

Ekspertni sastav — dijagnostika kvarova brodskih diesel motora

UDK 681.3.06:621.436.004.64

Sažetak

Potpuno automatizirani brodovi današnjice, a pogotovo sutrašnjice, su opremljeni sustavima elektroničkih računala, u čijoj cijeni hardware čini 20%, a 80% odnosi na razvoj, instaliranje i primjenu novih aplikacijskih software-a. Tu se ne mogu zaobići ni najnovije primjene umjetne inteligencije u vidu ekspertnih sustava, koji su u određenim slučajevima kvalitetan nadomjestak ljudskim ekspertima.

U radu se opisuje razvoj i primjena jednog ekspertnog sustava za dijagnosticiranje kvarova brodskog diesel motora. Najprije je iznesen kratak prikaz općih karakteristika ekspertnih sustava, njihova struktura i postupak izgradnje. Dijagnostički ekspertni sustav se temelji na eksperimentalnim podacima dobivenim mjerenjem općeg stanja stroja i kontinuiranim praćenjem njegova rada. Tako se formira datoteka kvarova uz uvođenje teoretskih i praktičkih znanja stručnjaka, što sačinjava prototip sustava „utemeljenog na pravilima“. U daljnjim fazama razvoja kreira se baza znanja, kao temeljni element ekspertnog sustava.

Umjetna inteligencija može integrirati pravila dijagnosticiranja i donositi odluke, kako u svrhu preventivnog održavanja, tako i u svrhu otklanjanja kvarova. Ekspertni sustavi će postati nezaobilazni sudionici u korištenju i upravljanju sveukupnog brodskog sustava.

Summary

The present day fully automatic ships, especially the ones of tomorrow, are equipped with the electronic computer systems where the price of hardware is 20% and 80% refers to the development, installation and employment of new application softwares. The latest applications of artificial intelligence in the form of expert systems cannot be neglected, being in some appropriate cases an efficient substitute for human experts.

The paper deals with the development and application of an expert system for fault diagnostics of marine diesel engines. A short review of general characteristics of expert systems, their structure and design procedure have been represented at the beginning. The diagnostics expert system is based upon experimental data resulted from calculating the general engine condition and by continual attendance of its operation. Thus a fault file is formed with the introduction of theoretical and practical knowledges of experts, making a prototype system „based on the rules“. The base of knowledge is being created in further phases of development as the essential element of the expert system. Artificial intelligence may integrate the diagnosing principles and make decisions for preventive maintenance purposes and for eliminating faults as well. The expert systems will become inevitable participants in the use and operation of the whole marine system.

— 0 —

Od samih početaka razvoja tehnologije elektroničkih računala nastoji se usaditi „inteligencija“ u njihovo djelovanje. Takva nastojanja su dovela do pojave posebne grane računarske znanosti, koja je danas općenito poznata pod nazivom **umjetna inteligencija**. Aplikacije umjetne inteligencije rješavaju mnoge probleme, koji se ne daju riješiti konvencionalnim računarskim metodama, kao što su problemi robotike, razumijevanja govornih jezika i sl. Glavne industrijske aplikacije umjetne inteligencije utemeljene su na inženjerskom znanju, odnosno, na **ekspertnim sustavima**. Ekspertni sustav sačinjavaju programi elektroničkog računala, koji se koriste za uskladištenje znanja i iskustva stručnjaka za određeno područje, koje se onda može upotrebiti za rješavanje složenih problema na isti način kako bi to učinio stručnjak. Ovaj oblik software-a omogućuje računalu da umjesto dosadašnje ograničene uloge „pomocnika“, alatke, postane stvarni „sudionik“, koji može razumijevati na istom konceptualnom nivou, kao i njegov korisnik i pri tom dijagnosticirati, analizirati, savjetovati i sl. Može se koristiti i u obrazovanju budućih stručnjaka, omogućujući detaljan uvid u postupak kako stručnjak radi na problemu. Rijedak je slučaj, naravno, da se ekspertni sustav jednako ponaša kao i stručnjak kod svakog problema, jer davanje stručnog mišljenja prethodno zahtijeva godine iskustva. Za sve ekspertne sustave se može reći da uspješno rješavaju sve rutinske i većinu težih problema. Ekspertni sustav oslobađa vrijednog stručnjaka od teških problema i čak od kreativnijih aktivnosti, kao što je istraživanje i dizajn. Područje primjene ekspertnih sustava je široko koliko i svekolika ljudska djelatnost. Ovdje ćemo se nešto detaljnije osvrnuti na upotrebu ekspertnih sustava u dijagnosticiranju kvarova brodskih diesel motora, što se može proširiti i na sveukupni brodski strojni sustav, ali je prije toga potreban kratak uvod u ekspertne sustave.

