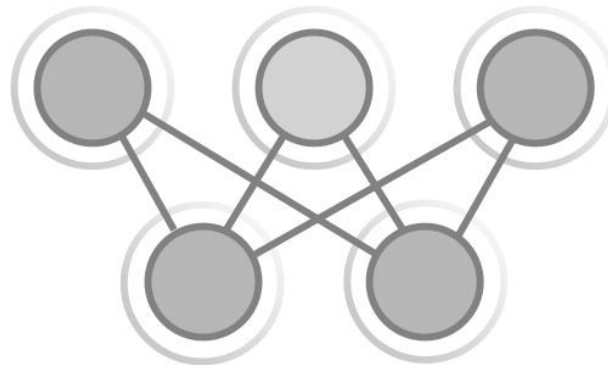


Prof.dr.sc. Bojana Dalbello Bašić


Fakultet elektrotehnike i računarstva
Zavod za elektroniku, mikroelektroniku, računalne i inteligentne sustave

www.zemris.fer.hr/~bojana
bojana.dalbello@fer.hr

Sustavi temeljeni na pravilima



1. Uvod
2. Sustavi temeljeni na pravilima
3. Temeljna shema sustava temeljenih na pravilima
4. Inspiracija – spoznajni proces
5. Sustavi temeljeni na pravilima – nazivlje
6. Područja primjene
7. Izgradnja sustava
8. Primjeri ranih ES
9. Producerski sustavi
10. Producerski sustavi i logika
11. Definicija producerskog sustava

- 
12. Shema rada produkcijskog sustava
 13. Dodavanje novog znanja
 14. Proces zaključivanja u sustavu temeljenom na pravilima
 15. Ulančavanja prema naprijed
 16. Rete algoritam
 17. Seme za rješavanje konflikata
 18. Ulančavanje pravila unatrag
 19. Primjer ulančavanja prema naprijed
 20. Primjer ulančavanja prema natrag
 21. Sažetak
 22. Oblici pravila

- Rana faza razvoja AI (50-tih i 60-tih godina) sastojao se u pokušaju razvoja sofisticiranih **tehnika zaključivanja**
- Te se tehnike nisu oslanjale na znanje. Cilj u tom periodu bio je razviti programske sustave za opće rješavanje problema (GPS)
- **Neuspjeh razvoja općeg sustava** i takvog načina rješavanja problema je **doveo do** drugog pristupa, tzv. razvoja **sustava temeljenih na znanju**

2. SUSTAVI TEMELJENI NA PRAVILIMA

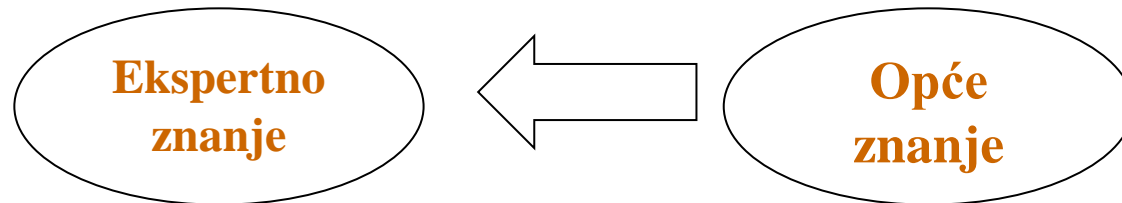
Kako najlakše možemo izraziti ljudsko znanje?

- Velika većina ljudskog znanja (ekspertnog znanja) može se oblikovati kao **ako – onda pravilima**
- **Ako** je temperatura pacijenta veća od 38°C **onda** treba prepisati lijek za snižavanje temperature
- **Ako** je svjetlo na semaforu crveno **onda** se zaustavi
- Takva se pravila nazivaju **produksijska pravila**

Produksijski sustavi (engl. *production systems*)

2. SUSTAVI TEMELJENI NA PRAVILIMA

- Važan korak u uspješnom rješavanju problema AI → **redukcija područja ili domene problema**

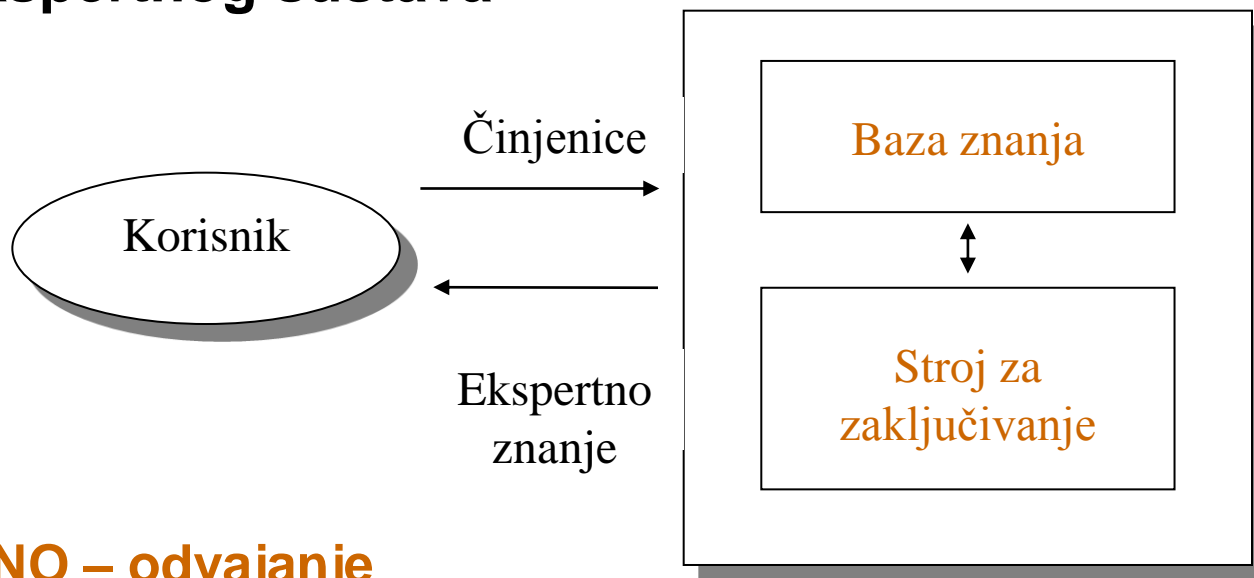


- **Ekspertno znanje** (područno znanje) je specifično znanje koje se odnosi na određeno usko područje, domenu (medicinu, financije, šah itd.), za razliku od općeg znanja rješavanja problema

Ekspertni sustavi (engl. *expert systems*)

