

Ekspertni sistemi v gozdarskem načrtovanju

Mitja CIMPERŠEK*

UVOD

Ko so v zgodnjih šestdesetih letih začeli računalniki prodirati v družbeno zavest, smo zbegani in prestrašeni govorili o elektronskih možganih. Nekateri so jim pripisovali grozljive vizije androidnih bitij, ki se prek tipkovnice poigravajo s človeškim razumom. Vendar se vsi ti predsodki science-fiction niso izpolnili. Večina se je prej ali slej morala sprijazniti z dejstvom, da so računalniki sicer hitri, toda neizmerno neumni. To zgovorno potrjuje naslednja primerjava: Medtem ko dojenček z lahkoto spozna materin obraz, je za najspodobnejše računalnike veliko lažja naloga – razlikovanje krogle in kocke – zelo trd oreh.

Strokovnjaki uvrščajo današnjo stopnjo razvoja računalnikov v tako imenovano četrto generacijo. Projekt pete družine računalnikov je bil pred desetimi leti zasnovan na prodoru umetne inteligence in na lastnostih, kakršnih doslej še nismo poznali. Z njim so nameravali Japonci odvzeti primat IBM. Temeljil naj bi na paralelnem procesiranju (podobno delovanju človekovih možganov) in na naravnih računalniških jezikih; končni rezultat pa naj bi bil zastrašujoč stroj z zmogljivostjo ene milijarde logičnih opravil v sekundi. Naravni generični jeziki so, v primerjavi z računalniškimi, zasnovani na glasu. To pomeni, da se komunikacija med računalnikom in uporabnikom vzpostavi v jeziku, ki ga uporablja človek. Toda prvemu navdušenju je kmalu sledilo razočaranje, ki se je duhovito poigralo s prevodom znane Shakespearjeve misli: »Duh je močan, toda meso je slabo.«. Računalniški prevod tega Mackbatha v ruščino je izzvenel namreč takole: »Vodka je dobra, toda pečenje se je ponesrečilo.«

Tudi pri razvoju nevrnalnih računalnikov, to je takih, ki simulirajo arhitekturo in delovanje človekovih možganov, se vedno bolj zatika. Od tako željenih računalnikov, ki bi bili sposobni lastnega učenja in ne bi potrebovali zamudnega programiranja, nismo nič manj oddaljeni kot od resničnosti naslednje zgodbe: Mlad poslovnež je vprašal računalnik, kje je njegov oče. Na ekranu je bil izpisan odgovor: »Tvoj oče je na lovu v Kanadi.« Poslovnež je zmagoslavno odtipkal, da se je zmotil, saj so očeta že pred dvema letoma pokopali. Na računalniškem ekranu se je pojavil nov izpis: »Žal je bil to samo mož tvoje matere! Tvoj oče je ravnokar uplenil kapitalnega medveda.«.

Posebna znanstvena zvrst, ki se ukvarja z metodami, tehnikami, orodji in arhitekturami za reševanje problemov z računalniki, je umetna inteligenca. Njen osnovni namen je doseči bolj inteligentno obnašanje računalnikov in s tem povečanje njihove uporabnosti. Klasifikacija pojma umetna inteligenca (artificial intelligence) je razmeroma nekonsistentna, saj sega od ozkega razumevanja računalniških modelov, ki ponazarja njihovo kognitivno ozadje, do široko zasnovane programske opreme. Tako razlikujejo danes naslednje glavne skupine umetne inteligence: ekspertne sisteme, naravne računalniške jezike, robotiko in nevrnalne mreže. Komerzialno najbolj spoznavni elementi umetne inteligence so ekspertni ali svetovalni sistemi. V Ameriki se že več kot tisoč podjetij ukvarja z njihovo izdelavo.

1.0. EKSPERTNI SISTEMI

Ekspert je strokovnjak, ki ve vedno več o vedno manjšem, dokler na koncu ne ve vsega o ničemer (Murphyjev zakon).

Računalniški svetovalni sistem je v bistvu posnemanje izvedenca – vrhunskega stro-

* Mag. M. C., dipl. inž. gozd., Gozdno gospodarstvo Celje, Tozd Boč, 63250 Rogaška Slatina, Ulica 14. divizije 19, Slovenija

kovnjaka, ki ima znanje in izkušnje, s katerim lahko razčleni problem in svetuje postopek za njegovo rešitev. Svetovalni sistemi so računalniški programi, ki rešujejo probleme, za katere menimo, da so plod človekove »inteligence« (sklepanje, presojanje in odločanje na podlagi nepopolnih in nezanesljivih informacij). Ena najpomembnejših lastnosti teh sistemov znanja je sposobnost pojasnjevanja rešitev, s čimer postane sistem transparenten in uporabniku lažje razumljiv. Ko je rešitev z ekspertnim sistemom pojasnjena, je uporabniku dana možnost, da jo preveri in ugotovi izvor in vzroke morebitnih napak. Po tem se tudi razlikuje od običajnih postopkov, ki delujejo kot »črne škatle«.

Najteže in najzamudnejše je oblikovanje zbirke (baze) znanja. Ponavadi izlušči računalniški strokovnjak iz literature, lastnega znanja in pogovora s strokovnjaki potrebne informacije. Te vgradi v baze znanja tako, da je sistem sposoben sklepati in reševati probleme na ravni najboljših strokovnjakov. Lupina za razvoj sistemov znanja naj bi imela na današnji tehnološki stopnji razvoja naslednje module:

- bazo znanja,
- mehanizem sklepanja,
- komunikacijski vmesnik in
- mehanizem samoučenja.

Zbirke shranjujejo znanje o specifičnem problemskem področju. Po navadi je znanje uskladiščeno v obliki dejstev o objektih in pravilih, ki veljajo med njimi. Mehanizmi sklepanja so vnaprej programirana pravila, po katerih prihaja sistem do ugotovitev in zaključkov. Probleme rešuje tako, da pokliče neko dejstvo iz baze ali pa izpelje nova dejstva iz dejstva, ki so eksplicitno shranjena v zbirki znanja. Komunikacijski vmesnik omogoča uporabniku udobno interakcijo s sistemom. Poleg zbirke podatkov in njene strukture ter internega sistema obdelav, povezav in pretoka, so pomembna pravila, s katerimi išče računalnik rešitve. Ločimo dve skupini pravil:

1. Strogo definirana (matematična, fizikalna, kemijska ipd.), pri katerih lahko za določen niz vhodnih podatkov natančno izračunamo rezultat. Če bi bile vse rešitve enolične, ne bi potrebovali ekspertnih sistemov.