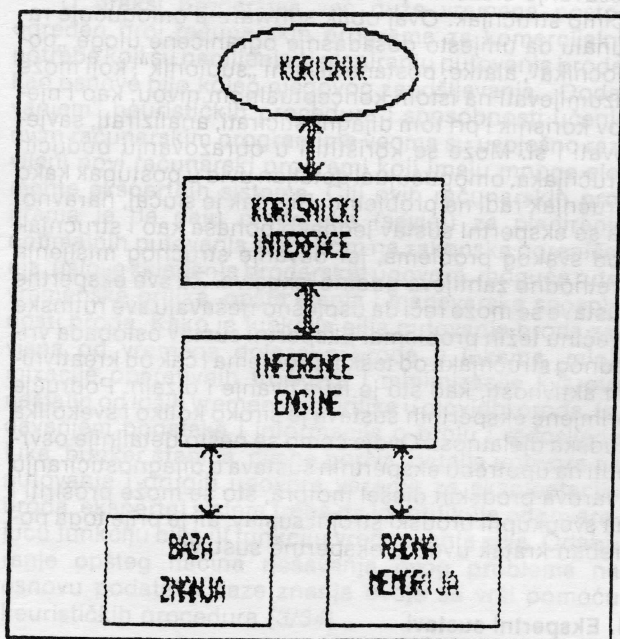
1. Ekspertni sustavi

Sam naziv „ekspertni sustav“ odnosi se na računarski program koji je, uglavnom, skup empirijskih pravila i detaljnih činjenica iz određenog područja, a koje su se pokazale korisnim u rješavanju posebnih problema u području na koje se odnosi. Stručno mišljenje (ekspertiza) je utemeljeno na znanju koje se godinama kumuliralo iz iskustva s problematikom određenog područja. Za ekspertne sustave je značajno da su rezultat rada dva različita tipa stručnjaka: stručnjaka u području za koji se sustav izgrađuje (eksperta) i specijaliste umjetne inteligencije, kojem su poznati procesi analize pri ekspertnom rješavanju problema i kodiranje za elektroničko računalo (knowledge engineer). Kvalitetna ekspertiza je rezultat višegodišnjeg praktičkog iskustva, a dobri ekspertni sustavi se dobijaju samo uz čvrstu vezu sa stručnjakom (ekspertom).

Definicija ekspertnih sustava se mijenja razvojem tehnologije elektroničkih računala, koji su osnovna podrška njihovog rada.

Bitna karakteristika ekspertnih sustava je brzo i točno djelovanje, te isplativost tehnike prikupljanja informacija. Na temelju rečenog potpunu definiciju je teško dati, ali se osnovna svojstva mogu izraziti kao: mogućnost razumijevanja na gotovo isti način kako to rade stručnjaci, objašnjavanje i davanje odgovora na temelju teorije ili prema heurističkim pravilima, odnosno, pozivajući se na već zapamćene slučajeve iz prošlosti. Ekspertni sustavi, također, imaju sposobnost verifikacije procesa razumijevanja, te izravno informiranje korisnika koji postavlja pitanja. Za ostvarenje ovih svojstava usvojena je metoda programiranja utemeljena na pravilima.