3. TEMELJNA SHEMA SUSTAVA TEMELJENIH NA PRAVILIMA

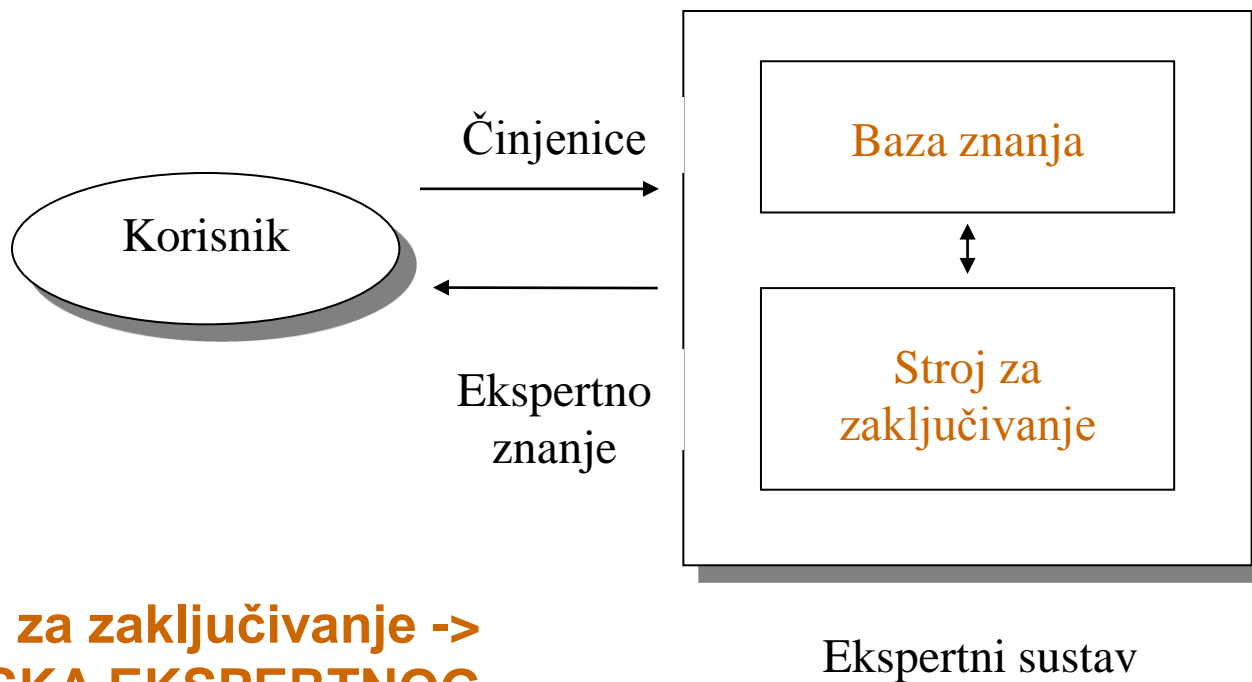
- **Ekspertni sustavi** čine granu AI koja koristi specijalizirano znanje iz neke problemske domene da bi riješila problem na razini ljudskog eksperta
- **Osnovna shema sustava temeljenog na znanju - ekspertnog sustava**



VAŽNO – odvajanje domenskog znanja od postupka zaključivanja!!!

Ekspertni sustav

3. TEMELJNA SHEMA SUSTAVA TEMELJENIH NA PRAVILIMA



Stroj za zaključivanje -> LJUSKA EKSPERTNOG SUSTAVA jest ekspertni sustav bez ugrađenih pravila

4. INSPIRACIJA – SPOZNAJNI PROCES

Začetak produkcijskih sustava:

- Ideja logičara E. Posta **1943.** – predložio produkcijska pravila u okviru formalne teorije računarstva. Snaga PP ekvivalentna Turingovom stroju: **produkcijski sustavi mogu se koristiti za sve rješive probleme**
- 1972. Rad «**Human problem Solving**», Newell i Simon, 920 stranica. Ljudska spoznaja može biti oblikovana ako onda pravilima. Jedno pravilo – granula znanja (engl. *chunk of knowledge*)

4. INSPIRACIJA – SPOZNAJNI PROCES

- Model ljudskog spoznajnog procesa se oponaša u prod. sustavu
- Osjeti stimuliraju mozak podražajima. Takvi podražaju aktiviraju znanje u našoj **dugotrajnoj memoriji** (u prod. sustavu to su ako – onda pravila)
- **Kratkotrajna memorija** – privremena pohrana znanja za vrijeme postupka zaključivanja – predstavlja broj «granula znanja» koje mogu biti simultano razmatrane - (pravila koja mogu biti istodobno aktivirana)

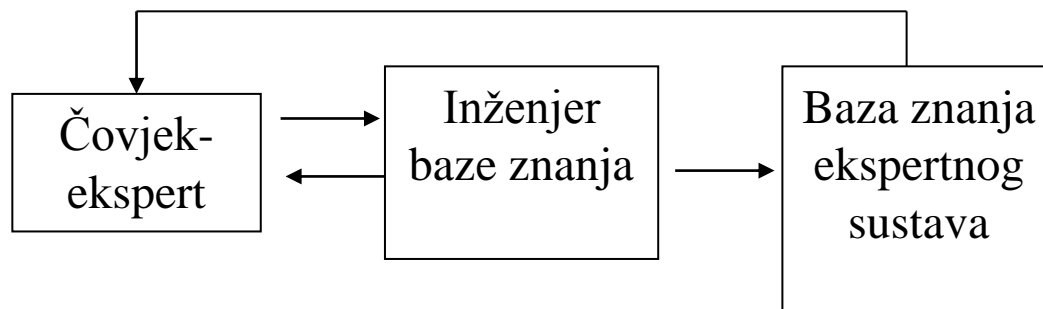
4. INSPIRACIJA – SPOZNAJNI PROCES

- **Spoznajni proces** - pronalazi pravila koja će biti aktivirana podražajima – (u prod. sustavu odgovara mu stroj za zaključivanje, on pronalazi pravila, rješava konflikte)
- Newell i Simon – postavili osnovni model modernih produkcijskih sustava
- 1970-tih široko prihvaćena paradigma sustava temeljenih na znanju

5. PRODUKCIJSKI SUSTAVI - NAZIVLJE

Sinonimi:

- Sustavi temeljeni na pravilima (engl. *rule based systems*)
- Produkcijski sustavi (engl. *production systems*),
- Ekspertni sustavi (engl. *expert systems*) (U klasičnom smislu to su sustavi koji sadrže znanje eksperta dobiveno tijekom niza razgovora **inženjera baze znanja s ekspertom**)



Ovaj postupak je “usko grlo” u izgradnji ekspertnog sustava

5. PRODUKCIJSKI SUSTAVI - NAZIVLJE

U širem se smislu upotrebljava se izraz:

- **Sustavi temeljeni na znanju** (engl. *knowledge based systems*)

Nije takav stav o terminima jedinstven:

- “*AI sustavi koji poduprti kvantumom znanja dosežu nivo visoke stručnosti (ekspertnosti) u rješavanju problema nazivaju se **sustavi temeljeni na znanju ili ekspertni sustavi**. Izraz ekspertni sustavi rezervirana 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*”

*Edward Feigenbaum,
Stanford University, 1988*

6. Područja primjene

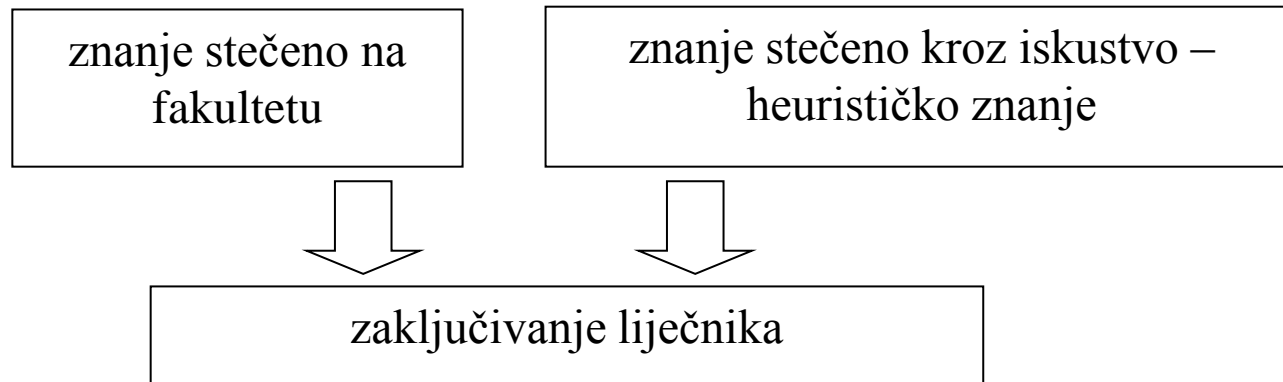
- **Produkcijski sustavi - alternativa konvencionalnom algoritamskom programiranju**

Područja primjene ekspertnih sustava:

- različiti tipovi **medicinskih dijagnoza** (interna medicina, pulmologija, infektivne bolesti, itd.)
- **dijagnoze stanja složenih** elektroničkih i elektromehaničkih **uređaja**
- mnogobrojne primjene u **pravnim sustavima** (npr. planiranje prihoda i imovine u svrhu minimalnih poreza)
- primjene u **financijama i bankarstvu** (npr. evaluacija kreditne sposobnosti tvrtke ili pojedinca)

6. Područja primjene

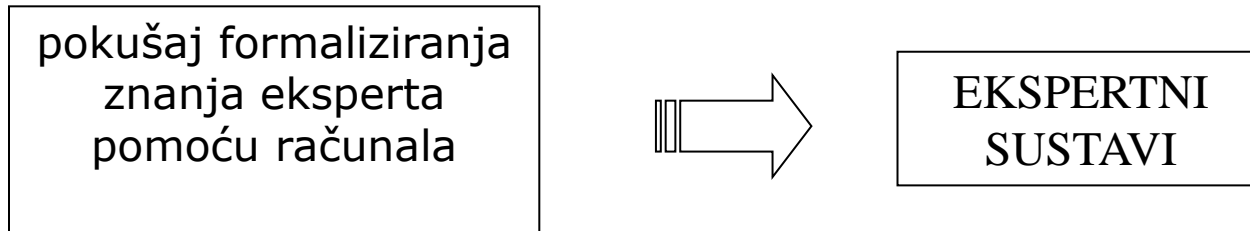
- Primjer područja primjene: medicina
- Postavljanje dijagnoze i određivanje terapije na temelju simptoma



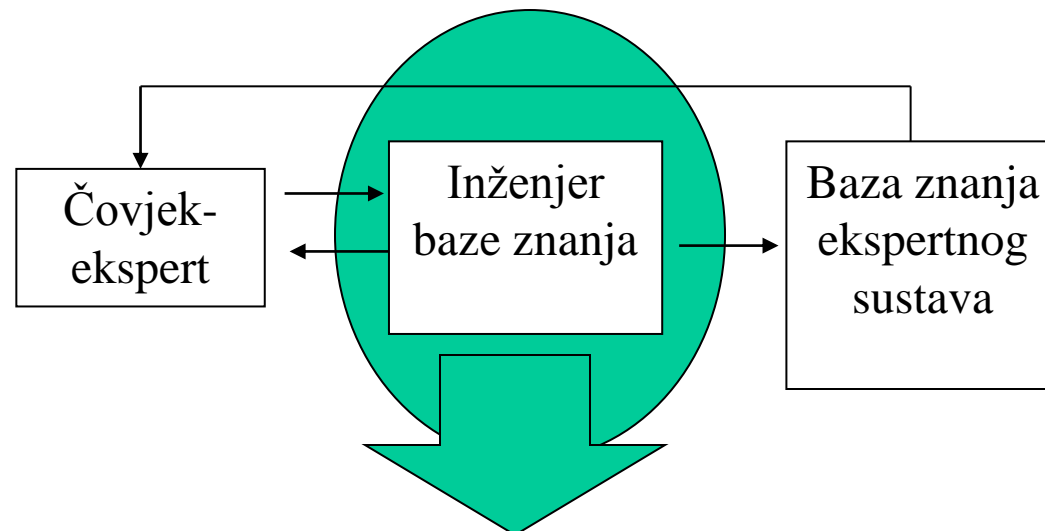
Znanje eksperta – ljudsko znanje:

- čovjek – ekspert, stručnjak
- utjecaj umora ili emocija na stručnu procjenu
- vijek trajanja znanja ograničen

7. Izgradnja sustava



- Posebna (ekspertna) znanja prikupljena i organizirana za posebnu (usko stručnu) namjensku uporabu



- Ovaj korak može biti automatiziran

8. Primjeri ranih ES

Primjeri ranih uspješnih ekspertnih sustava:

- **DENDRAL** –otkrivanje molekularne strukture tvari na temelju spektrometrije.
- **MYCIN** – dijagnosticiranje infektivnih krvnih bolesti
- **PROSPECTOR** – procjenjivanje postojanja rudača na temelju zemljopisnih karakteristika
- **XCON/R1 – DEC** sustav za izbor komponenata za oblikovanje kompleksnih računalnih sustava

9. PRODUKCIJSKI SUSTAVI

Ekspertni sustavi – prednosti:

- **izgrađeni na temelju znanja više eksperata** - repozitorij ekspertnog znanja za neko područje
- **mogu se umnožiti i biti u širokoj uporabi**

Sustavi temeljeni na pravilima temeljeni su na:

- **produkcijским pravilima** (engl. *production rules*, *prodrules*)

Ako **onda**

uvjet, stanje
(engl. *condition*)
premissa, antecedens

akcija, posljedica
(engl. *action*)
zaključak, konsekvens

9.PRODUKCIJSKI SUSTAVI

- **Ako** pada kiša **onda** ponesi kišobran
- **Ako** se motor automobila ne može upaliti i nema svjetla
onda je problem u akumulatoru ili u kablovima
- **Ako** je pacijent kronično lošeg općeg stanja i spol pacijenta je ženski i godine starosti < 30 i pacijent ima simptom A i biokemijski test pokazuje vrijednost C
- **onda** je dijagnoza autoimuni kronični hepatitis

uvjet-akcija

premissa -
zaključak

9. PRODUKCIJSKI SUSTAVI

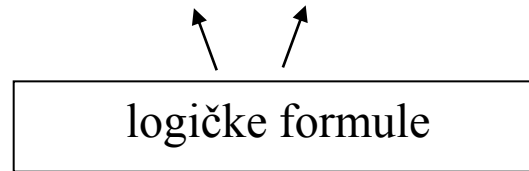
- **Ako** je Ivan student FER-a u Zagrebu **onda** je Ivan student zagrebačkog Sveučilišta

stanje-
posljedica

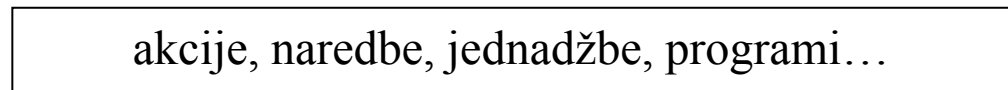
Sustavi temeljeni na pravilima vrlo su često korišteni jer se većina ljudskog znanja može izraziti produkcijskim pravilima (ako-onda).

10. PRODUKCIJSKI SUSTAVI - LOGIKA

- U logici: implikacija $A \rightarrow B$ (Ako vrijedi A onda vrijedi B)



- U produkcijskim pravilima: **Ako A onda B**

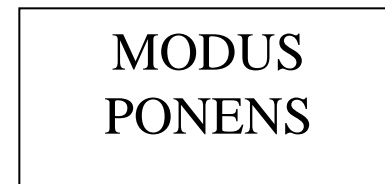


- Produkcijski sustavi su kombinacija **dviju vrsti znanja**:

[1] **činjeničnog** (A je istinito) **A**

[2] **uvjetnog** (vrijedi pravilo) **A** \rightarrow **B**

(B je istinito) **B**



11. Definicija PRODUKCIJSKOG SUSTAVA

Definicija - **PRODUKCIJSKI SUSTAV** definiran je sa:

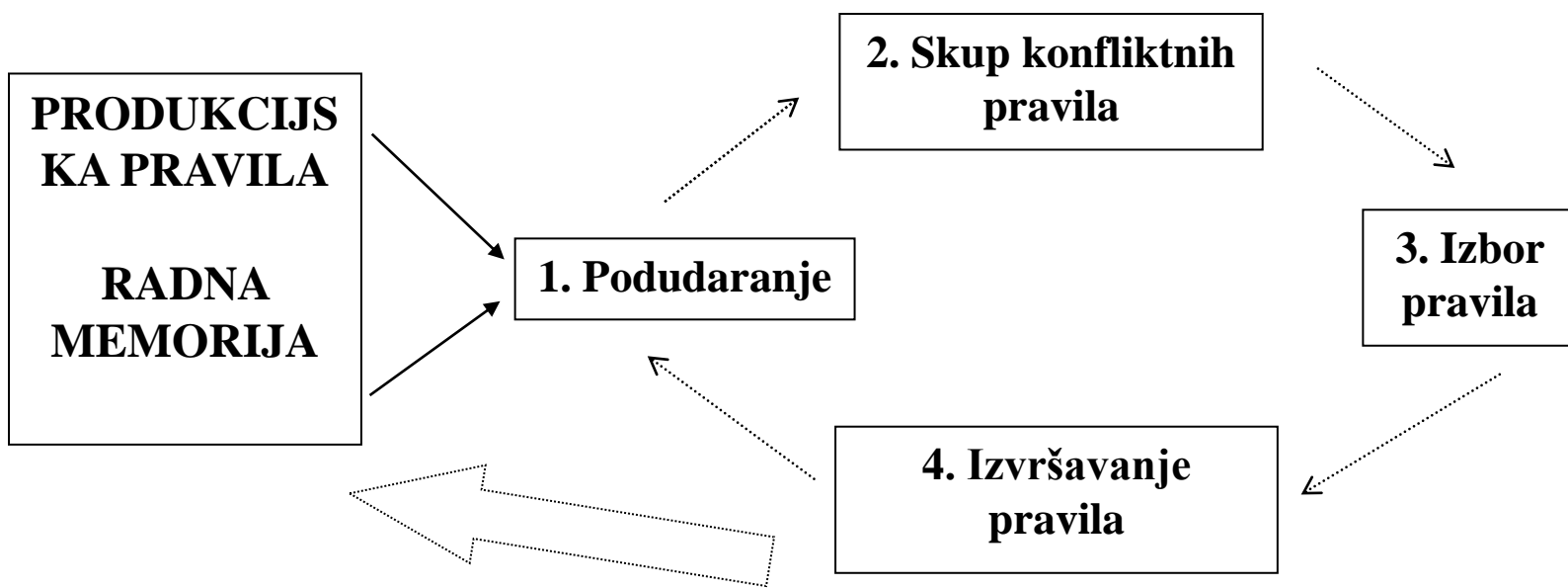
1. **SKUPOM PRODUKCIJSKIH PRAVILA** } [2]
 2. **RADNOM MEMORIJOM** (baza činjenica } [1]
 3. **CIKLUSOM PODUDARANJE-DJELOVANJE**
- koja sadrži opis tekućeg stanja svijeta u postupku zaključivanja)
- BAZA ZNANJA

To je upravljački mehanizam koji se sastoji od slijeda akcija: podudaranje uzoraka (engl. *pattern matching*) – izbor pravila rješavanjem konflikata - izvršavanje pravila

- U užem smislu se naziv **baza znanja** (engl. *knowledge base*) -> produkcijskih pravila.
Baza znanja kaže se i baza pravila (engl. *rule base*).

12. SHEMA RADA PRODUKCIJSKOG SUSTAVA

- Shema rada produkcijskog sustava



*dodavanje novih
činjenica i pravila*

12. SHEMA RADA PRODUKCIJSKOG SUSTAVA

Opis produkcijskog sustava

1. **SKUP PRODUKCIJSKIH PRAVILA** –
1 PP (još se naziva *uvjet-akcija* par) -> 1 djelić znanja iz problemske domene.
2. **RADNA MEMORIJA** sadrži skup činjenica.
Činjenice (uzorci) iz RM -> trenutno stanje u postupku rješavanja problema.

12. SHEMA RADA PRODUKCIJSKOG SUSTAVA

3. CIKLUS PODUDARANJE-DJELOVANJE – je **upravljačka struktura produkcijskog sustava.**

Uzorci iz radne memorije uspoređuju se s uvjetnim dijelovima pravila iz baze pravila.

Kada se uvjetni dio nekog pravila **podudara** s uzorcima iz radne memorije, onda je to pravilo omogućeno i ono se izdvaja u **skup konfliktnih pravila.**

Na početku ciklusa raspoznavanja konfliktni skup je prazan.

12. SHEMA RADA PRODUKCIJSKOG SUSTAVA

Nakon postupka podudaranja konfliktni skup može sadržavati jedno ili više omogućenih pravila.

Ako je skup konfliktnih pravila prazan onda je postupak završen,

Ako ima više omogućenih pravila izabire se JEDNO pravilo koje se izvršava, tj. koje pali.

Odabir pravila koje pali naziva se **razrješavanje konflikata**. Paljenje pravila znači izvršavanje desnog dijela odabranog pravila koje mijenja sadržaj radne memorije.

Nakon paljenja pravila upravljački ciklus ponavlja se s promijenjenim sadržajem radne memorije

12. SHEMA RADA PRODUKCIJSKOG SUSTAVA

- **Razrješavanje konflikata** može biti jednostavno – npr. pali se prvo omogućeno pravilo, ali može biti i složeno, tj. može uključivati heuristiku za izbor pravila koje pali
- *Napomena:* Kada se neko produkcijsko **pravilo izvršava** još se kaže da **pravilo pali**

Primjer

- Jednostavan produkcijski sustav za sortiranje stringova koji se sastoje od slova **a**, **b** i **c**

SKUP PRODUKCIJSKIH PRAVILA:

1. **ba** → **ab**
2. **ca** → **ac**
3. **cb** → **bc**

Primjer

1. $ba \rightarrow ab$
2. $ca \rightarrow ac$
3. $cb \rightarrow bc$

Iteracija br.	RADNA MEMORIJA	Podudaranje	Skup konfliktnih pravila	Izbor pravila koje pali
0	cbaca		3, 1, 2	1
1	cabca		2	2
2	acbca		3, 2	2
3	acbac		1, 3	1
4	acabc		2	2
5	aacbc		3	3
6	aabcc		\emptyset	Stop

1. Produkcijsko pravilo je u konfliktnom skupu ako se uvjetni dio pravila podudara sa stringom u radnoj memoriji
2. Pravilo koje pali bira se prema prioritetu (redni broj pravila)
3. Paljenjem pravila, podniz u radnoj memoriji koji se podudara s podnizom iz uvjetnog dijela pravila zamijenjen je podstringom desnog dijela pravila

Napomena

- Ako je produkcijsko pravilo u konfliktnom skupu kaže se da je **omogućeno**

13. Dodavanje novog znanja

Dodavanje novog znanja u postojeću bazu znanja

Primjer:

- **Pravila**

[Pravilo 1] **Ako** je temperatura iznad 30°C
onda vrijeme je vruće

[Pravilo 2] **Ako** je relativna vlažnost veća od 65%
onda atmosfera je vlažna

[Pravilo 3] **Ako** je vrijeme vruće i atmosfera vlažna
onda postoji vjerojatnost oluje

Činjenice

- Temperatura je 35°C → Temperatura iznad 30°C
Vlaga je 70% → Relativna vlažnost veća od 65%

Nova činjenica

- Postoji vjerojatnost oluje

13. Dodavanje novog znanja

Produkcijski sustavi:

- 1) su nemonotoni (engl. *nonmonotonic*)
- 2) prihvaćaju određen stupanj netočnosti

MONOTONA LOGIKA (propozicijska logika i FOPL)

- Zaključci dobiveni valjanim zaključivanjem ostaju valjani. Pridodavanjem novog znanja (činjenica) povećava se količina znanja dok valjanost starog znanja ostaje ista

NEMONOTONA LOGIKA

- Nove činjenice koje se pridodaju bazi znanja mogu biti u kontradikciji s postojećim znanjem. Time se obezvređuje staro znanje