2. Prava prednost svetovalnih sistemov pa je v tem, da najdejo optimalne rešitve tudi za tiste naloge, ki jih analitično ni mogoče rešiti. V takih primerih si pomagamo s hevrističnimi pravili. Ta lahko opredelimo s spoznanjem, da velikokrat veljajo, vselej pa ne. Pridobljena so na podlagi izkušenj, opazovanj, statistike, izročila ipd. Pri hevrističnih pravilih gre za negotovost, ki jo moramo oceniti in uporabljati s pravo mero previdnosti. Na splošno velja, da je v ekspertne sisteme vgrajeno veliko več hevrističnih kot pa dobro definiranih pravil.

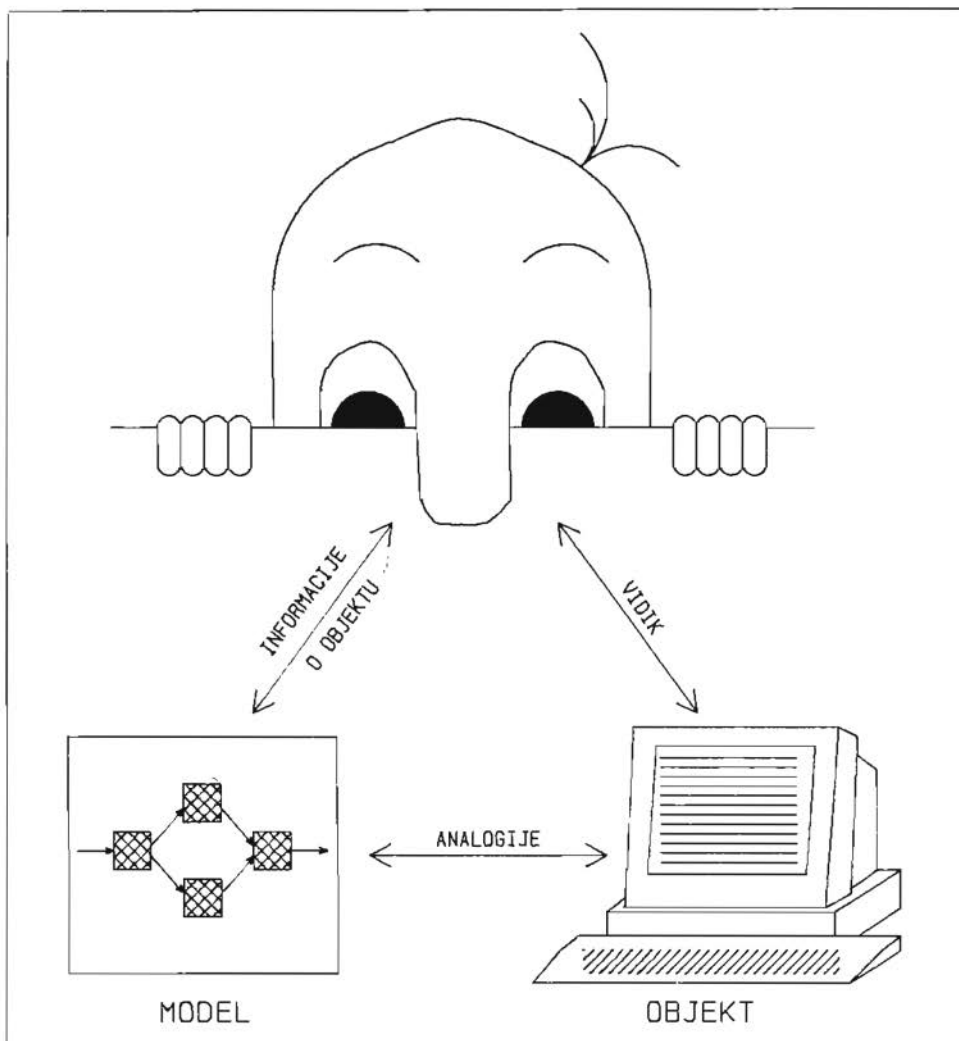
Sistem znanja sicer poda rešitev, vendar si od njega želimo, da nam razloži, kako je do nje prišel. To delo opravlja mehanizem razlaganja. Razvoj sistemov znanja je tako napredoval, da imajo zahtevnejše lupine že vgrajene gradnike, ki omogočajo zajemanje znanja in samoučenje. Na osnovi množice podatkov znajo mehanizmi samoučenja zgraditi pravila, ki veljajo za dano množico. Tako je zajemanje znanja poenostavljeno, hkrati pa tako dovršeno, da se neredko odkrijejo pravila, na katera normalno ne bi niti pomislili.

Pred začetkom gradnje ekspertnega sistema si moramo ustvariti globalno predstavo o problemu. Ko smo jo osvojili, lahko začnemo graditi shemo podatkovnih povezav in proučevati vplive pravil na »nevralglične« točke odločitvene sheme. Čim bolj natančno je problem podan in definiran, tem večja obstaja verjetnost, da bo rešitev uspešna. Svetovalni sistem mora biti tako sestavljen, da se lahko baze podatkov nenehno izpopolnjujejo, predvsem pa se morajo spreminjati pravila in algoritmi, ki vodijo do podatkov in odločitev.

2.0. POSKUS UPORABE EKSPERTNEGA SISTEMA V OBMOČNEM NAČRTOVANJU

Ekspertne sisteme navadno vključujemo tam, kjer nimamo izdelanih eksaktnih teorij ali imamo namesto algoritmov samo izkušnje, delna pravila ali hevristiko. Nesporno je gozdarsko načrtovanje »humusno« torišče za tovrstno raziskovanje.

