

# ANALIZA VPLIVA ORIENTACIJE OJA^ITVENIH VLAKEN NA NATEZNE LASTNOSTI VE^PLASTNIH POLIMERNIH KOMPOZITOV

## ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF FIBRE ORIENTATION UPON TENSILE PROPERTIES OF MULTIPLE PLY POLYMER COMPOSITES

ALE[ LAVRI^, I. EMRI

Center za eksperimentalno mehaniko, Fakulteta za strojni{tvo, Cesta na Brdo 49, 1000 Ljubljana

Prejem rokopisa - received: 1997-10-01; sprejem za objavo - accepted for publication: 1997-12-19

V in'enirskih aplikacijah imajo pomembno mesto slojevito oja-ani poliestrski kompoziti, ki jih izdelujejo "ro-no". Pomembna lastnost teh kompozitov je, da lahko lokalno spreminjamo njihove mehanske lastnosti z volumnim dele'em vlaken, s {tevilom oja-itvenih plasti in njihovo orientiranostjo. Tako lahko dose'emo optimalne mehanske lastnosti nekega konstrukcijskega elementa ali konstrukcije. V -lanku je predstavljena analiza vpliva navedenih parametrov na natezne lastnosti kompozitnega materiala. Podane bodo smernice, s katerimi lahko tehnolog na enostaven na-in predpi'e na-in laminiranja glede na lokalno napetostno oziroma deformacijsko stanje, dolo-eno z metodo kon-nih ali robnih elementov.

Klju-ne besede: kompoziti, steklena vlakna, poliester, natezni test

Multi-ply polyester composites manufactured "manually" have taken an important position in engineering applications. An significant feature of these composites is that their mechanical properties can be changed locally, by way of their fiber volume fraction, ply number and ply arrangement. Optimum mechanical properties of a structural element or a structure can be achieved in this way. The paper presents the analysis of the influence of the mentioned parameters upon tensile properties of composite material. Guidelines will be given, by means of which an engineer can easily prescribe the lamination model with regard to local stress or strain condition, determined with the method limit or boundary elements.

Key words: composites, woven roving, polyester, tensile test

### 1 UVOD

Polimerni kompoziti, med njimi ve-plastni polimerni kompoziti, so nepogre{ljivi konstrukcijski elementi v letalski in vesoljski tehnologiji. Z razvojem tehnologije polimerni kompoziti vse bolj nadome{ajo klasi-ne konstrukcijske materiale, kot so jekla in aluminijeve zlitine, tudi v vsakdanjem ivljenju. Prednosti polimernih kompozitov so v njihovem odli-nem razmerju med gostoto in nosilnostjo. Imajo odli-ne du'ilne lastnosti, kakor tudi odpornost proti nenadnim obremenitvam. S {iroko paleto polimernih smol lahko izdelamo kompozit, ki je termi-no in/ali korozijsko odporen<sup>1</sup>.

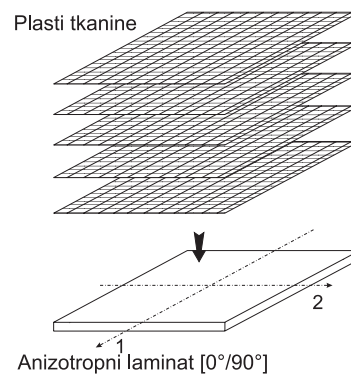
S steklenimi vlakni armirani poliestrski kompoziti so zelo raz{irjeni zaradi enostavne tehnologije izdelave, ki lahko poteka pri sobni temperaturi in normalnem tlaku, ter poceni materiala. Dobre mehanske lastnosti, ki jih imajo poliestrski armirani kompoziti (natezne, upogibne, du'ilne, ...), lahko {e oplemenitimo s posebnimi smolami. Posebnost teh kompozitov je, da lahko lokalno spreminjamo njihove mehanske lastnosti z volumnim dele'em vlaken, {tevilom oja-itvenih plasti in njihovo orientiranostjo<sup>2</sup>. Na{tete prednosti poliestrskih laminatov lahko dobro izkoristimo, -e natan-no poznamo njihove lastnosti in konstrukcijske parametre<sup>3</sup>.

Namen raziskave je bil analizirati vpliv navednih parametrov s steklenimi vlakni oja-anega poliestrskega kompozita pri natezni obremenitvi in podati smernice s

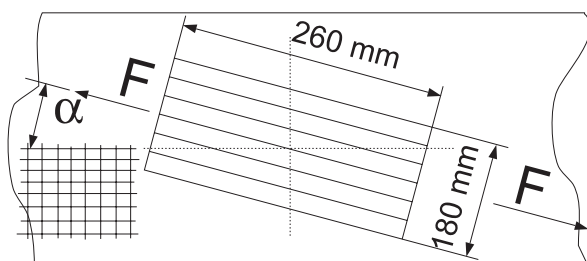
katerimi lahko tehnolog na enostaven na-in predpi'e na-in laminiranja glede na lokalno napetostno oziroma deformacijsko stanje.

