

Ekspertni sustavi u prirodnim znanostima

Molan, Laura

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Humanities and Social Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Filozofski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:131:276033>

Rights / Prava: [Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International/Imenovanje-Nekomercijalno-Bez prerada 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-08**



Sveučilište u Zagrebu
Filozofski fakultet
University of Zagreb
Faculty of Humanities
and Social Sciences

Repository / Repozitorij:

[ODRAZ - open repository of the University of Zagreb
Faculty of Humanities and Social Sciences](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FILOZOFSKI FAKULTET
ODSJEK ZA INFORMACIJSKE I KOMUNIKACIJSKE ZNANOSTI
Ak. god. 2022./2023.

Laura Molan

Ekspertni sustavi u prirodnim znanostima

Završni rad

Mentor: izv. prof. dr. sc. Vedran Juričić

Zagreb, lipanj 2023.

Izjava o akademskoj čestitosti

Izjavljujem da je ovaj rad rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na istraživanjima te objavljenoj i citiranoj literaturi. Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada, te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Također izjavljujem da nijedan dio rada nije korišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Sadržaj

Sadržaj.....	ii
1. Uvod.....	1
2. Povijesni razvoj ekspertnih sustava	2
3. Ekspertni sustavi i umjetna inteligencija	5
3.1. Područja primjene ekspertnih sustava	6
3.2. Prednosti i nedostaci ekspertnih sustava	9
4. Stvaranje i razvoj ekspertnih sustava	12
4.1. Struktura ekspertnih sustava.....	12
4.2. Načini zaključivanja ekspertnih sustava	17
4.3. Primjeri ekspertnih sustava	19
4.3.1. DENDRAL	19
4.3.2. MATHPERT	21
4.3.3. Zeneth	23
4.3.4. CLIPS.....	24
5. Zaključak.....	26
6. Literatura.....	28
Popis slika	32
Sažetak	33
Summary	34

1. Uvod

Ekspertni sustavi su računalni programi koji oponašaju sposobnosti donošenja odluka ljudskog stručnjaka u određenom području. Osmišljeni su za pružanje rješenja za složene probleme korištenjem znanja stručnjaka u određenom području, poput medicine, prava, financija ili inženjerstva. Znanje je pohranjeno u bazi znanja, koju koristi mehanizam za rasuđivanje sustava za donošenje zaključaka i davanje preporuka. Sustav također može učiti iz novih podataka, što mu omogućuje poboljšanje performansi tijekom vremena. Ekspertni sustavi koriste se u raznim aplikacijama, uključujući podršku u odlučivanju, dijagnozu i kontrolu. Pokazali su se učinkovitima u mnogim područjima, ali imaju i ograničenja, kao što je potreba za opsežnim stjecanjem i održavanjem znanja.

Ovaj rad govorit će o povijesti ekspertnih sustava, njihovom nastanku i razvoju kroz vrijeme. Povijesni razvoj ekspertnih sustava također će predložiti na koji način je javnost gledala na umjetnu inteligenciju i ekspertne sustave kroz vrijeme. Detaljno će se objasniti povezanost ekspertnog sustava i umjetne inteligencije te kako ekspertni sustav pridonosi području umjetne inteligencije. Navesti će se neka od područja primjene ekspertnih sustava uz objašnjenje kako i zašto ti ekspertni sustavi funkcioniraju u svom okruženju. Sagledat će se mnoge prednosti i nedostaci ekspertnih sustava te će se proučiti koja je razlika u funkcioniranju ekspertnih sustava i stručnjaka istog znanstvenog područja. Sljedeće poglavlje bavit će se stvaranjem i razvojem ekspertnog sustava kroz navođenje osnovnih elemenata sustava i njihovih uloga u sustavu. Struktura ekspertnih sustava vizualno će pomoći prikazati navedene elemente te će ovo poglavlje, uz pomoć formula i laičkih objašnjenja, objasniti osnove funkcioniranja produkcijskih ekspertnih sustava. Navesti će se primjeri ekspertni sustava poput DENDRAL, MATHPERT, Zeneth i CLIPS. Za sve navedene ekspertne sustave bit će objašnjeno kako su nastali te koja je njihova funkcija u okolini u kojoj se nalaze.

2. Povijesni razvoj ekspertnih sustava

Znanstvenici u području umjetne inteligencije, sredinom 1950-ih, obećavali su pametne sustave koji će komunicirati i imati znanje na ljudskoj razini do 1980-ih godina, a da će biti pametniji od ljudi do 2000. godine. Ekspertni sustavi počeli su se razvijati 1960-ih godina zbog kompleksnih problema u području medicine te su nastali sustavi DENDRAL i MYCIN.¹ No za to doba, problemi koje je umjetna inteligencija imala i koje je pokušavala riješiti bili su preopširni i preteški. U to vrijeme, tipičan je zadatak bilo strojno prevođenje te se probao napraviti sustav koji bi zamijenio rusko-engleskog prevoditelja. Taj sustav je propao jer prijevod dokumenata uopće nije bio razumljiv i zadatak se pokazao prekomplikiranim. Oko 1966. godine svi projekti su iz tog razloga ostali bez svoje financijske potpore i samim time, propadali.

Početakom 1970-ih godina, britanska se vlada pridružila odluci Sjedinjenih Američkih Država te je obustavila financijsku potporu istraživanju umjetne inteligencije i inteligentnih sustava. James Lighthill je u ime Vijeća za znanstvena istraživanja pregledao trenutno stanje umjetne inteligencije te nije pronašao nikakve značajne rezultate istraživanja u tom području. Tom procjenom došlo se do zaključka kako nema potrebe za posebnom znanošću koja se naziva 'umjetna inteligencija'.

Unatoč lošem početku 70-ih godina prošlog stoljeća, znanstvenici su ipak došli do spoznaje da domena za inteligentne strojeve mora biti ograničena. Uspjelo se primijetiti da prethodna istraživanja nisu bila uspješna jer su prethodni istraživači mislili da se algoritmi pretraživanja i tehnike zaključivanja mogu izmisliti kako bi oponašali ljudski način funkcioniranja. Ta istraživanja mogla su se osloniti na elementarne korake razmišljanja i koristili su slabo znanje o domeni. Tako su rezultati prethodnih istraživanja bili opširni i beskorisni. Znanstvenici su shvatili kako jedini način da bi došli do relevantnih rezultata je da sustav bude korišten za jako usku domenu i postane „ekspert“ u njoj.²

Tijekom 1980-ih godina, ekspertni sustavi krenuli su se koristiti u komercijalne svrhe. Ovo se razbolje smatra „drugom generacijom“ ekspertnih sustava, tj. uveden je probabilistički model koji je promišljao o uzrocima i mogućim posljedicama. Tvrtka Digital Equipment Corporation predstavila je ekspertni sustav koji je razvio John McDermott te je svojom pametnom upotrebom istog uspjela uštedjeti 40 milijuna dolara godišnje. Nakon uspješnog pothvata

¹ (Stropnik et al., 2017)

² (Negnevitsky, 2005)

tvrtke, puno je drugih kompanija odlučilo ulagati u ekspertne sustave koji će poboljšati njihovo poslovanje. Prva je nacija bila Japan te su nakon nje krenuli ulagati Amerika i Ujedinjeno Kraljevstvo. Nedugo nakon pridružio se i veliki dio zemalja Europe. Nakon velikog entuzijazma oko ekspertnih sustava, zbog problema s održavanjem i financiranjem istih, došlo je do zatišja i pauziranja ulaganja u razvoj daljnjih ekspertnih sustava.³

Nakon dužeg zatišja oko umjetne inteligencije i, samim time, ekspertnih sustava, došlo je do prekretnice 1990-ih te je ponovo nastao veliki interes oko ovog područja. U ovom razdoblju, pomaknuli su se naglasci istraživanja i razvoja sa stručnih konteksta na instruktivni dizajn koji održavaju istraživanje i pronalaženje problema kao i rješavanje specifičnih, ograničenih problema.⁴ 1990-e označile su razdoblje i napretka i izazova za ekspertne sustave. Ovo desetljeće svjedočilo je širokom prihvaćanju ekspertnih sustava u raznim industrijama, uključujući zdravstvo, financije i proizvodnju. Zrelost reprezentacije znanja i tehnika zaključivanja omogućila je razvoj složenijih i sofisticiranijih ekspertnih sustava. Razvoj grafičkih korisničkih sučelja (GUI) omogućio je interakcije prilagođene korisniku i širu dostupnost. Međutim, unatoč svom potencijalu, ekspertni sustavi suočili su se s nekim ograničenjima tijekom ovog doba. Visoki troškovi razvoja i održavanja, zajedno sa potrebom za opsežnim inženjeringom znanja, postavili su izazove širokoj primjeni. Osim toga, oslanjanje na eksplicitna pravila i nemogućnost rješavanja nesigurnosti i nepotpunih informacija ograničilo je učinkovitost ekspertnih sustava u određenim domenama.⁵

Ekspertni sustavi u 2000-ima doživjeli su kontinuiranu evoluciju i usavršavanje svojih mogućnosti. U ovom desetljeću došlo je do napretka u umjetnoj inteligenciji, inženjeringu znanja i računskoj moći, što je značajno utjecalo na razvoj i implementaciju ekspertnih sustava. Integracija tehnika strojnog učenja, kao što su neuronske mreže i genetski algoritmi, omogućila je stručnim sustavima da uče iz podataka, prilagođavaju se i poboljšavaju svoje performanse tijekom vremena. Dostupnost većih skupova podataka i pojava računalstva u oblaku dodatno su proširili mogućnosti za ekspertne sustave. Osim toga, razvoj hibridnih sustava koji su kombinirali rezoniranje temeljeno na pravilima s drugim tehnikama umjetne inteligencije, kao što je rezoniranje temeljeno na slučajevima i neizrazita logika, omogućio je fleksibilnije i robusnije donošenje odluka.

³ (Klondike S.r.l., 2021)

⁴ (Oravec, 2014)

⁵ (Giarratano, 2005)

U zadnjih deset godina, ekspertni su sustavi sve brojniji te se koriste u svakom području znanosti. Ekspertni su nam sustavi lako dostupni te su zamjena za mnoga radna mjesta. Svi poslovi koji zahtijevaju organizaciju, funkcioniranje s jako velikim brojem informacija i manjim poslovima, mogu biti zamijenjeni ekspertnim sustavima. Dešava se da tvrtke nemaju recepciju ili klasičnu podršku za korisnike jer imaju ekspertne sustave koji se bave takvim poslovima i komuniciraju s kupcima ili klijentima.