Temeljna paradigma vsakega urejenega gozdarskega obrata je v preteklosti temeljila na trajnih donosih, ki so bili zagotovljeni,

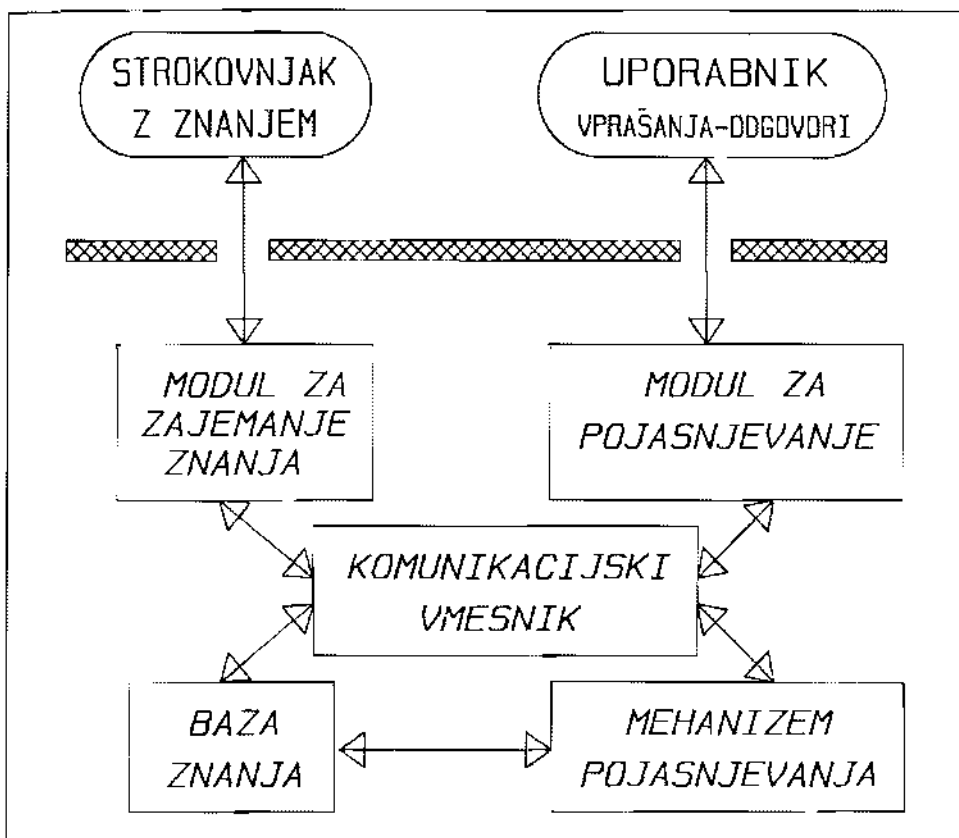


Slika 1: Povezanost med subjektom, objektom in modelom

če smo imeli uravnotežen površinski delež enako starih sestojev. Teorija normalnega gozda je pomenila velik napredek v času, ko so bili evropski gozdovi že povsem izropani. Na prostorski in časovni red sta odločilno vplivala starost in površina. Takratni uspehi v zagotavljanju trajnosti pa, žal, še danes tako blokirajo gozdarska razmišljanja, da ne moremo pobegniti iz območja mehanistične paradigme v sproščeno usmerjanje gozdnih ekosistemov (Mlinšek).

Gozdovi, ki so nastali z obnovitvenimi tehnikami, v katerih smo dolžino proizvodne

in pomladitvene dobe prilagajali posameznim osebkom, skupinam dreves in sestojev, se odlikujejo z veliko pestrostjo. Zaradi različnih tehnik skupinsko postopnega gospodarjenja in upoštevanja vrednostne pridelave, so v zadnjih desetletjih nastali sestoji, pri katerih se fizična starost vedno bolj razlikuje od stadijalne. V takih gozdovih na potek razvoja, rasti in na dolžino proizvodne dobe ne vplivajo samo starost, premeri in višine, temveč predvsem doba zasenčenja mladja. Medtem ko smo v prebiralnih gozdovih uspešno uveljavili kontrolno metodo, smo raznodobne gozdove usmerjali po ob-



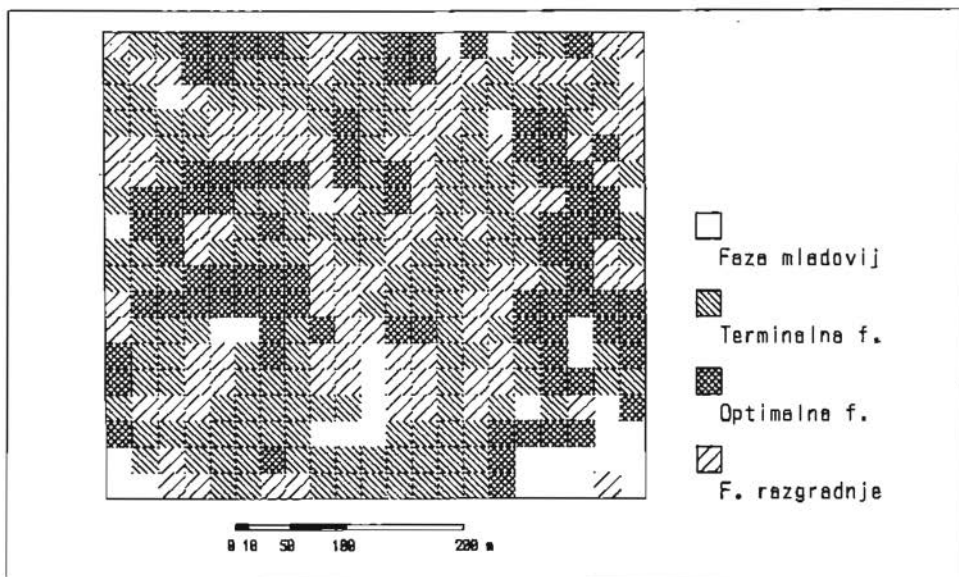
Slika 2: Shematska zgradba ekspertnega sistema

čutku in bolj ali manj po naključnem pojavljanju pomladka. Na načrtovalnem področju smo lahko obvladovali naraščajočo pestrost sestojev s tako množico podatkov, da je nastopila »informacijska zatemnitev«, ki nas ni bogatila, temveč vedno bolj siromašila, in kar je najslabše, v poplavi podatkov te-teh nismo znali spremeniti v znanje. V slovenskem gozdarstvu se je uveljavilo podrobno gojitveno načrtovanje in kar sami od sebe se ponujajo podatki o površinskih deležih razvojnih faz. Vključevanje teh izjemno kakovostnih odločitvenih kazalcev v usmerjanje razvoja gozdov ni samo preskok k racionalizaciji in optimiranju, temveč je tudi dragocen vezni člen med različnimi načrtovalnimi nivoji.