### 2 OPIS EKSPERIMENTA

Ro-na izdelava laminatov s 4, 6, 8 oja-itvenimi plastmi tkanine. Tkanina je bila polo'ena z enako orientacijo, zaradi -esar smo dobili laminate z anizotropnimi lastnostmi<sup>4</sup>, kot je prikazano na **sliki 1**. Privzeto je bilo, da ima tkanina v dveh med seboj pravokotnih smereh enake lastnosti.



**Slika 1:** Orientacija tkanine v anizotropnem laminatu  
**Figure 1:** Woven roving orientation in an isotropic laminate



**Slika 2:** Orientacija vlaken glede na smer natezne obremenitve  
**Figure 2:** Orientation of woven roving due to tensile force

Iz laminatov so bili izrezani preizkušanci dimenzije 260 x 25 mm, pri različni orientaciji vlaken ( $\alpha_i = 0, 15, 30, 45^\circ$ ) glede na smer obremenitve, kot je prikazano na **sliki 2**.

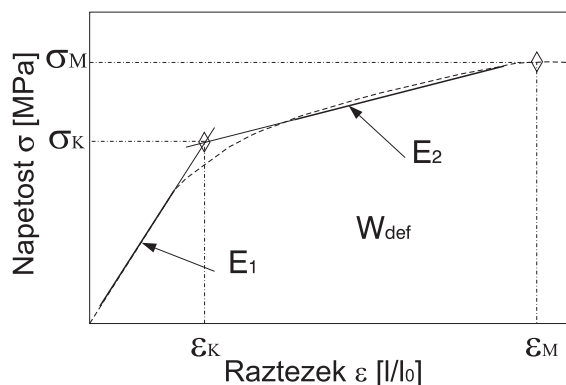
Oblika preizkušancev in pogoje meritve določa standard ISO 3268.

Meritve nateznih lastnosti so bile izvedene na univerzalnem preizkuševalnem stroju Zwick 1474. Merjena je bila sila (F) pri danem pomiku (L).

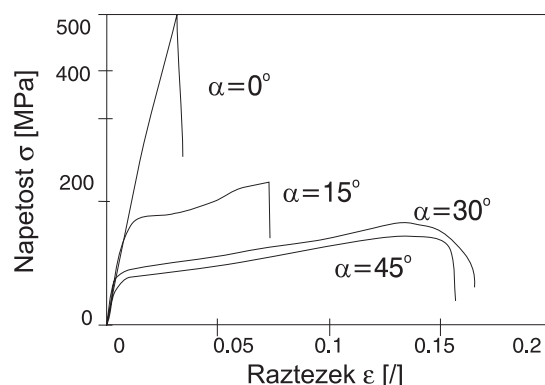
Na podlagi izmerjenih vrednosti za silo in pomik, so bili pri upoštevanju izmerjene debeline preizkušancev izračunani naslednji parametri, ki so prikazani tudi na **sliki 3**:

- napetost ( $\sigma$ ) in raztezek ( $\epsilon$ ) - modul elastičnosti ( $E_1, E_2$ )
- točka kolena ( $\epsilon_K, \sigma_K$ )
- natezna trdnost ( $\sigma_M$ )
- raztezek pri poružitvi ( $\epsilon_M$ )
- deformacijsko delo ( $W_{def}$ )

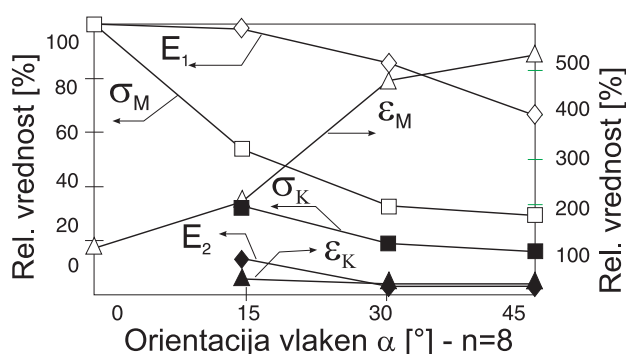
Za laminat, armiran s tkanino, je pri nateznih obremenitvah značilno pojavljanje kolena. Točka kolena ( $\epsilon_K, \sigma_K$ ) se pojavi zaradi poškodb v vlaknih, prečnih na smer obremenitve<sup>5</sup>, kar ima za posledico drastičen padec elastičnega modula ( $E_1 \rightarrow E_2$ ). Ker imamo zato dva modula, začetni ( $E_1$ ) in končni ( $E_2$ ), je točka kolena določena kot presečišče premic obeh modulov. Točka kolena oz. koleno pri laminatih predstavlja napetost tečenja ( $R_p$ ), na podlagi katere se določa dopustna napetost materiala.



