

*„Naša budućnost je trka između sve moćnije tehnologije i
mudrosti s kojom ćemo je koristiti.*

Postarajmo se da mudrost pobedi.“

Stephen Hawking (Stiven Hokin),
Brief answers to the Big Questions, 2018
(Kratki odgovori na velika pitanja, 2019, str. 213)

VEŠTAČKA INTELIGENCIJA I INTELIGENTNI SISTEMI ZA POSLOVNO ODLUČIVANJE

1. VEŠTAČKA INTELIGENCIJA

2. INTELIGENTNI SISTEMI ZA POSLOVNO ODLUČIVANJE

Ekspertni sistemi
Veštačke neuronske mreže
Fuzzy sistemi
Genetski algoritmi
Inteligentni agenti

3. NOVOSTI U RAZVOJU VEŠTAČKE INTELIGENCIJE I MAŠINSKOG UČENJA

Prof. dr Jasna Soldić-Aleksić

1. VEŠTAČKA INTELIGENCIJA

Veštačka inteligencija (engl. *Artificial Intelligence – AI*) je jedna grana računarske nauke (engl. *computer science*) koja se bavi istraživanjem procesa učenja, mišljenja i pamćenja kod ljudi, da bi zatim pokušala da te procese primeni na računare. Veštačka inteligencija nije nova naučna disciplina: njen razvoj je vezan za poslednjih 70 godina, gde su najveći doprinos dali naučnici: *Alan Turing, Marvin Minsky i John McCarthy*.

U literaturi se mogu naći različite definicije veštačke inteligencije. Istorijski posmatrana (od polovine 1950-tih godina) uglavnom su se izdvojila četiri pristupa:

- sa stanovišta **procesa razmišljanja i rezonovanja**,
- sa stanovišta **ponašanja**,
- sa stanovišta **performansi koje se porede sa čovekovim postignućem i**
- sa stanovišta **racionalnosti u razmišljanju i delovanju**.

U nastavku dajemo nekoliko definicija koje pripadaju ovim pravcima:

Veštačka inteligencija je „umetnost kreiranja mašina koje mogu da obavljaju funkcije koje zahtevaju inteligenciju kada ih ljudi izvode“ (Kurzweil, 1990)

Veštačka inteligencija je „disciplina koja proučava kako da se naprave računari koji će da rade stvari, za koje su ljudi, u tom momentu, bolji“. (Rich and Knight, 1991).

Veštačka inteligencija „... se bavi inteligentnim ponašanjem na delu“ (Nilsson, 1998)

Veštačka inteligencija je grana računarske nauke (*computer science*) koja se bavi načinom kako da se simulira ljudska inteligencija u mašini, tako da mašine mogu da izvršavaju zadatke, koji po pravilu zahtevaju ljudsku inteligenciju.

Veštačka inteligencija – teorija i razvoj računarskih sistema koji su sposobni da izvrše zadatke koji normalno zahtevaju čovekovu inteligenciju, kao što je: vizuelna percepcija, razumevanje govora, odlučivanje, prevođenje jezika. (Oxford English dictionary).

Veštačka inteligencija (*Artificial Intelligence – AI*): „..... ponašanje mašine, koje, kada bi ga izvodio čovek, smatralo bi se inteligentnim”.

Ako se zadržimo na prethodnoj definiciji, nameće se jednostavno pitanje: Šta je inteligentno ponašanje?

Odgovor na navedeno pitanje potrebno je potražiti u naučnoj oblasti koja se bavi izučavanjem ponašanja čoveka – **psihologiji**. Bez pretenzija da uvodimo nove definicije za inteligentno ponašanje, navodimo sledeće karakteristike ovog ponašanja:

- Učenje ili shvatanje na bazi iskustva;
- Nalaženje smisla u naizgled neodređenim i/ili kontradiktornim porukama;
- Brzo i uspešno reagovanje na nove situacije;
- Razumevanje dvosmislenih ili kontradiktornih poruka;

- Rešavanje složenih problema;
- Rešavanje problema razmišljanjem i efikasno reagovanje;
- Primenjivanje znanja pri delovanju u okruženju;
- Prepoznavanje relativnog značaja raznih elemenata u datoj situaciji.

Imajući u vidu šta je inteligentno ponašanje, mogu se izdvojiti **komponente koje čine inteligenciju**:

- Rezonovanje
- Učenje
- Rešavanje problema
- Percepcija
- Lingvistička inteligencija



Slika 1. Komponente koje čine inteligenciju¹

Imajući u vidu da je dugoročan cilj veštačke inteligencije da razvije računarske sisteme, koji mogu da obavljaju sve kompleksne zadatke podjednako dobro ili čak bolje od čoveka, suočavamo se sa pitanjem: **Kako se može proveriti da li računar pokazuje inteligentno ponašanje?** Britanski naučnik *Alan Turing*, jedan od pionira iz oblasti veštačke inteligencije, razvio je test koji pokušava da pruži odgovor na postavljeno pitanje. Ovaj test se sprovodi na taj način što čovek-ispitivač komunicira sa drugim čovekom i računarom koji se nalaze u zasebnim sobama, tako da ispitivač ne zna gde se nalazi čovek, odnosno računar. Naime, ispitivač ih ne vidi, već sa njima komunicira preko tastature i ekrana računara. Posle petominutne „komunikacije“ od ispitivača se očekuje da prepozna u kojoj sobi se nalazi računar, odnosno čovek. Ako ispitivač nije u mogućnosti da prepozna kada je komunicirao sa računarom, već misli da je komunicirao sa čovekom, smatra se da je taj računar „prošao“ *Turing*-ov test, odnosno da pokazuje osobine inteligentnog ponašanja.

¹ https://www.tutorialspoint.com/artificial_intelligence/artificial_intelligent_systems.htm

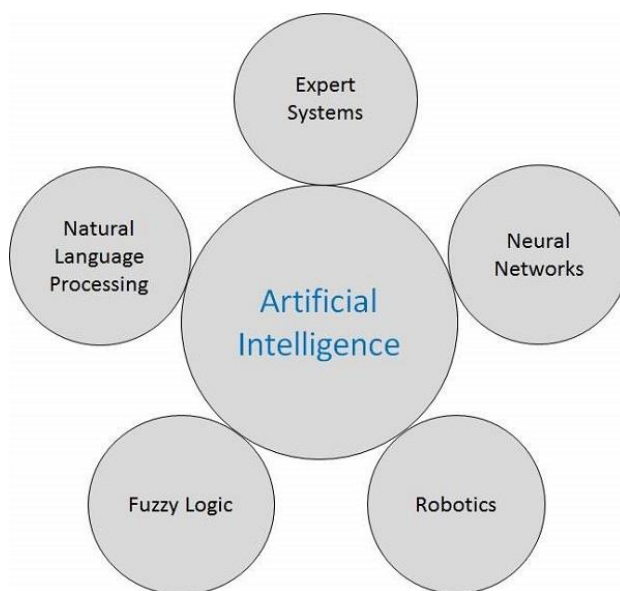
Poreklo, odnosno **koreni razvoja**, veštačke inteligencije mogu se povezati sa sledećim naučnim disciplinama:

- psihologija (psiholingvistika, sociolingvistika, računarska lingvistika, kognitivna psihologija),
- filozofija (filozofija jezika, logika),
- elektro-inženjering (robotika, obrada slika, prepoznavanje obrazaca),
- nauka o upravljanju,
- matematika,
- statistika,
- biologija.