Nova orientacija pomeni odklon od tradicionalnih miselnih vzorov, determinizma, statike, enosmerne vzročnosti in antropocentričnih ter ekonomističnih modelov. Iz-

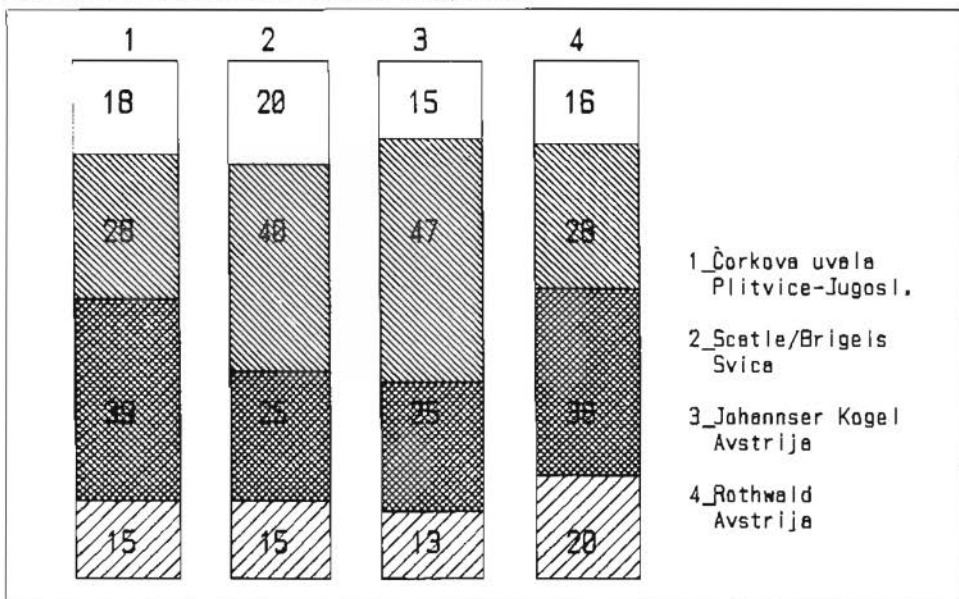
hodišče našega raziskovanja je v teksturi gozdov, to je v zakonitosti trajnega zaporedja razvojnih faz. Življenske faze in njihova razmerja med naravnimi in gospodarskimi sestoji se razlikujejo. V pragozdu prevladuje optimalna faza in kljub neprekinjenemu pomlajevanju je mladostna faza površinsko skromno zastopana. Sonaravno in večnamensko gospodarjenje se vedno bolj spogleduje s pragozdni ideali. To pomeni, da moramo v gospodarskih gozdovih vzdrževati čim manjši delež mladovja, ki pa mora biti vsaj tako velik, da je zagotovljena reprodukcija optimalne faze. Mladostna faza mora biti zaradi svoje labilnosti navzoča razpršeno.

Na grafikoni 1 in 2 so prikazane značilnosti pragozdnih tekstur, ki bodo prej ali slej postale vzor sonaravnega in večnamenskega ravnanja z gozdovi. Medtem ko traja življenjski cikel v pragozdu od 400



Grafikon 1: Tekstura v pragozdu Plitvice

Grafikon 2: Odstotni deleži razvojnih faz v pragozdovih



do 500 let, je proizvodna doba gospodarskega gozda bistveno krajša. Tudi velikost vzorcev je v pragozdovih manjša, med 220 in 600 m² (povprečje je 400 m²).

Zapletene probleme, kakršni so dinamični in multivariabilni gozdni ekosistemi, lahko ustvarjalno rešujemo na ta način, da

jih razstavimo do njihovih osnovnih vzrokov in povezav. Ko so ti vzroki enkrat razkriti, se navadno kar sama ponudi rešitev. Zaradi možnosti, ki jo ponujajo računalniki, lahko zgradimo sistem znanja, ki se bo krmilil s podatki o površinski zastopanosti posameznih razvojnih faz oziroma z razlikami med

dejanskimi in modelnimi (ciljnimi) porazdelitvami.

Problem smo razčlenili tako, da smo poiskali vse možne kombinacije pojavljanja razvojnih faz. Odstopanja med dejanskim in modelnim stanjem lahko zavzemajo različne vrednosti. Kombinacije, v katerih imajo elementi samo negativne in pozitivne vrednosti, smo razvrstili v dve skupini:

I. Skupina – kombinacije, v katerih nastopajo po trije večji in en manjši element ali obratno. Število možnih različkov brez ponavljanja je 8.

II. Skupina – kombinacije dveh večjih in dveh manjših enot. Število možnih kombinacij je 6.

Na ta način smo izločili 14 osnovnih kombinacij, ki so prikazane v preglednici 1 in na grafikonih 3/1 in 3/2. Zaradi nazornosti so površinski deleži vseh razvojnih faz enaki. Če upoštevamo relativna odstopanja površin od željenega stanja, lahko vsako od navedenih kombinacij še bolj podrobno strukturiramo. Na ta način se nam razkriva množica novih sestavljenk, med katerimi pa vse nimajo odločilnega vpliva. Dve seriji – iz neskončno velikega števila možnih podkombinacij – vidimo v grafikonih 4 in 5.

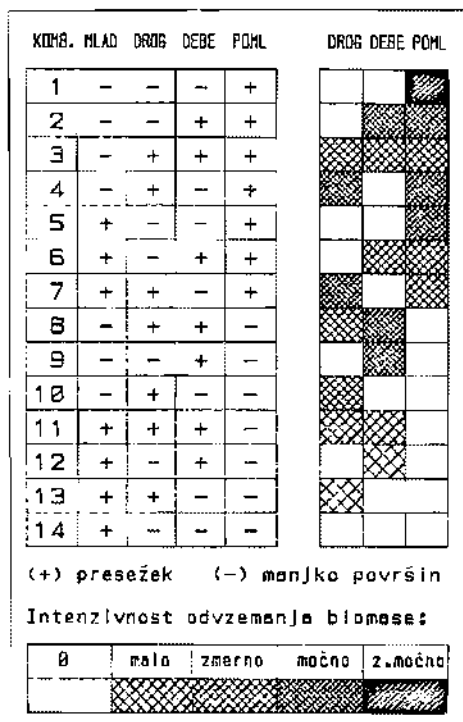
Z analizo posameznih kombinacij odkrivamo možne rešitve; psihologi bi dejali, da smo težko rešljiv problem pretvorili v lahko rešljivo nalogo. Izkaže se, da je vsaka kombinacija svojvrsten model, za katerega moramo oblikovati odločitvene korake. To opravimo s tako imenovanimi IF... THEN... (če... potem...) stavki, pri katerih se neko dejanje posledično izvrši, če je zadoščeno postavljenim pogojem.

