

UDK: 674:519.87:504.064

Izvirni znanstveni članek (*Original Scientific Paper*)

Metodologija za diagnosticiranje obstoječega ekološkega stanja in izbiro optimalnih odločitev v lesnoindustrijskih sistemih

Methodology for diagnosing of existing ecological state and the selecting of optimal decisions in timber industry

Leon Oblak¹

Izvleček:

Članek prikazuje metodologijo za diagnosticiranje obstoječega ekološkega stanja v lesnoindustrijskih sistemih in izbiro optimalnih odločitev pri upravljanju z njimi, glede na ekonomsko-ekološke kriterije. Diagnostično drevo, ki temelji na metodi mehke logike, omogoča ugotavljanje kritičnih ekoloških parametrov v lesnoindustrijskih podjetjih, matematični model mehkega ciljnega programiranja pa omogoča, upoštevaje obstoječe stanje, podjetniške cilje in zahteve potrošnikov, določitev optimalne poslovne strategije.

Ključne besede: matematični model, mehka logika, ciljno programiranje, lesnoindustrijska podjetja, optimizacija

Abstract:

In the paper, a methodology for diagnosing the existing ecological situation in timber industry systems and the selecting of optimal decisions with regard to the managing of the same and by taking into consideration economic and ecological criteria was represented. Diagnostic tree, which is based on fuzzy logic method, allows to determine the critical ecological parameters in timber industry companies, and the mathematical model of fuzzy goal programming allows, by taking into consideration the existing situation, business objectives and demands of consumers, to formulate an optimal business strategy.

Key words: mathematical model, fuzzy logic, goal programming, timber industry companies, optimisation

1. UVOD

Ekološko gibanje, ki se je v zadnjih letih povsod po svetu močno okrepilo, bo brez dvoma vplivalo na spremembo trgov. Okolju prijazen način mišljenja je začel prodirati tudi tja, kjer se je sprva zdelo, da ima največ nasprotnikov - v gospodarstvo in industrijo. Če je bilo upoštevanje varstva okolja pri posameznem izdelku še včeraj le nekaj postranskega in je pomenilo le nepotrebne dodatne stroške ali pa se je komaj izplačalo, je danes pomemben prodajni argument, že jutri pa bo postalo temeljni pogoj, da bo izdelek sploh mogoče prodajati.

Lesna industrija, kot kažejo redki in težko dostopni podatki meritev, sodi med nezamemljive onesnaževalce okolja. Ker odločitve za okolju prijazno proizvodnjo in ekološko sprejemljive izdelke postajajo, poleg že obstoječih ekonomskih kri-

terijev, nujnost in s tem eden izmed zelo pomembnih strateških ciljev lesne industrije, je problematika okolju prijazne proizvodnje in izdelkov predmet številnih raziskav. Realni sistemi, kakršne so raznovrstne lesnoindustrijske proizvodnje so sistemi, v katerih imamo za presojo njihove ekološke kakovosti poleg numeričnih podatkov opraviti tudi z družbenimi cilji, nakupnimi preferencami in z vrednostnimi sodbami proizvajalcev in potrošnikov izdelkov in prav zaradi tega ti problemi niso obvladljivi s klasičnimi matematičnimi metodami. Nujno je torej preučevanje novih, učinkovitejših in zaleteni ter večkriterialni problematiki prilagojenih metod in modelov [3].