Zadnjih par godina, pogotovo tijekom i nakon pandemije, ekspertni sustavi i umjetna inteligencija prolaze kroz svoje najpopularnije i najdominantnije razdoblje. Svi ulažu velike svote novaca u ovo područje i tvrtke koje se bave umjetnom inteligencijom jako brzo napreduju. Umjetna inteligencija i ekspertni sustavi samo će još napredovati te se može puno očekivati od tog područja.

3. Ekspertni sustavi i umjetna inteligencija

Godine 1988., tijekom predavanja na američkom sveučilištu Stanford, Edward Feigenbaum dao je definiciju odnosa umjetne inteligencije i ekspertnih sustava: „AI sustavi koji podupri kvantumom znanja dosežu nivo visoke stručnosti (ekspertnosti) u rješavanju problema nazivaju se sustavi temeljeni na znanju ili ekspertni sustavi. Izraz ekspertni sustavi rezerviran je za sustave čija baza znanja sadrži znanje ljudskih eksperata, za razliku od znanja nestručnjaka ili znanja sadržanog u udžbenicima. Češće da nego ne, ova dva termina upotrebljavaju se kao sinonimi.“⁶

Rani razvoj umjetne inteligencije bazirao se na psihološkom modeliranju i tehnikama pretraživanja. Umjetna inteligencija pokušava napraviti sustave koji funkcioniraju što sličnije čovjeku, od logičkog zaključivanja do verbaliziranja odgovora. Kako bi umjetna ninteligencija funkcionirala potrebno je nekoliko podskupina koje vidimo u primjeru na slici 1: strojno učenje (eng. *machine learning*), duboko učenje (engl. *deep learning*), obrada prirodnog jezika (engl. *natural language processing*), ekspertni sustav, robotika (eng. *robotics*), strojni vid (engl. *machine vision*) i prepoznavanje govora (engl. *speech recognition*). Ekspertni sustavi su dio umjetne inteligencije koji oponaša ljudski način razmišljanja, poput rasuđivanja i optimizacije.⁷ Ekspertni sustavi jedni su od najvažnijih dijelova umjetne inteligencije te zapravo sintetiziraju dio tog ranog razvoja. No, ekspertni sustavi također prebacuju fokus na korištenje znanja specifičnog područja te naglašavaju probleme komercijalne ili znanstvene važnosti.⁸

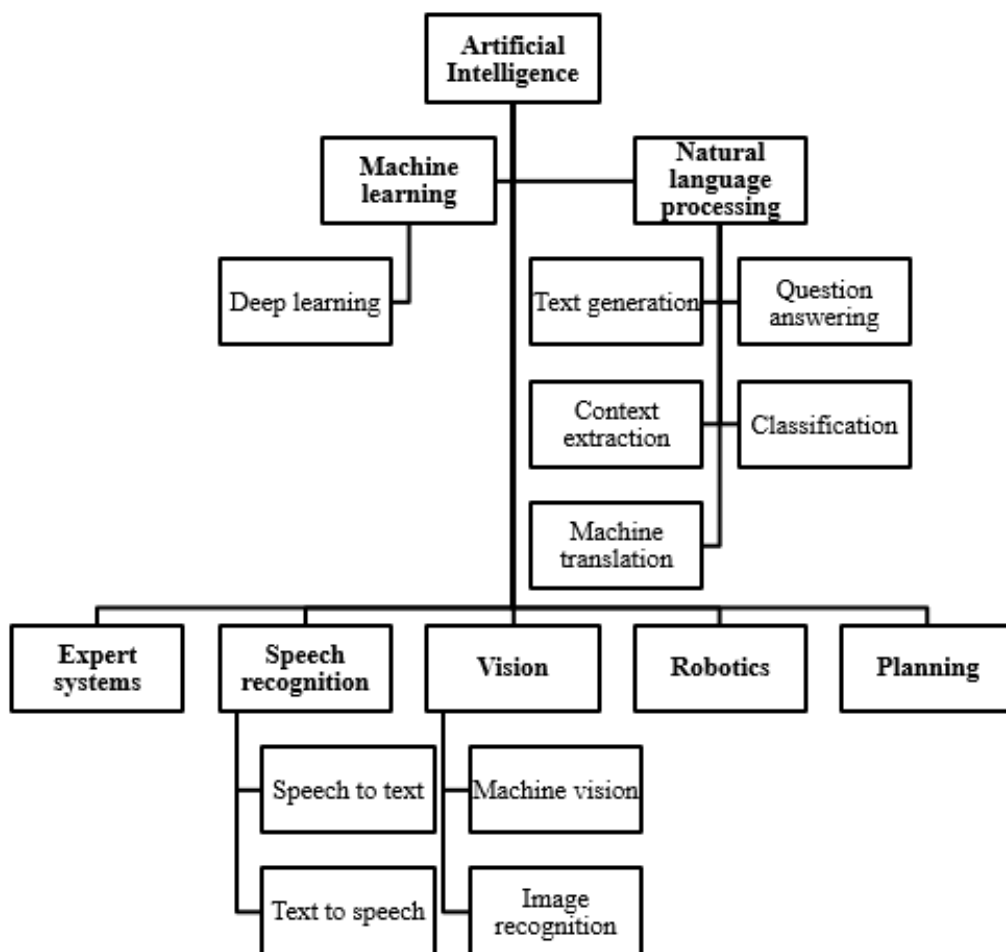
Ekspertni sustavi koriste tehnike i metodologije umjetne inteligencije za oponašanje ljudske stručnosti i razmišljanja u određenoj domeni. Oni iskorištavaju predstavljanje znanja, mehanizme zaključivanja i sustave temeljene na pravilima za prikupljanje i primjenu stručnog znanja za rješavanje složenih problema. Umjetna inteligencija je, s druge strane, šire područje koje obuhvaća različite pristupe i tehnike koje omogućuju strojevima da pokazuju inteligentno ponašanje. Kombinacijom tehnika umjetne inteligencije kao što su strojno učenje, obrada prirodnog jezika i inženjering znanja, ekspertni sustavi sposobni su oponašati procese donošenja odluka ljudskih stručnjaka.⁹

⁶ (University, Stanford and California 94305, 1988)

⁷ (Markić, Bijakšić and Šantić, 2015)

⁸ (Buchanan and Smith, 1988)

⁹ (Russel and Norvig, 2020)



Slika 1 Podskupine umjetne inteligencije (Subsets of AI - Javatpoint, 2011)

3.1. Područja primjene ekspertnih sustava

U puno slučajeva potrebno je rješavanje apstraktnih zadataka kako bi se došlo do rješenja složenog problema. Ideja je da sve te apstraktne zadatke rješavaju ekspertni sustavi kako bi olakšali stručnjacima rješavanje kompleksnijih problema. Ti se slučajevi najviše mogu pronaći u djelatnostima gdje prevladavaju upravljanje, stvaranje i istraživanje, npr. medicina, inženjerstvo, znanost i sl. To su jedni od sektora gdje su profesionalci imali koristi od visokog obrazovanja i bez njega ne bi mogli raditi posao koji rade. Oni posjeduju kapacitet i znanje o struci koje ljudi bez tog obrazovanja nemaju te su jedini koji mogu dati znanje ekspertnim sustavima koji bi njima pomagali.

Medicina je područje s kojim se svi barem jednom u životu susretnu, bilo da su znanstvenici ili pacijenti. Kao osnova civilizacije, na njoj se mora konstantno raditi i napredovati u njezinim disciplinama. Prvi ekspertni sustavi nastali su u području medicine, baš iz tog razloga što su tamo najpotrebniji. Želja znanstvenika je olakšati doktorima i napraviti sustave koji će

odrađivati 'manje' poslove kako bi se doktor mogao posvetiti težim poslovima te kako bi znanost napredovala. Primjer takvih ekspertnih sustava su UpToDate, MYCIN i DENDRAL. Sustavi MYCIN i DENDRAL jedni su od prvih ekspertnih sustava u svijetu i koriste se u području kemije i medicine za lakše dijagnosticiranje i analiziranje kemijskih reakcija.¹⁰ Ekspertni sustav MYCIN u medicini pomaže identificirati bakterije koje uzrokuju teške infekcije poput meningitisa. MYCIN također ima mogućnost preporuke antibiotika i njegovog doziranja s obzirom na tjelesnu težinu pacijenta. UpToDate je elektronski ekspertni sustav koji se koristi kako bi pomogao medicinskom osoblju u trenutku odlučivanja na samom mjestu gdje se pruža medicinska skrb. Ovaj sustav doktorima pomaže u svim njihovim manjim zadacima i ubrzava proces liječenja i reagiranja na hitne intervencije.¹¹

Ekspertni sustavi imaju korijene u puno disciplina, no jedno od najbitnijih je područje psihologije koje se bavi ljudskom obradom informacija, kognitivnom znanosti. Kognitivna znanost proučava kako ljudi znaju i procesuiraju informacije, pogotovo tijekom rješavanja problema. Ekspertni sustavi crpe inspiraciju iz kognitivne znanosti kako bi oponašali ljudsku stručnost i razmišljanje u određenim područjima. Kognitivna znanost pruža uvid u to kako ljudi stječu, predstavljaju i koriste znanje, što je ključno za razvoj ekspertnih sustava temeljenih na znanju. Područje kognitivne znanosti također istražuje područja kao što su percepcija, pamćenje, učenje i donošenje odluka, koja doprinose dizajnu i implementaciji inteligentnih sustava. Razumijevanjem kognitivnih procesa na kojima se temelji ljudska stručnost, ekspertni sustavi mogu bolje modelirati i replicirati ponašanje slično ljudskom.¹² Često se dešava da stručnjaci ne mogu objasniti kako rješavaju probleme, oni to jednostavno znaju, te je teško nešto napraviti u ekspertnom sustavu ako nije objašnjeno kako se do toga dolazi. Znanstvenici su jedino rješenje za takve slučajeve mogli isprogramirati sustave koji će sami učiti kako bi oponašali stručnjaka.¹³

Ekspertni sustavi također se koriste u knjižnicama jer donose bolje odluke nego većina knjižničara zbog svoje velike baze znanja nekoliko stručnjaka. Jedan knjižničar svoje znanje ne može mjeriti sa sustavom koji sadržava znanje nekoliko stručnjaka te lagano i brzo povezuje znanje više područja. Primjer tog je ekspertni sustav Nacionalne poljoprivredne knjižnice u SAD-u koju je razvio S. T. Waters. Baza znanja tog ekspertnog sustava sadrži ne samo znanje eksperta nego i odgovore korisnika i vlastitih knjižničara na česta pitanja i upute. Knjižnica je

¹⁰ (Stropnik et al., 2017)

¹¹ (Živković, Križić Erceg and Likić, 2015)

¹² (Bermúdez, 2020)

¹³ (Giarratano, 2005)

time izbjegla konstantno ponavljanje pitanja te su se korisnici knjižnice osjećali bitnije jer pridonose njezinom napretku. Ovaj ekspertni sustav također je ubrzao rad knjižnice te su korisnici puno zadovoljniji njezinim uslugama i radnici se mogu fokusirati na zadatke kojima se trenutno ekspertni sustavi još ne mogu baviti.¹⁴

U ekonomiji je susretanje s ekspertnim sustavima također svakodnevna pojava. Primjena ekspertnih sustava u financijama i bankarskom sektoru česta je tijekom evaluacije sposobnosti tvrtke ili pojedinca. U ekspertni sustav se unesu podaci tvrtke ili pojedinca te sustav sam na temelju informacija i pravila u svojoj bazi određuje kolika je kreditna sposobnost i što osoba ili institucija s njome može postići.



