kot v biaksialni tkanini. Lokalno so možna manjša odstopanja, vendar bistveno ne morejo vplivati na znatna odstopanja od izotropnosti tkanine. Glede lege S in Z osnove pa so možna lokalna odstopanja celo za nekaj stopinj. Možno je konstruirati statve za izdelavo tetraaksialne tkanine, ki dovolj natančno polagajo S in Z sistem niti pod kotom 45 stopinj. Tetraaksialna tkanina, ki je bila izdelana na Japonskem, kaže, da so dosigli zadosti natančno medsebojno lego sistemov niti. Ti so dejansko pod kotom 45 stopinj, če izvzamemo manjša lokalna odstopanja zaradi napak pri tkanju.

b) Enaka kakovost niti v vseh štirih sistemih

Če je po pet niti v vsakem sistemu, imamo skupaj na 1 m² 2.000 niti ali približno 2.000 m niti. Če to upoštevamo, potem smemo sklepati, da se morebitna neenakomernost preje porazdeli po celotni površini tkanine. Glede na dejstvo, da bomo za izdelavo tetraaksialnih tkanin uporabljali zelo kakovosten multifilament visoko modulnih vlaken, lahko pričakujemo zelo enakomerno multifilamentno prejo. Iz tega sledi, da v tem primeru ni težko izpolniti pogoja pod točko b).

c) Enaka gostota v vseh štirih sistemih niti

Ta pogoj bi bilo možno izpolniti v primeru, da tkamo tkanino na statvah, ki imajo vrhunsko krmiljenje. Takšne statve je zelo težko konstruirati in izdelati. Razen tega bi bile predrage in tudi dodatna vlaganja v njihovo dovršenost ne bi bila ekonomična; zato bi bile tudi tkanine, stekane na teh statvah, predrage.

Japonska tetraaksialna tkanina ima naslednje gostote: normalna osnova: 37 niti/10 cm; votek: 41 votkov/10 cm; »S« osnova: 54 niti/10 cm in »Z« osnova: 55 niti/10 cm. Iz teh gostot je razvidno, da ta tkanina ni izotropna. Vendar pa moramo tukaj upoštevati dejstvo, da je gostota vseh osnov merjena pravokotno na smer niti. Pred vnosom votka so vse niti v grebenu usmerjene v smeri normalne osnove. Kot je razvidno s slik 7 in 8, je normalna osnova diagonala, S in Z osnovi pa sta kateti. Če omenjeni gostoti S in Z osnove delimo z 1,41, dobimo približno enako gostoto, kot jo ima normalna osnova. Ker gostote sistemov na površini tkanine variirajo v določenem intervalu gostot, bo temu primerno variirala tudi izotropnost tkanine.

d) Enako stkanje niti v vseh sistemih

Praktično je zelo težko doseči enako stkanje vseh sistemom niti. Navite so na križne ali druge oblike navitkov ali na kratke osnovne valje. Da bi dosegli popolno enako stkanje vseh sistemov niti, bi morali popolnoma kontrolirati napetost niti. Kontrola je lažja, če je osnova navita na osnovne valje, kot če je navita na navitke. Problem pa je končno tudi kontrola napetosti votka in v vezavi. Če se sistemi pogosto prepletajo med sabo, pride do različnega stkanja niti med posameznimi sistemi. Čeprav je osnova navita na večje število osnovnih valjev, obstaja določena razlika poprečne napetosti niti med valji kot tudi med nitmi na enem valju. Iz te analize izhaja, da v nobenem primeru v realnih pogojih proizvodnje tetraaksialnih tkanin ni možno doseči enake obremenitve vseh niti. Zatorej ta potreben pogoj za izotropnost tkanin ne more biti izpolnjen.

e) Enaka deformabilnost vseh sistemov niti

Če je izpolnjen pogoj identičnosti preje v vseh sistemih, potem je samoumevno, da bo tudi enaka deformabilnost vseh sistemov. Vendar je problem v začetnem stanju niti. Če so vse niti enako prednapete, bo izpolnjen tudi pogoj enake deformabilnosti sistemov niti. Kot je razvidno iz prikazanih vezav, ni nujno, da so vse niti enako stkanje. Hkrati pa je težko doseči enako prednapetost niti ne glede na to, ali so nasnovane na kratke osnovne valje ali pa so na cevčnici. Iz tega izhaja, da ne more biti enaka deformabilnost med sistemi niti niti med nitmi v enem sistemu. Pri tej analizi moramo upoštevati, da imamo opravka z visoko modulnimi vlakni, ki imajo pretržni raztezek okrog 1 %; zato bi morale biti stkanje niti manjše kot 1 % oziroma bi niti morale biti popolnoma izravnane, da takoj prevzamejo zunanjo obremenitev, kot na primer v obremenjenem betonskem elementu.

f) Nespremenjena lega sistemov niti v procesu deformacije

Sila, s katero deformiramo tetraaksialno tkanino, lahko deluje v katerikoli smeri paralelno s površino

tkanine. Sila ima lahko prijemališče v določeni točki na tkanini ali pa je prijemališče črta določene dolžine kot v primeru prijema prižeme na dinamometru. V teh primerih bi težko obdržali nespremenjeno lego niti in s tem tudi pogoj izotropnosti, posebej če je točka prijemališče sile. Situacija se precej spremeni, če tkanino izpostavimo tlaku ali pritisku krogle pri preizkusu razpočne trdnosti. V tem primeru ni spremembe v medsebojnih legah niti, še posebno če uporabimo kroglo večjega premera, kot je standardiziran (20 mm). Razdalje med sistemi niti se povečajo, vendar te ne spreminjajo smeri, kar je bistveno za pojav izotropnosti.

g) Na točkah križanja niti ne drsijo druga mimo druge in ni tornega koeficienta

Če se pojavi medsebojno drsenje niti, se pojavi tudi torna sila. Ta se lahko razlikuje od točke do točke, kar je odvisno od stične površine in medsebojne lege filamentov v enem in drugem sistemu niti. Pogoji medsebojnega drsenja niti se lahko precej razlikujejo od ene do druge točke križanja, zato so lahko precejšnja odstopanja od idealne izotropnosti tkanine. V primeru, da je razmeroma majhno število preveznih točk, se torna sila ne bo pojavila. To seveda velja le, če v točkah prevezovanja niti praktično ne pritiskajo druga na drugo in je vsaj ena nit na točki prevezovanja popolnoma izravnana. V tem primeru je vrednost torne sile zanemarljiva in ne vpliva bistveno na izotropnost tkanine.