A glavne **oblasti (aplikacije)** veštačke inteligencije su:

- robotika,
- razumevanje govora,
- obrada prirodnog jezika,
- inteligentno podučavanje,
- računarska vizuelizacija,
- automatsko programiranje,
- ekspertni sistemi,
- *fuzzy* logika i sistemi,
- obrada na bazi veštačkih neuronskih mreža,
- mašinsko učenje,
- „duboko“ učenje (*deep learning*).

Domen veštačke inteligencije je širok. Na sledećoj slici su prikazane bitne oblasti veštačke inteligencije.



Slika 2. Domen veštačke inteligencije²

² https://www.tutorialspoint.com/artificial_intelligence/artificial_intelligence_research_areas.htm

Kao posebne oblasti komercijalne primene veštačke inteligencije izdvajaju se:

- Ekspertni sistemi;
- Obrada prirodnog jezika – računarska lingvistika
- Razumevanje govora (*Natural Language Processing – NLP, Natural Language Generating – NLG, Natural Language Understanding – NLU*);
- Robotika i senzorski sistemi;
- Obrada na bazi neuronskih mreža;
- Fazi (*fuzzy*) logika;
- Računarska vizuelizacija;
- Inteligentna obuka uz pomoć računara;
- Mašinsko učenje (neuronsko računarstvo, fazi sistemi, genetski algoritmi ...);
- Hibridni sistemi

U tabeli 1. prikazane su karakteristike prirodne i veštačke inteligencije.

Tabela 1. Prirodna i veštačka inteligencija

Mogućnosti	Prirodna inteligencija	Veštačka inteligencija
Čuvanje znanja	Nepostojano sa organizacijskog aspekta	Postojano
Troškovi znanja	Vrlo visoki	Mogu biti veoma niski
Konzistentnost inteligencije	Može biti sklona greškama	Konzistentna i temeljna
Dokumentovanje procesa i znanja	Komplikovano i skupo	Relativno lako
Kreativnost	Može biti veoma visoka	Niska , nema nadahnuća
Upotreba čula – senzora	Direktna i bogata mogućnostima	Ograničena (najpre mora biti interpretirana)
Moć zaključivanja	Koristi širok kontekst iskustva u mnogim oblastima	Samo u usko fokusiranim i stabilnim domenima

Potencijalne prednosti veštačke inteligencije su:

- Povećava se brzina i doslednost pojedinih postupaka u rešavanju problema;
- Povećava produktivnost pri obavljanju raznih poslova;
- Pomaže u rešavanju problema koji ne mogu biti rešeni konvencionalnom obradom na računaru;
- Pomaže pri rešavanju problema s nekompletnim i nejasnim podacima;
- Pomaže pri interpretaciji i pretraživanju velike količine podataka;

- Čini jednostavniju upotrebu pojedinih računarskih aplikacija.

Dalje, ako se uporede konvencionalna računarska obrada i veštačka inteligencija mogu se uočiti bitne razlike. Glavne razlike se ogledaju u sledećem:

- Konvencionalna računarska obrada zasniva se na **brojevima i algoritmima**;
- Obrada na osnovama veštačke inteligencije se zasniva na **simboličkoj obradi i heuristici**.

Detaljnije sličnosti i razlike mogu se videti u tabeli 2.

Tabela 2. Veštačka inteligencija vs konvencionalna obrada

Karakteristika	Veštačka inteligencija	Konvencionalna računarska obrada
Karakter ulaznih podataka	Mogu biti nekompletni	Moraju biti kompletni
Pristup pretraživanju	Često heuristika	Algoritam
Fokus	Znanje	Podaci
Objašnjenje	Najčešće moguće	Obično nije obezbeđeno
Održavanje i ažuriranje	Relativno jednostavno ; Izмене se mogu relativno lako vršiti	Obično je komplikovano

2. INTELIGENTNI SISTEMI ZA POSLOVNO ODLUČIVANJE

Osnovne karakteristike

U oblasti razvoja informacionih sistema za podršku poslovnom odlučivanju inteligentni sistemi predstavljaju posebnu klasu i razvojnu etapu ovih sistema. Pored ekspertnih sistema i veštačkih neuronskih mreža, ovoj grupi računarskih sistema pripadaju i *fuzzy* sistemi, sistemi evolutivnog računarstva (sistemi sa primenom genetskog algoritma), sistemi zasnovani na rezonovanju na bazi slučajeva (engl. *case-based reasoning* – *CBR*), kao i kombinacija različitih inteligentnih i konvencionalnih sistema u vidu hibridnih inteligentnih sistema.

Posebna karakteristika inteligentnih sistema jeste da **pored kvantitativnog modeliranja uključuju i kvalitativnu analizu (simboličko rezonovanje)** i doprinose rešavanju kompleksnih, **nestruktuiranih problema** u oblasti odlučivanja, problema za koje najčešće nije moguće naći odgovarajuće algoritamsko rešenje.

Pristup ovih sistema u rešavanju složenih problema odlučivanja počiva na zajedničkoj ideji uključivanja nekog vida inteligencije čoveka u računarski sistem, tj. na pokušaju da se na neki način u računarskom svetu imitira rezonovanje čoveka, ili šire posmatrano imitira priroda i njeni zakoni. Ova osnovna ideja se ispoljava kroz različite paradigme funkcionisanja ovih sistema. Kod ekspertnih sistema ta se ideja ostvaruje kodiranjem znanja eksperata u bazi znanja i stvaranjem kontrolnog mehanizam u vidu mašine za rezonovanje (engl. *inference engine*), koja vodi proces rezonovanja. Kod veštačkih neuronskih mreža osnovna inspiracija je način funkcionisanja čovekovog mozga, dok je inspiracija za genetske algoritme sadržana u mehanizmu biološke evolucije (*Ch. Darwin*-ova teorija prirodne selekcije i opstanka bioloških vrsta). *Fuzzy* sistemi počivaju na osnovnim premisama *fuzzy* logike i skupova, koja opet ima za cilj operacionalizaciju aproksimativnog rezonovanja i zaključivanja kada se radi sa manje preciznim lingvističkim pojmovima, kao što su visok, jak, spor, veliki, mali i slično, a što je svojstveno načinu razmišljanja i rezonovanja čoveka. A CBR sistemi se baziraju na ideji da se formira baza slučajeva, koja bi se koristila za rešavanje nekog problema po principu sličnosti slučajeva, analogno kako to čovek čini kada se oslanja na svoje iskustvo, koje sadrži mnoge probleme koje je ranije rešio.

Inteligentni sistemi su računarski sistemi koji se baziraju na tehnikama veštačke inteligencije. Naime, ove tehnike su centralne za funkcionisanje, odnosno dizajn inteligentnih sistema.

Koje su to ključne osobine inteligentnih sistema, koje ih čine posebnim računarskim okruženjem, pogodnim za rešavanje kompleksnih poslovnih problema?