Rešitev vsakega od navedenih modelov temelji na različni intenzivnosti odvzemanja lesne biomase po debelinski strukturi. Uporabljamo naslednjo strukturo posegov:

IZBIRALNO REDČENJE
SVETLITVENO REDČENJE
OBNOVITVENE SEČNJE

v I. razširjenem debelinskem razredu
v II. razširjenem debelinskem razredu
v III. razširjenem debelinskem razredu

Intenzivnost poseganja se ne ravna samo po odstopanjih med modelnim in dejanskim stanjem razvojnih faz, temveč tudi po odstopanjih med sosednjimi razvojnimi fazami. Tako npr. pri ploskovnem pri-



Preglednica 1: Osnovne kombinacije teksture gozdov

bitku mladja in pomlajencev sistem ne bo priporočil hitrega in pospešenega zmanjšanja pomlajencev. Intenzivnost redčenja zavzema naslednje razpone:

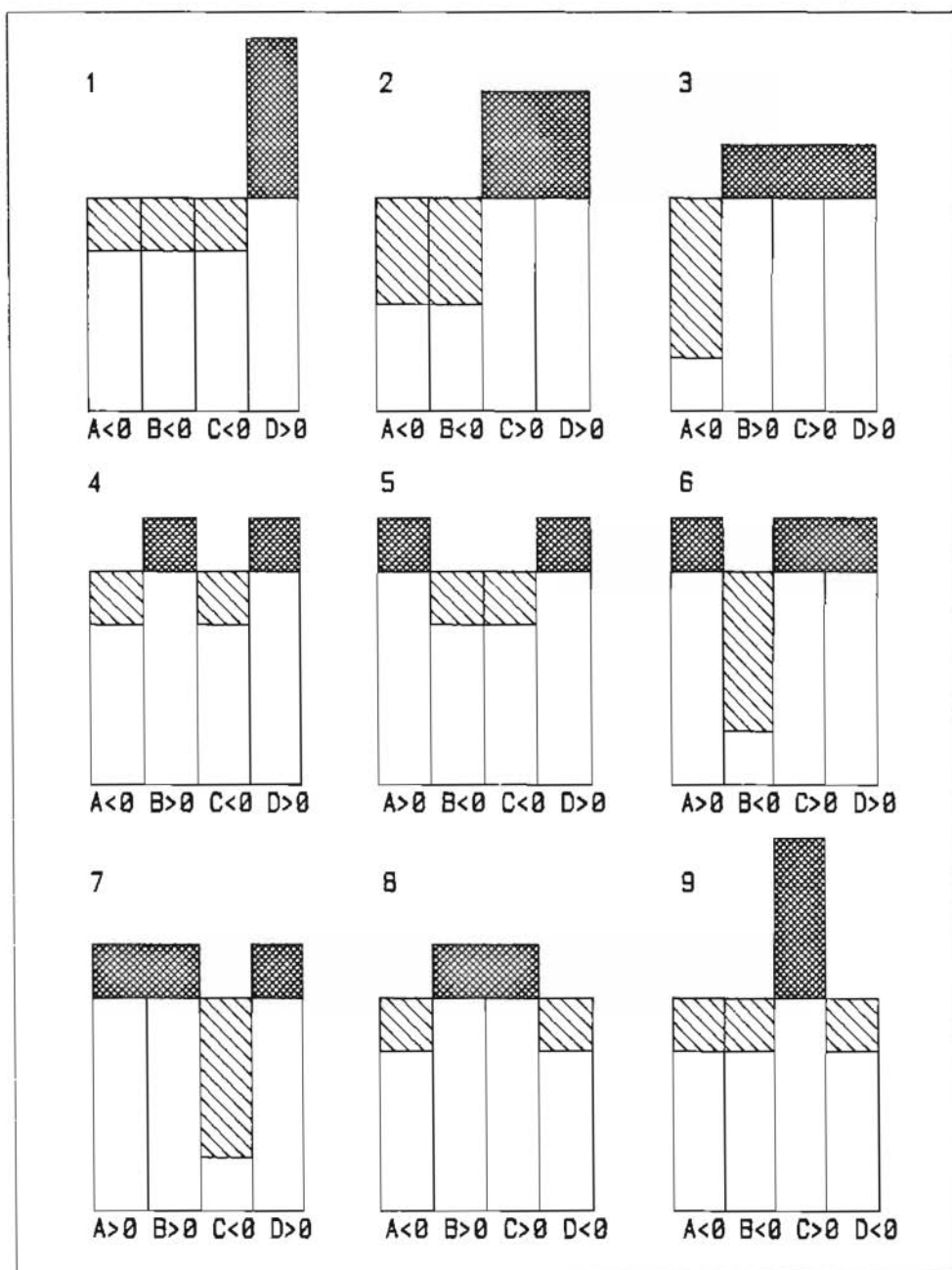
- izbiralna redčenja 6–16 %
- svetlitvena redčenja 10–20 %

Pri obnovah vpliva na višino etata dolžina pomladitvene dobe, površinski delež pomlajencev ter odstopanja površinskih deležev debeljakov in mladja od ciljnega stanja.

Potek programa se navezuje na modelno stanje, ki smo ga arhivirali na disketi »modeliranje gospodarskih razredov« (Cimper-

šek). S tem prihranimo zamudno vstavljanje podatkov in se izognemo pogostim napakam pri vnašanju v računalnik.