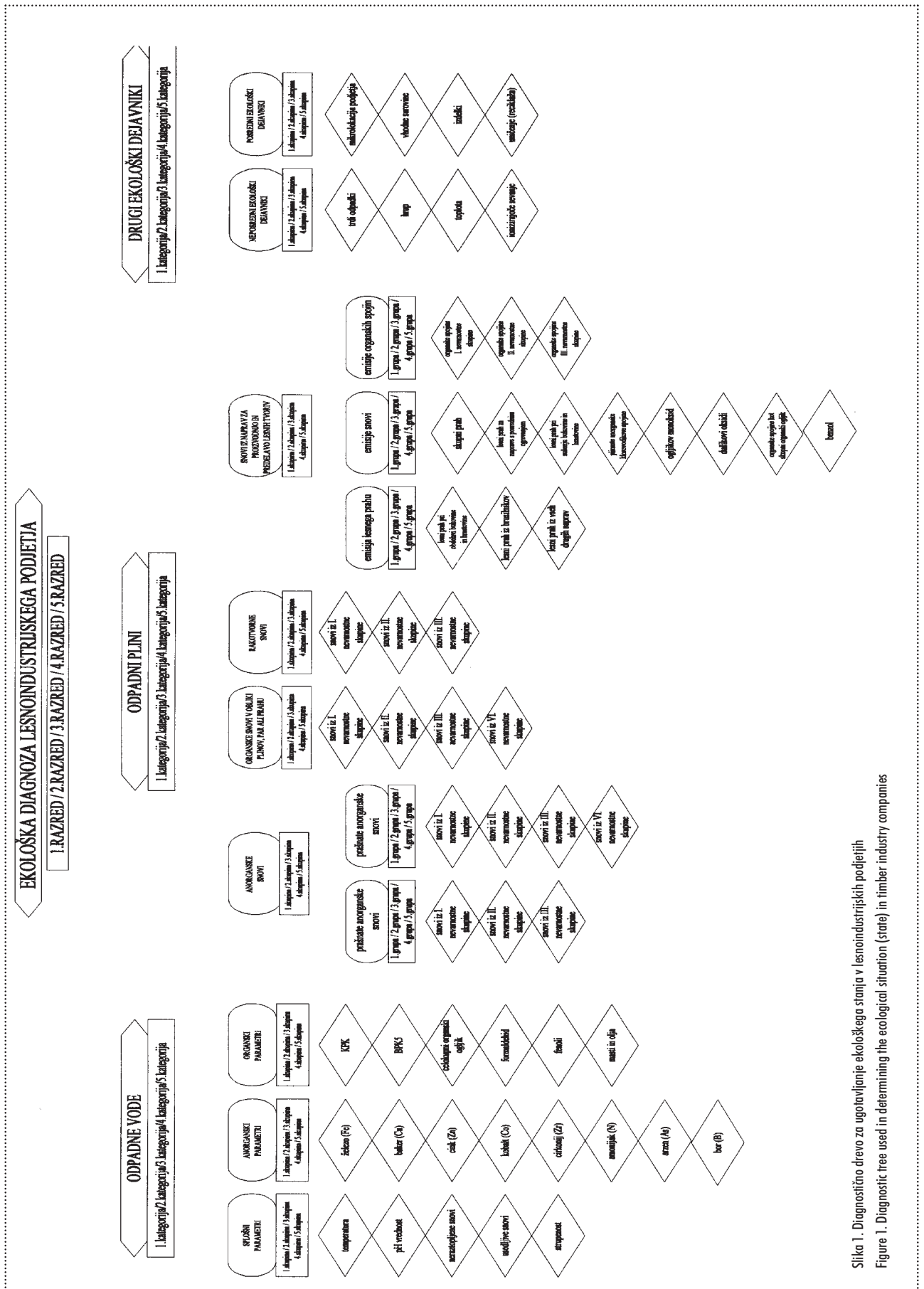
Ekološke raziskave v industriji potekajo pretežno na analitični ravni. Ekološka problematika je kompleksen in slabo definiran sistem, pri katerem so klasične kvantitativne metode analize sistemov za njeno reševanje praktično neuporabne, saj vhodni podatki - parametri onesnaževanja - kot so npr. 'nesprejemljiva temperatura odpadnih voda', 'močan hrup', 'ekološko problematična mikrolo-

kacija podjetja', 'kritična vsebnost lesnega prahu v odpadnih plinih' ipd. pomenijo nedoločene in subjektivne ocene. Za diagnosticiranje ekološkega stanja v lesnoindustrijskih podjetjih smo izoblikovali matematični model, ki temelji na opisnih (lingvističnih) spremljivkah in mehki logiki.