Osnovni razlozi izgradnje nekog ekspertnog sustava su složenost problemskog područja i nedostatak dobrih stručnjaka. Kvalitetni stručnjaci su skupi, a često je potrebno zajedničko djelovanje više njih, pa je u tom slučaju ekspertni sustav mnogo isplativiji i djelotvorniji. Potpuno automatizirani sustavi često koriste mogućnosti ekspertnog sustava i na taj način nije potrebna ljudska intervencija kod mnogim rutinskih grešaka. Do danas je razvijeno više od 1000 ekspertnih sustava u područjima kao što su medicina, kemija, strojarstvo, graditeljstvo, te konfiguriranje, dijagnostika i testiranje različitih strojnih i elektroničkih sustava.



Slika 1.

1.1 Sastavni dijelovi ekspertnog sustava

Struktura ekspertnog sustava se daje predstaviti, kao što to prikazuje slika 1.

Korisnički modul (user interface) služi za obuhvaćanje podataka i znanja, oblikovanje preporuka i korisničkih pitanja. On, također, eksperimentira s bazom znanja, generira zaključke i objašnjava razloge, koji su doveli do dobivenih zaključaka.

U središtu sheme je glavni računsko-logički modul (inference engine), koji upravlja pretraživanjem podataka i izvodi zaključke. Glavna funkcija mu je pretraživanje baze znanja i odabiranje onog dijela, koji je naj-

primjenjiviji za konkretni problem. Može koristiti opće znanje ili strateška pravila i zaključke, kao i veze između njih. Rezultate svog rada smješta u radnu memoriju.

Radna memorija ima funkciju uskladištenja podataka za problem, koji se obrađuje, odnosno, odgovore na pitanja vezana uz problem i rezultate dijagnostičkih testova.

Baza znanja je memorijska jedinica za memoriranje stručnog znanja i činjenica, koje dolaze od korisnika pri njegovoj komunikaciji sa sustavom. Obično je sastavljena od četiri nivoa, tako da je svaki slijedeći nivo izveden od elemenata prethodnog nižeg nivoa. Niveoe sačinjavaju elementi, koji se mogu opisati na slijedeći način:

1. **Činjenice.** Ovaj se nivo baze znanja odnosi na deklarativnu reprezentaciju činjenica iz određenog područja sa složenim međusobnim vezama. To je obično teoretsko znanje, često dobiveno iz literature.

2. **Pravila.** Znanje na ovom nivou je dobiveno od stručnjaka i utemeljeno na iskustvu, Ovakvo empirijsko znanje je teško naći u knjigama i karakterizirano je određenim „faktorom sigurnosti“, koji indicira vjerovatnost njegove primjenjivosti.

3. **Modeli.** To su skupovi međusobno ovisnih pravila, obično vezanih uz određeni problem ili sveukupni dijagnostički zaključak. Mogu predstavljati i podsustav unutar neke složene mehaničke ili prirodne strukture.

4. **Strategije.** Pravila i procedure, koje sačinjavaju četvrti nivo baze znanja, služe za upravljanje i rješavanje suprotnosti, koje nastaju kada se dva jednako vrijedna, a suprotna pravila primjenjuju na istu situaciju.

Iz iznesenog slijedi da ekspertni sustav uključuje:

- znanstveno, tehnološko, pragmatično i operacijsko stručno znanje, koje je na raspolaganju nestručnim korisnicima,
- prostorno i vremenski stalan prijenos znanja i primjenjivosti.