Slika 2 Industrije gdje se ekspertni sustavi najčešće upotrebljavaju

Na slici 2 možemo primijetiti industrije u kojima su ekspertni sustavi u najvećoj upotrebi, a to su zdravstvo i medicina, proizvodnja i inženjering, financije i bankarstvo, prijevoz i logistika, proučavanje i praćenje okoliša te u obradi prirodnog jezika.¹⁵

¹⁴ (Asemi, Ko and Nowakarizi, 2020)

¹⁵ (Waterman, 1986)

3.2. Prednosti i nedostaci ekspertnih sustava

Ekspertni sustavi imaju velik broj prednosti i napreduju velikom brzinom zajedno s umjetnom inteligencijom. Jako je bitno da ekspertni sustavi funkcioniraju bez grešaka i daju brze i pouzdane odgovore, tj. da u najmanju ruku funkcioniraju kao ekspert traženog područja.

Ekspertni sustavi dostupni su na svakom kompjuteru ili uređaju koji isti podržava. Puno je lakše doći i koristiti ekspertni sustav nego nalaziti stručnjaka u tom području. Danas, u vremenu kada svi žele što lakše i brže odgovore, ekspertni sustav je na dohvat ruke. Sustav ima sposobnost obrade velike količine podataka te, naspram stručnjaka, u istom tom vremenu može procesuirati više upita i doći do puno više rezultata. Za neke korisnike jako je bitno da odgovor na svoj upit dobiju odmah te stručnjaci nisu uvijek u poziciji da tom zahtjevu udovolje. Ekspertni sustav dostupniji je i brže odgovara nego ljudski stručnjak te je u nekim hitnim situacijama ekspertni sustav očiti prvi izbor.

Troškovi pružanja stručnosti smanjuju se po osobi i upitu te znanstvenik može svoje znanje usredotočiti na istraživanja, a ne na upite. Također, ekspertni sustavi pomažu u smanjivanju opasnosti time što se mogu koristiti u područjima koja su opasna i riskantna za ljude, poput nuklearnih elektrana ili svemir.

Trajnost ekspertnih sustava također je velika prednost. Ekspertni sustavi nikada ne gube znanje koje imaju, štoviše, samo još više uče i pune svoju bazu znanja. Znanstvenici s vremenom mogu zaboravljati stvari kojima se ne bave te njihovo znanje varira.

Ekspertni sustavi imaju povećanu pouzdanost da je donesena ispravna odluka tako što daje drugo mišljenje ljudskom stručnjaku ili rješava nesuglasice između više ljudskih stručnjaka. Sustav u svojoj bazi ima znanje iz nekoliko domena, tj. iz domena stručnjaka čije znanje je u bazi, te tako može davati relevantnije informacije nego jedan stručnjak koji je usko vezan uz samo jednu domenu. Ekspertni sustav radi grešku samo u slučaju da je stručnjak, čije je znanje u bazi podataka, napravio grešku. Ekspertni sustav uvijek je voljan objasniti u detalje kako je došao do svog zaključka, dok ljudski stručnjak nekada može biti loše volje, može biti umoran ili bilo koji drugi razlog s kojim se susreće svaka osoba.

Odgovori ekspertnog sustava su objektivni i stalno isti. U hitnim slučajevima svi ljudi reagiraju različito te je normalno da znanstvenici nekada pod pritiskom zastanu ili se ponašaju na način koji nije optimalan za korisnika. Ekspertni sustav svoj odgovor dostavlja optimalno neovisno o situaciji i nema rizik ljudske pogreške.

Iako ekspertni sustavi imaju puno prednosti, mogu se naći i neki nedostaci. Najčešća greška ekspertnog sustava je zapravo je greška stručnjaka koji je svoje znanje prenosio u sustav. Na takvu grešku potrebno je reagirati na vrijeme i ispraviti je u sustavu. No, kako vjerujemo znanstvenicima iako znamo da mogu griješiti, tako možemo vjerovati i ekspertnim sustavima.

Kako postoji prednosti zbog odsutnosti ljudskog faktora, tako postoje i nedostaci. Ekspertni sustavi funkcioniraju strogo unutar zadanih pravila i nikada ne odstupaju od njih, dok stručnjaci iz svog iskustva znaju kada mogu prekršiti pravila i kada će se progledati kroz prste te time dođu do odgovora.¹⁶

Pisanje pravila koja održavaju znanje stručnjaka također se pokazalo teškim i kompliciranim. Prvenstveno, prikupljanje i kodiranje stručnosti stručnjaka iz ljudske domene u skup pravila može biti složen zadatak. Stručno znanje često je prešutno, subjektivno i ovisno o kontekstu, zbog čega ga je teško artikulirati i formalizirati u eksplicitna pravila. Stručnjaci za domenu mogu imati različite perspektive ili tumačenja, što dovodi do mogućih sukoba ili dvosmislenosti u formulaciji pravila. Izdvajanje i formaliziranje stručnog znanja zahtijeva učinkovitu komunikaciju, suradnju i razumijevanje između inženjera znanja i stručnjaka za područje. Uključuje prikupljanje ne samo činjeničnog znanja već i procesa razmišljanja, heuristike i strategija donošenja odluka koje koriste stručnjaci. Također, sama količina znanja i pravila potrebnih za sveobuhvatnu pokrivenost domene može biti prevelika. Ekspertni sustavi često trebaju rukovati velikim brojem pravila, a njihovo učinkovito upravljanje i organiziranje može biti značajan izazov. Osiguravanje dosljednosti, izbjegavanje redundancije i rukovanje iznimkama i posebnim slučajevima može biti zahtjevno kada se radi o opsežnim skupovima pravila.

Još jedan izazov je dinamička priroda domene znanja. Stručnost i znanje o domeni razvijaju se tijekom vremena, a održavanje ekspertnog sustava u tijeku s novim informacijama i promjenjivim pravilima zahtijeva stalne napore i održavanje. Osigurati da ekspertni sustav ostane relevantan i točan u okruženju koje se brzo mijenja nije trivijalan zadatak.

Korištenje ekspertnih sustava uključuje pohranu i obradu osjetljivih podataka, uključujući vlasnička znanja, povjerljive informacije o klijentima i poslovne tajne. To stvara potencijalni rizik od neovlaštenog pristupa, povrede podataka ili ugrožavanja vrijednog intelektualnog vlasništva. Kako bi se riješili ti problemi, moraju se primijeniti stroge sigurnosne mjere,

¹⁶ (Giarratano, 2005)

uključujući šifriranje, kontrole pristupa i redovite revizije, kako bi se zaštitile informacije unutar ekspertnih sustava.

Sustavi temeljeni na pravilima često se bore s nesigurnošću i nepotpunim informacijama. Stručnost može uključivati zaključivanje ili rukovanje nesigurnim podacima, koje može biti teško predstaviti i obrazložiti korištenjem tradicionalnih pristupa temeljenih na pravilima. Rješavanje nesigurnosti i uključivanje mehanizama obrazloženja za rukovanje nepotpunim ili dvosmislenim informacijama dodatno otežava proces pisanja pravila.¹⁷

¹⁷ (Giarratano, 2005)

4. Stvaranje i razvoj ekspertnih sustava

Klasični ekspertni sustav sadrži znanje ljudskog eksperta te ga prikuplja inženjer znanja (engl. *knowledge engineer*) preko određenog vremenskog perioda. Sam proces izrade ekspertnog sustava naziva se inženjerstvom znanja (engl. *knowledge engineering*) i odrađuje ga sam inženjer znanja. Znači, inženjerstvo znanja naziv je za proces od prikupljanja znanja od ljudskog eksperta do kodiranja tog znanja u ekspertni sustav.

Cijeli proces započinje tako da inženjer znanja započne razgovor, tj. intervju, s ljudskim ekspertom i odluči koja je najprikladnija struktura za prikaz znanja. Strukture za prikaz znanja mogu biti raznolike, npr. liste, skupovi, skripte, stabla odluke i sl. Inženjer znanja sve prikupljene podatke kodira u bazu znanja i bazu podataka željenog ekspertnog sustava. Nakon što inženjer znanja završi, ljudski ekspert susreće se s ekspertnim sustavom i daje kritike. Ovaj proces se ponavlja dok se svi uključeni u izradu ekspertnog sustave ne slože da je on spreman za upotrebu.