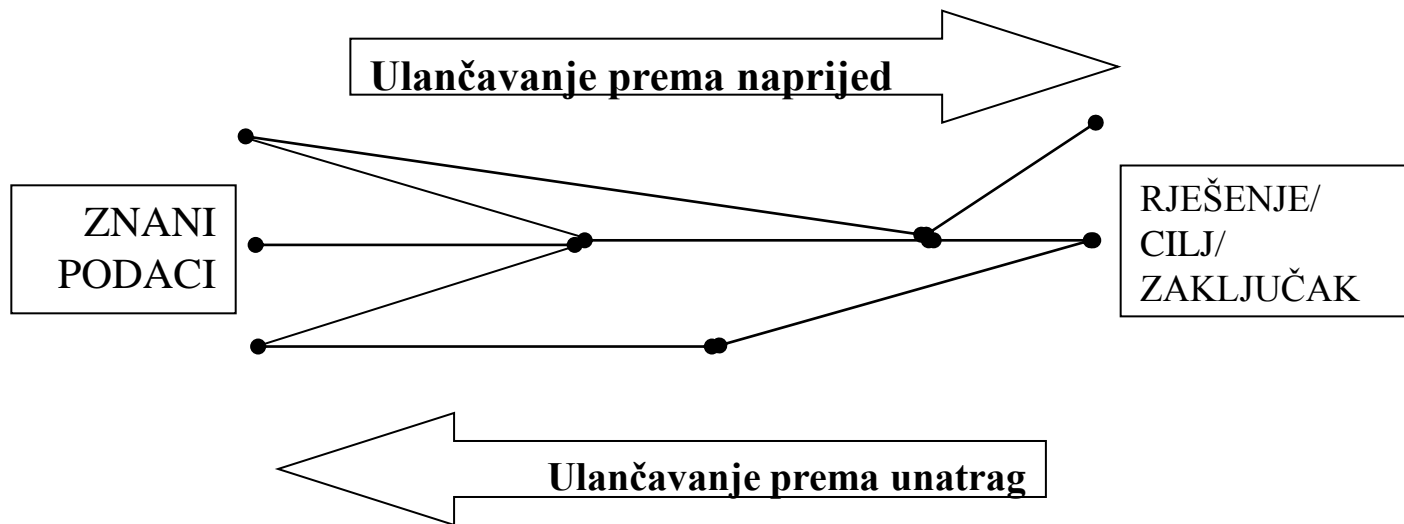
13. Dodavanje novog znanja

Primjer

- Pretpostavimo da se baza znanja sastoji od
 - P
 - $P \rightarrow Q$
- Pomoću modus ponensa zaključujemo Q .
- Taj se zaključak dodaje bazi znanja.
- Sada pretpostavimo da je u kasnijem postupku djelovanja sustava uvedena činjenica $\sim P$.
- Pri dodavanju takve činjenice bazi znanja potrebno je ukloniti P i Q .
- Tu funkciju obavlja sustav za održavanje istinitosti – TMS (engl. *Truth Maintenance System*)

14. PROCES ZAKLJUČIVANJA U SUSTAVU TEMELJENOM NA PRAVILIMA

- Niz sastavljen od višestrukih zaključaka koji povezuju dani početni opis problema s rješenjem naziva se **LANAC**



- Postupak zaključivanja, tj. automatsko napredovanje kroz lanac, naziva se **ulančavanje**

14. PROCES ZAKLJUČIVANJA U SUSTAVU TEMELJENOM NA PRAVILIMA

Postoje dva glavna načina napredovanja prema zaključcima:

1. ULANČAVANJE PRAVILA PREMA NAPRIJED

- započinjanje sa znanim podacima i napredovanje prema zaključku
(*engl. forward chaining (forchaining), data driven processing, event driven, bottom-up, antecedent, pattern directed processing* ⇔ *reasoning*)

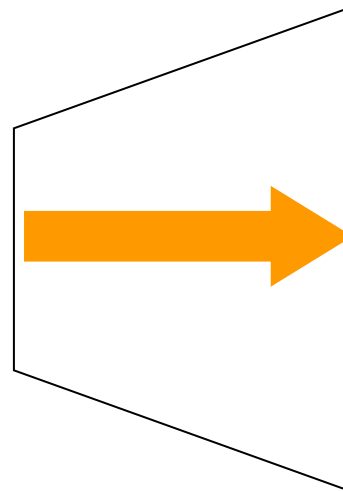
2. ULANČAVANJE PRAVILA UNATRAG

- izbor mogućeg zaključka (hipoteza) i pokušaj dokazivanja valjanosti hipoteze traženjem valjanih potpora (dokaza, *engl. evidence*).
(*engl. backward chaining (backchaining), goal driven processing, goal driven, top-down, consequent, expectation driven processing*)

14. PROCES ZAKLJUČIVANJA U SUSTAVU TEMELJENOM NA PRAVILIMA

- **Ulančavanje prema naprijed** - kada ima malo podataka i puno mogućih rješenja
(za problemske domene koje uključuju sintezu: za dizajniranje, planiranje, raspoređivanje, za nadzor i dijagnostiku sustava za rad u stvarnim vremenu)

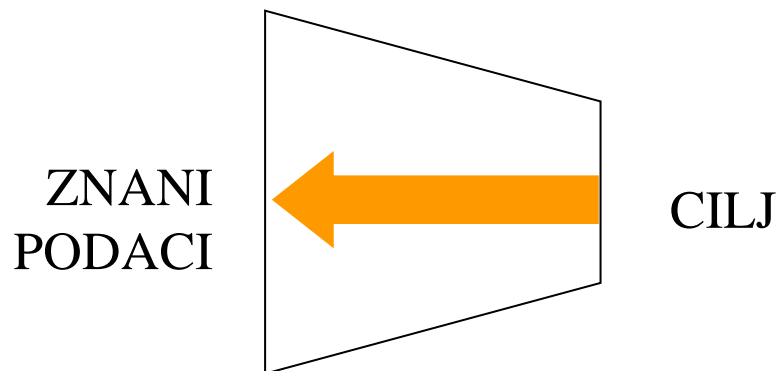
ZNANI
PODACI



CILJ

14. PROCES ZAKLJUČIVANJA U SUSTAVU TEMELJENOM NA PRAVILIMA

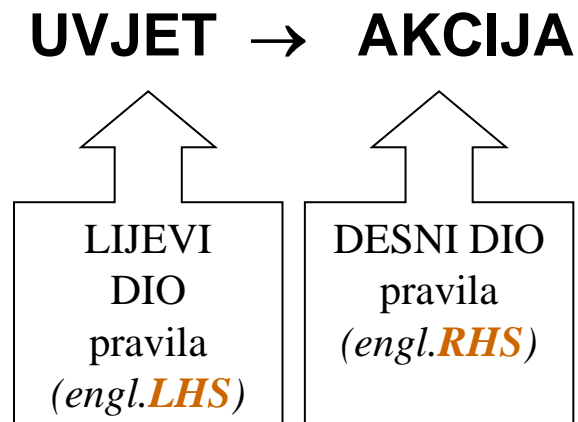
- **Ulančavanje unatrag** razuman je izbor kada je malo mogućih zaključaka/ciljeva i puno znanih podataka. (Za probleme dijagnosticiranja, klasificiranja)



- Izbor metode zaključivanja ovisi o osobinama problemske domene i o načinu zaključivanja eksperta
- Moguće je implementirati i **obostrano** (bidirekcionalno) zaključivanje

14. PROCES ZAKLJUČIVANJA U SUSTAVU TEMELJENOM NA PRAVILIMA

- **Produkcijsko pravilo:**



15. ULANČAVANJE PREMA NAPRIJED

- Zaključivanje prema naprijed započinje znanim podacima, inicijalnim **opisom problema** (npr. skupom logičkih aksioma, simptomima bolesti, podacima koji trebaju biti protumačeni itd.) koji je pohranjen u radnoj memoriji.
- Provjerava se svako pravilo da li dani podaci zadovoljavaju premise pravila. Ako je pravilo zadovoljeno, ono može biti izvršeno, i izvedeni su novi podaci koji mogu biti korišteni za zadovoljavanje drugih pravila. Postupak provjere naziva se interpretacija pravila.

