

mag. **Rozalija Blekač**, univ. dipl. inž.
ELKROJ – Modna oblačila d. d., Prihova 56, SI-3331 Nazarje;
e-pošta: zala.blekac@elkroj.si
izr. prof. dr. **Jelka Geršak**, univ. dipl. inž.
dr. **Ivan Gubenšek**, univ. dipl. inž.
Univeza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo, Smetanova 17, SI-2000 Maribor;
e-pošta: jelka.gersak@uni-mb.si

Model simulacije obremenitev in deformacij tkanin pri polaganju*

Med procesom polaganja materiala z avtomatskim polagalnim strojem deluje na tkanino določena vlečna sila, ki je odvisna od načina odvijanja tkanine s tekstilnega navitka in vodenja preko vodilno-napenjalnih valjev polagalnega stroja do področja polaganja. Pri tem delujejo na gibajoči del tkanine natezne, tlačne in torne sile, ki povzročijo v tkanini večje ali manjše natezne deformacije. Natezne obremenitve so pogojene z uporabljenimi strojno opremo in parametri polaganja ter mehanskimi in fizikalnimi lastnostmi in reološkimi parametri tkanine. Nastala deformacija je odvisna od velikosti delujočih obremenitev in upora tkanine proti vlečni sili, ki učinkuje na gibajoči del tkanine pri polaganju.

Ker gre za kompleksno problematiko nateznih obremenitev, ki učinkujejo na gibajoči del tkanine, na eni strani in za zahtevne relaksacijske pojave v tkanini po polaganju v krojno plast, je v prispevku podana analiza nateznih obremenitev tkanine med polaganjem in predstavljen predlog modela za simulacijo obremenitve in deformacije tkanine pri polaganju. V ta namen je izvedena študija tehnološko pogojenih nateznih obremenitev tkanine med procesom polaganja, ki so posledica na gibajoči del tkanine delujočih vlečnih, tornih in tlačnih sil pri polaganju, ter odnosa med obremenitvijo in deformacijo. Na podlagi opredeljenega odnosa med obremenitvijo in deformacijo je predlog modela za simulacijo obremenitve in deformacije tkanine pri polaganju zasnovan na metodi končnih elementov.

Ključne besede: tkanina, mehanske in fizikalne lastnosti, polaganje, vlečna sila, natezna obremenitev, deformacija

Model for Simulating Fabric Loading and Deformations During Spreading Process

A certain traction force acts on the fabric during the spreading process on the automated spreading machine. This force depends on the way in which the fabric is being unrolled from the fabric roll over the guiding/stretching cylinders of the machine up to the spreading area. Tensional, compressional and friction forces that act on the moving part of the fabric cause greater or minor tensional deformations in the fabric. The magnitude of the loading depends on the applied machinery and the spreading parameters, as well as on the mechanical and physical properties and rheological parameters of the fabric. The resulting deformation depends on the size of the acting forces and the resistance of the fabric against the traction force that acts on the moving part of the fabric during the spreading process.

The analysis of tensional loading of the fabric in the spreading process is presented in the frame of this paper taking into account the complex question of tensional loading that acts on the moving part of the fabric and complex relaxation phenomenon in the fabric after laying down into fabric layers. Furthermore, a model for simulating the fabric loading and deformations during the spreading process is proposed. A study on technologically conditioned tensional loading of the fabric during the spreading process as well as a study on the relationship between loading and deformation was carried out for that purpose. The fabric loading can be in this case stated as a consequence of the traction, friction and compressional forces during the spreading process. The proposed model for simulating the loading and deformations during the fabric spreading process was designed using the finite elements method based on the defined relationship between loading and deformation.

Key words: fabric, mechanical and physical properties, fabric spreading, traction force, tensile loading, deformation

1.0 UVOD

Tehnološki proces krojenja, ki obsega polaganje krojnih slojev materiala v krojne plasti in razrez krojnih plasti v oblačilne dele, je del proizvodnega procesa izdelave oblačil, kjer s pomočjo delovnih sredstev delujemo na tekstilno površino, da bi jo preoblikovali v posamezne oblačilne dele.