1.2 Izgradnja ekspertnog sustava

Najvažniji korak u izgradnji ekspertnog sustava je izgradnja baze znanja. Baza znanja se izgrađuje počevši od najjednostavnijih elemenata prema složenijima, odnosno, najprije se oblikuju činjenice, zatim pravila, pa modeli i na kraju strategije. U početnoj fazi se odabire nekoliko pokusnih slučajeva da se dobije odgovarajuće ponašanje sustava u području tipičnih problema. Pokusni slučajevi služe da se izgradi početni (nepotpuni) skup pravila i model organizacije sustava. Kada su ovi osnovni elementi baze znanja ugrađeni i potvrđeni od strane problemskog stručnjaka, baza se popunjava detaljima, odnosno, kompletiraju se pravila znanjem iz problemskog područja. Pošto su pravila, ugrađena dodaju se izvori znanja, kao dodaci empirijskim pravilima. Ovdje se misli na povijesnu bazu podataka ili puno detaljnija znanja iz problemskog područja. U određenom broju slučajeva biti će dovoljna samo baza empirijskih pravila. Najznačajniji napor predstavlja pretvaranje iskustvenog znanja stručnjaka u pravila baze znanja. Tu dolaze do izražaja i psihološko-sociološki faktori, jer uvijek postoji bojazan od prijenosa i mehanizacije ljudskog znanja. Stoga, mora postojati jaka motivacija za pohranjivanje i mehanizaciju stručnog znanja čovjeka, koji svoje znanje stavlja na raspolaganje.

Postoji nekoliko pristupa izgradnji ekspertnog sustava. Jedan od njih je tradicionalni programski pristup, korištenjem jednog od programskih jezika prikladnih za razvoj sustava umjetne inteligencije, kao što su LISP, PROLOG, OPS5 ili jedan od specijaliziranih jezika za izgradnju određenih problemskih sustava. U

posljednjih nekoliko godina su razvijeni alati, koji omogućuju pristup razvoju ekspertnih sustava s višeg nivoa, ali je još uvijek potrebno određeno znanje programiranja. Neki od njih imaju karakteristike, koje su kombinacija karakteristika svih programskih jezika umjetne inteligencije, dok se drugi mogu primijeniti samo za specifične vrste problema, izgrađujući bazu znanja bez programiranja. U tu svrhu se izgrađuju posebni moduli za prihvaćanje znanja, koji imaju svojstvo učenja.

2. Ekspertni sustav za dijagnosticiranje kvara stroja

Osnovni zahtjevi koji se postavljaju na rad svakog stroja, pa tako i brodskog diesel motora, su maksimalni radni učinci s minimalnim troškovima održavanja. Danas se ovim zahtjevima može udovoljiti samo uvođenjem novog tehnološkog pristupa u praćenju i mjerenju radnih karakteristika stroja, kao i korištenjem računarske tehnike i znanosti u dijagnosticiranju i otklanjanju kvarova. U svijetu se posljednjih godina ulažu značajni napore u cilju ostvarenja navedenih zahtjeva. Tako je Lloyd Register kreirao sveobuhvatnu bazu podataka utemeljenu na podacima dobivenim mjerenjima i inspeksijskim pregledima strojeva, koja je vrlo dobra osnova za utvrđivanje metoda i postupaka za vrijednovanje pouzdanosti strojnih dijelova i čitavih strojnih sustava. Na temelju ove baze podataka praktički su realizirani i neki ekspertni sustavi za održavanje i dijagnostiku kvarova brodskih diesel motora.

Dijagnosticiranje kvarova može dati dobre rezultate samo kao dio jednog sveobuhvatnijeg sustava, koji mora uključivati slijedeće funkcije:

- mjerenje i praćenje općeg stanja stroja,
- mjerenje i praćenje rada stroja,
- poboljšanje rada,
- preventivno održavanje,
- dijagnostiku kvarova.