Navešćemo nekoliko opštih osobina, koje nisu apsolutno vezane za svaki tip inteligentnih sistema, a koje ne poseduju klasični računarski sistemi:

- **Sposobnost učenja:** nesumnjivo najvažnija osobina inteligentnih sistema je njihova sposobnost učenja iz podataka, prošlih događaja i sl. To praktično znači da oni izvedu model ponašanja time što pretražuju stotine hiljada realizovanih transakcija. Klasična je situacija da takvo operativno znanje poseduju samo veoma iskusni profesionalci, koji imaju značajno iskustvo u obavljanju određenih poslovnih aktivnosti. Inteligentni sistemi koji se baziraju na algoritmima mašinskog učenja, kao i *deep learning* algoritmi, imaju sposobnost da nauče te modele poslovnih procesa iz prošlih podataka.
- **Sposobnost adaptacije:** poslovno okruženje se neprestano menja. Od inteligentnih sistema za poslovno odlučivanje očekuje se da imaju sposobnost prilagođavanja promeni poslovnog okruženja. U nekim oblastima, kao što je na primer, **finansijsko tržište**, sposobnost prilagođavanja promenama je izuzetno važna.
- **Fleksibilnost:** čovekovom odlučivanju imanentna je fleksibilnost. Čovek može da donosi odluke i u situacijama kada ima **nepotpune i neprecizne informacije**. Na primer, bankarski službenik koji donosi odluku o odobravanju kreditnog zahteva klijenta banke, može doneti odluku i pored toga što nedostaju neki manje važni podaci

o klijentu. Ili, na primer, brokeri na finansijskom tržištu, u najvećem broju slučajeva, donose odluke u situacijama kada nemaju potpune informacije. Klasični računarski programi, koji rade po strogo definisanim pravilima (algoritmima), ne poseduju osobinu robusnosti – otpornosti na nepreciznost. Inteligentni računarski sistemi, **posebno veštačke neuronske mreže i fuzzy sistemi**, poseduju osobinu donošenja odluka na fleksibilan način, tj. mogu da „rezonuju“ i kada nemaju potpune informacije, i da prepoznanju veze i odnose u podacima i u onim situacijama sa kojima se ranije nisu „sreli“. Navedimo primer kod sistema koji vrše „profilisanje“ potrošača, gde je potrebno da se izvrši grupisanje sličnih potrošača. Inteligentni sistem, kao što je veštačka neuronska mreža, koja je već na istorijskim podacima „naučila“ da vrši grupisanje, izvršiće grupisanje potrošača prema nekim njihovim osobinama, kao što su demografske osobine, prosečan dohodak, učestalost kupovina i dr. Sistem će izvršiti grupisanje i kada ima nepotpune podatke.

- **Sposobnost objašnjenja:** ova osobina se odnosi na transparentnost sistema, što je svakako poželjna osobina u procesu poslovnog odlučivanja. Inteligentni sistemi imaju sposobnost da automatizuju mnoge poslovne aktivnosti donošenja odluka, ali je veoma važno, iz organizacionih i pravnih razloga, da odluke koje donesu budu sasvim razumljive i jasne ljudima koji su zainteresovani za te odluke. Na primer, u oblasti kreditne evaluacije klijenata, u mnogim zemljama je pravna obaveza banke da pruži svakom klijentu sasvim jasno objašnjenje zašto je njegov/njen zahtev odbijen. Jasno je da samo odluka tipa „da/ne“, odnosno „odobren/odbijen“ nije dovoljna, već je neophodna transparentnost procedure donošenja odluka. Od inteligentnih sistema **ovu osobinu imaju ekspertni sistemi**, nasuprot veštačkim neuronskim mrežama, koje nisu transparentne, već je kod njih izražena osobina „black box“.
- **Sposobnost otkrića:** inteligentne tehnike i sistemi imaju važnu osobinu da mogu da otkriju znanje iz velike količine podataka (engl. *Knowledge Discovery in Database – KDD*). Ova osobina je posebno izražena kod **veštačkih neuronskih mreža i genetskih algoritama**. Na primer, ovi sistemi su korišćeni za pronalaženje „obrazaca“ ili šema kupovine u podacima iz maloprodajnih objekata, kao što je, na primer, veza između kupovine pojedinih artikala ili veza promene vremenskih prilika sa kupovinom određenih proizvoda (*market-basket analysis*).

Prethodno iznete osobine ne poseduju u istoj meri sve klase inteligentnih sistema. U sledećoj tabeli dat je uporedni prikaz zastupljenosti ovih osobina kod pojedinih klasa inteligentnih sistema.

Tabele 3. Uporedni prikaz osobina inteligentnih sistema

Tehnologija	Učenje	Fleksibilnost	Prilagodljivost	Objašnjenja	Otkriće
Ekspertni sistemi	X	X	X	XXXX	X
Veštačke neuronske mreže	XXXXX	XXXXX	XXXXX	X	XXX
Genetski algoritmi	XXXXX	XXXX	XXXX	XXX	XXXXX
Fuzzy sistemi	X	XXXXX	X	XXX	X

Iz prethodne tabele jasno je da svaka tehnika i klasa inteligentnih sistema ima određenih prednosti i nedostataka. Ali, generalno ono što je važno za sve klase inteligentnih sistema jeste da **ovi sistemi pružaju značajnu dopunu standardnih kvantitativnih metoda (statistika, ekonometrija, metode teorije odlučivanja, operacionih istraživanja i sl.) sa kvalitativnim metodama**. Naime, kvantitativne metode ne mogu uspešno da reše probleme koji imaju izraziti kvalitativan karakter, a kojih je puno u poslovnim i ekonomskim sistemima.

2.1. Ekspertni sistemi

Ekspertni sistemi (ES) su grana veštačke inteligencije (*AI-Artificial Intelligence*), koja pruža mogućnost šireg korišćenja specifičnog znanja eksperta (ekspertize) u rešavanju određenih problema. Naime, radi se o računarskim programima dizajniranim sa ciljem da modeliraju sposobnost eksperta da rešava određene probleme.

Jedan od pionira iz oblasti ekspertnih sistema, *Edward Feigenbaum* definisao je ekspertni sistem kao “ ... *inteligentni računarski program koji koristi znanje i proceduru zaključivanja u rešavanju problema, a koji je inače dovoljno težak da zahteva značajnu ekspertizu čoveka da bi bio rešen.*”

Iz navedenog se vidi da je ekspertni sistem računarski sistem koji **emulira** sposobnost eksperta za rešavanje problema i donošenje odluka.

Danas postoje izvesne nepreciznosti u upotrebi termina ekspertni sistemi i **sistemi zasnovani na znanju (engl. Knowledge-Based Systems – KBS)**. Naime, dešava se da se ovi termini koriste kao sinonimi. Mada nema jedinstvenog stava, ipak preovlađuje stav autora da je termin ekspertni sistem uži od pojma sistem zasnovan na znanju u pogledu prirode znanja uključenog u bazu znanja kod jednog odnosno drugog sistema. Razlika između ovih sistema je sledeća: sistemi zasnovani na znanju (engl. *Knowledge-Based Systems - KBS*), sadrže klasično znanje

iz knjiga, časopisa, udžbenika, drugog raspoloživog materijala (papirnog ili elektronskog), ali ne i ekspertizu. Ekspertni sistemi (engl. *Expert System*) – pored klasičnog znanja sadrže i ekspertizu. Sama ekspertiza je znanje koje se uglavnom **ne nalazi** u klasičnim, javnim izvorima (knjige, časopisi, publikacije, baze podataka i sl.), već je to *implicitno znanje pojedinca* - eksperta zasnovano na klasičnom znanju eksperta, ali i na znanju zasnovanom na iskustvu, intuiciji i proceni. Ovo znanje se mora adekvatno kodirati u bazi znanja ekspertnog sistema. U narednoj tabeli dat je prikaz poređenja humane ekspertize (čoveka-eksperta) i ekspertnih sistema.