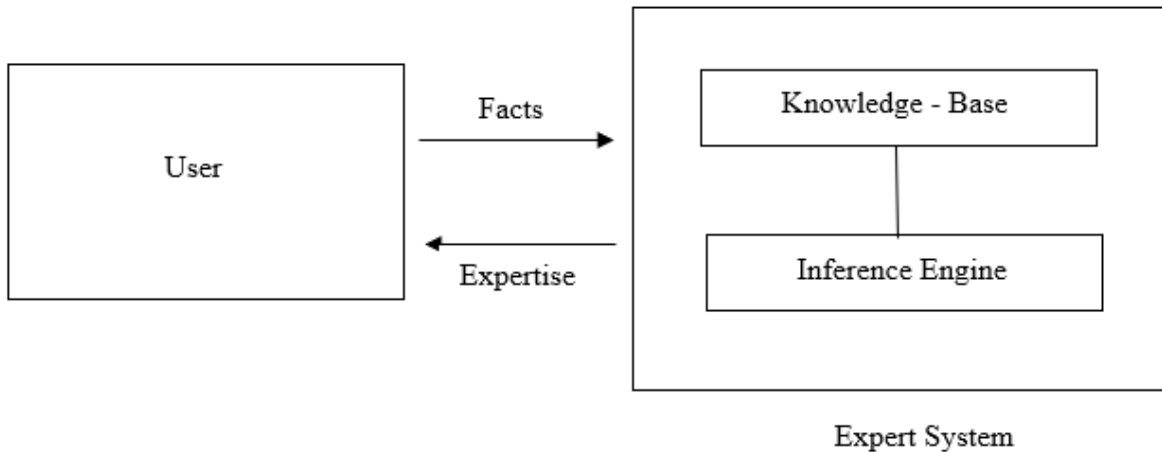
Ekspertni sustav je spreman za upotrebu nakon što je odlučeno da ima visoke performanse i integritet, tj. da odgovara na zahtjeve na istom ili višem nivou nego ljudski stručnjak u tom polju. Sustav mora izvršavati svoje zadatke u istom ili boljem vremenskom periodu nego što bi to ljudski ekspert radio te se nikako ne smije 'rušiti'. Ekspertni sustav koji se 'ruši' jako je nepovjerljiv, jer u bilo kojem slučaju, bilo da sustav miruje ili izvršava neki zadatak, on može prestati raditi. Takvim sustavima se ne vjeruje i očekuje se da se takav problem riješi prije nego sustav krene u upotrebu. Zadnje što se provjerava jest razumijevanje sustava, tj. koliko jasne poruke sustav vraća korisniku. Sustav mora biti u mogućnosti objasniti zašto radi to što radi i kojim koracima je došao do svog zaključka. Ovaj korak bitan je iz više razloga, potvrđuje da je ekspertni sustav dobro kodiran i pruža provjeru svjesnosti sustava.¹⁸

4.1. Struktura ekspertnih sustava

Puno ljudi koristi pojam 'ekspertni sustav' sinonimno s pojmovima 'sustav baziran na znanju' i 'ekspertni sustav baziran na znanju'. Znanje u ekspertnim sustavima može biti znanje stručnjaka, tj. stručnost, ili znanje iz knjiga, novina, načitane osobe i sl. U ovom smislu, stručnost je rjeđa i na višem je nivou od znanja.

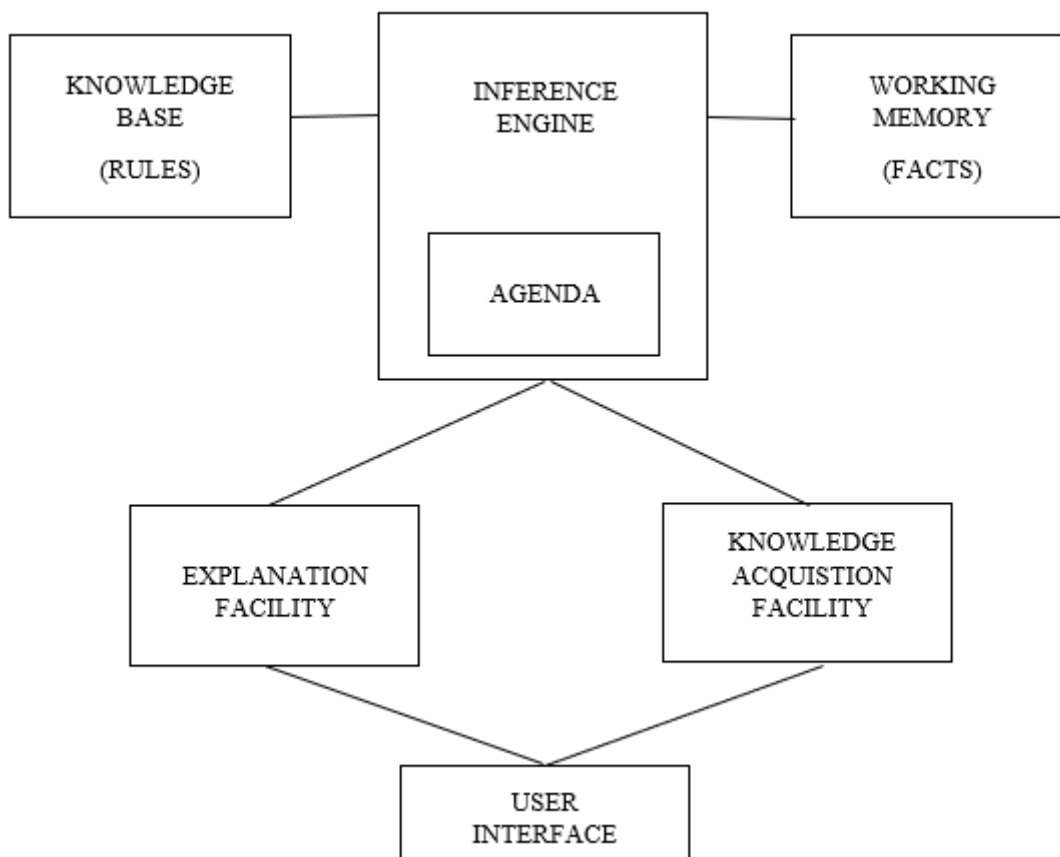
Osnovni concept ekspertnog sustava baziranog na znanju može se vidjeti na primjeru na slici 3. Korisnik daje upite i informacije ekspertnom sustavu i natrag dobiva savjet ili stručnost.

¹⁸ (Giarratano, 2005)



Slika 3 Osnovna funkcija ekspertnog sustava (Giarratano, 2005.)

Ekspertni sustavi zapravo imaju dvije glavne komponente: baza znanja (engl. *knowledge base*) i mehanizam za zaključivanje (engl. *inference engine*). Baza znanja sadrži znanje koje motor za zaključivanje koristi kako bi došao do svojih rješenja i zaključaka. Ti zaključci i rješenja su povratna informacija prema korisniku (engl. *user*).



Slika 4 Struktura ekspertnog sustava utemeljenog na pravilima (Giarratano, 2005.)

Elementi ekspertnog sustava prikazani su na primjeru slike 4 te se sastoji od nekoliko osnovnih elementa:

Prvi element ekspertnog sustava je korisničko sučelje (engl. *user interface*), mehanizam kojim korisnik i ekspertni sustav komuniciraju. Ovisno o implementaciji sustava, korisničko sučelje može biti jednostavan prikaz orijentiran na tekst ili sofisticirani bit-mapirani zaslon visoke rezolucije.

Drugi element je postrojenje za objašnjenja (engl. *explanation facility*), ili mehanizam objašnjenja, koji objašnjava postupke ekspertnog sustava korisniku.

Radna memorija (engl. *working memory*) je globalna baza podataka svih činjenica koje koriste pravila. Također je se naziva produkcijska memorija (engl. *production memory*) ili baza podataka. Radna memorija koristi pravila koja se mogu izraziti u IF-THEN formatu.

Mehanizam zaključivanja (engl. *inference engine*) radi zaključke tako što odlučuje koja pravila su zadovoljena činjenicama. Mehanizam raspoređuje pravila koja su zadovoljena po prioritetima te izvršava pravila koja su prioritetna.

Baza znanja (engl. *knowledge base*) puna je činjenica i heuristika u domeni na kojoj se bazira ekspertni sustav. Ona sadržava činjenice i informacije, vezu i odnose između svih činjenica i informacija te mogućnosti i razne metode kojima bi se mogao riješiti zadatak.¹⁹

Agenda je lista prioriteta pravila koju kreira mehanizam za odlučivanje. Njezini su uzorci zadovoljeni činjenicama iz radne memorije.

Postrojenje za stjecanje znanja (engl. *knowledge acquisition facility*) je element koji dozvoljava automatski način na koji korisnik može unijeti znanje u sustav umjesto da inženjer znanja eksplicitno kodira znanje. Ovo je izborna značajka u puno sustava jer neki sustavi mogu učiti sami te nije potreban dodatan unos podataka stručnjaka. Dobro je imati ovakvo postrojenje jer stručnjak kada unosi novo znanje, također unosi objašnjenje kako se došlo do tog znanja. Kada sustav sam uči on nema sposobnost objašnjenja kako i zašto je došlo do određenog rezultata.

20

Moduli zaključivanja pozivaju neko od svojstva iz baze znanja te nas njima izvršavaju algoritme za rješavanje zadataka. Zbog komunikacijskih međusklopova, korisnik može na interaktivan način vidjeti kako je sustav došao do svog zaključka. Module zaključivanja i

¹⁹ (Balaž and Meštrović, 2015)

²⁰ (Giarratano, 2005)

komunikacijski međusklop zajedno se nazivaju ljuskom ekspertnog sustava ili ponekad samo ljuska koja može dati ograničeni broj metoda za reprezentaciju znanja i zaključivanja.²¹ Ljuska ekspertnog sustava zapravo je ekspertni sustav s praznom bazom znanja. Možemo preuzeti cijelu programsku implementaciju i napraviti specijalizaciju za određenu domenu punjenjem baze znanja te imamo ekspertni sustav.

Najčešći primjer ekspertnih sustava su produkcijski ekspertni sustavi jer se većina ljudskog znanja može izraziti produkcijskim pravilima. Produkcijska pravila naziv su za IF-THEN pravila, tj. AKO (IF) uvjet ONDA (THEN) akcija. Za razliku od algoritama, redosljed kojim se pravila trebaju koristiti nije naveden te sustav sam odlučuje ovisno o vrsti problema s kojim se susreće. Kognitivni znanstvenici najviše su zainteresirani za produkcijske ekspertne sustave jer oni bolje predstavljaju način na koji ljudi razmišljaju i bolje rješavaju probleme. Svaki sustav koji se temelji na pravilima mora imati nekoliko osnovnih elementa: skup činjenica, skup pravila i kriterij raskida.