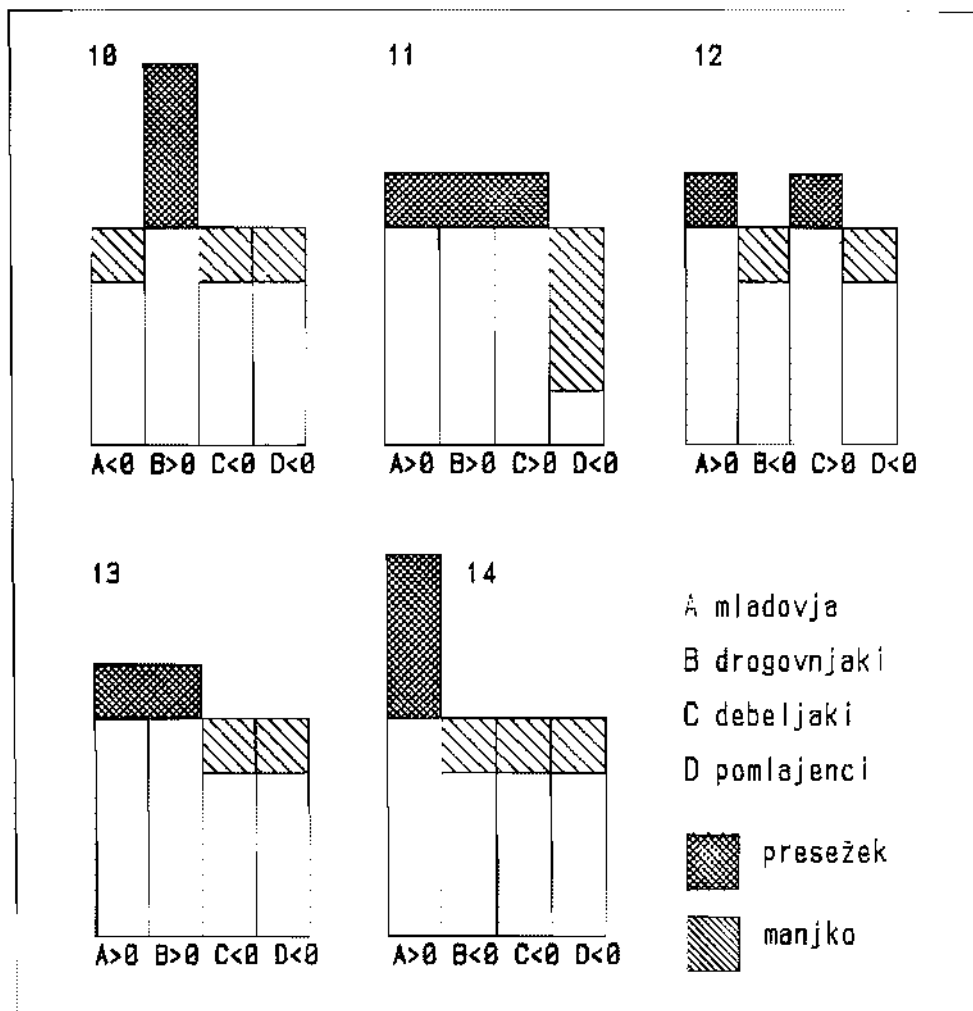
Rešitev je predstavljena z naslednjimi podatki:



Grafikon 3/1: Osnovne kombinacije teksture gozdov

– rangirana ocena razmerja razvojnih faz,
 – izkoriščenost rastiščnega potenciala (po biomasi in prirastku),

– etat izbirnih redčenj ($v\%$ in $v\ m^3$, ločeno za iglavce in listavce),
 – etat svetlitvenih redčenj ($\%, m^3$: igl/ list),



Grafikon 3/2: Osnovne kombinacije teksture gozdov

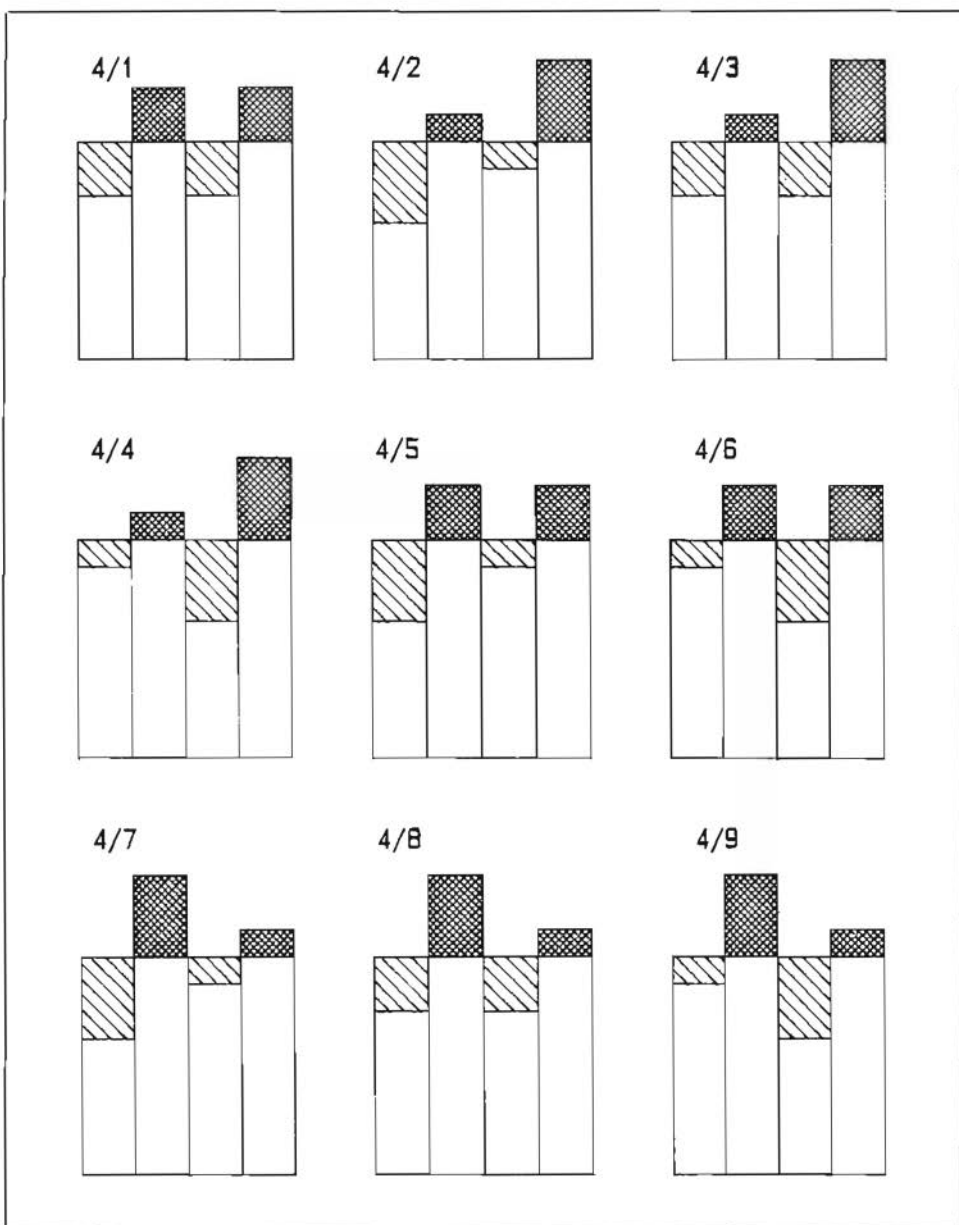
- etat obnovitvenih sečenj (% , m^3 : ig/ list),
- odnosi P : LZ, E : LZ in E : P,
- minimalen obseg gojitvenih del po vrstah opravil.