Tabela 4. Humana ekspertiza vs ekspertni sistem

	Humana ekspertiza	Ekspertni sistem
Prednosti ekspertnih sistema	Ograničeno trajanje	Duži vek trajanja
	Nepredvidiva	Konzistentan
	Spora reprodukcija	Brza reprodukcija
	Visoka cena	Pristupačna cena
	Sporo procesiranje	Brzo procesiranje
Prednosti humane ekspertize	Kreativna	Nedostaje inspiracija
	Dinamična	Znanje u ekspertnom sistemu je relativno statično
	Prilagodljiva	Traži instrukcije
	Koristi zdrav razum u rezonovanju	Ne poseduje znanje zdravog razuma
	Širi fokus posmatranja i razmišljanja	Uska problemsa orijentacija

Razvoj tehnologije ekspertnih sistema: koreni ekspertnih sistema leže u proučavanju oblasti formalne logike i oblasti kognitivnih procesa, tj. procesa ljudskog mišljenja. Nastanak veštačke inteligencije i ekspertnih sistema vezan je za period posle drugog svetskog rata (1945-1950).

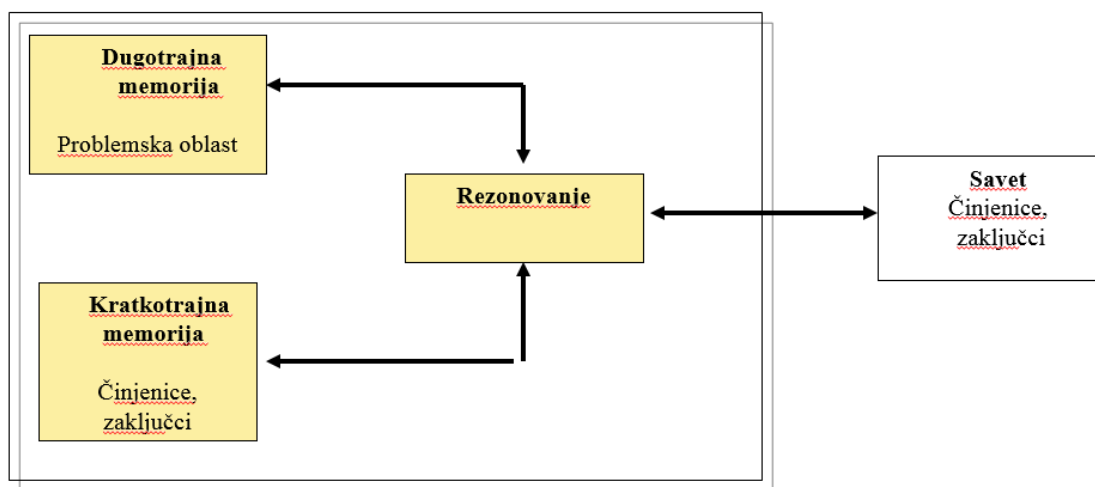
- Glavne istraživačke inicijative u ovoj oblasti dešavaju se u periodu 1955-1960. godine, kada je i održana čuvene **Dartmouth konferencije (1956)**, koja predstavlja prvo okupljanje istraživača veštačke inteligencije.
- Pioniri veštačke inteligencije **Herbert Sajmon** i **Allen Newell** (*Carnegie-Mellon University*) razvili su program **Logički teoretičar**, koji je dokazivao matematičke teoreme koristeći formalizam iskaznog računa. *Logički teoretičar* je bio prvi računarski program veštačke inteligencije.
- Šezdesete godine su bile godine značajnih inicijativa i pokušaja razvoja veštačke inteligencije.
- **McCarthy** je razvio programski jezik **LISP** (*LISt Processing*), a **A. Newell** i **H. Sajmon** (1957) program sa ciljem opšteg rešavanja svih problema - **GPS** (*General Problem Solver*).
- Niz njihovih radova iz ove oblasti kulminirao je obimnim i monumentalnim delom **Human Problem Solving** (1972). Najznačajniji rezultat ovih autora jeste tvrdjenje da se

najveći deo kognitivnih procesa može izraziti pravilima tipa *AKO-ONDA*, čime su postavili osnove ekspertnih sistema zasnovanih na pravilima.

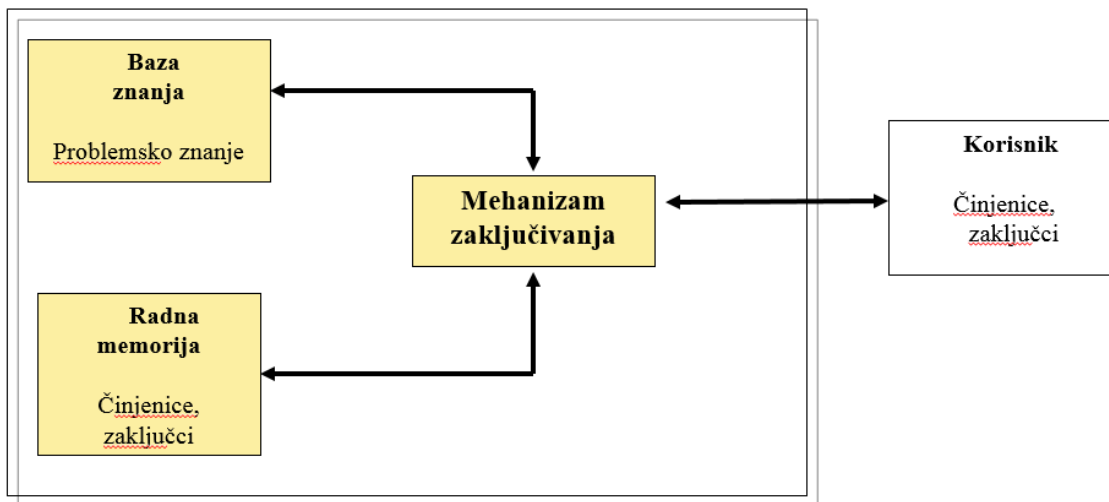
- Istraživanja su pokazala da se eksperti u rešavanju problema iz svoje oblasti ne oslanjaju primarno na metode rezonovanja, već mnogo više na svoje znanje u određenoj oblasti stečeno na bazi bogatog iskustva.
- U tom smislu značajno je bilo iskustvo grupe istraživača sa *Stanford Univerziteta*, koji su se okupili oko projekta **DENDRAL** (ekspertni sistem za hemijsku analizu).
- To je bio prvi ekspertni sistem koji je praktično funkcionisao kao ekspert-hemičar u prepoznavanju *molekularne strukture nepoznate supstance*, a čijoj operacionalizaciji je značajno doprinela usmerenost na znanje eksperta, a manje na tehnike rezonovanja.

Struktura ekspertnog sistema: ekspertni sistem je računarski program za rešavanje problema po ugledu na način kako čovek rešava probleme. U tom smislu i struktura ekspertnog sistema odražava način rezonovanja čoveka. Na slikama 3 i 4 predstavljeni su struktura i način rešavanja problema, kako to čini ekspert, sa jedne strane i ekspertni sistem, sa druge strane.

Struktura ekspertnog sistema odražava činjenicu da ekspertni sistem nastoji da modelira proces rešavanja problema na način kako to čini čovek-ekspert: dobija informacije o problemu (činjenice), koje čuva u privremenoj memoriji (engl. *short-term memory*), zatim rezonuje tako što poredi sadržaj privremene memorije sa svojim znanjem, smeštenim u dugotrajnoj memoriji (engl. *long-term memory*). Ovim procesom se dolazi do novih činjenica i do konačnog zaključka. U strukturi ekspertnog sistema privremenoj memoriji odgovara radna memorija, dugotrajnom memoriji baza znanja, a samo rezonovanje sprovodi mehanizam rezonovanja. Upravo su to glavne komponente u strukturi ekspertnih sistema.