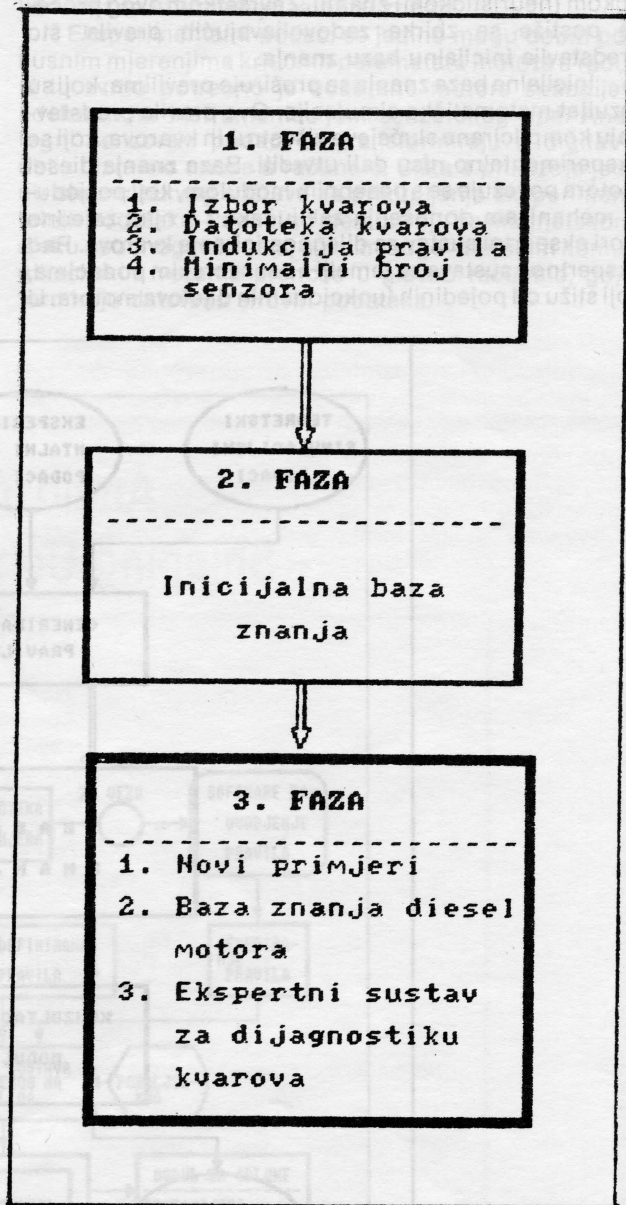
Praćenje općeg stanja podrazumijeva registriranje svake promjene općih karakteristika stroja, kao što je stupanj istrošenosti, korodiranosti, oštećenja i sl. pojedinih strojnih dijelova. Mjerenje i praćenje rada obuhvaća valorizaciju radnog učinka stroja. Osnovna težnja cjelokupnih aktivnosti je poboljšanje rada stroja, koje može uslijediti i kao posljedica preventivnog održavanja i dobre dijagnostike kvarova. Istraživanja, koja imaju za cilj poboljšanje rada i dobro preventivno održavanje, uglavnom, se zasnivaju na matematičkim modelima strojeva, dok se dijagnostika kvarova temelji na aktivnom znanju.

2.1. Pristup realizaciji dijagnostičkog ekspertnog sustava

Općenito dijagnostika kvarova se temelji na povećanju radnih parametara i podataka poznatih iz izvještaja i literature, odnosno, iskustva. Teoretska znanja su, obično, nedovoljna za kvalitetnu dijagnostiku, pa je stoga potrebno izvesti mjerenja velikog broja parametara za istovjetne strojne dijelove, te tako dobiti srednje vrijednosti važnih parametara, koji su najčešće ovisni o opterećenju i uvjetima rada. Praktički je nemoguće prikupiti sve vrijednosti, koje bi karakterizirale cjelokupni radni režim stroja, a to je posebno teško za pomorska postrojenja. Izgrađuju se matematički modeli strojeva, koji se koriste za dugoročno predviđanje učinka rada, trošenja i kvarenja dijelova. Na tome se, onda može temeljiti preventivno održavanje. Izgradnja jednog sustava

preventivnog održavanja, obično, je prvi korak u procesu dijagnosticiranja kvarova. Teško je pretpostaviti da ćemo u skoroj budućnosti imati općenita teorijska predviđanja kvarova, pa je potrebno simulirati očekivana ponašanja. Tako se mogu utvrditi kvarovi koji nisu bili predviđeni preventivnim održavanjem.