Testiranje sistema na gospodarskih razredih celjskega gozdnogospodarskega območja je dalo zadovoljive rezultate in nakazalo nove možnosti v zagotavljanju biološke avtomatizacije. Usklajenost strukturnih elementov, ki optimalno vključuje trajnost in gospodarnost, je zagotovilo za visoko stopnjo harmonije med vsemi funkcijami go-

z dov. Enak način lahko uporabljamo tudi na nivoju gozdnogospodarskih enot. Na ta način bomo preseгли dosedanje poenostavljeno in izolirano raziskovanje in vstopili v kibernetiko senzibilno proučevanje sestavljenosti in povezanosti vedno bolj pestrih in kompliciranih naravnih tvorb.

3.0. ZAKJUČEK

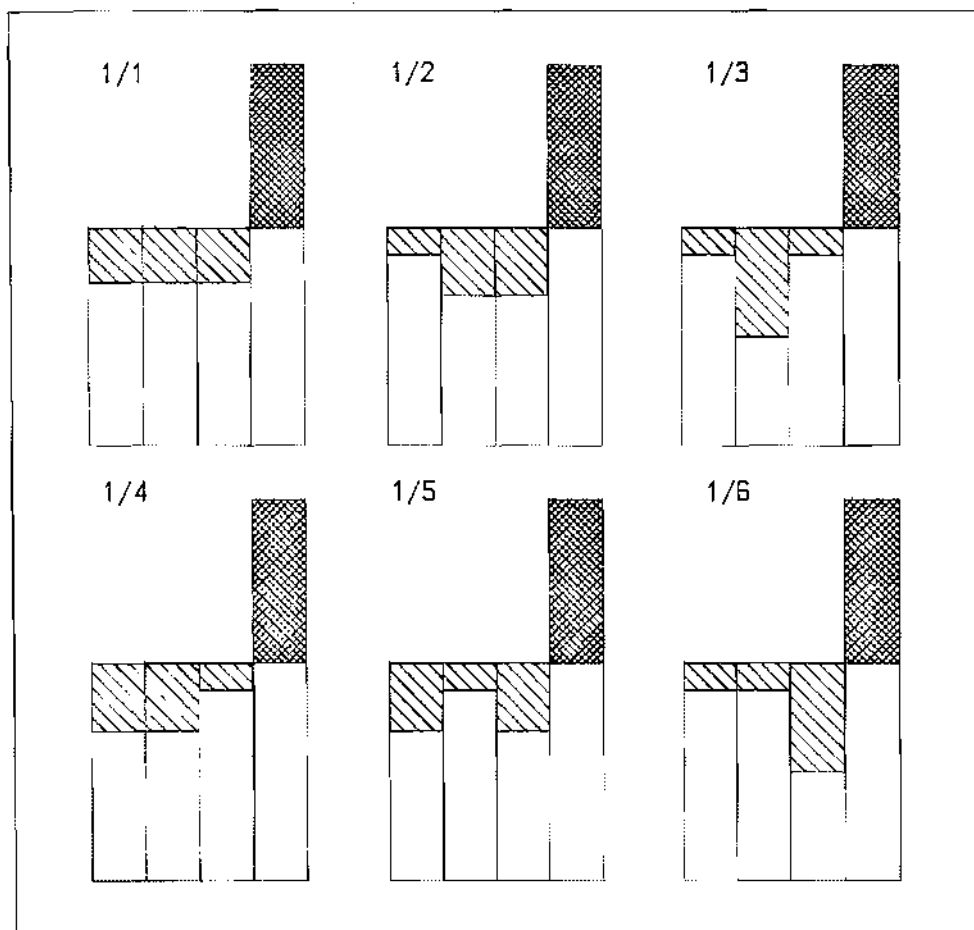
Mnogi se tako trdovratno oklepajo izbrane poti, da neredko pozabijo, kam so namenjeni.



Grafikon 4: Pomembnejše variante kombinacije (4)

Umetna inteligenca se razvija na načelih imitiranja delovanja človekovih možganov. Definiramo jo kot znanstveno disciplino, ki z računalnikom in posebnimi programi hitro rešuje sestavljene humanoidne naloge. Človek rešuje take naloge počasi in z velikimi napori, čeprav je število medseboj-

nih povezav med možganskimi celicami enako številu, ki ima osemsto ničel (Jenko). Prednosti človeka pa vendar obstajajo na področju kreativnosti, reševanja nedeterminiranih nalog in v originalnem iskanju novih idej. Človek ima relativno slabe sposobnosti memoriranja, vendar človeške možgane



Grafikon 5: Pomembnejše variante kombinacije (1) (Legenda: glej grafikona 3/1 in 3/2)

odlikuje dolgotrajna holistična spominska sposobnost, ki se kaže v povezovanju različnih dogodkov in izkušenj. Računalnik nima takih asociativnih lastnosti, zato se moramo potruditi, da bi bili računalniki nekoliko manj neumni (Spriča).

