

# Uporaba mehkega ekspertnega sistema za napovedovanje odpovedi navzkrižno laminiranih mehansko povezanih kompozitov

Serkan Ballı<sup>1,\*</sup> – Faruk Sen<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Muğla Sıtkı Koçman University, Fakulteta za tehnične vede, Oddelek za informacijske sisteme, Turčija

<sup>2</sup> Muğla Sıtkı Koçman University, Fakulteta za tehnične vede, Oddelek za energetske sisteme, Turčija

Cilj predstavljene študije je ustvarjanje modela za napovedovanje obremenitve, pri kateri pride do odpovedi mehansko povezanih kompozitnih plošč, z mehkim ekspertnim sistemom. Mehki ekspertni sistemi omogočajo odločanje na podlagi numeričnih operacij namesto na podlagi simboličnih pravil, v čemer se razlikujejo od tradicionalnih ekspertnih sistemov. Mehki podatki omogočajo fleksibilnejšo predstavitev in občutljivejše rezultate.

V študiji so bili uporabljeni kompozitni materiali, ojačeni s steklenimi vlakni. Za modeliranje in napovedovanje obremenitev, pri katerih pride do odpovedi, so bili uporabljeni rezultati predhodne eksperimentalne študije kompozitnih plošč z navzkrižno laminiranim plastmi, ki so bile spojene z dvema zatičema ali vijakoma v vrsti. Eksperimentalni podatki predhodne študije so bili pridobljeni za različne geometrijske parametre pri različnih predobremenitvenih momentih (zatičnega/vijačnega spoja) 2, 3, 4 oz. 5 Nm. Pravokotni preizkušanci so bili pripravljene iz laminiranega kompozita epoksi smole in steklenih vlaken, in sicer z dvema krožnima luknjama v vrsti. Pri eksperimentih sta bila uporabljena dva toga zatiča/vijaka. Premer obeh lukenj ( $D$ ) je bil 5 mm. Zunanja luknja je bila pozicionirana na središčnici plošče, na razdalji  $E$  od roba preizkušanca. Notranja luknja je bila pozicionirana na razdalji  $K$  od središča zunanje luknje. Razmerje med razdaljo od roba in premerom luknje ( $E/D$ ) je bilo torej 1, 2, 3, 4 oz. 5. Razmerje med širino plošče in premerom luknje ( $W/D$ ) je bilo 2, 3, 4 oz. 5. Razmerje med razmikom in premerom lukenj ( $K/D$ ) je bilo 3, 4 oz. 5. Celotna dolžina ( $L + K + E$ ) preizkušancev je bila 135 mm. Laminirani kompozitni preizkušanci so bili narejeni iz osmih enosmernih plasti, zloženih po formuli  $[0 / 0 / 90 / 90]_s$ . Preizkušanci so bili med eksperimentom obremenjeni z enakomerno natezno obremenitvijo  $P$  prek togih zatičev/vijakov.

Analiza z mehkim ekspertnim sistemom in z regresijsko analizo je upoštevala te geometrijske parametre ter konfiguracijo spojev z zatičema/vijakoma. Uporabljenih je bilo torej 5 geometrijskih parametrov in 300 kompletov testnih podatkov. Mehčanje podatkov za mehki ekspertni sistem je bilo opravljeno skladno s članskimi funkcijami. Uporabljene so bile tri mehke množice – nizka, srednja in visoka. Mehki inferenčni stroj je obsegal 4 kriterije in po 3 mehke množice za vsak kriterij. Skupno je bil torej sestavljen iz 34 pravil, oblikovanih skladno z ekspertnim znanjem in izkušnjami. Za vrednotenje učinkovitosti metod so bili uporabljeni determinacijski koeficient ( $R^2$ ), absolutna srednja napaka (MAD) in absolutna odstotna srednja napaka (MAPD). Ugotovljeno je bilo, da sta vrednosti MAD in MAPD mehkega ekspertnega sistema manjši kot pri regresijski analizi. To pomeni, da lahko mehki ekspertni sistem dobro modelira problem ter da je napaka napovedi majhna. Determinacijski koeficient mehkega ekspertnega sistema je večji kot pri regresijski analizi in dokazuje, da je napoved blizu pričakovanim vrednostim.

V študiji je bil uporabljen nov pristop k napovedovanju vedenja mehansko spojenih navzkrižno laminiranih kompozitov s pomočjo mehkega ekspertnega sistema. Očitno je, da je mehki ekspertni sistem pri napovedovanju obremenitve, kjer pride do odpovedi kompozitnih materialov, učinkovitejši od metode regresijske analize, ki potrebuje več dodatnih parametrov za boljše napovedi v negotovem okolju. Mehki ekspertni sistem je primernejši od metode regresijske analize za modeliranje nelinearnih problemov ter za izražanje negotovosti. Prednost numerične študije je v tem, da v primerjavi s predhodnimi eksperimentalnimi študijami ne ustvarja odpadkov. Znano je tudi, da so eksperimentalne metode dražje in zamudnejše od računskih študij.

**Ključne besede:** mehki ekspertni sistem, vijačna zveza, zveza z zatičem, mehanska zveza, laminirani kompoziti, mehka logika