Ono što čini ekspertne sustave prikladnim za ovu vrstu primjene je odvojenost općeg znanja (baza znanja) od metoda za korištenje (inference engine). U bazi znanja su pohranjena pravila i činjenice. Za korištenje znanja se projektira logički program, koji primjenjuje određenu strategiju za razumijevanje pravila i činjenica, koja vodi k rješenju (sustav dedukcije). Složenost ovog problema proizlazi iz činjenice da kvar jednog dijela stroja ima za posljedicu promjenu vrijednosti većeg broja parametara. Karakteristike kvara se usložnjavaju kada je u kvaru veći broj dijelova.



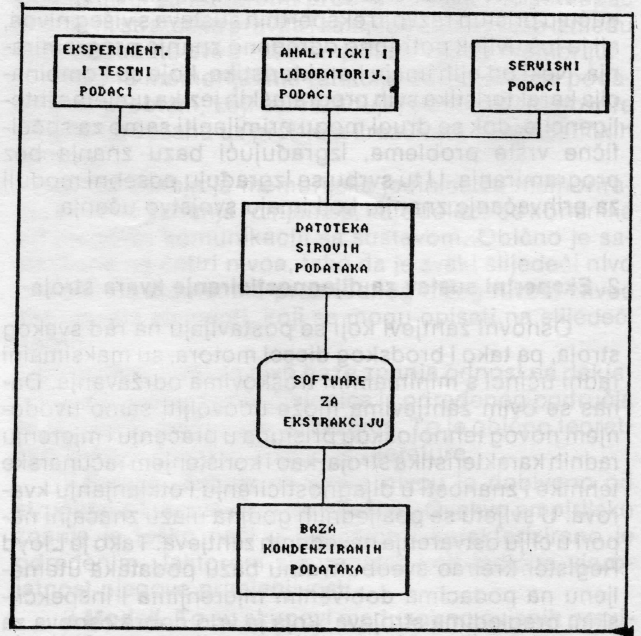
Slika 2.

Slika 2 ilustrira tri osnovne faze jednog pristupa realizaciji dijagnostičkog ekspertnog sustava. U prvoj fazi se definiraju svi mogući kvarovi na temelju teoretskih i praktičkih znanja. Organiziraju se u posebnu datoteku kvarova, a software-ski se uvode pravila, koja

predstavljaju znanje stručnjaka. Svi software-ski produkti za uspostavljanje pravila imaju svojstvo učenja. Tako se dobija prototip sustava „utemeljenog na pravilima“. Pravila ovise o podacima o kvarovima, koji su u vezi s vrstom motora, a nije bez utjecaja metoda i instrumentacija koja se koristila za prikupljanje ovih podataka. Ovdje se utvrđuje i minimalni broj potrebnih senzorskih uređaja za registriranje radnih parametara stroja.