Z ekspertnimi sistemi se je začelo novo obdobje računalniškega razvoja. Področje umetne inteligence je še pred nekaj leti veljalo za povsem akademsko oziroma za laboratorijsko kuriozitetu. Kljub različnim odnosom do umetne inteligence pa ostaja dejstvo, da je tovrstno raziskovanje prineslo popolnoma nov način in ogromno izboljšav pri reševanju problemov. Poznavalci trdijo, da bo postala umetna inteligenca z genetskim inženiringom na pragu novega tisoč-

letja najpomembnejše področje razvoja znanosti.

Pomanjkanje lesa je v srednjem veku marsikje racionaliziralo izkoriščanje gozdov. Postopoma je nastajala teorija o trajnosti donosov (Hartig in Hudeshagen 1826, Heyer 1841 in Judeich 1871), iz katere se je izoblikovala ideja o trajnosti vseh funkcij gozdov, in postala je najvišja strokovno-etična, znanstveno-raziskovalna in gospodarska maximska stroke in nacionalne ekonomije. Iskanje ravnotežja med družbenimi potrebami in naravnimi možnostmi ali med ekonomijo in ekologijo je trajna in najpomembnejša naloga vsakega gozdarskega načrtovalnega postopka.

Od neolitske revolucije naprej je človek

proučeval naravo tako, da je raziskoval njene posamezne, iz celote iztrgane sestavine. Z naravoznanstveno revolucijo in uveljavitvijo računalnikov se je spremenila filozofija proučevanja narave. Prej razdrobljene dele ponovno zlagamo. Znanost zanimajo sinergijske povezave in delovanje naravnih sistemov kot celote (Lorenz). Z območnimi načrti bi lahko dobili zelo kakovostne informacije za odločanje, toda odlično idejo smo zlorabili in do skrajnosti zbirokratizirali. Nikoli nismo osvojili preskoka od analitičnega mišljenja na nižjih načrtovalnih nivojih do sintetičnega proučevanja kompleksnih sistemov na višjih nivojih. Podrobnostno predpisujoča gozdarska zakonodaja je zavirala uvajanje sodobnejših metod in racionalnih načrtovalnih tehnik. Posledice občuti gozdarska stroka, na njej pa se nehumano in perverzno izživlja kmečka falanga Demosa.

Spremljanje in dolgoročno razvojno usmerjanje gozdnih ekosistemov v širšem, prostorskem okviru (območje) je z ekspertnimi sistemi gospodarno in učinkovito. Če se bomo odtrgali od konceptualnega »yesterday« in množico papirnih obrazcev zamenjali z računalniškimi zapisi, bomo za preverjanje trajnosti v območju porabili nekajkrat manj časa, kot ga vlagamo danes. Z uveljavitvijo gozdarskega informacijskega sistema (GIS) bomo lahko proučevali tudi oblike in velikost vzorcev razvojnih faz. S tem bomo dobili še en kriterij za presojo odstopanja od pragozdnih idealov. Ko se bodo uveljavili računalniki 5. generacije, se bo svet že razdelil na tiste, ki jih bodo uporabili in na tiste, ki jih zavračajo. Čeprav naj bi ta delitev nastopila šele po letu 2000, se v orisu že danes vidijo posledice take delitve.

Danes, ko se v svetu uporablja več desetisoč ekspertnih sistemov, nihče ne govori več o tovrstnem »znanstvenem igrakranju«. Svetovalni sistemi se množično uporabljajo v geologiji pri iskanju rudnin in nafte, v medicini pri diagnosticiranju bolezenskih stanj, v kemiji pri ugotavljanju struktur kemijskih formul in pri sintezi novih organskih snovi, v biokemiji pri načrtovanju poskusov kloniranja z DNA, nad-

zoru jedrskih reaktorjev, pri učenju, igri (šahu), itd. Ali si lahko predstavljamo, kako bi se povečalo znanje gozdarjev, če bi imeli na voljo sisteme znanja, ki bi vsakomur omogočili določiti rastlinske vrste, gozdne združbe, insekte ali bolezni? Ker je napredek uresničevanje utopij in ker se krajšajo razvojni cikli znanja, smo lahko prepričani, da čakalna doba ne bo dolga.

Po navadi uporabljamo v ekspertnih sistemih posebne programske jezike, med katerima sta najbolj znana Prolog in Lisp. V našem primeru smo uporabili GW-Basica, ki je sicer okoren programski jezik, vendar zaradi številnih možnosti nenumeričnih in logičnih primerjav nadvse uporaben.

VIRI

1. Bono de E.: Laterales Denken für Führungskräfte, Hamburg 1986
2. Cimperšek M.: Računalniški izzivi gozdarstvu, Gozdarski vestnik 3, 1991, p. 133-146
3. Gondran M.: An Introduction to Expert Systems, London 1983
4. Gričar J. in Piskar S.: Sistemski inženiring, Kranj 1988.
5. Hillgarter, F.W.: Waldbauliche und ertragskundliche Untersuchungen im subalpinen Fichtenurwald Scatle/Brigels, Beiheft zu den Zeit. des Schweiz. Forst. No 48, Zurich 1971.
6. Jenko A.: Novo pojmovanje učenja na pragu 21. stoletja, Revija za razvoj 9/1990, p. 39-42.
7. Lorenz K.: Die Rückseite des Spiegels, München 1973.
8. Leibundgut H.: Der Zeitfaktor beim naturnahen Waldbau, Schweiz. Z. Fortswes., 141 (1990) 10, p. 857-860.
9. Mayer H.: Das Buchen Naturwaldreservat Dobra/Kampliten im niederösterreichischen Waldviertel, Waldbau-Institut der Hochschule für Bodenkultur Wien 1978.
10. Mlinšek D.: Pragozd v naši krajini, Ljubljana 1989.
11. Neumann M.: Waldbauliche Untersuchungen im Urwald Rothwald und Čorkova Uvala, Institut für Waldbau, Wien 1978.
12. Schnupp P. in Leibbrandt U.: Expertensysteme, Berlin 1988.
13. Spriča V.: Uvod u sistemski inženiring, Zagreb 1988.
14. Urbančič T. idr.: Metode, tehnike in orodja umetne inteligence, Moj mikro 7-8/1988, p. 39-46.
15. Zupan J.: Bodo računalniški ekspertni sistemi nadomestili živega eksperta?, Revija za razvoj 6/1986, p. 34-40.