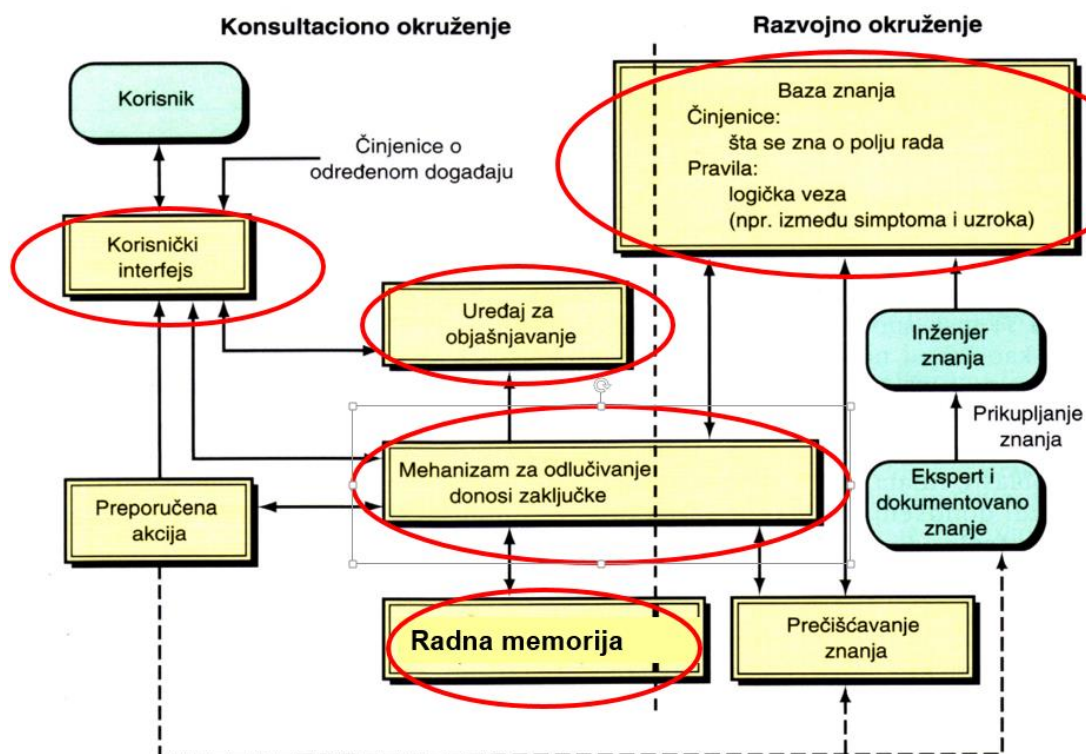


Slika 3. Kako čovek-ekspert rešava problem?



Slika 4. Kako ekspertni sistem rešava problem?

- **Baza znanja:** je deo ekspertnog sistema koji sadrži problemsko znanje. Način kodiranja znanja eksperta u bazi znanja može biti različit (pravila, predikati, frejmovi, objekti i dr.) u zavisnosti od same prirode znanja.
- **Radna memorija:** je deo ekspertnog sistema koji sadrži činjenice o problemu, a koje su otkrivene tokom procesa konsultacije korisnika od strane ekspertnog sistema, kao i informacije i zaključke koje je sam sistem generisao uparivanjem činjenica iz radne memorije i baze znanja. Takođe, mnogi ekspertni sistemi mogu preuzimati podatke (činjenice) sa spoljnih nosilaca podataka, kao što su baze podataka, elektronske tabele ili razni tipovi senzora.
- **Mehanizam zaključivanja:** je procesor koji upoređuje činjenice sadržane u radnoj memoriji sa problemskim znanjem iz baze znanja radi izvođenja zaključaka o problemu.
- **Mehanizam za objašnjenje** (engl. *explanation facility*). Zahvaljujući ovom mehanizmu ekspertni sistem je u mogućnosti da pruži odgovor na pitanje *kako* je došao do zaključka i *zašto* postavlja neko pitanje, što može biti od koristi kako za dizajnera ekspertnog sistema tako i za korisnika.
- Takođe, važan element u gradnji ekspertnih sistema jeste **korisnička veza** (engl. *user interface*) preko koga se aktivno komunicira sa korisnikom (postavljaju se pitanja korisniku, a zatim se pruža savet i objašnjenje donete odluke).



Slika 5. Struktura ekspertnog sistema

Na osnovu prethodnog može se zaključiti da je osnovan ideja funkcionisanja ekspertnih sistema da korisnik pruža ekspertnom sistemu činjenice ili druge informacije kroz korisnički interfejs, a dobija odgovor eksperta kao savet ili drugi vid ekspertize.

Osnovne karakteristike ES mogu se sumirati na sledeći način:

- **odvojenost znanja od kontrole:** struktura ekspertnog sistema ukazuje da su baza znanja i mehanizam zaključivanja odvojeni moduli, što čini posebnu osobenost ekspertnih sistema u poređenju sa konvencionalnim računarskim programima ;
- **posjedovanje znanja eksperta i koncentracija na ekspertizi;**
- **rezonovanje sa simbolima:** nasuprot konvencionalnih računarskih programa kod kojih je zastupljeno uglavnom numeričko procesiranje;
- **heurističko zaključivanje:** ekspertni sistemi ne koriste algoritamski pristup u izvođenju zaključaka, već se baziraju na raznim heurističkim tehnikama. Jedan od pionira veštačke inteligencije *M. Minsky* ukazujući na heurističke metode ističe: “*Ako ne možeš saopštiti računaru kako najbolje da reši problem, napravi program koji će da isproba više pristupa*” („trial-and-error”);
- **podrška za neegzaktno rezonovanje:** informacije i problemsko znanje mogu biti nepouzdati, dvosmisleni, neprecizni, što zahteva poseban pristup u rezonovanju;

- **primena ekspertnih sistema je ograničena na rešive probleme:** pored nesumnjive moći ekspertnih sistema da uspešno zamene eksperte u rešavanju problema, njihova moć nije neograničena. Tačnije rečeno, njihova moć je ograničena znanjem eksperta;
- **ekspertni sistemi mogu da pogreše:** kao što eksperti mogu da pogreše, tako i ekspertni sistemi mogu da pogreše. Naravno, ova činjenica ne umanjuje vrednost ekspertnih sistema u rešavanju slabo struktuiranih i nestruktuiranih problema.

U poređenju sa klasičnim računarskim programima postoji značajna razlika u načinu obrade podataka. Klasična definicija koja je važila za standardne računarske programe:

$$\text{STRUKTURA PODATAKA} + \text{ALGORITAM} = \text{PROGRAM}$$

u slučaju sistema zasnovanih na znanju i ekspertnih sistema dobija opšti oblik:

$$\text{ZNANJE} + \text{ZAKLJUČIVANJE} = \text{SISTEM ZASNOVAN NA ZNANJU}$$

Kako je predstavljeno znanje u ekspertnom sistemu?