2. MEHKA LOGIKA

Mehka logika izvira iz teorije množic. Razlika med klasično logiko in mehko logiko je v tem, da ima klasična za svoje definicijsko območje le dve vrednosti (0 in 1 oziroma DA in NE) s katerima lahko opišemo stanje kakega dogodka in pomeni trdo, 'črno-belo' odločanje, mehka logika pa pri odločitvah dopušča tudi vmesne vrednosti, saj so definicijsko območje mehke logike vse realne vrednosti v intervalu med 0 in 1, vključno z obema mejama in na ta način lahko odločitve sprejemamo v določenem zveznem prostoru. Temelji na podajanju pripadnosti nekega elementa določeni množici. Elementom, ki jih obravnavamo v povezavi s to množico, dodamo še

¹ Dr., Oddelek za lesarstvo, Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani, Ljubljana, Slovenija



Slika 1. Diagnostično drevo za ugotavljanje ekološkega stanja v lesnoindustrijskih podjetjih
 Figure 1. Diagnostic tree used in determining the ecological situation (state) in timber industry companies

številsko vrednost $\mu(x)$, ki jo imenujemo pripadnost elementa mehki množici. Tako 0 pomeni, da element ne spada v množico, 1 pomeni, da element spada v množico, vse vmesne vrednosti pa pomenijo, da element le do neke mere spada v to množico.

2.2. Mehka diagnostika

Pri diagnostiki je osrednje orodje diagnostično drevo, v katerem iz osnovnih dogodkov na osnovi implikacij prehajamo na višje nivoje drevesa, v sestavljene dogodke, iz teh v še bolj sestavljene dogodke itd., in na koncu preidemo v 'top' dogodek oz. v končni sestavljeni dogodek, ki ga uporabimo kot rešitev postavljenega problema. Diagnostično drevo, ki smo ga izdelali za diagnosticiranje ekološkega stanja v lesnoindustrijskih podjetjih, je prikazano na sliki 1 [1]. V našem modelu so na spodnjih vejah drevesa osnovni dogodki-ekološki parametri (temperatura odpadne vode, pH vrednost odpadne vode...), ki so merljivi, ali pa se jih da s strokovno oceno opisno določiti. V sestavljene dogodke, na naslednjo vejo diagnostičnega drevesa (splošni parametri, anorganski parametri...), pridemo z implikacijami oziroma operacijami logičnega sklepanja, ki jih zapišemo v obliki logičnih pravil. Tako lahko na vsaki veji drevesa določimo ekološko stanje obravnavanega podjetja in ugotovimo njegove kritične ekološke točke. Naslednji (višji) nivo predstavljajo trije temeljni ekološki dejavniki: odpadne vode, odpadni plini in drugi ekološki de-

javniki. Vrh drevesa je končni iskani rezultat- ekološka diagnoza lesnoindustrijskega podjetja.

2.3. Oblikovanje pripadnostnih funkcij

Lingvistične spremenljivke (temperatura odpadne vode, pH vrednost odpadne vode, neraztopljene snovi v odpadni vodi...) so osnovni dogodki oz. neodvisne spremenljivke. Vsaki izmed njih smo privedili lingvistične vrednosti v obliki mehkih (fuzzy) množic in pripadnostne funkcije. Pri določanju smo se opirali na zakonsko predpisane mejne vrednosti ekoloških parametrov. Na sliki 2 je prikazana možna oblika pripadnostnih funkcij za lingvistično spremenljivko 'temperatura odpadne vode'.