Polaganje krojnih slojev v krojno plast je poleg konstrukcijskih parametrov materiala in njegovih mehanskih lastnosti odvisno tudi od [1]:

- vrste krojne plasti,
- razpoložljive oz. uporabljene tehnološke opreme in
- tehnoloških dejavnikov polaganja.

Izbira vrste krojne plasti je odvisna od vrste in lastnosti materiala, vrste oblačila, količine oblačil v delovnem nalogu, števila velikostnih števil, dolžine materiala v navitku in tehnološke opreme, s pomočjo katere se izvaja polaganje.

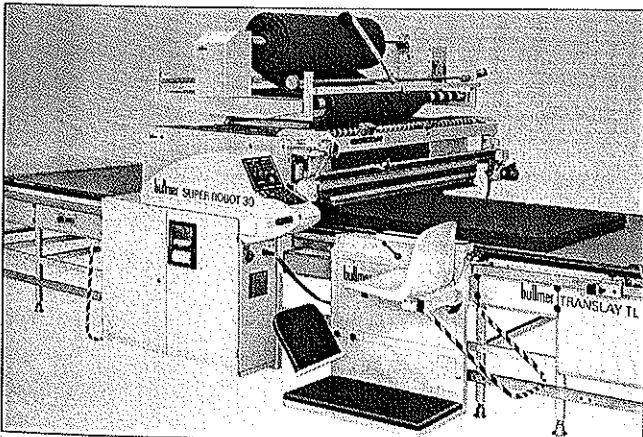
Z uporabo večvelikostnih krojnih slik se doseže večja izkoriščenost materiala, saj se zmanjša delež dodatka materiala na začetku in na koncu krojne plasti, kot tudi izkoriščenost polagalnega stroja. Zaradi večje dolžine krojnih slojev se poveča tudi delež tehnološkega časa polaganja.

Z večanjem dolžine krojne plasti pa se povečuje možnost nastanka deformacij materiala, ki so posledica vlečne sile, ki deluje na material med samim polaganjem.

2.0 VODENJE MATERIALA PRI POLAGANJU NA AVTOMATSKEM POLAGALNEM STROJU

Vodenje materiala pri strojnem polaganju krojnih slojev v krojno plast je odvisno od vrste polagalnega stroja in njegove konstrukcijske rešitve.

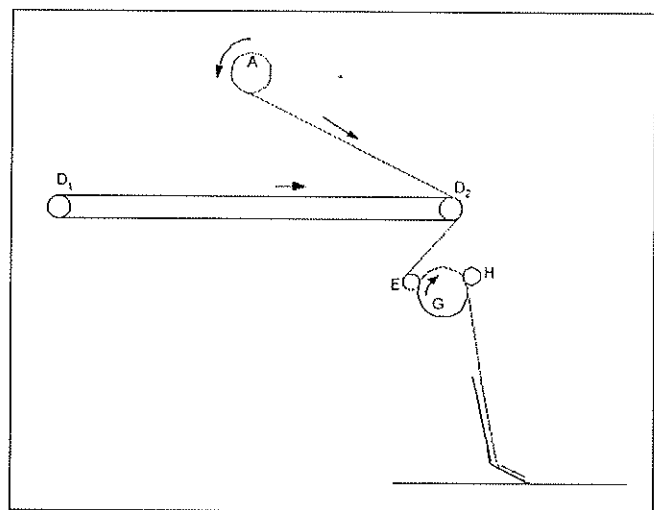
Prikaz vodenja materiala s tekstilnega navitka do polaganja v krojno plast je prikazan za polagalni stroj Bullmer Super Robot 30 na sliki 1.