Nazivi:

- postupak interpretacije pravila \equiv zaključivanje prema naprijed \equiv ulančavanje prema naprijed

15. ULANČAVANJE PREMA NAPRIJED

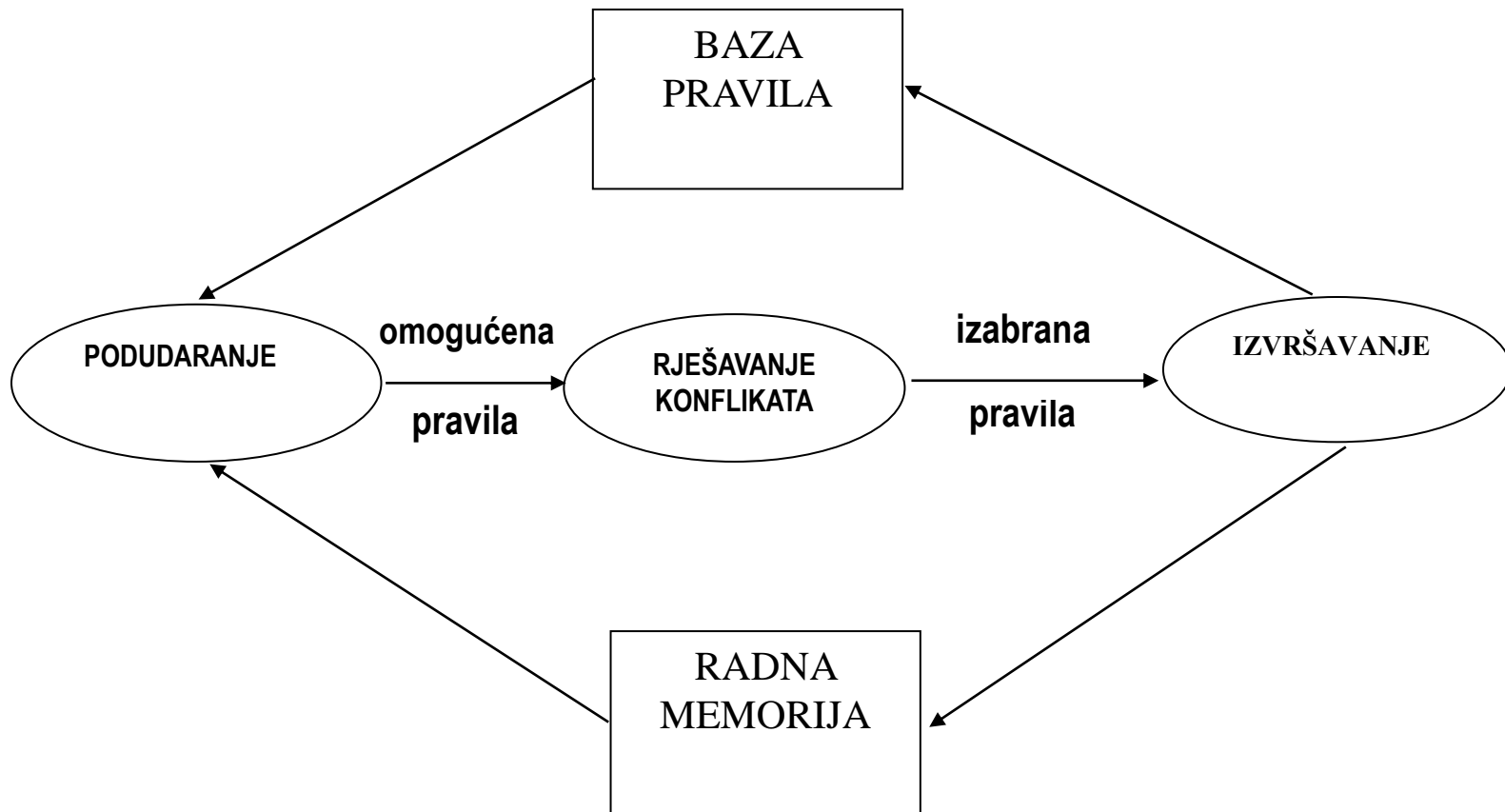
STROJ ZA ZAKLJUČIVANJE (engl. *inference engine*) je upravljački mehanizam koji u postupku ulančavanja prema naprijed izvodi sljedeće korake:

1. **Podudaranje** - upravljački ciklus započinje podudaranjem stanja u radnoj memoriji s **LIJEVIM** dijelom produkcijskog pravila
2. **Razrješavanje konflikata** – ako je tijekom podudaranja nađeno više pravila koja su omogućena – izabire se pravilo najvećeg prioriteta

15. ULANČAVANJE PREMA NAPRIJED

3. **Izvršavanje** (paljenje) pravila – izvršavanje desnog dijela (akcija) produkcijskog pravila rezultira:
- novom činjenicom koja je dodana u radnu memoriju (novo tekuće stanje svijeta, ili engl. *current state of the world*), ili
 - novim pravilom koje je dodano u bazu znanja i može biti razmatrano za izvršavanje u sljedećim ciklusima

15. ULANČAVANJE PREMA NAPRIJED



15. ULANČAVANJE PREMA NAPRIJED

Primjer

- Baza pravila za određivanje vrsta voća
- Parametri (tj. varijable) i njihove vrijednosti su:

Oblik:	izdužen	Promjer:	> 10 cm
	okrugli		< 10 cm
	zaoblen	Vrsta_voćke:	loza
Površina:	glatka		stablo
	hrapava	Voće:	banana
Boja:	zelena		lubenica
	žuta		dinja
	žuto-smeđa		kanalupe
	crvena		jabuka
	plava		marelica
	narančasta		višnja
Broj_sjemenki	> 1		breskva
	= 1		šljiva
Vrsta_sjemenke	višestruke		naranča
	koštunjasta		

15. ULANČAVANJE PREMA NAPRIJED

PRAVILA

1	AKO	Oblik = izdužen & Boja = zelena ili žuta
	ONDA	Voće = banana
2	AKO	Oblik = okrugli ili zaobljen & Promjer > 10 cm
	ONDA	Vrsta_voće = loza
3	AKO	Oblik = okrugli & Promjer < 10 cm
	ONDA	Vrsta_voće = stablo
4	AKO	Broj_sjemenki = 1
	ONDA	Vrsta_sjemenke = koštunjasta
5	AKO	Broj_sjemenki > 1
	ONDA	Vrsta_sjemenke = višestruke
6	AKO	Vrsta_voće = loza & Boja = zelena
	ONDA	Voće = lubenica

15. ULANČAVANJE PREMA NAPRIJED

7	AKO	Vrsta_vočke = loza & Površina = glatka & Boja = žuta
	ONDA	Voće = dinja
8	AKO	Vrsta_vočke = loza & Površina = hrapava & Boja = žuto-smeđa
	ONDA	Voće = kantalupe
9	AKO	Vrsta_vočke = stablo & Boja = narančasta & Vrsta_sjemenke = koštunjasta
	ONDA	Voće = marelica
10	AKO	Vrsta_vočke = stablo & Boja = narančasta & Vrsta_sjemenke = višestruke
	ONDA	Voće = naranča
11	AKO	Vrsta_vočke = stablo & Boja = crvena & Vrsta_sjemenke = koštunjasta
	ONDA	Voće = višnja
12	AKO	Vrsta_vočke = stablo & Boja = narančasta & Vrsta_sjemenke = koštunjasta
	ONDA	Voće = breskva
13	AKO	Vrsta_vočke = stablo & Boja = žuta ili zelena ili crvena & Vrsta_sjemenke = višestruke
	ONDA	Voće = jabuka
14	AKO	Vrsta_vočke = stablo & Boja = plava & Vrsta_sjemenke = koštunjasta
	ONDA	Voće = šljiva