Za določene praktične primere, kjer je izotropnost zaželeno, bo zadostovalo, če se stanje v procesu deformacije tetraaksialne tkanine približuje izotropnosti. To pomeni, da pri konstrukciji in izdelavi tkanine poskušamo zadostiti čim večjemu številu pogojev, od katerih je odvisna izotropnost.

Če so izpolnjeni vsi potrebni pogoji izotropnosti, potem za tetraaksialne tkanine veljajo naslednje enačbe:

$$\begin{aligned} \Delta L_z &= \Delta L \cdot \sin(45^\circ - \beta); & \Delta L_s &= \Delta L \cdot \cos(45^\circ - \beta); \\ \Delta L_o &= \Delta L \cdot \cos \beta; & \Delta L_v &= \Delta L_o \cdot \sin \beta; \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} R_z &= K \cdot \Delta L_z; & R_s &= K \cdot \Delta L_s; \\ R_o &= K \cdot \Delta L_o; & R_v &= K \cdot \Delta L_v; \end{aligned} \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n R_i = \sum_{i=1}^n K \cdot L_i; \quad W = (1/2) \cdot \Delta L \cdot K \sum_{i=1}^n \Delta L_i = K' \cdot \Delta L^2 \quad (3)$$

Podobna situacija je pri triaksialnih tkaninah. Razlika je v tem, da imamo en sistem niti manj in da sistemi med sabo zaklepajo kot 60 stopinj. V naslednjih enačbah je ilustriran dokaz izotropnosti triaksialnih tkanin [5], kar smiselno velja tudi za tetraaksialne tkanine, enačbe od 1 do 3 [5, 6]:

$$\begin{aligned} \Delta L_v &= \Delta L \cdot \sin \beta; & \Delta L_z &= \Delta L \cdot \cos(30^\circ + \beta); \\ \Delta L_s &= \Delta L \cdot \cos(30^\circ - \beta); \end{aligned} \quad (4)$$

$$W = (1/2) \cdot (\Delta L_v \cdot R_v + \Delta L_z \cdot R_z + \Delta L_s \cdot R_s) \quad (5)$$

$$R_v = K \cdot \Delta L_v; \quad R_z = K \cdot \Delta L_z; \quad R_s = K \cdot \Delta L_s; \quad (6)$$

$$W = (K/2) \cdot (\Delta L_o)^2 \cdot (\sin^2 \beta + \cos^2(30^\circ + \beta) + \cos^2(30^\circ - \beta)) \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \cos(\alpha \pm \beta) &= \cos \alpha \cdot \cos \beta \mp \sin \alpha \cdot \sin \beta = \\ &= \sin^2 \beta + \cos^2(30^\circ + \beta) + \cos^2(30^\circ - \beta) = \\ &= (3/2) \cdot (\sin^2 \beta + \cos^2 \beta) \end{aligned} \quad (8)$$

$$W = (K/2) \cdot (\Delta L_o)^2 \cdot (3/2) \cdot (\sin^2 \beta + \cos^2 \beta) = K' \cdot (\Delta L_o)^2 \quad (9)$$

V enačbah od (1) do (9) simboli pomenijo:

ΔL rezultanta deformacije vseh sistemov (na slikah od 1 do 3, razdalja od točke A – stanje pred deformacijo, do točke B – končno stanje po deformaciji tkanine);

ΔL_v deformacija votka;

ΔL_o deformacija normalne osnove;

ΔL_s deformacija levosmerne (»S«) osnove;

ΔL_z deformacija desnosmerne (»Z«) osnove;

K koeficient odpornosti niti (sila, potrebna za 1 % raztežka);

R_o obremenitev sistema niti normalne osnove;

R_v obremenitev niti votka;

R_z obremenitev sistema niti »Z« osnove;

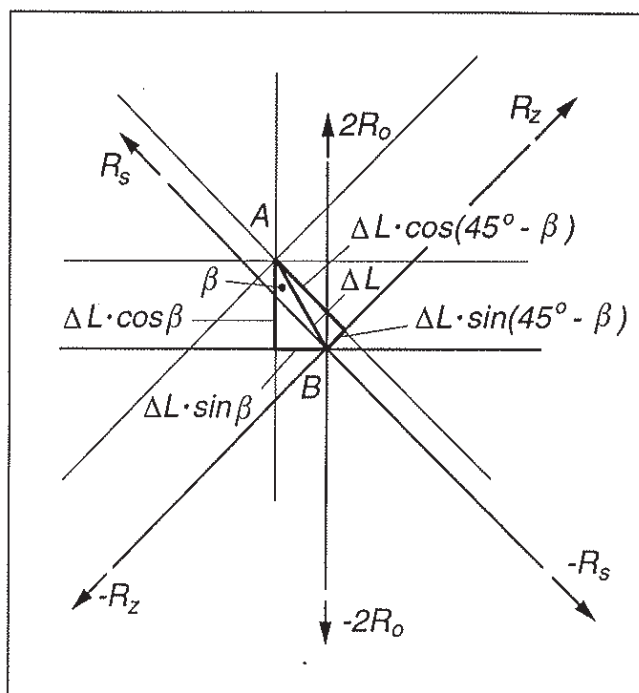
R_s obremenitev sistema niti »S« osnove;

W potrebno delo za deformacijo tkanine;