Slika 1: Polagalni stroj Bullmer Super Robot 30

Tkanina je s tekstilnega navitka vodena preko sistema vodilno-napenjalnih valjev do področja samega polaganja. Pri tem je zaradi vlečne sile, ki je potrebna za odvijanje tkanine z navitka in njeno vodenje preko vodilno-napenjalnih valjev, ter tornih lastnosti oblog valjev in usklajenosti odvijalne in odvajalne hitrosti, izpostavljena nateznim obremenitvam.

Natezne obremenitve, katerim je tkanina izpostavljena, so odvisne od konstrukcijskih parametrov tkanine (surovinska sestava, vezava, masa, površinska obdelava, gostota niti tkanine), njenih mehanskih lastnosti ter od parametrov polaganja in regulacije hitrosti polaganja. Manjša kot je obodna hitrost valjev E in H, večje natezne obremenitve delujejo na tkanino, sl. 2. Samo hitrost odvajanja tkanine je moč nastaviti preko regulacije vrtilne hitrosti valjev E, G in H.



Slika 2: Shematski prikaz vodenja materiala

2.1 Natezne obremenitve tkanine pri polaganju

Natezne obremenitve, ki jim je v procesu polaganja krojnih slojev v krojno plast izpostavljena tkanina, so odvisne od vrste vplivnih dejavnikov, kot so: tehnično-tehnološke rešitve polagalnega stroja, variabilni parametri polaganja in sama tkanina oz. od njenih konstrukcijskih parametrov ter mehanskih in fizikalnih lastnosti.

Predpogoj za kakovost strojnega polaganja je usklajitev odvijalne hitrosti $v_{odvijal}$, tj. hitrosti odvijanja tkanine z navitka, in odvajalne hitrosti $v_{odvajal}$, tj. hitrosti gibanja dela tkanine skozi vodilne valje oz. hitrosti polaganja. Da se preprečijo deformacije tkanine zaradi delovanja nateznih obremenitev, je potrebno zadostiti osnovnemu pogoju, tj. odvijalna hitrost mora biti nekoliko večja od odvajalne hitrosti oz. hitrosti polaganja:

$$v_{odvijalna} \geq v_{odvajalna} \quad (1)$$

Ko je zagotovljena nekoliko višja hitrost odvijanja tkanine z navitka, kot je hitrost odvajanja tkanine preko vodilnih valjev polagalnega stroja, se znižajo natezne

obremenitve tkanine v področju samega polaganja krojnega sloja tkanine v krojno plast.

Med polaganjem je tkanina izpostavljena delovanju nateznih obremenitev. Glede na pot tkanine preko vodilnih valjev polagalnega stroja, sl. 2, je gibajoči del tkanine izpostavljen sledečim obremenitvam [2]:

$$F'_{v_1} = F + m_1 \cdot a \quad (2)$$

$$v_1 = r \cdot \omega \quad (3)$$

$$v_1 = r \cdot \frac{d\varphi}{dt} \quad (4)$$

kjer je:

- F – sila, potrebna za povlek tkanine z navitka
- F'_{v_1} – vlečna sila, s katero je tkanina vodena od valja A do valja D_1
- m – masa dela tkanine med valjema A in D_1
- a – pospešek na delu tkanine od valja A do valja D_1
- v_1 – odvijalna hitrost

Vlečna sila tkanine za drugim vodilnim valjem D_1 je enaka vlečni sili F'_{v_1} , pomnoženi s faktorjem sile trenja $e^{\mu_1 \alpha_1}$, in povečana za vrednost $\Delta m_1 a$, ki deluje na vodilni valj v delu objemnega kota:

$$F_{v_1} = F'_{v_1} \cdot e^{\mu_1 \alpha_1} + \Delta m_1 a \quad (5)$$

kjer je:

- F_{v_1} – vlečna sila tkanine za valjem D_1 , v cN
- μ_1 – koeficient trenja med tkanino in valjem
- α_1 – objemni kot, ki ga oklepa tkanina pri prehodu preko valja D_1 , v radianih
- $\Delta m_1 a$ – inercialna sila ali sila masnega pospeška, ki deluje na del tkanine v področju tornega elementa oz. valja D_1 , v cN