15. ULANČAVANJE PREMA NAPRIJED

- **Znani podaci:** Promjer = 2 cm
Oblik = okrugli
Broj_sjemenki = 1
Boja = crvena

Strategija izbora pravila: pravilo s najmanjim brojem

	<i>Radna memorija</i>	<i>Skup konfliktnih pravila</i>	<i>Pravilo koje pali</i>
0	Promjer = 2 cm Oblik = okrugli Broj_sjemenki = 1 Boja = crvena	3,4	3
1	Vrsta_voćke: stablo	3, 4	4
2	Vrsta_sjemenke=koštunj asta	3, 4, 11	11
3	Voće = višnja	3, 4, 11	STOP

18. ULANČAVANJE PRAVILA UNATRAG

Ulančavanje unatrag

- bitno se razlikuje od ulančavanja unaprijed iako oba načina zaključivanja ispituju i primjenjuju pravila
- **započinje sa željenim ciljem (hipoteza)** i ispituje se da li postojeće činjenice podržavaju izvođenje vrijednosti za taj zaključak
- Sistem **započinje praznom bazom činjenica**. Zadaje se lista ciljeva za koju sustav pokušava izvesti vrijednosti

18. ULANČAVANJE PRAVILA UNATRAG

Koraci:

1. Oblikuj stog inicijalno sastavljen od najvažnijih ciljeva (hipoteza) koje treba dokazati
2. Na vrhu stoga je hipoteza koju treba dokazati. Ako je stog prazan, onda je KRAJ
3. Izdvoji **sva** pravila koja mogu zadovoljavati dani cilj (tj. izdvoji sva pravila čija se DESNA strana podudara s ciljem)

18. ULANČAVANJE PRAVILA UNATRAG

4. Za svako od tih pravila učini redom:

a) **Ako** su **sve premise pravila zadovoljene** (svaki parametar premise ima vrijednost sadržanu u radnoj memoriji)

tada izvrši pravilo, tj. DESNU stranu tog pravila, tj. dodaj zaključke u radnu memoriju. Ne razmatraj više pravila za taj cilj - vrijednost cilja upravo je izvedena paljenjem tog pravila.

Ako je cilj bio vršni cilj **tada** ukloni cilj sa stoga & vrati se na korak 2.

Ako je cilj bio međucilj **tada** ukloni cilj sa stoga & vrati se privremeno suspendiranom cilju

18. ULANČAVANJE PRAVILA UNATRAG

- b) **Ako** se vrijednost parametra nađena u memoriji ne podudara sa vrijednošću parametra premise **onda** ne izvršavaj to pravilo
- c) **Ako** premise pravila nisu zadovoljene zato jer jedna od parametarskih vrijednosti te premise nije u radnoj memoriji, **tada** potraži **pravilo** čija **desna strana izvodi vrijednost tog parametra**.
Ako barem jedno takvo pravilo postoji **tada** odredi taj parametar kao podcilj, tj.
postavi taj parametar na vrh stoga & idi na korak 2

18. ULANČAVANJE PRAVILA UNATRAG

- d) **Ako** korak (c) ne može naći pravilo koje izvodi potrebnu vrijednost tekućeg parametra
tada pitaj korisnika za tu vrijednost parametra & dodaj vrijednost u radnu memoriju.
Idi na korak 4a i razmatraj sljedeću premisu tekućeg pravila

- 5. **Ako** su sva pravila koja mogu zadovoljavati tekući cilj provjerena i ako ni jedno nije uspjelo izvesti vrijednost cilja
tada cilj ostaje neodređen. Makni cilj sa stoga i prijeđi na korak 2

18. ULANČAVANJE PRAVILA UNATRAG

Primjer ulančavanja unatrag

- Neka je naša početna hipoteza da se radi o komadu voća
- **hipoteza = (voće)**. Imajući na umu da se radi o višnji - slijedimo sada rad sustava ulančavanjem unatrag, da bi vidjeli je li moguće izvesti da je voće višnja
- U drugom koraku izdvajamo SVA pravila koja izvode vrijednost za voće

18. ULANČAVANJE PRAVILA UNATRAG

Cilj (stog)	RADNA MEMORIJA		KONFLIKTNI SKUP	parametar koji se provjerava
(voće)			1,6,7,8,9,10,11,12,13,14	oblik nije u RM i nije na RHS od nekog pravila - ?oblik?
(voće)	oblik = okrugli	(R1)	6,7,8,9,10,11,12,13,14	vrsta_vočke -RHS od pravila 2 i 3
(vrsta_vočke je trenutni cilj; cilj voće je privremeno suspendiran)			2,3,6,7,8,9,10,11,12,13,14	oblik - nalazi se u RM - OK promjer - nije u RM i nije na RHS ni jednog pravila ?promjer?
(vrsta_vočke voće)	promjer < 10 cm	(R2)	3-PALI, 6,7,8,9,10,11,12,13,14	obje premise od R3 su u RM
(voće)	vrsta_vočke= stablo		6,7,8,9,10,11,12,13,14	prva premisa od R6 nije zadovoljena
(voće)		(R6)	7,8,9,10,11, 12,13,14	prva premisa od R7 nije zadovoljena
(voće)		(R7)	8,9,10,11, 12,13,14	prva premisa od R8 nije zadovoljena

18. ULANČAVANJE PRAVILA UNATRAG

(voće)		(R8)	9,10,11,12,13,14	vrsta_voće je u RM; 2. premisa nije RM i nije na RHS od ni jednog pravila ? boja ?
(voće)	boja = crvena	(R9)	10,11, 12,13,14	druga premisa od R10 nije zadovoljena
(voće)		(R10)	11, 12,13,14	
....
(voće)			11 - PALI	voće=višnja

? ... ? – upit korisniku. Sva uklonjena pravila sa vrha stoga za koje ne piše da pale nisu bila zadovoljena. Ulančavanje ide unatrag sve dok se desni dio pravila pojavljuje u nekom drugom pravilu na lijevoj strani

19. PRIMJER ULANČAVANJA PREMA NAPRIJED

Skup produkcijskih pravila:

1. $p \wedge q \rightarrow \text{cilj}$
 2. $r \wedge s \rightarrow p$
 3. $w \wedge r \rightarrow q$
 4. $t \wedge u \rightarrow q$
 5. $v \rightarrow s$
 6. $\text{početak} \rightarrow v \wedge r \wedge q$
- **Strategija rješavanja konflikata:** odaberi pravilo iz skupa konfliktnih pravila koje je prvo palilo ili nije uopće