Skup činjenica zapravo su tvrdnje i morale bi biti relevantne za početno stanje sustava, dok skup pravila sadrži sve radnje koje treba napraviti nad tvrdnjama iz skupa činjenica kako bi se riješio zadani problem. Pravilo povezuje činjenicu iz IF dijela s radnjom iz THEN dijela. Jako je bitan faktor kriterij raskida, tj. uvjet da će se radnja prekinuti ako sustav shvati da je petlja koju trenutno obrađuje beskonačna. Bez kriterija raskida, sustav bi se vrtio u krug te se proces ne bi prekinuo dok ga ne prekine čovjek ili se sustav 'sruši'.²²

Jedna strana IF-THEN pravila se procjenjuje u odnosu na bazu podataka te ako se dobije TRUE ishod, izvršava se radnja koju je odredila druga strana IF-THEN pravila. Ovo vrijedi za obje strane jer je moguće da je zadana bilo koja.²³

IF-THEN pravilo nalikuje silogizmu, sadrži dvije premise (A i $A \rightarrow B$) i zaključak. Ove dvije premise označavaju dvije vrste znanja u produkcijskim ekspertnim sustavima: činjenično znanje (A) i uvjetno znanje ($A \rightarrow B$). Činjenično znanje (A) čuva se u radnoj memoriji ekspertnog sustava, a uvjetno znanje ($A \rightarrow B$) čuva se u bazi pravila. Ove dvije stavke, sadržaj radnje memorije i bazu pravila, zajedno nazivamo bazom znanja produkcijskog ekspertnog sustava. IF-THEN pravilo u logici je implikacija ($A \rightarrow B$), tj. ako vrijedi A onda vrijedi B . Izvođenje znanja u produkcijskim ekspertnim sustavima temelji se na zaključivanju *modus ponendo ponens* (skraćeno *modus ponens*), što znači da ako su kondicional i njegov antecedens

²¹ (Balaž and Meštrović, 2015)

²² (Grosan and Abraham, 2011)

²³ (Buchanan and Shortliffe, 1984)

istiniti, onda nužno slijedi njegov konsekvens.²⁴ Laički rečeno: A implicira B. A je istinit. Stoga B također mora biti istinit.

Primjer *modus ponens*:

A	Ako je završni rad odobren, student će braniti završni rad.
$A \rightarrow B$	Završni rad je odobren.
_____	_____
B	Student će braniti završni rad.

Prva je premisa, A, uvjetna tvrdnja („Ako je završni rad odobren, student će braniti završni rad.“), dok je druga premisa tvrdnja da je A iz prethodne tvrdnje istinit („Završni rad je odobren.“). Iz ove dvije premise logički će se zaključiti da je B („Student će braniti završni rad.“) također istinit.

Produkcijski sustavi su nemonotoni i prihvaćaju određen stupanj netočnosti. Ovdje se dolazi do monotone i nemonotone logike.

Monotona logika ili klasična logika prvog reda govori da zaključci koji su dobiveni nekim valjanim zaključivanjem uvijek ostaju valjani. Dodavanjem novih činjenica samo se povećava količina znanja te staro znanje ne gubi na svojoj vrijednosti i ostaje isto.

Nemonotona logika govori da činjenice koje se pridodaju bazi znanja mogu biti suprotne ili kontradiktorne već postojećem znanju. Time nove činjenice obezvređuju staro znanje.²⁵

Monotona i nemonotona logika igraju ključnu ulogu u razvoju i funkcioniranju ekspertnih sustava. Monotonost implicira da ako pravilo vrijedi za određeni skup činjenica, ono će i dalje vrijediti kako se dodaje više činjenica. Ovo svojstvo je često poželjno u ekspertnim sustavima, jer osigurava dosljednost i stabilnost izlaza sustava.²⁶ S druge strane, nemonotona logika dopušta reviziju zaključaka kada se uvedu nove informacije. Omogućuje uključivanje iznimaka, nesigurnosti i proturječnih dokaza, čineći proces zaključivanja fleksibilnijim i prilagodljivijim. Nemonotona logika posebno je korisna u ekspertnim sustavima koji se bave nesigurnim ili nepotpunim informacijama, dopuštajući im da se nose sa složenošću stvarnog svijeta i donose nijansirane odluke.²⁷ Izbor između monotone i nemonotone logike ovisi o specifičnim zahtjevima i karakteristikama problemske domene. Ekspertni sustavi mogu

²⁴ (Gustason and Ulrich, 1973)

²⁵ (Strasser and Antonelli, 2019)

²⁶ (McCarthy and Hayes, 1968)

²⁷ (Reiter, 1980, pp.81–132)

iskoristiti obje vrste logike za pružanje točnih i pouzdanih rješenja, povećavajući njihovu učinkovitost u rješavanju složenih problema u različitim područjima stručnosti.

4.2. Načini zaključivanja ekspertnih sustava

Ekspertni sustav izvodi svoje zaključke na temelju znanja koje je prikupljeno i pohranjeno u njegovoj bazi znanja. To znanje čine činjenice i heuristika. Kvaliteta ekspertnog sustava pokazatelj je prije svega koliko dobro funkcionira baza znanja tog sustava u kojoj su objedinjene činjenice i heuristika.

Činjenice i heuristike temeljne su komponente ekspertnih sustava koje igraju ključnu ulogu u njihovom radu i procesima donošenja odluka. Činjenice predstavljaju eksplicitno znanje i informacije koje ekspertni sustav posjeduje o određenoj domeni. Ove činjenice služe kao temelj na kojem funkcioniraju mehanizmi rasuđivanja i zaključivanja sustava. Obično su pohranjeni u bazi znanja i koriste se za izvođenje zaključaka i informiranih prosudbi. Heuristike su, s druge strane, praktična pravila ili smjernice koje usmjeravaju procese razmišljanja i donošenja odluka u sustavu. Izvedeni su iz stručnosti i iskustva ljudskih stručnjaka i koriste se za približna rješenja kada potpune ili precizne informacije nisu dostupne. Heuristika omogućuje sustavu rješavanje složenih problema iz stvarnog svijeta pružanjem prečaca ili strategija za rješavanje problema.²⁸

Prilikom davanja rezultata, ekspertni sustav korisniku može dati samo dva odgovora koji su dvije krajnosti. Ekspertni sustav gradi lanac činjenica i zaključaka kojim se od početnih činjenica dolazi do traženog zaključka. Znači, niz sastavljen od višestrukih zaključaka koji povezuju dane podatke ili činjenice s ciljem nazivaju se lanac. Vodeći se time, mehanizme zaključivanja nazivamo ulančavanjima te su zato spomenute krajnosti zaključivanje unaprijed i zaključivanje unatrag.

Zaključivanje unaprijed (engl. *forward chaining* ili *forchaining*) je postupak koji kreće od početnog skupa činjenica koji je zadan. Sustav traži pravila koja imaju ispunjene uvjete s obzirom na trenutne informacije. Kada se nađu pravila koja se mogu izvršiti, sustav provjerava koja pravila su prioritetna. Prioritetna pravila prva se izvršavaju i novo dobivene informacije pohranjuju se u bazu činjenica. Taj postupak se konstantno ponavlja te staje samo kada smo izveli vrijednost za činjenicu koju je korisnik tražio ili kada se ništa novo ne može izvesti. Cilj se ovim postupkom postiže manipulacijom znanja koje već postoji u bazi znanja. Zaključivanje

²⁸ (Giarratano, 2005)

unaprijed najviše se koristi u planiranju, praćenju, kontroliranju i tumačenju aplikacija te se koristi u slučaju kada imamo malo podataka i puno mogućih rješenja.

Sljedeći niz objašnjava jednostavan primjer zaključivanja unaprijed:

A

$A \rightarrow B$

B

A predstavlja početnu točku, dok B predstavlja cilj ili donesenu odluku. $A \rightarrow B$ označava činjenicu te se ona koristi da bi se iz točke A donijela odluka B.

Zaključivanje unatrag (engl. *backward chaining* ili *backchaining*) je postupak koji kreće od cilja i dolazi do koraka koji su doveli do njega. Sustav pretražuje sva pravila koja izvode zadanu vrijednost činjenice, pregledava koji su uvjeti tih pravila i koje se činjenice u njima spominju. Ako sustav ne nađe korisne podatke, zamolit će korisnika da unese vrijednost činjenice koja mu je nepoznata u tom procesu. Ovaj postupak pomaže korisniku da razumije i uspostavi logičke korake koji se koriste te da ih razumije dovoljno dobro da ih može primijeniti i na drugim primjerima. Ovaj se postupak najčešće koristi u dijagnostici i aplikacijama za otklanjanje pogrešaka. Zaključivanje unatrag dobar je izbor kada je malo zaključaka ili ciljeva, a puno znanih podataka i činjenica.

Sljedeći niz objašnjava jednostavan primjer zaključivanja unaprijed:

B

$A \rightarrow B$

A

Kao i u slučaju zaključivanja unaprijed, A predstavlja početno stanje, a B predstavlja cilj. Ovdje je B, cilj, postavljen kao početna točka i kreće se iz nje. $A \rightarrow B$ je činjenica kroz koju se utvrđuje da se došlo do točke B. U ovom slučaju ide se iz cilja, točke B, prema početnom stanju, točke A.

Prednost zaključivanja unaprijed je što se može koristiti za izvođenje više zaključaka, dobra je osnova za donošenje zaključaka i fleksibilniji je od zaključivanja unatrag zato što nema ograničenja podataka koji se iz njega izvode. S druge strane, ovaj postupak može biti dugotrajan. Samo uklanjanje i sinkronizacija dostupnih podataka može uzeti dosta vremena.

Objašnjavanje činjenica ili zapažanja u ovom postupku nije jasno objašnjeno te je zaključivanje unatrag u ovom slučaju bolje.

Velika prednost zaključivanja unatrag je što je rezultat ili cilj već poznat, samim time izvođenje zaključaka je olakšano. Ovaj postupak brži je od zaključivanja unaprijed, iz istog razloga, cilj je već poznat. No, nedostatak je što proces rasuđivanja ovog postupka može započeti samo ako je cilj poznat, ako nije, postupak nije moguć. Također, ovaj postupak ne izvodi višestruka rješenja, nego izvodi samo podatke koji su potrebni.