Vlečna sila pred drugim vodilnim elementom oz. napenjalnim valjem E je podana z izrazom:

$$F'_{v_2} = F_{v_1} + m_2 \cdot a \quad (6)$$

medtem ko je za napenjalnim valjem E z upoštevanjem tornega koeficienta, objemnega kota in inercialne sile, ki deluje na tkanino v področju tornega elementa oz. valja E, podana v obliki:

$$F_{v_2} = F'_{v_2} \cdot e^{\mu_2 \alpha_2} + \Delta m_2 \cdot a \quad (7)$$

Vlečna sila tkanine v področju med tretjim vodilnim elementom oz. valjem G in t. i. napenjalnim valjem E je enaka vlečni sili za napenjalnim valjem, povečani za silo masnega pospeška $m_3 a$, ki deluje na del tkanine med valjem G in valjem E in je podana z izrazom:

$$F'_{v_3} = F_{v_2} + m_3 \cdot a \quad (8)$$

Dalje se lahko določi vlečna sila, ki deluje na tkanino za valjem G oz. H. Ker med tema dvema valjema ni proste poti, je v tem področju potrebno upoštevati le preko valja H učinkujočo silo trenja. Tako je vlečna sila za valjema H in G podana z izrazom:

$$F_{v_3} = F'_{v_3} \cdot e^{\mu_3 \alpha_3} + \Delta m_3 \cdot a + F_{tr} \quad (9)$$

Valj H je na površini obdan z gumijasto spiralno oblogo, katere naloga je izravnava površine tkanine.

Sila, s katero valj oz. njegova obloga deluje na tkanino, je odvisna od tlačne sile valja H in koeficienta trenja spiralne obloge:

$$F_{tr} = \mu_H \cdot F_N \quad (10)$$

kjer je:

- F_{tr} – sila trenja
- μ_H – koeficient trenja med tkanino in valjem s spiralno oblogo
- F_N – pritisna sila valja ob tkanino.

Koeficient trenja zavzema vrednosti $0 < \mu < 1$, povprečna vrednost koeficienta trenja za gumo znaša $\mu = 0,9$.

Upoštevajoč izraz (10) se lahko vlečna sila tkanine za valjema G in H poda v obliki

$$F_{v_3} = F'_{v_3} \cdot e^{\mu_3 \alpha_3} + \Delta m_3 \cdot a + \mu_H \cdot F_N \quad (11)$$

Vlečna sila tkanine do vpenjalne letve oz. do položaja polaganja v krojno plast je podana z izrazom:

$$F_w = F_{v_3} + m_4 \cdot a \quad (12)$$

Ob upoštevanju izrazov (2), (5) do (12) se lahko vlečna sila tkanine med polaganjem poda v obliki:

$$F_{v-pl} = a \cdot \left[\left((F_1 m_1 e^{\mu_1 \alpha_1} + \Delta m_1 + m_2) e^{\mu_2 \alpha_2} + \Delta m_2 + m_3 \right) e^{\mu_3 \alpha_3} + \Delta m_3 + m_4 \right] + \mu_H F_N \quad (13)$$

Na podlagi izvedene analize vlečne sile, izraz (13), ki učinkuje na gibajoči del tkanine med polaganjem, je vidno, da je vlečna sila tkanine odvisna od tornih sil med tkanino in vodilnimi valji, položaja napenjalnega valja, natezno tlačne sile, s katero učinkuje na tkanino valj H preko gumijaste obloge v obliki vijajnice, hitrosti oz. pospeška gibanja tkanine skozi vodilne valje polagalnega stroja in ploskovne mase tkanine^[1].