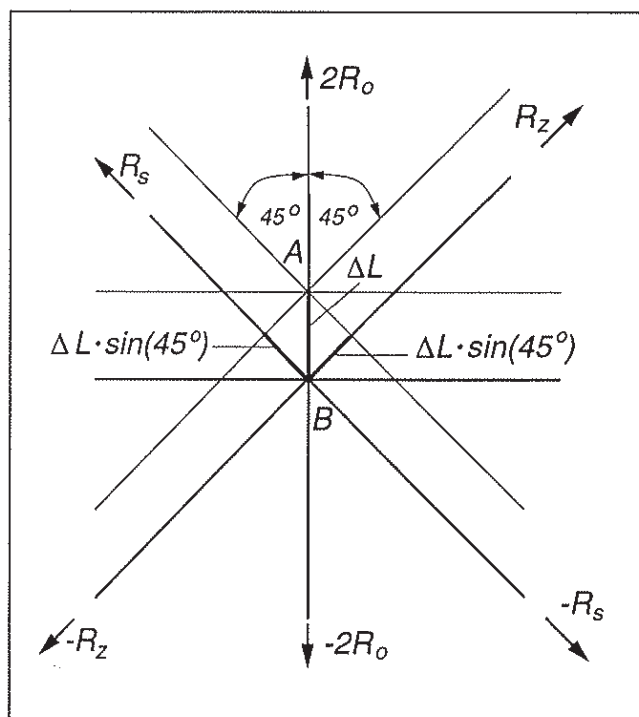
β kot, pod katerim deluje sila na tkanino.

Kot je razvidno iz enačb (3) in (9), količina potrebnega dela ni odvisna od kota delovanja sile v izotropni triaksialni oziroma tetraaksialni tkanini, kar je bilo potrebno dokazati. Vendar to velja, če so izpolnjeni vsi potrebni pogoji za izotropnost tkanine.

Za lažje razumevanje enačb od (1) do (9) in poteka deformacije triaksialne in tetraaksialne tkanine je deformacija ilustrirana na slikah od 1 do 3. Na sliki 1 je prikazana ojačana tetraaksialna tkanina (dvakrat večja gostota normalne osnove), ki je deformirana pod kotom β . Na sliki 2 je prikazana tetraaksialna tkanina kot na sliki 1, vendar je deformacija usmerjena vzdolž normalne osnove kot v primeru, ko je tkanina uporabljena kot armatura v betonskem nosilcu, ki je obremenjen na upogib. Enačbe od (1) do (3) se nanašajo na izotropno tetraaksialno tkanino, pri kateri normalna osnova ni ojačana in ki je deformirana pod kotom β kot tetraaksialna tkanina, prikazana na sliki 1.



Slika 1: Deformacija ojačane tetraaksialne tkanine pod kotom β



Slika 2: Deformacija ojačane tkanine v smeri normalne osnove

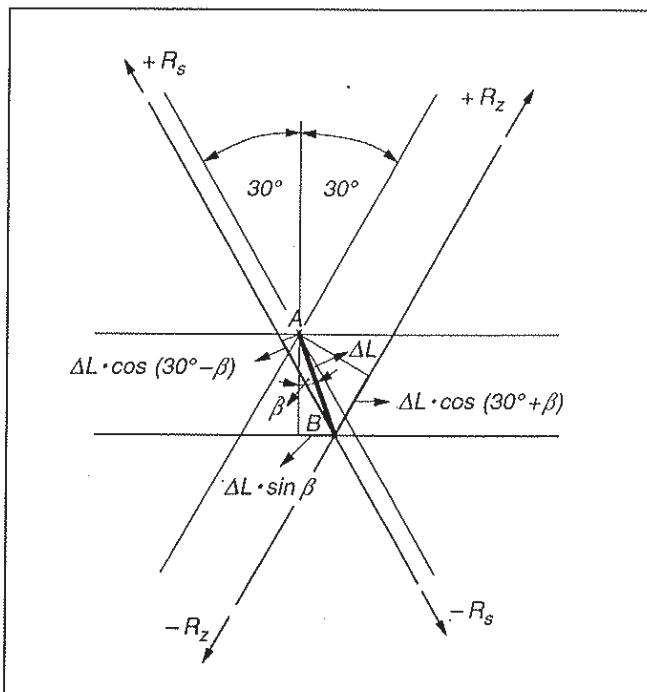
2.2 Vizija tehnično-tehnoloških karakteristik statev za izdelavo kakovostnih konkurenčnih tetraaksialnih tkanin

Običajno so v razvoj novih tehnologij potrebna precejšnja vlaganja. Poleg tega morajo biti na razpolago tudi drugi viri, kot so: tehnična raven delovne sile (razvojnega tima), tehnična opremljenost, vizionarnost

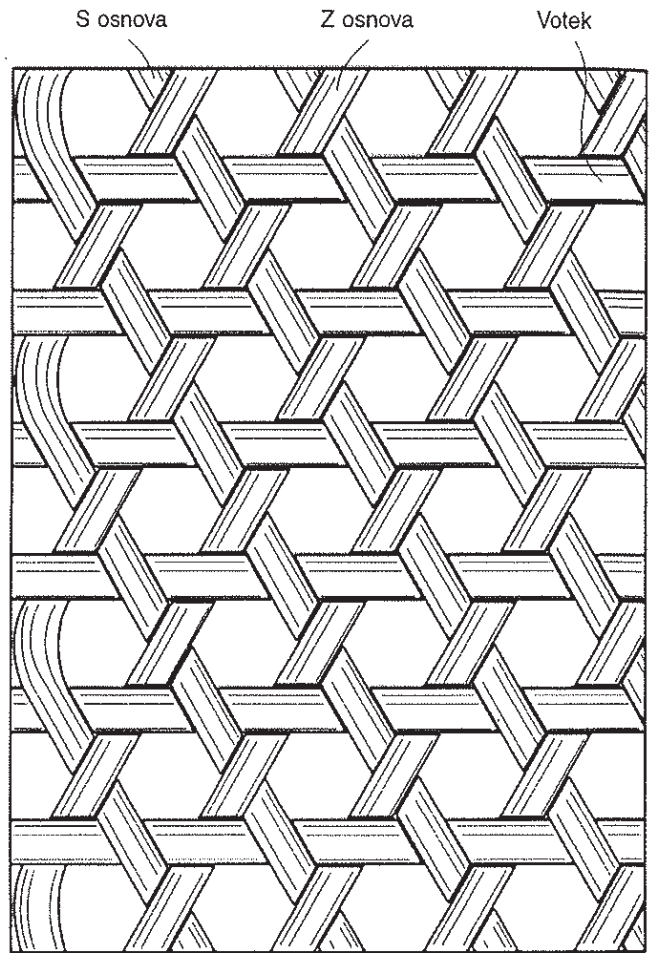
raziskovalcev, študije, ki zajemajo možna področja uporabe tetraaksialnih tkanin ipd. Posebno je pomembno, da se oceni optimalnost kakovosti tetraaksialnih tkanin za določena področja uporabe in primerjalno možnost uporabe biaksialnih tkanin in drugih materialov. Takšna primerjalna analiza bi morala dati odgovor na smotrnost uporabe tetraaksialne tkanine glede na njene tehnične karakteristike in ceno.