Za zaključivanje unaprijed često se kaže da se pretražuje u širinu, dok se zaključivanjem unatrag pretražuje u dubinu. Zaključivanje unaprijed i zaključivanje unatrag oboje koriste *modus ponens* pravilo zaključivanja, no razlikuju se u pristupu, strategiji, tehnici i brzini. Zaključivanje unaprijed uglavnom koriste programeri koji žele koristiti algoritme vođene podacima za razvoj računalnih sustava, dok zaključivanje unatrag koriste programeri koji žele koristiti algoritme vođene ciljem za dizajniranje učinkovitih rješenja u složenim sustavima baza podataka.²⁹

4.3. Primjeri ekspertnih sustava

U ovom novom dobu svaki se dan susrećemo s nekim ekspertnim sustavom. Oni nam olakšavaju život i uvelike pomažu s manje važnim zadacima na koje ne želimo gubiti vrijeme. Ekspertni sustavi za prirodne znanosti krenuli su se razvijati jako rano te su najbrojniji. Kako se te znanosti ne mijenjaju, sustavi se samo ažuriraju s novim znanjem. Kako ljudi više otkrivaju, tako se baze znanja ekspertnih sustava više pune te su ekspertni sustavi u toku s vremenom.

4.3.1. DENDRAL

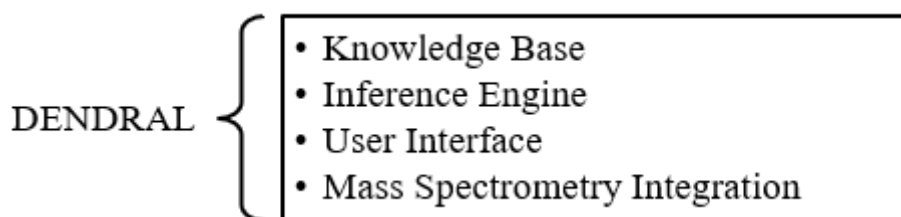
Jedan od prvih ekspertnih sustava, DENDRAL, pojavio se 1969. godine. NASA se odlučila na pothvat slanja letjelice bez posade na Mars te je za tu ekspediciju trebalo je odrediti molekularnu strukturu tla Marsa.³⁰ Edward Feigenbaum, bivši student znanstvenika Herberta Simona, Bruce Buchanan, informatičar, i Joshua Lederberg, znanstvenik koji je osvojio Nobelovu nagradu u području genetike, napravili tim kako bi uspješno odradili NASA-in zadatak. Tim je ubrzo shvatio da klasičnim metodama istraživanja dobivaju previše mogućih opcija te je trebalo preciznije odrediti molekule o kojima se radi.

²⁹ (Mbaabu, 2020)

³⁰ (Buchanan and Feigenbaum, 1978)

Članovi tima shvatili su da se mapiranje potrebnih molekularnih struktura može optimizirati kada bi imali više analitičkih kemičara, poput Lederberga, koji bi problem riješili pomoću svojih vještina, iskustva i stručnosti. Nakon što su to primijetili, Feigenbaum je počeo prikupljati znanje Lederberga kako bi napravio bazu podataka. Feigenbaum je, uz osnovne ideje kemije i analiza koje su bile potrebne, koristio i vlastitu heuristiku na temelju iskustva i nagađanja. Lederberg je krenuo učiti osnove računarstva kako bi lakše ostatku tima artikulirao svoje znanje kemije. Nakon nekog vremena, tim je napravio sustav koji je jako pouzdano oponašao stručnjaka kemije. Tako je nastao DENDRAL, ekspertni sustav napravljen za pomoć organskim kemičarima kako bi identificirali nepoznate organske molekule analizom njihovih spektra masa i korištenjem znanja iz kemije. DENDRAL je dokazao koliko su ekspertni sustavi korisni te se ubrzo počeo koristiti u komercijalne svrhe.³¹

Struktura DENDRAL sustava sustava može se opisati kao ekspertni sustav temeljen na pravilima, koji koristi bazu znanja i mehanizam za zaključivanje. Na slici 5 vide se ključne komponente sustava DENDRAL.³²



Slika 5 Ključne komponente ekspertnog sustava DENDRAL

DENDRALova baza znanja sadržava golemu količinu informacija specifičnih za domenu o organskoj kemiji. Uključuje zbirku pravila, činjenica i heuristike koje predstavljaju stručnost ljudskih kemičara. Ta pravila obuhvaćaju odnose između molekularnih struktura, njihovih svojstava i uključenih reakcija.

Mehanizam za zaključivanje sustava DENDRAL odgovoran je za primjenu pravila i heuristike iz baze znanja za rješavanje specifičnih problema. On koristi različite tehnike zaključivanja, kao što je lančano ulančavanje unaprijed i unazad, kako bi se došlo do logičkih zaključaka i zaključaka o kemijskim strukturama.

³¹ (Negnevitsky, 2005)

³² (Feigenbaum and Buchanan, 1992)

DENDRALovo korisničko sučelje omogućava kemičarima interakciju sa sustavom. Mogu unijeti podatke o poznatim svojstvima molekule ili skupu opažanja, a DENDRAL daje predviđanja ili hipoteze o kemijskoj strukturi na temelju tih informacija.

Jedna od značajnih značajki DENDRALa je njegova integracija s podacima masene spektrometrije (engl. *Mass spectrometry integration*). Masena spektrometrija je tehnika koja se koristi za identifikaciju masa i kemijskog sastava molekula. DENDRAL može interpretirati podatke spektrometrije mase i koristiti ih kao dodatni ulaz za pročišćavanje svojih predviđanja.

Na samom ulasku u sustav, korisnik treba napisati koji je njegov znanstveni cilj i odabrati kojom kemijskom reakcijom se želi baviti. Zatim je potrebno uvesti kemijske molekule koje su uključene u kemijsku reakciju. Nakon toga, DENDRAL sustav pretražuje svoju bazu podataka i nalazi traženu molekularnu strukturu. DENDRAL zatim pretražuje svoju bazu znanja kako bi vidio koja pravila i algoritmi se odnose na pronađene molekularne strukture te kako bi one zajedno reagirale. Kada sustav pronađe odgovarajući odgovor, daje korisniku sve podatke o rezultatu te, ako korisnik želi bolje razumjeti sustav, može na zahtjev detaljnije objasniti cijeli proces.³³

Ekspertni sustav DENDRAL danas se ne koristi aktivno u izvornom obliku.³⁴ Međutim, njegov značaj i utjecaj na području umjetne inteligencije i ekspertnih sustava široko su prepoznati. DENDRAL je bio jedan od najranijih uspješnih primjera ekspertnog sustava dizajniranog za rješavanje složenih problema u određenom području, tj. organskoj kemiji. Iako izvorni DENDRAL sustav možda nije u aktivnoj uporabi, njegov utjecaj i lekcije naučene iz njegovog razvoja nastavljaju oblikovati ovo područje. Tehnike i metodologije uvedene u DENDRAL-u, poput rezoniranja temeljenog na pravilima, predstavljanja znanja i mehanizama zaključivanja, postavile su temelje za kasniji razvoj i istraživanje ekspertnih sustava.

4.3.2. MATHPERT

MATHPERT je ekspertni sustav za učenje matematike te samo ime sustava dolazi spojem riječi matematika (engl. *math*) i stručnjak (engl. *expert*). Ovaj sustav sposoban je rješavati skoro sve probleme matematike. Sličan je ekspertnim sustavima MACSYMA, MAPLE i *Mathematica* koji su došli prije njega, no postoje bitne razlike naspram njih.

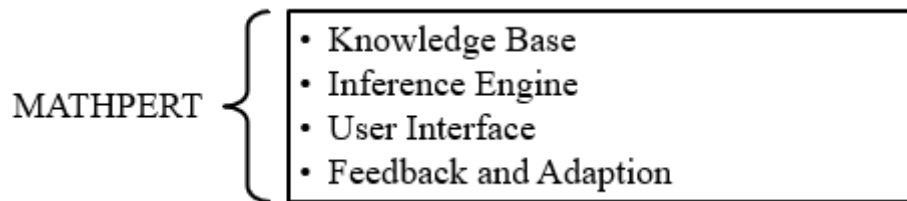
MATHPERT ne nudi samo finalna rješenja, nego nudi cijeli postupak kako bi korisnik lakše razumio rezultat. Unutar ekspertnog sustava postoji model za studente (engl. *student model*)

³³ (Lindsay et al., 1993)

³⁴ (Negnevitsky, 2005)

koji sadrži, između ostalog, informacije o tome koja su od nekoliko stotina informacija za ovog korisnika dobro poznata, poznata, u procesu učenja ili nepoznata. Korisnik koji ima slabije znanje matematike imati će detaljnije objašnjenje rezultata nego korisnik koji ima bolje znanje matematike.³⁵

Cilj sustava je simulirati strategije rješavanja problema i sposobnosti zaključivanja ljudskih matematičara. Struktura i komponente ekspertnog sustava MATHPERT vide se na slici 6.³⁶



Slika 6 Ključne komponente ekspertnog sustava MATHPERT

Baza znanja MATHPERTa sadržava zbirku matematičkih činjenica, pravila, tehnika rješavanja problema i heuristike. Oni su kodirani na način koji je sustavu omogućio razmišljanje o matematičkim konceptima, odnosima i postupcima.

Mehanizam za zaključivanje MATHPERTa odgovoran je za obradu znanja u bazi znanja i njegovu primjenu za rješavanje matematičkih problema. MATHPERT koristi različite mehanizme zaključivanja, kao što je usklađivanje uzoraka, dedukcija i dekompozicija problema, kako bi vodio proces rješavanja problema.

Korisnici mogu unijeti matematičke probleme ili jednadžbe kroz korisničko sučelje, a MATHPERT će pružiti objašnjenja korak po korak, smjernice i rješenja.

MATHPERT je uključio mehanizam povratnih informacija za učenje iz interakcija korisnika. Ovaj ekspertni sustav može analizirati studentove ili učenikove korake u rješavanju problema, identificirati zablude ili pogreške i pružiti prilagođene povratne informacije za rješavanje tih problema. Ova prilagodljiva značajka ima za cilj poboljšati iskustvo učenja i prilagoditi pomoć prema individualnim potrebama.