2.2 Vpliv nateznih obremenitev na deformacije materiala pri polaganju

Deformacije pri polaganju so posledica učinkujoče vlečne sile ter preko napenjalnega valja povzročene natezne obremenitve, ki deluje na gibajoči del tkanine

med procesom polaganja krojnih slojev v krojno plast in se kažejo kot:

- deformacije oz. raztezanje tkanine v vzdolžni smeri, tj. v smeri teka osnovnih niti,
- deformacije tkanine, kot posledica vzajemnega učinkovanja vlečnih in natezних obremenitev, povzročenih preko gumijaste obloge v obliki vijačnice valja H, ki se pogosto odražajo v obliki neravnega odreza krojnega sloja.

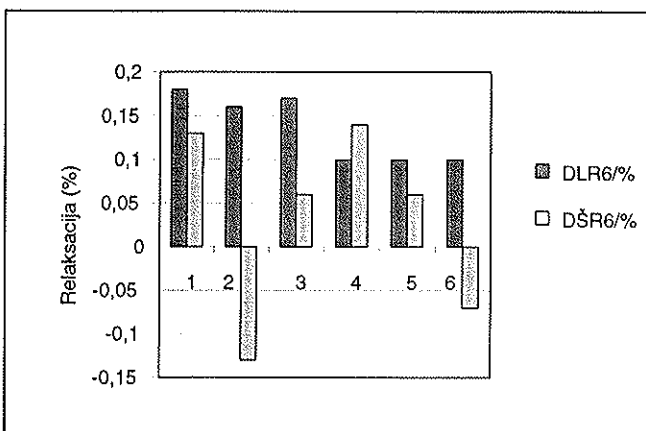
Deformacije, ki se odražajo v obliki raztezanja tkanine in so posledica vlečne sile pri polaganju krojnih slojev v krojno plast, so odvisne od:

- vrste in lastnosti tkanine,
- konstrukcijskih parametrov tkanine,
- ploskovne mase,
- natezno elastičnih lastnosti,
- upogibnih in strižnih lastnosti,
- površinskih lastnosti,
- strukture krojne plasti in
- uporabljenega polagalnega stroja oz. parametrov polaganja^[1].

Do deformacij načeloma ne pride pri materialih, ki imajo kompaktno vezavo, npr. platno, medtem ko pri tkaninah z manj kompaktno vezavo, tkaninah z vsebnostjo elastana in pri pleteninah deformacij ne moremo preprečiti. Nastale deformacije se kažejo v obliki elastične natezne deformacije oz. raztezka tkanine, ki se po določenem času relaksira.

Če se krojne plasti, katerih krojni sloji so bili izpostavljeni natezni deformaciji, krojijo takoj po polaganju, obstaja nevarnost, da bo zaradi poznejših relaksacij materiala prišlo do dimenzijskih sprememb posameznih oblačilnih delov.

Da se temu izognemo, je potrebno krojne plasti elastičnih materialov in pletenin pustiti nekaj časa v mirovanju, da nastopi potrebna relaksacija. Primer relaksacije dolžin in širin krojnih slojev tkanin z dodanim elastanom po šesturni relaksaciji je prikazan na sl. 3.



Slika 3: Prikaz spremembe dolžin in širin krojnih slojev po 6-urni relaksaciji

Glede na odstotek relaksacije, ki nastopi po polaganju, je potrebno pri polaganju tovrstnih materialov določiti ustrezen dodatek materiala na začetku in na koncu krojne plasti.

3.0 OBLIKOVANJE MODELA ZA SIMULACIJO NATEZNIH OBREMENITEV IN DEFORMACIJ TKANIN PRI POLAGANJU

Zaradi kompleksnosti problematike natezних obremenitev, ki učinkujejo na gibajoči del tkanine, in zahtevnih relaksacijskih pojavov v tkanini po polaganju v krojno plast, ki jih ni možno predvideti, smo pristopili k oblikovanju modela za simulacijo obremenitev in deformacij tkanin pri polaganju. V ta namen smo izvedli obširne raziskave in analize natezних obremenitev tkanin med polaganjem in pri tem nastalih deformacij. Na podlagi poznavanja odnosa med obremenitvijo in deformacijami ter podrobne analize natezних obremenitev, ki jim je tkanina izpostavljena med procesom polaganja, izrazi (1) do (13), smo pristopili k modeliranju natezних obremenitev tkanine in iskanju orodij za oblikovanje modela za simulacijo obremenitev in deformacij tkanin pri polaganju.