Japonci so razvili statve za izdelavo tetraaksialnih tkanin pred že več kot desetimi leti. Tkanina je prikazana na prospektu firme, ki izdeluje visoko modulna vlakna kot primer uporabe njihovih vlaken [4]. S posredovanjem te firme smo dobili tudi vzorec tetraaksialne tkanine. Vendar te tkanine še zmeraj ne proizvajajo za trg. To pomeni, da niso napredovali dlje od začetne rešitve.

Da bi mogli izdelati konkurenčno tkanino, moramo analizirati vse dejavnike, ki vplivajo na hitrost izdelave, fleksibilnost konstrukcije in ceno izdelave. Kajti ni smotrno razvijati proizvoda, za katerega ne vemo, kako se bo obnesel na trgu. V razvoju tkalske tehnike zadnjih trideset let imamo nekaj primerov projektov, ki so bili realizirani. Stroji so prikazani na Itmi, vendar tržno niso uspeli. V to skupino lahko uvrstimo: tehniko tkanja triaksialnih tkanin, tehniko tkanja z valovitim zevom, Bentleyev sistem in METAP (kombinacija tkanja in pletenja). Najprej si oglejmo tehnike tkanja z valovitim zevom. Prve so bile Rütijeve statve TURBO. Omogočale so hitrost vnosa votka okrog 900 m/minuto, vendar so imele le eno navijalno mesto za navijanje votkovnih navitkov. To je bila osnovna pomanjkljivost. Potem so poskušali še Španci s sistemom ONA, Mayer s statvami WINTEX, Nuovo Pignone s statvami TPC 1330 in Čehi s statvami CONTIS. Prava poplava idej.



Slika 3: Deformacija triaksialne tkanine pod kotom β



Slika 4: Videz triaksialne tkanine v temeljni vezavi [4]

Sistem statv z valovitim zevom je imel eno osnovno pomanjkljivost – ni bilo možno odpraviti napake, ki nastane zaradi pretrganega votka, in ni bilo možno razviti sistema, ki bi popolnoma preprečil pojav pretrganega votka. Statv ni moč v hipu zaustaviti in čez pretrgan votek se zatke določeno število drugih votkov, ker si čolnčki sledijo drug za drugim na razdalji okrog 20 cm, odvisno od sistema.

Sistem METAP je imel precej prednosti. Statve so bile razmeroma poceni. Hitrost vnašanja votka (računano za dejansko možno dolžino vnašanja – votek je dvojen) je okrog 2.500 m/minuto ali polovica tega, če dvojni votek štejemo kot enojni. Posebna vnašala položijo votek na igle, ki zapletejo konec votkov. Igle so na vsakih 8 mm. Možen je precej pester asortiman. Tkanina – pletenina je elastična po širini tkanine. Rešitev ni uspela predvsem zaradi konservativnosti trga. Bentleyeve statve so že delovale po principu zaporednih zevov. Omogočile so vnos okrog 6.000 m votka na minuto. Bile so velik porabnik energije in niso omogočale večjega asortimana.

Posebno poglavje je tehnika tkanja triaksialnih tkanin, ki je precej obetala predvsem zaradi izotropnosti triaksialne tkanine. Tehnika tkanja triaksialnih tkanin [1] ne omogoča izravnave kateregakoli sistema niti v tkani. Stroj je sam po sebi precej drag. Hitrost vnašanja

votka ne presega 200 m/minuto. Cena tekočega metra triaksialne tkanine (širina 120 do 200 cm) je 80 USA dolarjev, in to tkanin, ki so izdelane iz navadne multifilamentne PA preje. To je približno vsaj 20-krat dražje kot biaksialna tkanina enakih značilnosti razen vezave in sistemov niti. V biaksialni tkanini je možno držati izravnano osnovo. Takšna tkanina je boljša kot triaksialna na področjih, kjer se zahteva velik začetni odpor na deformacije. Na podlagi naštetih pomanjkljivosti doslej razvitih različnih sistemov tehnike tkanja lahko oblikujemo zahtevke, ki jih je potrebno upoštevati pri razvoju tkanja tetraaksialnih tkanin.

a) Popolna kontrola napetosti (obremenitve) vseh sistemov niti (približno izotropne tkanine)

To je vsekakor potrebno, če želimo doseči vsaj približno izotropnost tetraaksialne tkanine, ki bo pač potrebna na določenih področjih uporabe.

b) Možnost izravnave vsaj enega sistema v tkanini, na primer normalne osnove (anizotropska tkanina)

To je nujno v primerih uporabe tetraaksialne tkanine kot armature izdelka, ki ima drugo komponento neelastično, kot je na primer beton v betonskem nosilcu. V nasprotnem primeru deluje vsaka komponenta zase in zaradi tega tkanina nima vloge armature.

c) Zadostna fleksibilnost pri izbiri vezave, vsaj tako kot pri listnih biaksialnih tkaninah