Nauka koja se bavi proučavanjem prirode, strukture i porekla znanja je **epistemologija**. Neke od kategorija epistemologije su: filozofske teorije (postavke Aristotela, Platona, Kanta i dr.), *a priori* i *a posteriori* znanje. Grupi *a priori* znanja pripadaju logički iskazi, univerzalni zakoni i znanje koje dolazi pre i nezavisno od čula i iskustva. Nasuprot tome, *a posteriori* znanje je znanje koje se izvodi iz iskustva i koje se može korigovati na osnovu iskustva.

Kako ne postoji jedna opšta prihvaćena teorija koja bi objasnila organizaciju znanja kod čoveka, tako ne postoji jedan način predstavljanja znanja kod ekspertnih sistema, koji bi bio superiorniji u odnosu na sve ostale. Način predstavljanja znanja povezan je sa tipom znanja. Sledeća tabela predstavlja više tipova znanja.

Tipovi znanja	
Proceduralno znanje	Pravila, strategije, agende, procedure
Deklarativno znanje	Koncept, objekti, činjenice
Meta znanje	Znanje o drugim tipovima znanja i kako se koriste
Heurističko znanje	Pravila iz iskustva
Strukturno znanje	Niz pravila, odnosi između koncepata
Prećutno znanje	Znanje koje se podrazumeva

Jedna od mogućih podela jeste podela na: **proceduralno, deklarativno, semantičko i epizodično**. Ova podela ukazuje na jednu posebnu dimenziju znanja, određenu pojmovima plitko (*shallow*) i duboko (*deep*) znanje. Proceduralno i deklarativno znanje uglavnom imaju obeležja plitkog znanja (nalaze se u kratkotrajnoj memoriji), a semantičko i epizodično znanje imaju više karakteristike dubokog znanja (smešteno u dugotrajnoj memoriji).

Metode predstavljanja znanja u bazi znanja ekspertnog sistema mogu se klasifikovati u dve grupe:

1. Metode zasnovane na **logici** i
2. **Objektno** orijentisane metode.

Prvoj grupi metoda, koja ima teorijsku osnovu u matematičkoj logici, pripadaju metode zasnovane **na pravilima i predikatskom računu**. Ovi načini predstavljanja znanja su direktno izvedeni iz dve kategorije matematičke logike: propoziciona (iskazna) logika i predikatska logika.

Predstavljanje znanja u bazi znanja koristeći pravila predstavlja najpopularniji način predstavljanja znanja. Sama ideja datira od *Post*-a (1943), a *H. Simon* i *A. Newell*, su doprineli popularizaciji produkcionih pravila. Rezonovanje sa pravilima zasnovano je na dva pravila zaključivanja:

Modus ponens i

Hipotetički silogizam.

Logičke metode predstavljanja znanja u bazi znanja uglavnom su bile izložene kritici da mogu da predstavljaju samo plitko znanje, tj. da nemaju mogućnost za predstavljanje uzročnih veza i odnosa između objekata. U tom smislu objektno orijentisane metode imaju prednost jer se zasnivaju na predstavljanju znanja u vidu objekata i njihovih veza. U ovu grupu metoda ubrajaju se **semantičke mreže, skripta i frejmovi**.

Ekspertni sistemi i drugi računarski programi

U sledećim tabelama dat je uporedni prikaz osobina konvencionalnih računarskih programa i ekspertnih sistema, odnosno sistema za podršku odlučivanju i ekspertnih sistema.

Tabela 5. Konvencionalni računarski programi i ekspertni sistemi

<u>Karakteristika</u>	Konvencionalni program	Ekspertni sistem
Tip problema koji se rešava	struktuirani problemi	slabo struktuirani problemi
<u>Kontrola programa</u>	određena naredbama	mehanizam zaključivanja
Stepen kontrole	jak	slab
Kontrola i podaci	implicitna integracija	eksplicitna odvojenost
Nalaženje rešenja	algoritam	pravila i zaključivanje (heuristika)
Ulaz	<u>pretpostavlja se korektan</u> – potpun (kompletan) i precizan	može da bude neprecizan, ili nekompletan
Izlaz	uvek korektan (“sve ili ništa” situacija)	varira u zavisnosti od problema (razumno rešenje)
Objašnjenje	nema ga	obično je moguće dobiti
Aplikacije	numerici, tekst	simboličko rezonovanje
Programski dizajn	struktuirani dizajn	uglavnom nestruktuiran
Modifikacija	teška	moguća i lakša
Proširenja	U krupnim promenama	<u>postepeno</u>

Tabela 6. Sistemi za podršku odlučivanju i ekspertni sistemi

Atributi	Sistemi za podršku odlučivanju (DSS)	Ekspertni sistemi (ES)
Namena	Pomoć čoveku koji donosi odluke	Zamena čoveka koji donosi odluke
Orijentacija	Odlučivanje	Transfer znanja i savet
Ko postavlja pitanja?	Čovek mašini	Mašina čoveku
Područje problema	Široko	Uski domen
Mogućnost rezonovanja	Ne	Da – ograničeno

Na osnovu prethodno iznetih karakteristika ekspertnih sistema i objašnjenih razlika ovih sistema u odnosu na druge informacione sisteme možemo izvesti zaključke o njihovim prednostima, ali i ograničenjima.

Prednosti ekspertnih sistema su:

- Povećana produktivnost, kroz povećanje proizvodnih rezultata, a smanjenja troškova (posebno radne snage);
- Poboljšanje kvaliteta proizvoda odnosno usluga (obezbeđenje konzistentnog saveta za izvršenje usluga, odnosno konstrukciju proizvoda) i smanjenje stope grešaka;
- Smanjenje prekida rada (pravovremeno otkrivanje grešaka i njihovih uzroka u funkcionisanju opreme, kao i predlog adekvatne akcije);
- Široka dostupnost korišćenja ekspertize, koja je inače retko raspoloživo dobro;
- Povećanje fleksibilnosti u pružanju usluga ili proizvodnji;
- Veća operativnost u korišćenju opreme (mogućnost korišćenja jeftinije opreme – kompenzacija se ostvaruje ekspertizom, kao i adekvatnija primena skupe opreme gde ekspertni sistemi mogu dobiti značajnu edukativnu ulogu za korisnike te opreme);
- Operativnost u uslovima neizvesnosti;
- Veća pouzdanost sistema;
- Kraće vreme odgovora sistema na postavljene zadatke;
- Stabilan, neemotivan i kompletan odgovor u svako vreme;
- Mogućnost pružanja objašnjenja korisniku;
- Mogućnost integracije mišljenja više eksperata u rešavanju vrlo složenih problema odlučivanja (iz uskog domena);
- Značajna edukativna uloga ekspertnih sistema, pružanjem odgovora na pitanja: „šta“, „kako“, „zašto“, što može da bude od koristi za početnika u raznim oblastima – bankarstvo, osiguranje, planiranje, proizvodnja, korišćenje složenih tehnika i sl.

Potencijalna ograničenja ekspertnih sistema su:

- ekspert nije na raspolaganju ili nije spreman na saradnju;
- eksperti se mogu međusobno razlikovati u svojim razmišljanjima o jednoj problemskoj oblasti;
- nemogućnost eksperta da objasni proces donošenja odluka – teško ekstrahovanje ekspertize;
- pritisak kratkih rokova ograničava mogućnosti eksperata;
- uglavnom nema objektivnog načina provere ispravnosti zaključivanja;
- nerazumevanja menadžera za razvoj ekspertnih sistema;
- budžet može biti ograničavajući faktor;
- nedostatak poverenja krajnjih korisnika.