2.4. Operatorske funkcije, proces logičnega sklepanja in implikacije

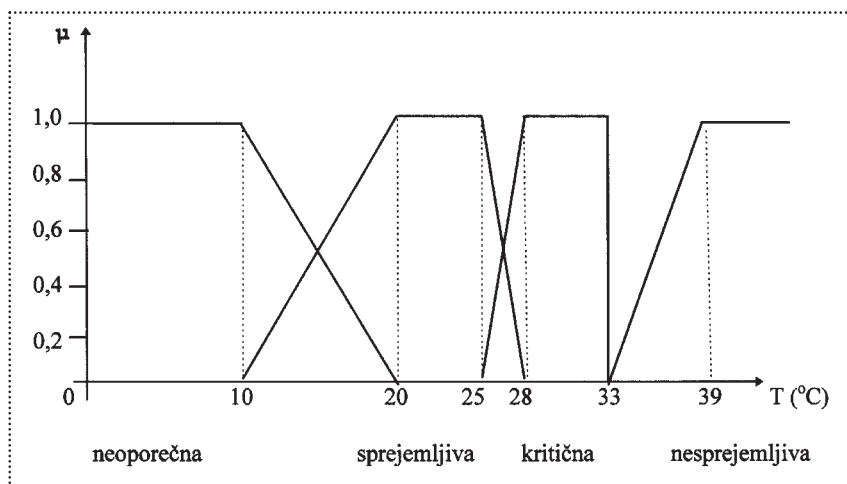
V univerzalni množici (lingvistični spremenljivki) je več mehkih množic (lingvističnih vrednosti). Vsaka od teh ima ustrezno pripadnostno funkcijo ($\mu_A(X)$, $\mu_B(X)$, $\mu_C(X)$,...). Novim mehkim množicam moramo privediti nove pripadnostne funkcije. Za naš model smo izbrali osnovno operatorsko funkcijo 'maximum'. Novim mehkim množicam $A \cup B$ (unija) pripada naslednja pripadnostna funkcija: $\mu_{A \cup B}(X) = \max(\mu_A(X), \mu_B(X))$ [2].

Velika prednost mehke logike je v tem, da modeliranje odločitvenih procesov

poteka na opisni način, ki je človeku najbližji. Zapis sistema pravil je kreativna naloga in odločujoči dejavnik, ki neposredno vpliva na verodostojnost rezultatov oz. modelnih rešitev. Zato mora to nalogo opraviti strokovnjak, ki natančno oz. intuitivno pozna vhodne in izhodne lingvistične spremenljivke, njihove pripadnostne funkcije in medsebojne odvisnosti. Z izdelavo diagnostičnega drevesa, oblikovanjem pripadnostnih funkcij posameznih lingvističnih spremenljivk, določitvijo operatorskih funkcij in zapisom sistema pravil logičnega sklepanja smo oblikovali matematični model, ki je osnova za diagnosticiranje ekološkega stanja v lesnoindustrijskih podjetjih.

3. OBLIKOVANJE MODELA ZA IZBIRO OPTIMALNIH ODLOČITEV V LESNOINDUSTRIJSKIH PODJETJIH Z UPORABO METODE CILJNEGA PROGRAMIRANJA IN MEHKE LOGIKE

Diagnoza ekološkega stanja podjetja nudi sistematičen pregled kritičnih ekoloških parametrov v podjetju in je važen dejavnik pri oblikovanju informacijskega sistema. Ta mora vsebovati vse podatke, ki so pomembni za vodenje podjetja, saj se na podlagi teh informacij oblikuje poslovna strategija podjetja. Prav oblikovanje sistema ciljev in opredelitev strategije podjetja, ki ustreza danim okoliščinam, pa je osnova za uspešno poslovanje podjetja. Večina odločitev v realnem svetu je ponavadi vezanih na upoštevanje več ciljev in podciljev. To pomeni, da mora odločevalec upoštevati, da si lahko cilji nasprotujejo, kar pomeni, da polno uresničenje enega cilja lahko vpliva na druge cilje negativno. Zaradi tega v takih primerih problemov ne rešujemo z optimizacijo ciljev, temveč z minimizacijo razlik med želenimi in uresničenimi nivoji ciljev. Matematična metoda, ki to omogoča, je metoda ciljnega programiranja. V okviru funkcije cilja pri nalogah ciljnega programiranja poteka minimizacija odstopanj (deviacij) med želeno in doseženo vrednostjo ciljev b_1, b_2, \dots, b_j . Zaradi tega ciljna funkcija ni odvisna od spremenljivk x_1, x_2, \dots, x_k , ampak od deviacijskih spremenljivk (spremenljivk odstopanja od zelene vrednosti) d_1, d_2, \dots, d_n , pri čemer je vsaka od njih dvodimenzionalna spremenljivka:



Slika 2. Oblika pripadnostnih funkcij za lingvistično spremenljivko 'temperatura odpadne vode'

Figure 2. Shape of membership functions with regard to the linguistic variable 'waste water temperature'

$$d_i = (d_i^-, d_i^+), \quad i = \{1, 2, \dots, n\},$$

kjer sta d_i^- in d_i^+ negativno oz. pozitivno odstopanje od želenega nivoja itega cilja.