Ta fleksibilnost je nujno potrebna, da bi mogli čim bolj izravnati sisteme niti (majhno število prehodov niti v sosledju), v drugi skrajnosti pa je potrebno močno prevezovanje, kot v vezavi-platno, za primere, kjer je potrebna kompaktnost tkanine

d) Fleksibilnost glede spremembe gostot sistemov niti

Sprememba gostot sistemov je pomembna zaradi doseganja širokega asortimana. V nekaterih primerih, kot je na primer armatura cestišč, bomo rabili grobe tkanine. Če jo uporabimo kot geotekstilijo, lahko uporabimo v nekaterih primerih grobo, v drugih pa fino tkaniho. Lahko pa istočasno uporabimo dvoplastno tekstilijo. Spodaj je fina tkanina, ki ima vlogo filtrskega medija, zgoraj pa groba, ki ima vlogo armature.

e) Fleksibilnost glede vnosa votka

Če izotropnost ni pomembna, lahko tudi za grobe tkanine uporabimo votek, ki ga je možno vnašati v zev s pomočjo zračnega curka. Če pa je zaželen votek, ki je

pregrob za vnos s pomočjo zračnega curka, potem je smotrno uporabiti projektil. To pomeni, da mora biti izvedba statev za tkanje tetraaksialnih tkanin takšna, da omogoča vnašanje velikega intervala finosti votkov.

f) Hitrost vnašanja votka naj bo 500 do 800 m/minuto

Če želimo uspeti na trgu, mora biti hitrost vnašanja votka pri tkanju tetraaksialne tkanine vsaj na spodnji meji hitrosti, ki jih omogočajo sedanje monozevne brezčolnične statve. S povečanjem hitrosti vnašanja votka se zmanjšuje cena investicije na enoto vnesene votka. Po pravilu se zmanjšujejo tudi cena delovne sile in drugi režijski stroški.

Za primerjavo, Mayerjev multiaksialni pletilni stroj [2] naplete okrog 60 cm/h. Glede na širino to pomeni okrog 1 m²/h. Stroj za tkanje triaksialnih tkanin vnese (po prospektu) okrog 400 metrov votka/minuto. Realna hitrost je okrog 200 m/minuto. Kot smo prej omenili, je cena tkanine zelo visoka. Kakovost oziroma lastnosti triaksialne tkanine niso takšne, da je ne bi bilo možno nadomestiti z biaksialno tkanino ali multiaksialno pletenino.

Pri tetraaksialni tkanini moramo upoštevati tudi dejstvo, da naenkrat tkemo dve tkanini oziroma se pri enem votku zatke toliko materiala kot pri biaksialni tkanini pri vnosu dveh votkov. Zaradi tega hitrost vnašanja votka 500 m/minuto ustreza hitrosti vnašanja votka 1.000 m/minuto na biaksialnih statvah.

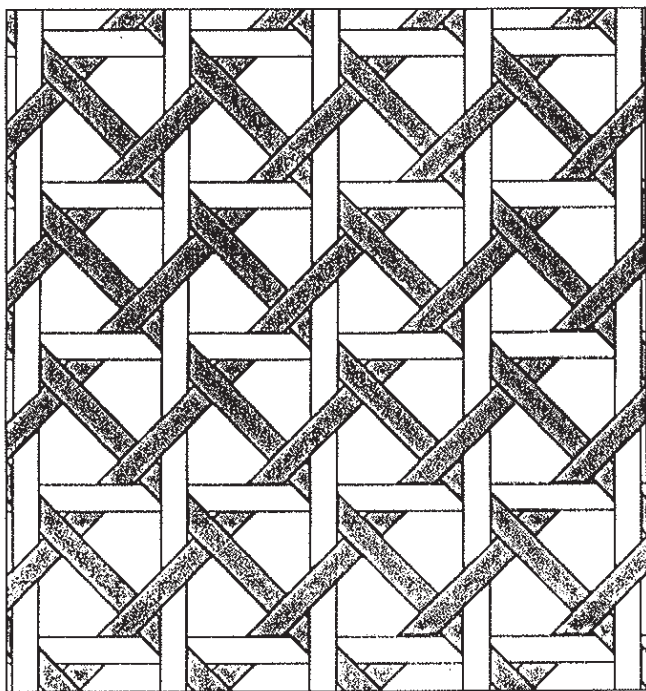
g) Proizvodna cena tetraaksialnih tkanin naj ne bo bistveno višja, kot je cena primerjalnih biaksialnih tkanin

Proizvodna cena tetraaksialnih tkanin je lahko le toliko višja v primerjavi z biaksialnimi tkaninami, kolikor nudi več različnih lastnosti pri uporabi na določenem področju. Če pri konstrukciji statev za tkanje tetraaksialnih tkanin upoštevamo vse našete karakteristike, ki naj jih popolnoma ali vsaj delno omogočajo te statve, bo za začetek zagotovljena tržna niša za plasma tetraaksialnih tkanin.

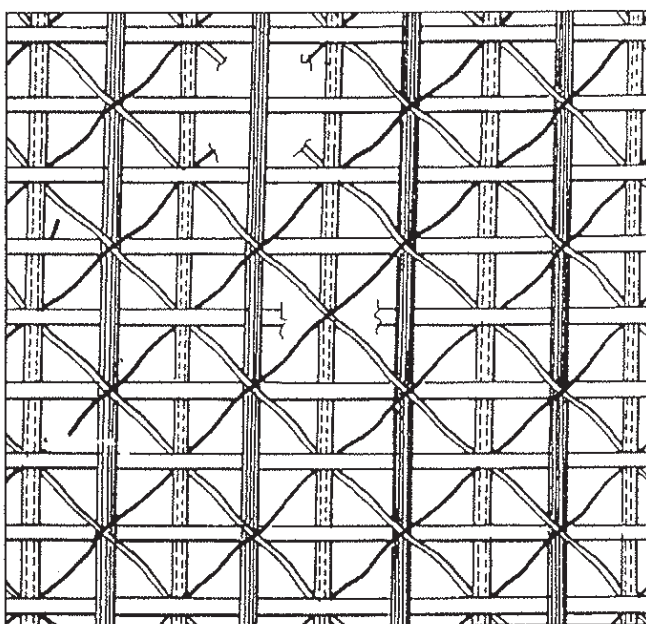
3.0 SEDANJE STANJE NA PODROČJU PROIZVODNJE TETRAAKSIALNIH TKANIN

V prejšnjih objavah [5, 6] smo opisali sedanje stanje na področju proizvodnje tetraaksialnih tkanin. Sedaj bomo poskušali ugotoviti, ali sedanja tehnologija izpolnjuje zgoraj navedene pogoje in v kolikšni meri. Da bi to ugotovili, je potrebno poznavanje konstrukcije statev in vezavo tkanine, ki jo je možno na takšnih statvah izdelati. V literaturi [5] je podan princip izdelave tetraaksialne tkanine na Mamillianovih statvah. Prin-