MATHPERT, kao i ekspertni sustav DENDRAL, danas se ne koristi široko u svom izvornom obliku. Iako je MATHPERT bio utjecajan sustav u području matematičkog obrazovanja temeljenog na računalu, od tada su ga nadmašile novije tehnologije i pristupi.³⁷

³⁵ (Beeson, 1989)

³⁶ (Sleeman and Brown, 1982)

³⁷ (Beeson, 1998)

4.3.3. Zeneth

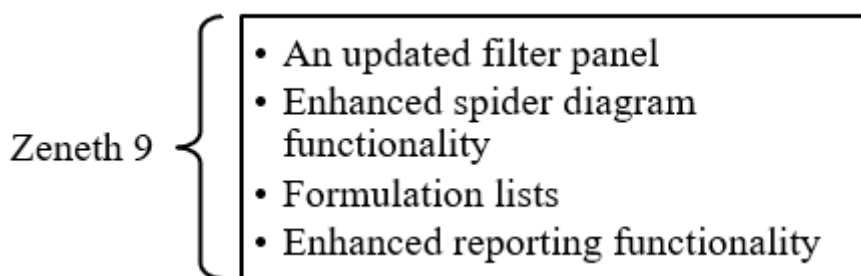
Polje kemijske razgradnje našlo se u situaciji da ima previše rasutih podataka koji su javno dostupni. Kako bi se ti podaci prikupili i kako bi se olakšao čitav proces, 2008. godine se stručnjak za kemiju prisilne razgradnje, Steven Baertschi, odlučio obratiti tvrtki s iskustvom u dijeljenju podataka, Lhasa Limited, te su započeli razvoj Zenetha.

Kako je tvrtka Lhasa Limited već razvila sustav Meteor, ekspertni sustav Zeneth temeljio se na njegovom dizajnu. Programsko sučelje omogućava korisniku da odredi spoj ili spojeve koje obrađuje te povratno dobiva rezultate predviđanja u obliku dijagrama produkta razgradnje i kolika je vjerojatnost njihovog nastanka.

Najveće prednosti ovog sustava su potpuni opoziv informacija i odsutnost pristranosti. Znanstvenici su svjesni da sustav nikada neće sadržavati svo znanje iz područja kemije, no zadovoljni su s ovakvim ekspertnim sustavom. Dodatna prednost je što Zeneth ima stalnu akumulaciju znanja, tj. pomaže analitičkim kemičarima da predvide, analiziraju i shvaćaju rezultate prisilne degradacije te smanjuje njihove zahtjeve za stručnost u organskoj kemiji. Zeneth, u području kemije, koristi se kao sredstvo obuke i za usporedbu osobnih vještina.

Baza znanja ovog ekspertnog sustava kontinuirano raste te svake godine sustav bilježi sve veći broj putova razgradnje. Međutim, Baertschi i Lhasa Limited smatraju da je baza znanja ovog ekspertnog sustava još uvijek u ranoj fazi svog rasta te žele minimizirati broj nepredviđenih promatranih transformacija nego pokušavati minimizirati broj neopaženih predviđanja.³⁸

Ovaj ekspertni sustav i dalje se koristi te je 2022. godine izašla najnovija verzija. Ključne nove značajke ove verzije vidljive su u primjeru na slici 7.³⁹



Slika 7 Ključne značajke najnovije verzije ekspertnog sustava Zeneth

Ažurirana ploča s filtrima (engl. *an updated filter panel*) nakon ažuriranja i instaliranja najnovije verzije sadrži filter „interakcija pomoćnih tvari” (engl. *excipient interactions*) i filter

³⁸ (Parenty, Button and Ott, 2013)

³⁹ (Lhasa Limited, 2022)

„okidača stanja” (engl. *condition triggers*). Podrijetlo proizvoda razgradnje u najnovijoj verziji Zenetha prikazuje se zajedno sa svojom strukturom za dodatni kontekst.

Kada se koristi „paukov“ dijagram za crtanje, odabrani putovi od interesa sada će prikazivati metapodatke, međuproizvode i okidače stanja.

Popisi formulacija (engl. *formulation lists*) potpuno su nova značajka koja podržava mogućnost stvaranja popisa formulacija pomoćnih tvari koji se mogu spremati i ponovno koristiti od predviđanja do predviđanja.

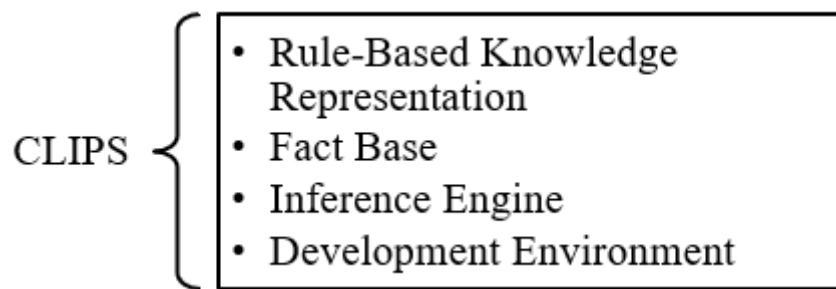
S najnovijom verzijom ovog ekspertnog sustava, korisnici Zenetha mogu izvoziti svoje rezultate kao Word dokumente i višestruka izvješća o uvjetima u Excelu.

4.3.4. CLIPS

Primjer ekspertnog sustava u području biologije je ljuska CLIPS (C Language Integrated Production System). CLIPS je prvobitno razvio NASA-in Johnson Space Center 1980-ih. Kako je CLIPS samo ljuska, može se prenamijeniti u različite ekspertne sustave no njezina najpoznatija upotreba je u području biologije te je široko korištena u području znanosti o okolišu. CLIPS istraživačima i znanstvenicima omogućuje izgradnju sustava temeljenih na znanju za praćenje okoliša, procjenu i donošenje odluka. Može se koristiti za modeliranje složenih ekoloških procesa, analizu velikih skupova podataka i davanje preporuka za upravljanje okolišem. CLIPS omogućuje integraciju znanja specifičnih za domenu, podataka i pravila za podršku različitim zadacima, kao što je predviđanje disperzije onečišćujućih tvari, procjena ekoloških rizika i dizajniranje učinkovitih strategija sanacije.⁴⁰

CLIPS je programski jezik temeljen na pravilima i razvojno je okruženje koje podržava stvaranje ekspertnih sustava i aplikacija temeljenih na znanju. Struktura CLIPSa jasno se može vidjeti na slici 8 te sadrži predstavljanje znanja temeljenog na pravilima (engl. *Rule-based knowledge representation*), bazu činjenica, mehanizam za zaključivanje i razvojno okruženje.

⁴⁰ (Giarratano, 2005)



Slika 8 Ključne komponente ekspertnog sustava i ljuske CLIPS

CLIPS pruža pristup predstavljanju znanja temeljenom na pravilima. Korisnicima omogućuje definiranje skupa pravila koja obuhvaćaju odnose, uvjete i radnje uključene u određenu domenu. Pravila su obično napisana u deklarativnom formatu, specificirajući uvjete (prethodnike) i odgovarajuće radnje (posljedice).

CLIPS koristi bazu činjenica za pohranjivanje i predstavljanje trenutnog stanja znanja sustava. Činjenice u CLIPS-u predstavljene su kao objekti strukturiranih podataka, koji se mogu potvrditi, modificirati ili povući tijekom izvođenja ekspertnog sustava.

CLIPSOv mehanizam za zaključivanje odgovoran je za izvršavanje pravila i donošenje logičkih zaključaka na temelju dostupnih činjenica i pravila. Koristi mehanizam ulančavanja unazad kako bi uskladio uvjete u pravilima s činjenicama u bazi činjenica i pokrenuo odgovarajuće radnje.

Razvojno okruženje CLIPSa uključuje uređivač pravila, program za ispravljanje pogrešaka i druge alate koji pomažu u stvaranju, testiranju i održavanju ekspertnih sustava. Okruženje omogućuje korisnicima interaktivno definiranje pravila, utvrđivanje činjenica, izvršavanje sustava i praćenje procesa zaključivanja.⁴¹

CLIPS se i danas aktivno koristi u raznim aplikacijama koje zahtijevaju rezoniranje temeljeno na pravilima i reprezentaciju znanja. Puno znanstvenika i informatičara koristi ovu ljusku i prilagođava je svojim potrebama.⁴²

⁴¹ CLIPS Documentation (<https://clipsrules.net/Documentation.html>)

⁴² (Giarratano and Riley, 2004)

5. Zaključak

Integracija ekspertnih sustava u području prirodnih znanosti pokazala se kao revolucionaran razvoj, unaprijedili su način na koji pristupamo i rješavamo složene probleme. Ovi inteligentni sustavi, opremljeni ogromnom količinom znanja i sofisticiranim algoritmima, pokazali su izvanredne sposobnosti u pružanju pomoći istraživačima, znanstvenicima i profesionalcima u raznim znanstvenim disciplinama.

Iskorištavanjem snage umjetne inteligencije, ekspertni sustavi su nam omogućili da se krećemo kroz zamršenu mrežu podataka, identificiramo obrasce i dajemo točna predviđanja u područjima kao što su biologija, kemija, fizika i znanosti o okolišu. Odigrali su ključnu ulogu u ubrzavanju znanstvenih otkrića, racionalizaciji istraživačkih procesa i poboljšanju donošenja odluka.

Jedna od ključnih prednosti ekspertnih sustava je njihova sposobnost obrade i analize velikih količina podataka nevjerojatnom brzinom, pružajući istraživačima neprocjenjive uvide i olakšavajući formuliranje hipoteza. Štoviše, ti su se sustavi pokazali učinkovitima u tumačenju složenih eksperimentalnih rezultata, stvaranju uvjerljivih objašnjenja i predlaganju novih puteva za daljnja istraživanja.

Nadalje, integracija ekspertnih sustava u prirodnim znanostima potaknula je interdisciplinarnu suradnju, omogućujući stručnjacima iz različitih područja da iskoriste svoje zajedničko znanje i zajednički se pozabave složenim problemima. To je dovelo do dubljeg razumijevanja prirodnih fenomena i pojave novih interdisciplinarnih istraživačkih područja, pomičući granice znanstvenih spoznaja.

Međutim, važno je priznati da iako su ekspertni sustavi napravili značajne korake u povećanju znanstvenog istraživanja, oni nisu namijenjeni zamjeni ljudske stručnosti i intuicije. Ove sustave treba promatrati kao moćne alate koji nadopunjuju i podupiru znanstvenu zajednicu, povećavajući njihove sposobnosti i omogućujući im da postignu veće podvige.

Gledajući unaprijed, budućnost ekspertnih sustava u prirodnim znanostima ima golema obećanja. Kako tehnologija napreduje i sve više podataka postaje dostupno, ti će se sustavi nastaviti razvijati, postajući još sofisticiraniji i precizniji u svojim predviđanjima. Integracija tehnika strojnog učenja i razvoj hibridnih sustava koji kombiniraju ljudsku stručnost s umjetnom inteligencijom dodatno će poboljšati njihove mogućnosti, otvarajući nove granice u znanstvenom istraživanju.