Moguće oblasti primene ekspertnih sistema vezane su za sledeće kategorije aktivnosti:

- **Kontrola**, gde ekspertni sistemi imaju podsistem monitoringa, što im daje mogućnost da sprovedu i korektivnu akciju kada proces nadgledanja odstupa od predviđenog standarda;
- **Dijagnoza**, gde se ostvaruje zaključivanje o greškama sistema na osnovu opservacija (preko 30% aplikacija);
- **Interpretacija**, gde se slično kontrolnim ekspertnim sistemima vrši poređenje tekućih operacija sa unapred postavljenim standardima. Obično ovi ekspertni sistemi koriste podatke dobijene preko senzora, da bi izveli zaključak o statusu procesa koji prate. Kako uglavnom koriste realne podatke, koji su najčešće nekompletni i neprecizni, u većini slučajeva rezonovanje je praćeno odgovarajućim faktorima izvesnosti (confidential factors), koji se izražavaju procentima u intervalu od 0 do 100. (oko 20%);
- **Prognoza**, gde sistem ocenjuje niz činjenica i uslova, na osnovu kojih izvodi zaključke o budućem kretanju pojava (finansijske, marketinške, demografske i dr.) 17%;
- **Planiranje**, gde ekspertni sistem najčešće predlaže tačan raspored aktivnosti da bi se ostvario neki cilj. Naravno da se mogu planirati i kratkoročne i dugoročne aktivnosti (15%);
- **Obuka (instruktaža)**, gde ekspertni sistemi preuzimaju edukativnu ulogu za početnike u pojedinim uskom stručnim oblastima. Ovi sistemi obično imaju detaljan podsistem objašnjenja, sa mogućnošću “šta-ako” analize, što je izuzetno važno za učenje kroz samoistraživanje.

Ekspertni sistemi se primenjuju u velikom broju različitih oblasti i aktivnosti, kao što su: medicina, poslovna primena, inženjerske aplikacije, poljoprivreda, hemija, komunikacije, upravljanje informacijama, obrazovanje, elektronika, geologija i dr. Iskustvo pokazuje da su glavna područja poslovne primene ekspertnih sistema koncentrisana na sledeće oblasti:

- finansijske aktivnosti;
- računovodstvene aktivnosti;
- sprovođenje poreske politike;
- korporativno planiranje (operativno, taktičko i strategijsko);
- upravljanje procesom proizvodnje,
- upravljanje radnom snagom;
- istraživanje proizvoda i usluga i dr.

2.2. Veštačke neuronske mreže

Veštačke neuronske mreže (VNM) predstavljaju jednu klasu inteligentnih sistema (veštačke inteligencije) čije funkcionisanje se zasniva **na ideji imitiranja načina na koji funkcioniše mozak čoveka**. Ovi sistemi se razlikuju od standardnih računarskih sistema sa stanovišta dizajna i načina funkcionisanja. Podsetimo se da se standardni računarski sistemi odlikuju sledećim karakteristikama, odnosno prisustvom sledećih elemenata:

- memorije, u kojoj se relevantne informacije elektronski kodiraju i čuvaju;
- skup instrukcija, koji se takođe čuva u memoriji;
- CPU (*Central Processing Unit*) – preuzima podatke i instrukcije iz memorije, da bi izvršila date instrukcije;
- bitno je postojanje algoritma;

Svaki problem za koji se može sastaviti odgovarajuća procedura (algoritam) može se efektivno rešiti pomoću standardnih računara. U ovu grupu problema ubrajaju se razna numerička izračunavanja, kao i pretraživanje baza podataka, a koje računari rešavaju mnogo efikasnije u poređenju sa sposobnostima i mogućnostima čoveka.

Ali, postoje problemi za čije rešavanje je teško postaviti jasna pravila i procedure u formi algoritma. To su, na primer, zadatak prepoznavanja slike, glasa, identifikovanje raznih oblika (čak i u slučaju nepotpunih podataka i šumova), zaključivanje i donošenje odluka na bazi prethodnog iskustva, u situacijama koje ranije nisu operativno formalizovane i slično. Ovo je grupa problema koje čovek rešava efikasnije u poređenju sa standardnim računarima. U mnogim od prethodnih situacija čovek, odnosno njegov mozak, rešava navedene probleme koristeći tehniku *učenja na osnovu iskustva*.

Veštačke neuronske mreže pripadaju klasi inteligentnih sistema (veštačkoj inteligenciji) i predstavljaju računarske sisteme koji su dizajnirani da simuliraju način na koji čovekov mozak analizira i obrađuje informacije.

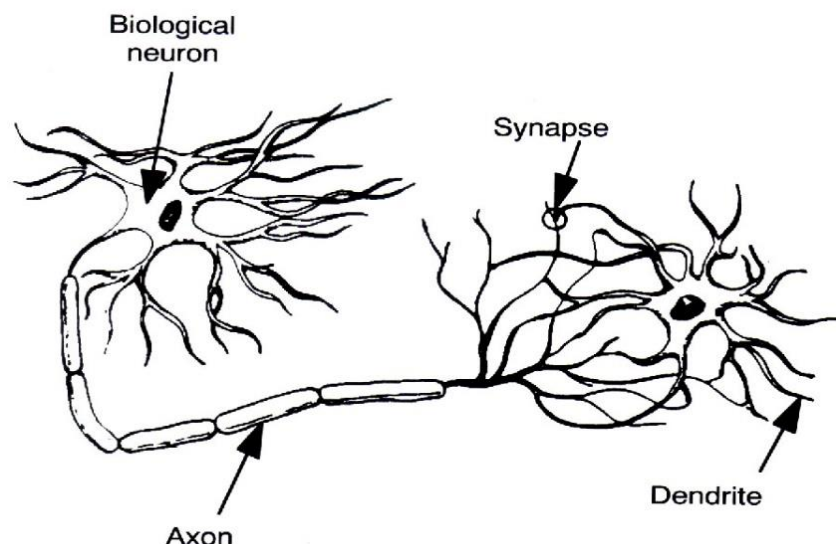
Kod standardnih računara instrukcije se izvršavaju u centralnoj jedinici u uzastopnim koracima – **serijski dizajn**. Za razliku od serijskog dizajna standardnih računara, veštačke neuronske mreže karakteriše **paralelno procesiranje**. Naime, sa stanovišta dizajna veštačke neuronske mreže su sistemi koji preuzimaju osnovnu ideju informacionog procesiranja mozga čoveka, a koja se ogleda u sledećem:

- procesiranje informacija u mozgu čoveka se ostvaruje kroz mrežu miliona jednostavnih procesnih jedinica – neurona (čovekov mozak sadrži oko 10^{11} neurona);
- svaki neuron je jednostavan procesor: prima signale od velikog broja drugih neurona, kombinuje ih i šalje signale drugim neuronima;
- znanje je u mozgu čoveka distribuirano kroz veliki broj veza između neurona.

Sa stanovišta funkcionisanja, veštačke neuronske mreže koriste mehanizam učenja na bazi iskustva, nasuprot korišćenja eksplicitnih pravila (algoritma) koji karakteriše standardne računare.

Biološki i veštački neuron: po uzoru na strukturu i funkcionisanje čovekovog mozga, koji se sastoji iz velikog broja povezanih neurona, veštačke neuronske mreže predstavljaju sistem sastavljen od mreže međusobno povezanih jedinica, koje se zovu veštački neuroni.