3.1 Modeliranje natezних obremenitev tkanine

Kot osnova pri modeliranju natezних obremenitev tkanine je služilo dejstvo, da je tkanina kontinuum s homogenimi ortotropnimi lastnostmi. Njena struktura je definirana preko reoloških parametrov (elastični oz. Youngov modul, strižni modul in Poissonovo število). Pri modeliranju je kot osnova služil natezni preskus, ki se uporablja pri KES FB meritvah, in sicer KES FB-1 merilna naprava. Pri določanju natezних lastnosti je preskušane, ki je vpet med dve prižemi pri vpenjalni dolžini 50 mm, izpostavljen enoosni natezni obremenitvi. Stopnja raztezanja je konstantna in znaša $4,00 \times 10^{-3} s^{-1}$.

Merjenje natezних lastnosti se izvaja na podlagi enakomernega obremenjevanja preskušanca do maksimalne obremenitve $F_m = 490,35 \text{ Nm}^{-1}$, nakar se meri proces relaksacije. Ločeno se izvede simulacija za smer osnove in votka, pri čemer se izriše krivulja obremenitev – deformacija, kjer je na x osi zabeležen raztezek ϵ v %, na y osi pa natezna sila, podana na enoto širine preskušanca v Nm^{-1} .

Na podlagi opredeljenih reoloških parametrov tkanin smo pristopili k oblikovanju modela natezних obremenitev, zasnovanega na metodi končnih elementov.

3.2 Metoda končnih elementov

Metoda končnih elementov (MKE) je način razdelitve sistema v njegove individualne komponente ali elemente, katerih obnašanje je poznano. Ti so med sabo

povezani z vozlišči in tvorijo mrežo končnih elementov. Problem iskanja neznane veličine (pomiki, napetosti) v celotnem območju strukture se na ta način pretvori v problem iskanja neznane veličine le v vozliščih končnih elementov, medtem ko se vrednosti neznane veličine znotraj posameznega končnega elementa določijo z interpolacijo vozliščnih vrednosti^[2].

Bistvo MKE je diskretizacija (razdelitev) geometrije konstrukcije na manjše dele – končne elemente. Glede na dimenzije posameznih delov konstrukcije ločimo linijske, ploskovne in konstrukcije z izraženim volumnom. Elementi so povezani med seboj preko vozlišč in tvorijo celoto konstrukcije.