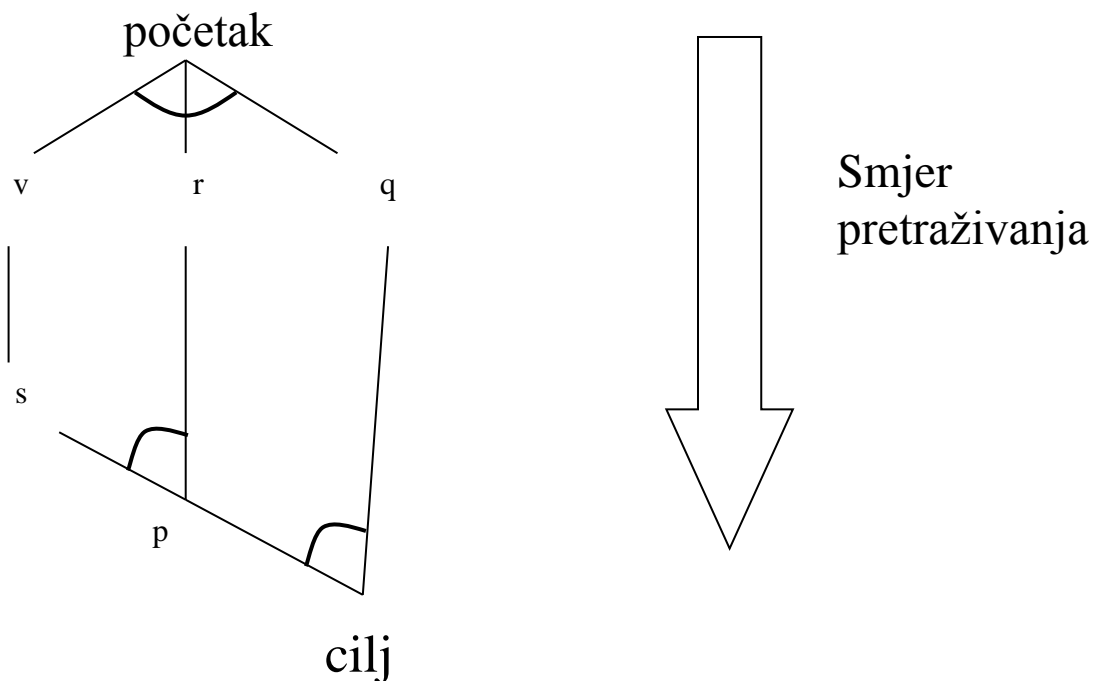
19. PRIMJER ULANČAVANJA PREMA NAPRIJED

- Izvršavanje

	Radna memorija	Skup konfliktnih pravila	Pravilo koje pali
0	<i>Početak</i>	6	6
1	<i>početak, v, r, q</i>	6,5	5
2	<i>početak, v, r, q, s</i>	6,5,2	2
3	<i>početak v, r, q, s ,p</i>	6,5,2,1	1
4	<i>početak v, r, q, s ,p cilj</i>	6,5,2,1	STOP

19. PRIMJER ULANČAVANJA PREMA NAPRIJED

- Prostor koji se pretražuje izvršavanjem



20. PRIMJER ULANČAVANJA PREMA NATRAG

Skup produkcijskih pravila

1. $p \wedge q \rightarrow \text{cilj}$
2. $r \wedge s \rightarrow p$
3. $w \wedge r \rightarrow q$
4. $t \wedge u \rightarrow q$
5. $v \rightarrow s$
6. $\text{početak} \rightarrow v \wedge r \wedge q$

20. PRIMJER ULANČAVANJA PREMA NATRAG

1. $p \wedge q \rightarrow \text{cilj}$

2. $r \wedge s \rightarrow p$

3. $w \wedge r \rightarrow q$

4. $t \wedge u \rightarrow q$

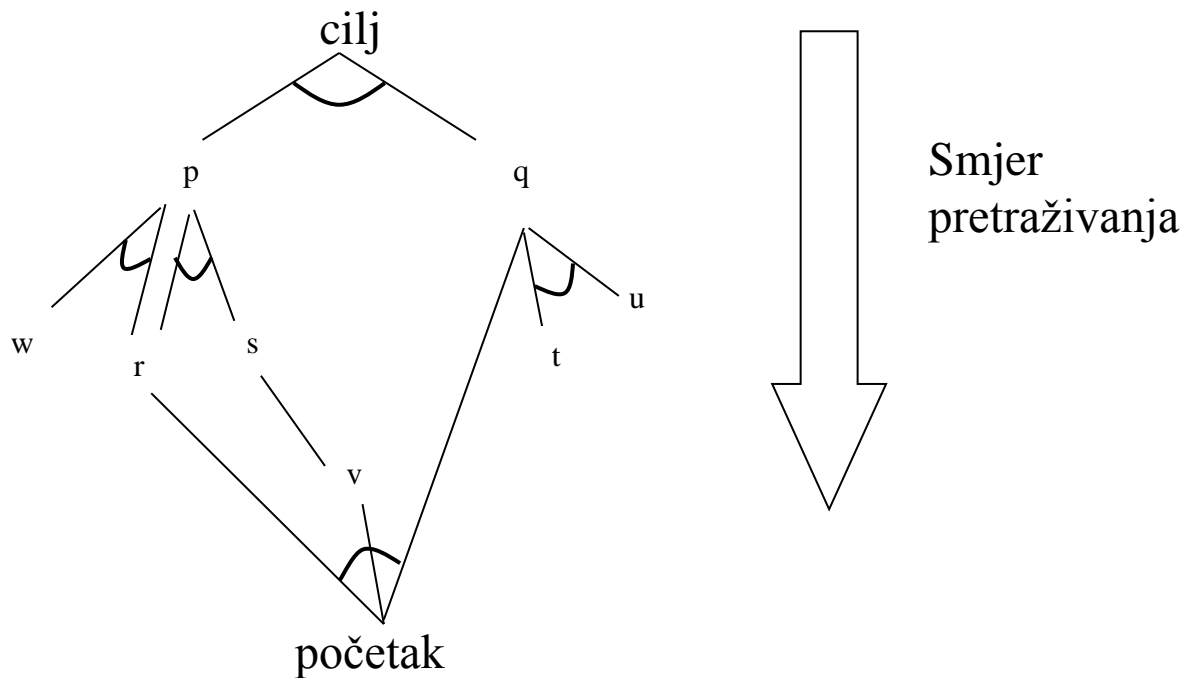
5. $v \rightarrow s$

6. $\text{početak} \rightarrow v \wedge r \wedge q$

CILJ (STOG)	RADNA MEMORIJA	SKUP KONFLIKTNIH PRAVILA	Parametar koji se provjerava
<i>cilj</i>		1	p-nije u RM
<i>p, cilj</i>		2	r-nije u RM
<i>r, p, cilj</i>	<i>početak</i>	6 - PALI	? <i>početak</i> ?
<i>p, cilj</i>	<i>početak, v, r, q</i>	2	r je u RM, s nije
<i>s, p, cilj</i>	<i>početak, v, r, q</i>	5 - PALI	v je u RM
<i>p, cilj</i>	<i>početak, v, r, q, s</i>	2 - PALI	r, s - u RM
<i>cilj</i>	<i>početak, v, r, q, s, p</i>	1 - PALI	p, q u RM
	<i>početak, v, r, q, s, p, cilj</i>	STOP	

20. PRIMJER ULANČAVANJA PREMA NATRAG

- Prostor koji se pretražuje izvršavanjem



Pri **ulančavanju unatrag** sustav traži potporu (dokaze) za cilj i podciljeve. Takvo je pretraživanje pogodno za klasifikaciju i dijagnostiku

ulančavanje unatrag – pretraživanje u dubinu
(*engl. depth first search*)

ulančavanje prema naprijed – pretraživanje u širinu
(*engl. breadth first search*)

- MYCIN (Shortliffe, 1976) – primjer ulančavanja unatrag
- XCON/R1 (MCDermott, DEC, 1978) – primjer ulančavanja prema naprijed

Jackson, P., *Introduction to Expert Systems – 3rd Ed.*, Addison-Wesley, 1999.

Giarratano, J., *Expert Systems: Principals and Programming*, PSW-Kent, 1989.

Primjeri ES i Ijuski ES-a

<http://www.zemris.fer.hr/predmeti/is/StudentskiRadovi.html>

Download Jess:

<http://herzberg.ca.sandia.gov/jess/index.shtml>

CLIPS Expert System Shell

<http://www.ghg.net/clips/CLIPS.html>

FuzzyJ Website

http://www.iit.nrc.ca/IR_public/fuzzy/fuzzyJToolkit2.html