cip je vzet iz patentnega spisa [3]. Na sliki 5 je prikazano medsebojno prepletanje sistemov niti. Princip tvorbe zeva in vnašanje votka kažeta na to, da te statve ne izpolnjujejo zahteve, ki jih je potrebno izpolniti, da bi bila tetraaksialna tkanina konkurenčna in kakovostna. Tukaj kakovost razumemo v širšem smislu. To pomeni fleksibilnost konstrukcije tkanine, ki bi bila lahko optimalna na različnih področjih uporabe, ker je pač možno (statve naj to omogočijo) prilagoditi kakovost točno določenim zahtevkom. Na Mamillianovih statvah lahko tkemo le vezavo, ki je prikazana na sliki 6. Ta nam pove, da ni možno dobiti nobenega popolnoma



Slika 5: Japonska tetraaksialna tkanina [4]



Slika 6: Mamillianova tetraaksialna tkanina [3]

izravnane sistema niti, ker prepogosto prevezovanje in tudi način formiranja tkanine tega ne dovoljuje. Poleg tega sta »Z« in »S« osnovi naviti na navitke in se odvijata s cevčnice.

Ker nimamo nobenih podatkov o konstrukciji japonskih statev za tkanje tetraaksialnih tkanin, smo poskušali konstruirati statve, na katerih bi bilo možno tkati tetraaksialno tkanino, ki je prikazana na sliki 5. Japonci so naprej razvijali statve za tkanje triaksialnih tkanin, zato smo predpostavljali, da so te statve le priredili. Konstruirali smo statve, na katerih je možno tkati japonsko tetraaksialno tkanino, prikazano na sliki 5. Idejna zasnova statev je prikazana v literaturi [5].

Tetraaksialna tkanina, prikazana na sliki 5, ni v konvencionalni legi. Tkanino moramo zavrteti za 45 stopinj, da jo prikažemo v konvencionalni legi, v kateri je votek postavljen vodoravno. S in Z osnova morata ležati druga pod drugo. Nobena druga lega ni mogoča, še najmanj pa prevezovanje v vezavi platno, kot je to prikazano na sliki 5.

Iz slik 5 in 6 je razvidno, da ta dva tipa tetraaksialnih tkanin ne izpolnjujeta glavnega zahtevka za kakovost tetraaksialnih tkanin: ni možno tkati tako, da bi bil vsaj en sistem niti (predvsem normalna osnova) popolnoma izravnana. Pač pa je na teh statvah možno tkati samo tkanine, prikazane na sliki 5 in 6. To pomeni, da je ta razvoj slepa ulica celo v primeru, če bi bili nekateri prej naštetih zahtevki izpolnjeni. Zaradi tega je nujno poiskati poti razvoja statev za izdelavo tetraaksialnih tkanin, ki bi ustrezale večini prej omenjenih zahtevkov. Posebno je pomemben zahtevek za izravnano sistemov niti v tetraaksialni tkanini.

Potreben pogoj za to je vsekakor relativno majhno število preveznih točk. V primeru, da je tetraaksialna tkanina uporabljena kot armatura vlaknovine, kompozita ali laminata, ni nujna stabilnost tkanine, kot jo poznamo v klasični uporabi biaksialne tkanine za oblačila ipd. Izhod iz slepe ulice nakazujeta sliki 7 in 8. Na slikah od 1 do 3 je predpostavljeno, da so vsi sistemi izravnani in da deformacija poteka v področju elastičnih deformacij. Kot smo videli, japonska in Mamillianova tetraaksialna tkanina ne omogočata tega stanja. Na sliki 7 je prikazana tetraaksialna tkanina v petveznem osnovnem atlasu, če vse sisteme osnove vzamemo kot en sistem z ozirom na votek. Vezne točke so goste. Kljub temu omogoča idejna zasnova statev popolno izravnano vseh teh sistemov osnove. Votek bi bil sistem, ki bi imel določeno stkanje. Vendar je možno kontrolirati tudi napetost votka in omogočiti samo toliko stkanja, kolikor pač zahteva izravnano stanje sistemov osnove.

Iz slike 9 je razvidno, da v primeru izravnani niti v tkanini, tkanina takoj prevzame svoj delež obremenitve kompozita in se dejansko obnaša kot armatura. V primeru neizravnani niti v tkanini, kot je prikazano na desni krivulji na sliki 9, se tkanina ne obnaša kot

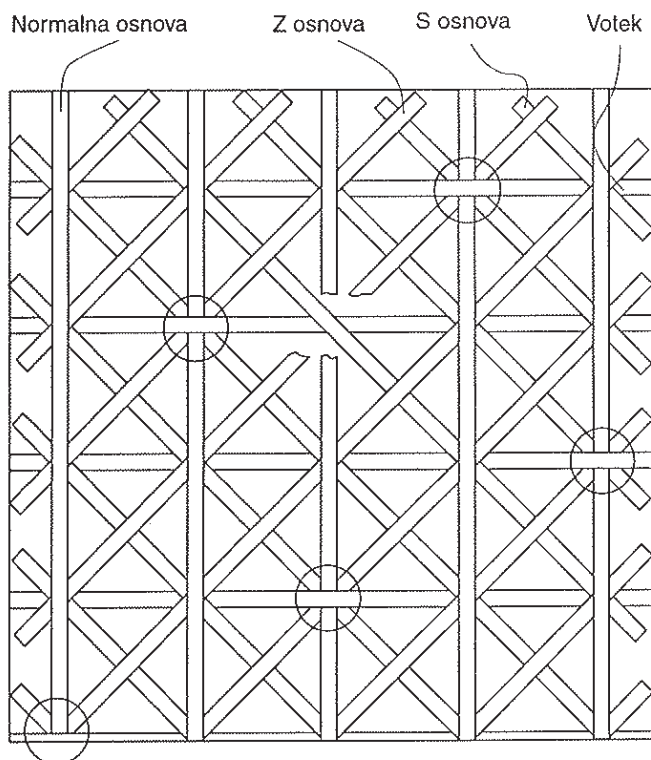
armatura, saj se druga komponenta kompozita, na primer tog beton, že poruši, predno se niti v tkanini izravnavajo.