Problem ciljnega programiranja lahko torej zapišemo s formulo:

$$\text{Min } \sum_{i=1}^n |x_i - b_i|, \quad \text{pri čemer velja, da je} \\ Ax \leq g \text{ in } x \geq 0.$$

Če uporabimo zamenjavo $x_i - b_i = d_i$, lahko zapišemo:

$$\text{Min } \sum_{i=1}^n (d_i^+ + d_i^-), \quad \text{pri čemer velja, da} \\ \text{je } x - (d^+ - d^-) = b, \\ Ax \leq g, x \geq 0, d^+ \geq 0, d^- \geq 0.$$

V praksi so običajno nekateri cilji pomembnejši od drugih. V modelu to upoštevamo tako, da vpeljemo prioritete faktorje. Z uvedbo prioriteten faktorjev dobi model novo obliko:

$$\sum_{i=1}^n P_i |d_i|, \quad \text{pri čemer velja, da je } x - d \\ = b, Ax \leq g, x \geq 0, \text{ ali}$$

$$\text{Min } \sum_{i=1}^n P_i (d_i^+ + d_i^-), \quad \text{pri čemer velja, da} \\ \text{je } x - (d^+ - d^-) = b, \\ Ax \leq g, x \geq 0, d^+ \geq 0, d^- \geq 0.$$

Ciljno programiranje je dovolj gibko v vseh tistih primerih, ko je potrebno analizirati vpliv več ciljev na izbor najboljše dopustne rešitve dane naloge oziroma problema. Izbira optimalnih odločitev za izboljšanje ekološkega stanja v lesnoindustrijskih sistemih je sicer takšen problem, kjer pa nekaterih zahtev oz. omejitev ciljev iz našega modela ni mogoče izraziti kvantitativno, pač pa jih lahko 'opišemo' z lingvističnimi spremenljivkami. Opisno izražanje nedeterminiranih in subjektivnih ocen pa omogoča mehka logika.

Izbira optimalnih ekonomsko-ekoloških odločitev v lesnoindustrijskih sistemih je tipičen problem, ki ga lahko rešimo z metodo mehkega ciljnega programiranja. Ta omogoča oblikovanje modela, katerega rešitve se bodo zadovoljivo približale vsem ciljem, ki si jih zastavi določeno podjetje. Ti pa so lahko naslednji:

1. dobiček,
2. likvidnost,
3. tehnološki napredek,
4. konkurenčna sposobnost,
5. tržni delež,

6. kakovost ponudbe,
7. varstvo okolja,
8. zadovoljstvo zaposlenih,
9. image podjetja.

Cilje lahko zapišemo matematično v obliki tako, da jih uredimo v sistem enačb mehkega ciljnega programiranja:

1. $a_1x_1 + a_2x_2 + q_1 + d_1^- - d_1^+ = b_1$
2. $a_3x_1 + a_4x_2 + q_2 + d_2^- - d_2^+ = b_2$
3. $a_5x_1 + a_6x_2 + q_3 + d_3^- - d_3^+ = b_3$
4. $a_7x_1 + a_8x_2 + q_4 + d_4^- - d_4^+ = b_4$
5. $a_9x_1 + a_{10}x_2 + q_5 + d_5^- - d_5^+ = b_5$
6. $a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + q_6 + d_6^- - d_6^+ = b_6$
7. $a_{13}x_1 + a_{14}x_2 + q_7 + d_7^- - d_7^+ = b_7$
8. $a_{15}x_1 + a_{16}x_2 + q_8 + d_8^- - d_8^+ = b_8$
9. $a_{17}x_1 + a_{18}x_2 + q_9 + d_9^- - d_9^+ = b_9$