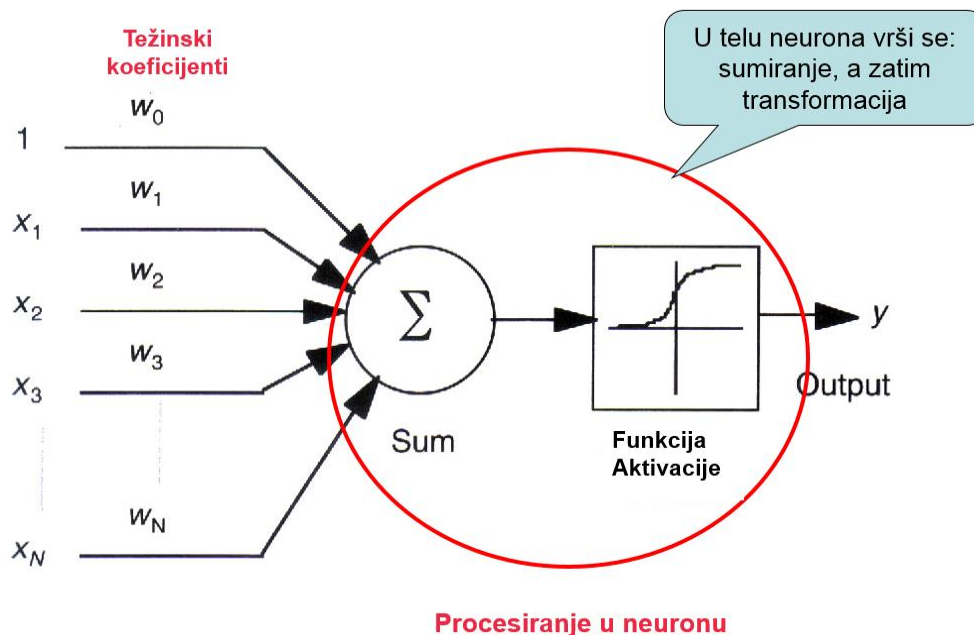
Na slikama 6 i 7 prikazani su biološki i veštački neuron.



Slika 6. Biološki neuron

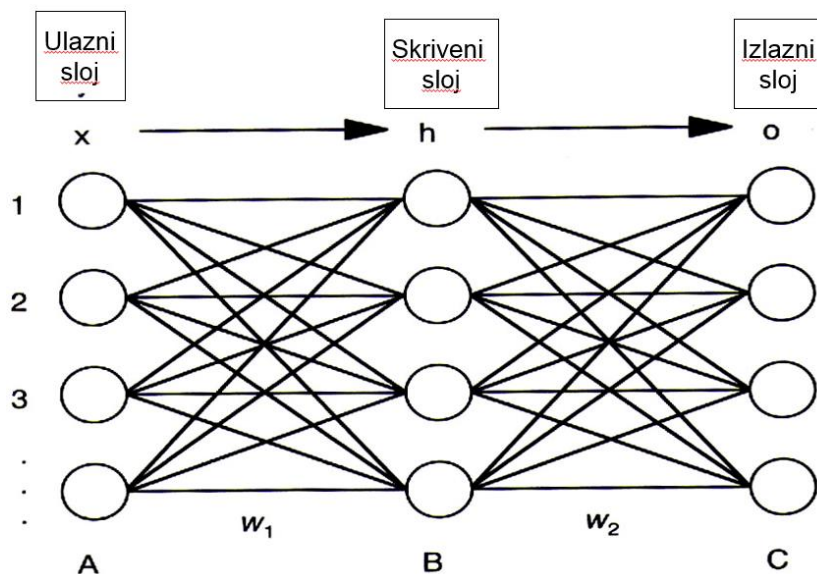
Svaki neuron ima telo ćelije, koje prima impulse preko senzora koji se zovu *dendriti* i oblasti *sinapsa*, gde se dešavaju elektrohemijski procesi (mozak čoveka funkcioniše na bazi električnih impulsa, koji se kreiraju hemijskim reakcijama). Kada kombinacija primljenih impulsa dostigne nivo praga vrednosti nervne ćelije, ona se aktivira i oslobađa svoj nervni potencijal preko *aksona* drugim nervnim ćelijama i njenim dendritima.

Po uzoru na biološki neuron napravljena je paradigma neuralnog, ili neuronskog računarstva, čiji je osnovni gradivni element veštački neuron.



Slika 7. Veštački neuron

Model VNM: po uzoru na biološki neuron i kod veštačkog neurona sve ulazne veličine se najpre sumiraju, a zatim podležu transformaciji, koja je u opštem slučaju nelinearni oblika (najčešće funkcija oblika slova S), da bi se zatim generisala izlazna veličina, koja se prenosi na sledeći veštački neuron. Ovi veštački neuroni su povezani tako da formiraju mrežu, odnosno njene slojeve (engl. *layers*), kao što je prikazano na slici



Slika 8. Troslojna neuronska mreža (engl. *feed-forward network*)

Pored samih veštačkih neurona, veoma važan element dizajna veštačkih neuronskih mreža su *težinski koeficijenti*, koji imaju suštinski važnu ulogu u procesu *treniranja*, odnosno *učenja* mreže. Značaj težinskih koeficijenata se ogleda u sledećem:

- izražavaju *relativnu snagu* (ili matematičku vrednost) ulaznog podatka;
- značaj težine je u tome što one čuvaju naučene obrasce ponašanja;
- i upravo preko postepenog iterativnog podešavanja težina, mreža uči.

Postoji veliki broj različitih klasa veštačkih neuronskih mreža, koje se diferenciraju po različitim kriterijum, kao što su sledeći:

Međusobne veze neurona u VNM:

- potpuna veza (engl. *fully connected*)
- delimična veza (engl. *partially connected*),
- veza unapred (engl. *feed-forward*)
- dvosmerna veza (engl. *bi-directional*)
- hijerarhijska veza (engl. *hierarhical*)
- rezonancija itd (engl. *resonance*).

Tipovi učenja u VNM:

- Učenje sa nadgledanjem (engl. *Supervised*)
- Učenje bez nadgledanja (engl. *Unsupervised*)

Metode učenja:

- *Off-line* učenje (ili režim rada)
- *On-line* učenje (režim rada)

Pored navedenih kriterijuma, postoje nekoliko stotina različitih algoritama učenja, te se može govori o velikom broju različitih tipova veštačkih neuronskih mreža.

Primena ovih računarskih sistema bazira se na sledećim prednostima ovih sistema u odnosu na druge računarske sisteme:

- prepoznavanje obrazaca ponašanja (analiziraju velike količine podataka da bi otkrili obrasce i karakteristike u situacijama u kojima logika ili pravila nisu poznati – npr. odobravanje zahteva za pozajmicom, ili kod berzanskog poslovanja određivanje kada da se akcije kupe ili prodaju);
- učenje i interpretacija nekompletnih ulaza;
- učenje i interpretacija ulaza u prisustvu šuma;
- tolerancija greške (ima mnogo procesnih čvorova);
- generalizacija (ako dobije nekompletni ulazni podatak);
- adaptivnost (mreža uči u novim okruženjima);
- moćnost predviđanja (na bazi ranijih podataka).

Oblasti primene VNM – a su:

- finansijske usluge
 - procene zahteva za zajam
 - predviđanje solventnosti
 - otkrivanje prevara u vezi sa osiguranjem
 - otkrivanje falsifikovanih kreditnih kartica
 - otkrivanje novih načina „pranja novca“;
- utaja poreza
- analiza novih proizvoda
- procena personala i kandidata za posao
- predviđanje učinka zaposlenih
- nadgledanje,
- u vojnoj industriji.