Idejna zasnova avtorjevih statev omogoča do 24 votkov v sosledju. Pri 24-veznem osnovnem atlasu pri gostoti 5 votkov/cm bi vezna točka prišla na vsakih 4,8 cm. V tem primeru bi bil tudi votek praktično izravnani. Upravičeno se postavlja vprašanje stabilnosti strukture takšne tkanine. Tkanina je v določeni meri stabilizirana z »Z« in »S« osnovo. Po drugi strani je takšna tkanina namenjena kot armatura v betonskih izdelkih, laminatih in na splošno kompozitih, v katerih je prepojena s smolo ipd. V primerih, ko ni pomembna izravnano niti, lahko tudi tkemo vezavo-platno. V tem primeru bi bila strukturna stabilnost tkanine večja, kot je stabilnost v platno iztkane biaksialne tkanine srednje gostote.

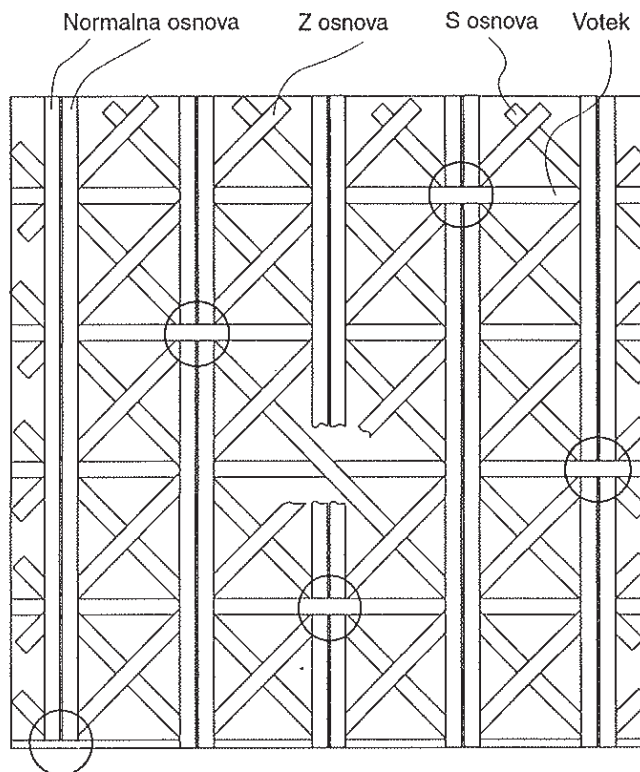
4.0 VIZIJA NADALJNEGA RAZVOJA TEHNIKE TKANJA TETRAAKSIALNIH TKANIN

Realno vizijo je možno dati le v primeru, če razpolagamo z že gotovimi študijami in izdelanimi konstrukcijami, ki nedvomno omogočajo realno napoved razvoja tehnike tkanja tetraaksialnih tkanin.

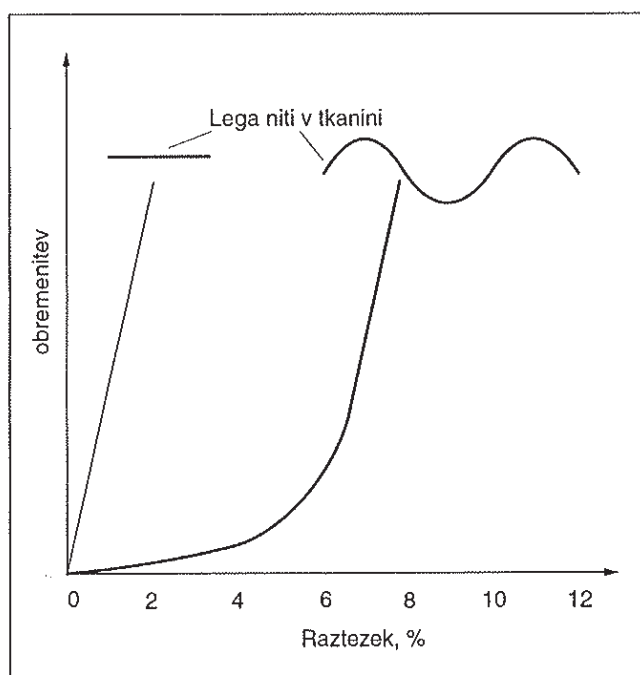
Avtor tega prispevka se je vrsto let ukvarjal s problemi armiranja različnih izdelkov s tekstilijami, s konstruiranjem laboratorijskih aparatov, navijalnih strojev,



Slika 7: Tetraaksialna tkanina v 5-veznem osnovnem atlasu



Slika 8: Ojačana tetraaksialna tkanina v 5-veznem osnovnem atlasu



Slika 9: Vpliv lege niti v tkanini na potek krivulje obremenitev - raztezek

žakarov in strojev za tkanje tri- in tetraaksialnih tkanin. Za te dosežke mu je bilo podeljenih 16 patentnih listin v Sloveniji, Evropi in ZDA. Vendar to nič ne pomeni korporacijam, ki imajo rizični kapital. Tega kapitala v Sloveniji ni ali pa ni zaupanja v tržni uspeh določene izuma.