Pri tem X_1 pomeni ekonomske investicije, X_2 pa ekološke investicije v denarnih enotah. q_1 - q_9 so koeficienti dovoljenega odstopanja od zahtev oz. omejitev, $d_{1..9}^-$ in $d_{1..9}^+$ pa so deviacijske spremenljivke, ki pomenijo odstopanje (v negativno ali v pozitivno smer) od zastavljenih zahtev oz. omejitev ($b_{1..9}$). $a_1, a_3, a_5, a_7, a_9, a_{11}, a_{13}, a_{15},$ in a_{17} so koeficienti učinka ekonomskih investicij, $a_2, a_4, a_6, a_8, a_{10}, a_{12}, a_{14}, a_{16},$ in a_{18} pa koeficienti učinka ekoloških investicij, ki vplivajo na doseganje zastavljenih zahtev oz. omejitev $b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6, b_7, b_8,$ in b_9 .

Ciljna funkcija, ki bo omogočila, da se bomo čim bolj približali vsem zastavljenim ciljem, bo vsebovala samo tiste deviacijske spremenljivke, ki jih želimo minimizirati. Če v ciljno funkcijo vključimo še prioritete faktorje, potem jo lahko zapišemo:

$$\text{Min } f = P_1d_1^+ + P_2d_2^+ + P_3d_3^- + P_4d_4^- + P_5d_5^- + \\ P_6d_6^- + P_7d_7^- + P_8d_8^- + P_9d_9^-.$$

Prav določitev prioriteten faktorjev, ki pomenijo 'težo' oz. pomembnost posameznih zastavljenih ciljev, je pri oblikovanju modela poseben problem, saj ti odločilno vplivajo na modelne rešitve. Določanje ciljnih prioriteten omogoča ekspertna ocena poznavalcev problematike.

4. SKLEP

Lesna industrija, skupaj s proizvajalci vhodnih surovin, proizvodnjo, uporabo in odstranitvijo (recikliranjem, uničenjem) lesnih izdelkov, je zapleten in kompleksen proizvodni sistem. Zato smo ga definirali v prostoru in času kot sistem v smislu matematične teorije sistemov.

Model, ki smo ga razvili, temelji na mehki logiki in ciljnem programiranju. Mehka logika omogoča, da omejitve oziroma zahteve posameznih ciljev, ki se jih ne da kvantitativno izraziti, opišemo z lingvističnimi spremenljivkami ter zanje oblikujemo pripadnostne funkcije s pripadajočimi mehki množicami, z metodo ciljnega programiranja pa se lahko zadovoljivo približamo tako ekonomskim kot tudi ekološkimi ciljem. Pri tem pa na modelne rešitve odločilno vplivajo prioriteten faktorji, s katerimi označujemo 'pomembnost' zastavljenih ciljev.

Učinkovitost matematičnega modela za diagnosticiranje ekološkega stanja in iskanje optimalnih poslovnih odločitev je moč preveriti na lesnoindustrijskih podjetjih. Izvirni sistemski in modelski pristop reševanja ekoloških problemov lesnoindustrijskih sistemov je z manjšimi prilagoditvami mogoče uporabiti tudi za reševanje podobnih problemov v drugih industrijskih panogah, kar pomeni, da so raziskovalni izsledki ne le teoretično pomembni temveč tudi praktično uporabni.

LITERATURA

1. Oblak, L. 1998. Mehka logika v matematičnem modelu izbire optimalnih odločitev v lesnoindustrijskih podjetjih. Doktorska disertacija, Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, 121 s.
2. Oblak, L. / Tratnik, M. / Zadnik, L. 1997. Selecting of optimal economic and ecological decisions in timber industry systems by fuzzy goal programming. In: The 4th International Symposium on Operational Research in Slovenia, Predvor, oktober, 1997. Proceedings of the 4th International Symposium on Operational Research, Ljubljana, Slovenian Society Informatika, Section for Operational Research, s. 245-249.
3. Tratnik, M. / Zadnik, L. / Oblak, L. 1997. Fuzzy Diagnostik zur Ermittlung des Ökologischen Zustandes in Holzindustriesystemen. Operations Research Proceedings 1997, Springer-Verlag, Jena, s. 581-586.