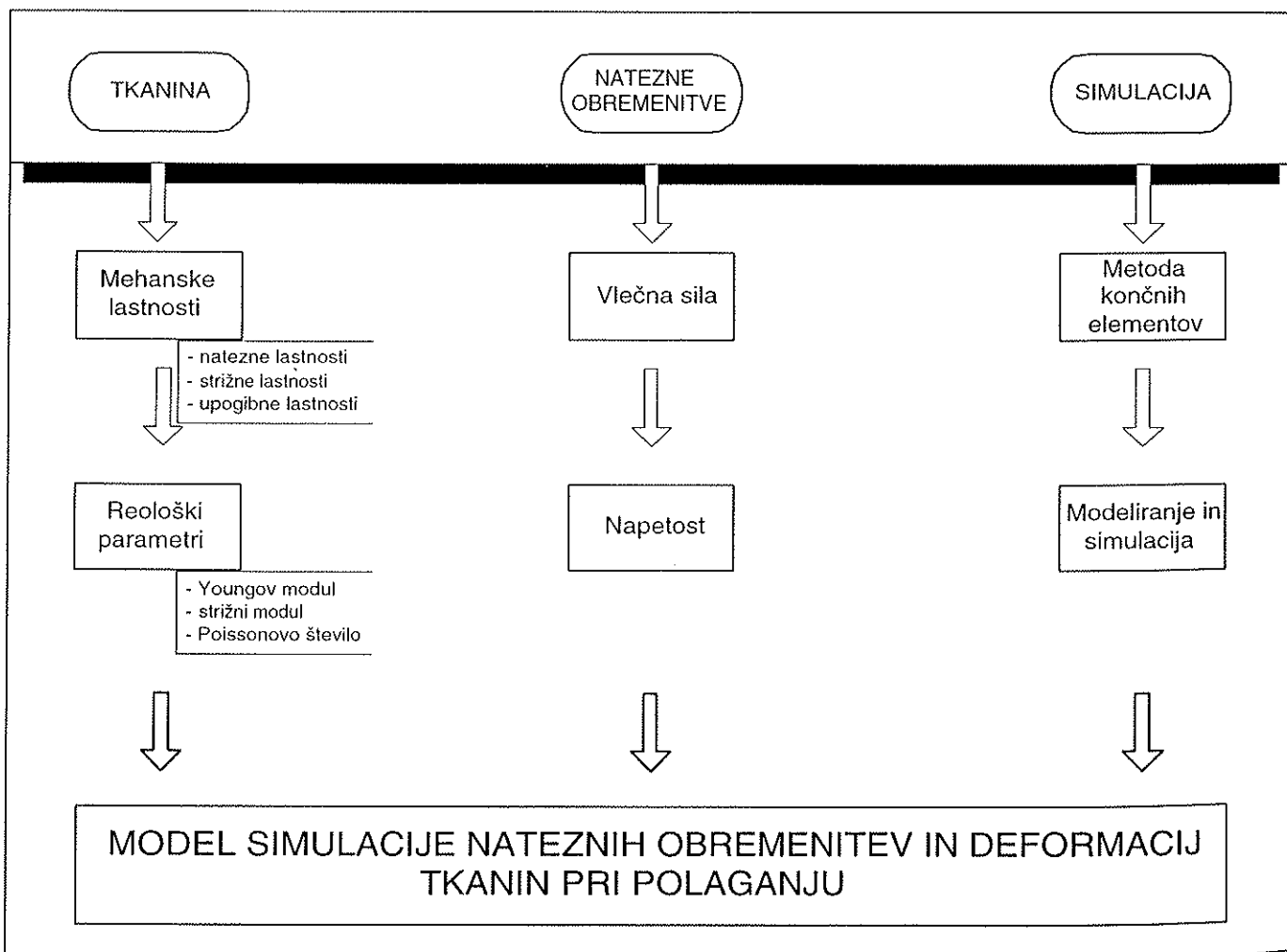
Z upoštevanjem enačb elastomehanike se tvori osnovna enačba končnega elementa z neznanimi vozliščnimi pomiki. Z združitvijo enačbe posameznih elementov v enačbo konstrukcije in ob upoštevanju robnih pogojev (podpor oz. vpetij) in zunanje obremenitve izračunamo vse želene vozliščne pomike, specifične deformacije in napetosti.

Z razvojem zmogljivih računalnikov je metoda končnih elementov postala široko uporabna, razvitih pa je tudi več programskih paketov, npr. MSC-NASTRAN, SDRC-IDEAS, ANSYS, ABAQUS in drugi.

Reševanje problema načeloma poteka v naslednjih fazah:

- izdelava modela konstrukcije (računalniško 3D modeliranje),
- diskretizacija modela na končne elemente ustreznega tipa,
- opredelitev robnih pogojev in obremenitev,
- izračun zahtevanih količin (izračunavanje),
- vizualizacija rezultatov izračuna (postprocesiranje).