Izkušnje kažejo, da je težko plasirati nov proizvod na tržišču, če ni bil sistematično razvit v določeni korporaciji. Svoj čas je IBM odkupil patent za tiskana vezja, pa je rešitev čepela v predalu cela tri leta. Zaradi tega je bilo vodstvo firme zamenjano. Kot vidimo, celo revolucionarne iznajdbe ne pomenijo dosti, če ni dojemanja pomembnosti rešitve pri tistih, ki imajo rizični kapital. V Sloveniji tega kapitala ni. Zaradi tega dejstva smo se odločili, da bomo izdelali poceni pilotne statve, na katerih bo možno tkati tetraaksialno tkanino, ki bo imela širino do 50 cm. Te pilotne statve bodo omogočale tkanje tetraaksialnih tkanin do osem votkov v sosledju. V tem primeru bo najbolj primeren 8-vezni osnovni atlas.

Na iztkanih tkaninah bomo izpeljali celotno analizo in če se pokaže za potrebno bomo razvili tudi nove metode za ugotavljanje vrednosti posameznih parametrov tetraaksialne tkanine. Posebej bomo raziskali uporabnost tetraaksialnih tkanin na posameznih področjih. Upamo, da bodo rezultati teh preiskav pozitivni s stališča uporabe tetraaksialnih tkanin. Ti rezultati bodo, vsaj tako upamo, spodbuda za morebitne investitorje, ki bi vložili kapital za razvoj stroja za izdelavo tetraaksialnih tkanin širine 200 do 400 cm.

5.0 SKLEPI

Prezgodaj je, da bi imeli dokončno stališče o prihodnjem razvoju tehnike izdelave tetraaksialnih tkanin. Kljub pomanjkljivosti eksperimentalnih podatkov so v tem prispevku vsaj nekatera vprašanja precej razjasnjena. Na kratko lahko podamo nekaj dejstev.

- Sedanja tehnologija izdelave tetraaksialnih tkanin je dejansko v slepi ulici. O tem priča nekaj dejstev. Tehnologija ne omogoča večjih hitrosti vnosa votka; ne omogoča fleksibilnosti glede spremembe vezave in v zvezi s tem ni možno tkati tkanine, v kateri bi bil vsaj en sistem niti popolnoma izravnani. Statve so verjetno precej dražje, kot so brezčolnične za tkanje biaksialnih tkanin. O ceni statev lahko sklepamo po Mamillianovem patentu [3] in naši idejni zasnovi [5]. Potemtakem tetraaksialne tkanine, izdelane po sedanjih tehnologijah, ne morejo biti poceni oziroma ne morejo biti cenejše kot triaksialne tkanine. Zaradi cene in kakovosti tetraaksialne tkanine, izdelane po sedaj dosegljivi tehnologiji, nimajo nobene perspektive na tržišču. To kažejo tudi dosednji rezultati. Kljub temu da nekatere od teh tehnologij [3, 4, 5] obstajajo že več kot 10 let, te tkanine niso dosegljive na trgu.
- Naše večletne raziskave tehnike tkanja triaksialnih in tetraaksialnih tkanin ter zahtevnosti posameznih področij uporabe so rezultirale v spoznanju, da triaksialne tkanine nimajo nobene realne perspektive; prav tako ne tetraaksialne tkanine, izdelane po sedanjih tehnologijah.

- Na osnovi dosedanjih spoznanj smo oblikovali sedem potrebnih pogojev, ki jih moramo upoštevati pri razvoju in konstrukciji statev za tkanje tetraaksialnih tkanin.
- Na podlagi formuliranih potrebnih pogojev za izdelavo kakovostnih konkurenčnih tetraaksialnih tkanin smo razvili in tudi konstruirali statve delovne širine 200 cm.
- Na osnovi že prejšnjih izkušenj pri poskusu uveljavitve našega elektronskega žakara na trgu smo prišli do spoznanja, da ne bo lahko prepričati morebitne investitorje, da vložijo kapital za izdelavo prototipa statev za tetraaksialne tkanine. Zaradi tega smo sklenili, da izdelamo pilotske statve delovne širine 50 cm. Te statve bo možno izdelati delno v delavnici Oddelka za tekstilstvo, delno pri drugih proizvajalcih strojev in strojnih delov. Na stroju bo do 11 motorjev, odvisno ali bo deloval kontinuirno (zvezno) ali diskontinuirno (diskretno), ki jih bo možno krmiliti s krmilnikom, ki je bil razvit za krmiljenje navijalnega stroja za navijanje hibridnih votkovnih navitkov.
- Rezultati laboratorijskih preiskav bodo pokazali, koliko smo bili uspešni. Če bodo ti pozitivni, upravičeno upamo, da bomo lažje dobili investitorje za izdelavo statev. Proizvajalca že imamo. Dva vitalna dela statev že imata patentno zaščito. Drugi vitalni deli pa bodo naknadno zaščiteni, ko bodo znani rezultati preizkusov in opravljene vse konstrukcijske pomanjkljivosti.

Viri:

- [1] DOW, NF. in TRANSFIELD, G. Preliminary investigations of feasibility of weaving triaxial fabrics (dowweave). *Textile Research Journal*, 1970, vol. 11, p. 986–998.
- [2] Prospekt podjetja Mayer za multiaksialni pletilni stroj RS 2 DS. Hannover: ITMA, 1991.
- [3] MAMILLIANO, D. *Tetrahedral fabric and weaving machine for its manufacture*. US patent, no. 5,351,722. 1994–10–4.
- [4] Prospekt podjetja Teijin Limited, Tokyo, Japan.
- [5] JAKŠIČ, D. Analiza lastnosti triaksialnih in tetraaksialnih tkanin. *Tekstilec*, 1997, let. 10, str. 290–299.
- [6] JAKŠIČ, D. Properties and applicability of tetrahedral fabrics. V *Tekstiltex Symposium '98*. Lyon, 1998, p. 17 do 21.

Prispelo/Received: 05-2000; sprejeto/accepted: 06-2000

Tematika članka je bila v skrajšani obliki predstavljena na 33. simpoziju o novostih v tekstilstvu, v Ljubljani, 14. – 15. junija 2000