Ekspertni sustavi su se pojavili kao neprocjenjivo bogatstvo u prirodnim znanostima, osnažujući istraživače moćnim alatima za snalaženje u složenosti prirodnog svijeta. Svojom sposobnošću obrade golemih količina podataka, generiranja uvida i poticanja interdisciplinarnе suradnje, ovi sustavi mijenjaju način na koji pristupamo znanstvenom istraživanju. Dok nastavljamo s otključavanjem potencijala ekspertnih sustava, krećemo na put neviđenih otkrića i inovacija, utirući put budućnosti u kojoj znanost i tehnologija rade ruku pod ruku kako bi razotkrili misterije svemira.

6. Literatura

1. 24sata. (2023). Google je preuzeo Photomath. doi: <https://www.24sata.hr/tech/google-je-preuzeo-photomath-914352> [Accessed 3 Jun. 2023].
2. Asemi, A., Ko, A. and Nowakarizi, M. (2020). Intelligent libraries: a review on expert systems, artificial intelligence, and robot. Emerald Insight. doi: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/LHT-02-2020-0038/full/html>
3. Balaž, Z. and Meštrović, K. (2015). *Inteligentni i ekspertni sustavi u elektroenergetici*. Zagreb: Tehničko veleučilište u Zagrebu. Available at: <https://www.bib.irb.hr/761336> [Accessed 29 Apr. 2023].
4. Beeson, M. (1998). Design principles of Mathpert: software to support education in algebra and calculus. pp.163–177. doi:https://doi.org/10.1007/978-3-7091-6461-7_9.
5. Beeson, M.J. (1989). MATHPERT: An Expert System for Learnin Mathematics. New York, NY: Springer. doi: https://doi.org/10.1007/978-1-4613-9647-5_25 [Accessed 9 May 2023].
6. Bermúdez, J.L. (2020). *Cognitive Science: An Introduction to the Science of the Mind*. Cambridge University Press. Available at: <https://www.semanticscholar.org/paper/Cognitive-Science%3A-An-Introduction-to-the-Science-Berm%3%BAdez/9c48877b6848772fd493263f2ded5390e3ea4369> [Accessed 8 May 2023].
7. Buchanan, B.G. and Shortliffe, E.H. (1984). *Rule-Based Expert Systems*. Research Gate. Available at: https://www.researchgate.net/publication/292780022_Rule-Based_Expert_Systems [Accessed 4 May 2023].
8. Buchanan, B.G. and Smith, R.G. (1988). Fundamentals of Expert Systems. *Annual Review of Computer Science*, 3(1), doi: <https://doi.org/10.1146/annurev.cs.03.060188.000323>.
9. clipsrules.net. (n.d.). CLIPS Documentation. Available at: <https://clipsrules.net/Documentation.html> [Accessed 19 Jun. 2023].
10. Dembitz, Š., Knežević, P. and Sokele, M. (2003). Developing a Spell Checker as an Expert System. *Journal of Computing and Information Technology*, 11(4), p.285. doi:<https://doi.org/10.2498/cit.2003.04.03>. [Accessed 27 Apr. 2023]

11. Feigenbaum, E.A. and Buchanan, B.G. (1992). *DENDRAL and It's Influence: The Birth of Expert Systems*. Morgan Kaufmann.
12. Giarratano, J. and Riley, G. (2004). *Expert Systems: Principles and Programming*. (4th ed.) ed. Course Technology.
13. Giarratano, J.C. (2005). *Expert systems : principles and programming*. Internet Archive. Australia ; Boston, Mass. : Thomson Course Technology. Available at: <https://archive.org/details/expertsystemsPRI4theGiar/page/28/mode/2up> [Accessed 11 May 2023].
14. Grosan, C. and Abraham, A. (2011). Rule-Based Expert Systems. *Intelligent Systems Reference Library*, 17, pp.149–185. doi:https://doi.org/10.1007/978-3-642-21004-4_7.
15. Gustason, W. and Ulrich, D.E. (1973). *Elementary Symbolic Logic*. New York: Holt, Rinehart and Winston, Inc.
16. Klondike S.r.l. (2021). *AI History: the 1980s and expert systems - Klondike AI history*. Klondike. Available at: <https://www.klondike.ai/en/ai-history-the-1980s-and-expert-systems/> [Accessed 2 May 2023].
17. Lhasa Limited (2022). *Lhasa Limited announces the anticipated release of Zeneth 9*. Lhasa Limited. Available at: <https://www.lhasalimited.org/news/lhasa-limited-announces-the-anticipated-release-of-zeneth-9/> [Accessed 15 Jun. 2023].
18. Markić, B., Bijakšić, S. and Šantić, M. (2015). ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN DETERMINATION OF MARKETING CUSTOMER STRATEGY. *Informatologia*, 48(1-2), pp.39–47. doi: <https://hrcak.srce.hr/clanak/202873> [Accessed 3 May 2023].
19. Mbaabu, O. (2020). *Forward and Backward Chaining in Artificial Intelligence*. Section. doi: <https://www.section.io/engineering-education/forward-and-backward-chaining-in-ai/> [Accessed 28 Apr. 2023].
20. McCarthy, J. and Hayes, P. (1968). Some philosophical problems from the standpoint of artificial intelligence. Stanford, Calif.
21. Negnevitsky, M. (2005). *Artificial intelligence*. Harlow [Etc.] Addison-Wesley.
22. Oravec, J.A. (2014). Expert Systems and Knowledge-based Engineering. *International Journal of Designs for Learning*, 5(2), pp.66–75.

23. Parenty, A.D.C., Button, W.G. and Ott, M.A. (2013). An Expert System To Predict the Forced Degradation of Organic Molecules. *Molecular Pharmaceutics*, 10(8), pp.2962–2974. doi:<https://doi.org/10.1021/mp400083h>.
24. Reiter, R. (1980). *A Logic for Default Reasoning*. [online] *Artif. Intell.*, Vancouver, B.C., Canada: University of British Columbia, pp.81–132. Available at: <https://www.semanticscholar.org/paper/A-Logic-for-Default-Reasoning-Reiter/93bdca51c9c0477121ba9708ffe2747855b93aef> [Accessed 6 Jun. 2023].
25. Russel, S. and Norvig, P. (2020). *Artificial Intelligence: A Modern Approach* (4th Ed.). Prentice Hall.
26. Sleeman, D.H. and Brown, J.S. (1982). *Intelligent tutoring systems. The Open Library*. London, New York: Academic Press.
27. Strasser, C. and Antonelli, G.A. (2019). *Non-monotonic Logic*. (Summer 2019 Edition) ed. Stanford, California: Metaphysics Research Lab, Stanford University. Available at: <https://plato.stanford.edu/archives/sum2019/entries/logic-nonmonotonic>.
28. Stropnik, A., Vuherer, T., Samardžić, I. and Zorman, M. (2017). Application of semantic technology for calculation of welding time in the development of new products. *Tehnički vjesnik - Technical Gazette*, 24(4). doi: <https://doi.org/10.17559/tv-20161210095910>. [Accessed 02 May 2023]
29. Subsets of AI - Javatpoint. (2011). www.javatpoint.com. Available at: <https://www.javatpoint.com/subsets-of-ai>.
30. University, S., Stanford and California 94305 (1988). *The Edward A. Feigenbaum Papers*. Spotlight at Stanford. Available at: https://exhibits.stanford.edu/feigenbaum/catalog?download_id=document.pdf&f%5Bpub_year_no_approx_isi%5D%5B%5D=1988&range%5Bpub_year_tisim%5D%5Bmissing%5D=true [Accessed 19 Jun. 2023].
31. Waterman, D.A. (1986). *A guide to expert systems*. [online] *Internet Archive*. Reading, Mass. : Addison-Wesley. Available at: <https://archive.org/details/guidetoexpertsys0000wate/page/n3/mode/2up> [Accessed 3 Jun. 2023].
32. Živković, M., Križić Erceg, M. and Likić, R. (2015). Upotreba ekspertnog sustava UpToDate u svrhu poboljšanja kvalitete zdravstvene skrbi u KBC-u Zagreb. *Medicus*, 24(1

Urologija), pp.93–95. Available at: <https://hrcak.srce.hr/clanak/213314> [Accessed 1 May 2023]

Popis slika

<i>Slika 1 Podskupine umjetne inteligencije</i>	<i>6</i>
<i>Slika 2 Industrije gdje se ekspertni sustavi najčešće upotrebljavaju.....</i>	<i>8</i>
<i>Slika 3 Osnovna funkcija ekspertnog sustava</i>	<i>13</i>
<i>Slika 4 Struktura ekspertnog sustava utemeljenog na pravilima.....</i>	<i>13</i>
<i>Slika 5 Ključne komponente ekspertnog sustava DENDRAL</i>	<i>20</i>
<i>Slika 6 Ključne komponente ekspertnog sustava MATHPERT.....</i>	<i>22</i>
<i>Slika 7 Ključne značajke najnovije verzije ekspertnog sustava Zeneth</i>	<i>23</i>
<i>Slika 8 Ključne komponente ekspertnog sustava i ljuske CLIPS</i>	<i>25</i>

Ekspertni sustavi u prirodnim znanostima

Sažetak

U radu će se opisati ekspertni sustavi, njihov povijesni razvoj i funkcionalnost. Definirat će se njihova uloga u polju umjetne inteligencije te područja u kojima se danas najčešće koriste. Analizirat će se nedostaci i prednosti ekspertnih sustava, te mogućnosti za daljnji razvoj i primjenu. Opisat će se proces izgradnje ekspertnog sustava i funkcionalnost s posebnim naglaskom na zaključivanje i njihovu strukturu. Navedeno će se potkrijepiti s nekoliko poznatih ekspertnih sustava, odnosno analizom njihovog principa rada i mogućnosti.

Ključne riječi: ekspertni sustavi, logika, umjetna inteligencija, informacijske znanosti, baza znanja

Expert systems in natural sciences

Summary

This paper will describe expert systems, their historical development and functionality. Their role in the field of artificial intelligence and the areas in which they are most often used today will be defined. We will analyze the disadvantages and advantages of expert systems, as well as the possibilities for further development and application. The process of building an expert system and its functionality will be described, with special emphasis on reasoning and their structure. The above will be supported by several well-known expert systems, i.e. an analysis of their working principles and possibilities.

Key words: expert systems, logic, artificial intelligence, information sciences, knowledge base