**Slika 3:** Izračunani parametri iz meritve natezne trdnosti  
**Figure 3:** Parameters calculated from the measured stress-strain data



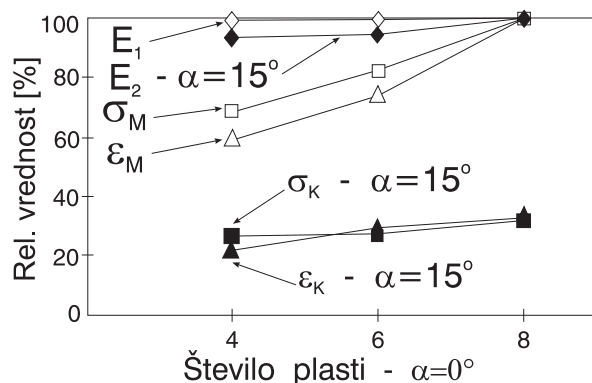
**Slika 4:** Krivulje raztezek-napetost za različne orientacije vlaken  
**Figure 4:** Stress-strain curves for different fiber orientations



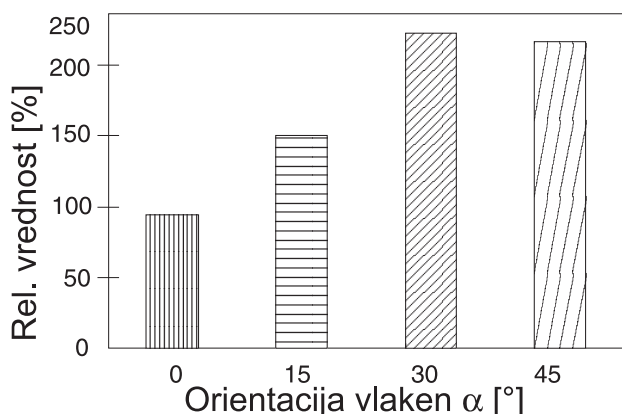
**Slika 5:** Relativne vrednosti parametrov za 8-plastni laminat v odvisnosti od orientacije vlaken  
**Figure 5:** Relative values for 8-ply laminate as function of fiber orientation

### 3 DISKUSIJA IN SKLEP

Raziskava<sup>6</sup> je pokazala, da so natezne mehanske lastnosti laminata, predvsem trdnost in togost, odvisne od orientacije vlaken, kar se vidi po zelo raznolikih oblikah krivulj  $\sigma$ - $\epsilon$ , kot je prikazano na **sliki 4**.



**Slika 6:** Relativne vrednosti parametrov pri orientaciji  $\alpha = 0^\circ$  v odvisnosti od števila plasti  
**Figure 6:** Influence of number of reinforced plies upon tensile properties for  $\alpha = 0^\circ$  and  $\alpha = 15^\circ$



**Slika 7:** Relativna vrednost deformacijskega dela

**Figure 7:** Relative values of deformation work as function of fiber orientation

**Slika 5** prikazuje sumarni diagram za relativne vrednosti nateznih parametrov za 8-plastni laminat. Poleg vpliva orientacije vlaken se s povečanjem števila plasti, povečajo tudi natezne trdnosti za 5% na dodatno ojačitveno plast. Ta vpliv je prikazan na **sliki 6**.

Deformacijsko delo je predstavljeno s površino pod krivuljo  $\sigma$ - $\epsilon$  (**slika 4**) in je delo, potrebno za porušitev preizkušanca oz. materiala. **Slika 7** prikazuje primerjavo deformacijskega dela za 8-plastni laminat, kjer se vidi, da bolj kot je orientacija vlaken zunaj smeri obremenitve, ( $\alpha_{\max} = 45^\circ$ ) več dela je potrebno vložiti.

#### 4 LITERATURA

- <sup>1</sup> G. Lubin: Handbook of Composites, Van Nostrand Reinhold, New York, 1981
- <sup>2</sup> M. M. Schwartz: Composite Materials Handbook, McGraw-Hill Book Company, New York, 1983
- <sup>3</sup> G. N. Karam: Effect of fibre volume on tensile properties of real unidirectional fibre-reinforced composites, *Composites*, March (1991) 85-88
- <sup>4</sup> R. L. Pendleton, M. E. Tuttle: Manual on Experimental Methods for Mechanical Testing of Composites, Society for Experimental Mechanics, Bethel CT, USA, 1989
- <sup>5</sup> S. T. Burr, D. L. Sikarskie: Damage Characterization of Woven Composites Under Static Tensile Loading, *Proc. of the 1995 SEM Spring Conf.*, June 12-14, Grand Rapids, USA
- <sup>6</sup> A. Lavri<sup>6</sup> (*Diplomska naloga*): Analiza vpliva usmerjenosti ojačitvenih vlaken na natezne lastnosti slojevitih polimernih kompozitov, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana, 1997