Najzahtevnejša faza je priprava oziroma nastavitvev modela. V prvi fazi uporabnik definira geometrijo konstrukcije (modela), ki je sestavljena iz točk, robov, površin in volumnov določenih dimenzij. Nato se geometrijski model diskretizira (razdeli) z ustreznim tipom končnih elementov. Od ustreznosti tipa elementov in njihove porazdelitve po konstrukciji (mreža elementov) je zelo odvisna kakovosti rezultatov. Dalje se definirajo t. i. robni pogoji, ki opredeljujejo vpetja konstrukcije, simetričnosti konstrukcije ter povezavo s sosednjimi elementi sistema. Nakar je potrebno definirati še različne vrste obremenitev, npr. vozliščne (koncentrirane, točkovne) sile, tlake (porazdelitev sile po večjih ploskvah), vplive masnih sil (teža, centrifugalna sila) in vpliv temperature.



Slika 4: Model za simulacijo nateznih obremenitev in deformacij tkanin pri polaganju

Tako pripravljene podatke program uredi v matrične zapise. Ob upoštevanju znanih robnih pogojev (vpetij) se za elastomehanske probleme dobi kot rezultat množica vozliščnih pomikov. Matrične operacije so pri velikem številu elementov izredno obsežne, zaradi česar je velika prednost dovolj zmogljiv računalnik.

Rezultati analize se najpogosteje prikazujejo grafično. Na ta način je mogoče zelo hitro kakovostno oceniti mesta na konstrukciji, kjer nastopajo koncentracije veličin, ki nas zanimajo.

3.3 Modeliranje in simulacija nateznih obremenitev in deformacij

Za numerično analizo nateznih obremenitev in deformacij tkanin med polaganjem je uporabljen programski sistem ABAQUS. S pomočjo programskega sistema ABAQUS za numerično računanje s končnimi elementi je oblikovan model za simulacijo nateznih obremenitev in deformacij tkanin, ki se pojavljajo med procesom polaganja. Shematski prikaz oblikovanega modela je prikazan na sl. 4.

Model je definiran z 2D lupinskimi elementi in je sestavljen iz 100 končnih elementov^[3]. Pri definiranju robnih pogojev je upoštevana zahteva po enakomerno delujoči sili v fazi obremenjevanja.

4.0 ZAKLJUČEK

Na tehnološki proces krojenja vplivajo mehanske in fizikalne lastnosti tkanin ter tehnično-tehnološki parametri polaganja krojnih slojev v krojno plast.

Mehanske in fizikalne lastnosti, ki se v procesu krojenja pojavijo kot vplivni parametri, so: razteznost, upogibna togost, strižna togost, površinske lastnosti, masa in debelina tkanine. Ob poznavanju teh lastnosti lahko predvidimo obnašanje tkanin v procesu polaganja in krojenja. Poleg vpliva materiala, njegovih konstrukcijskih parametrov in mehanskih lastnosti, pa je pomemben tudi vpliv parametrov polaganja oz. polagalnega stroja in strukture krojne plasti – predvsem dolžine le-te.

Oblikovan predlog modela simulacije nateznih obremenitev tkanin med polaganjem bo omogočil analizo nateznih obremenitev pri različnih tehnološko pogojenih obremenitvah glede na konstrukcijske parametre in lastnosti tkanine in vpogled v nastale deformacije, kar je izhodišče za inženirsko načrtovanje procesa krojenja.

Viri:

- [1] BLEKAČ, R. *Raziskava nateznih obremenitev materiala pri polaganju : magistrsko delo*. Maribor, 2001
- [2] PRELOG, E. *Metoda končnih elementov*. Ljubljana : Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, 1975.
- [3] ABAQUS : *Theory Manuel, Version 6.2*. Plymouth : Karlsson & Sorensen, Inc., 2000.

* *Prispevek je bil posredovan kot referat na 4. mednarodni konferenci IMCEP 2003 v Mariboru, 9. – 10. oktober (Inoviranje in modeliranje procesov oblačilnega inženirstva)*