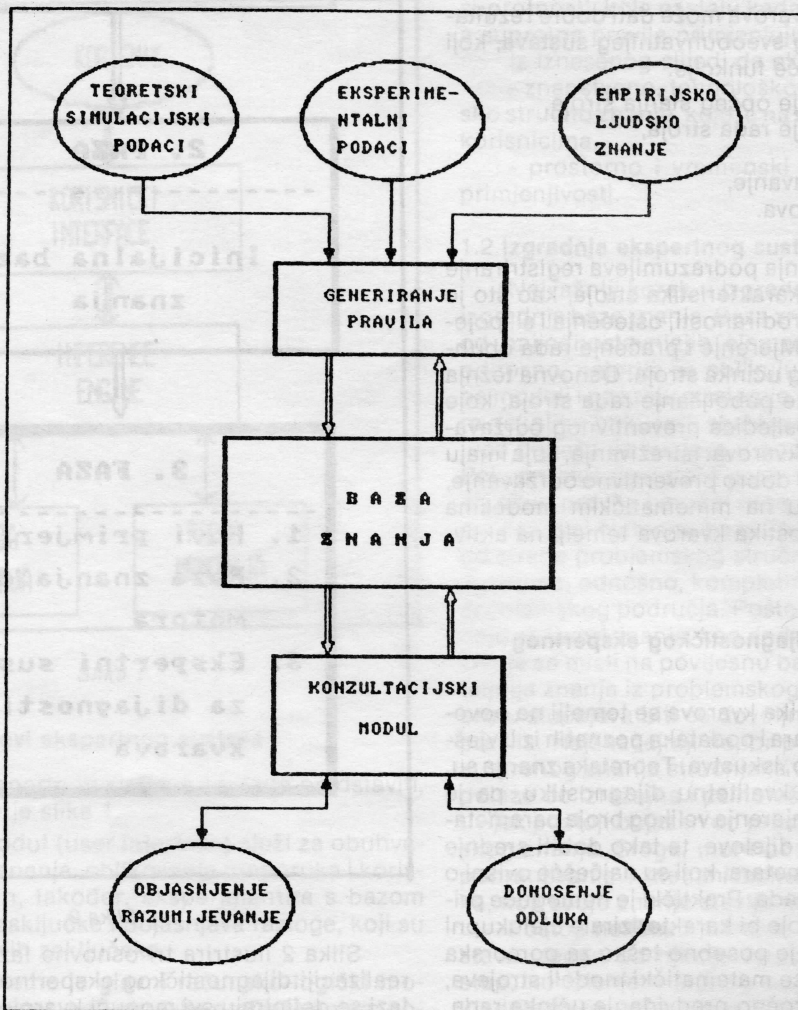
U drugoj fazi se prototip sustava „utemeljenog na pravilima“ provjerava uvođenjem novih primjera, koji su dobiveni iz različitih izvora i od različito projektiranih strojeva. Vršiti se uspoređivanje novih primjera s već prihvaćenim pravilima, te uvođenjem novog pravila kao rezultata ove usporedbe. Eventualna oprečnost novog primjera i postojećeg pravila razriješava se primjenom odluke u korist jednog od pravila utemeljene na praktičkom (heurističkom) znanju. Završetkom ovog procesa postiže se zbirka zadovoljavajućih pravila, što predstavlja **inicijalnu bazu znanja**.

Inicijalna baza znanja se proširuje pravilima, koji su rezultat matematičke simulacije. Ova pravila predstavljaju komplicirane slučajeve višestrukih kvarova, koji se eksperimentalno nisu dali utvrditi. Baza znanja diesel motora povezuje se s posebnim modulom, koji posjeduje mehanizam donošenja zaključaka i s njim zajedno tvori ekspertni sustav za dijagnosticiranje kvarova. Rad ekspertnog sustava se temelji na senzorskim podacima, koji stižu od pojedinih funkcionalnih dijelova motora. U

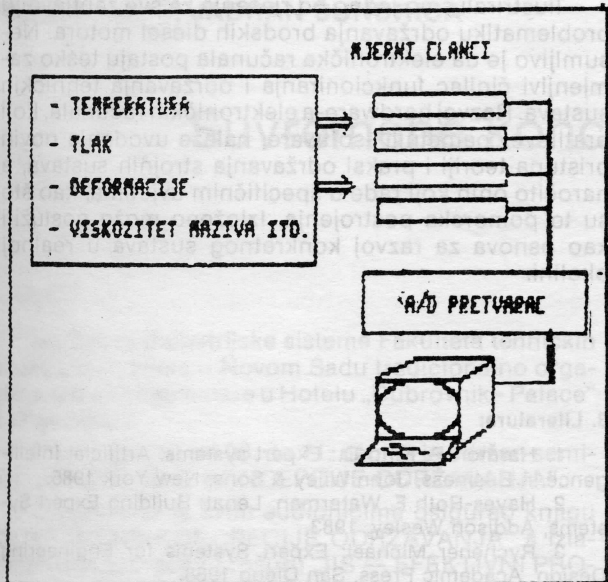


Slika 3.

tu svrhu motor mora biti opremljen odgovarajućom instrumentacijom, a obuhvatnost ekspertnog sustava ovisi



Slika 5.



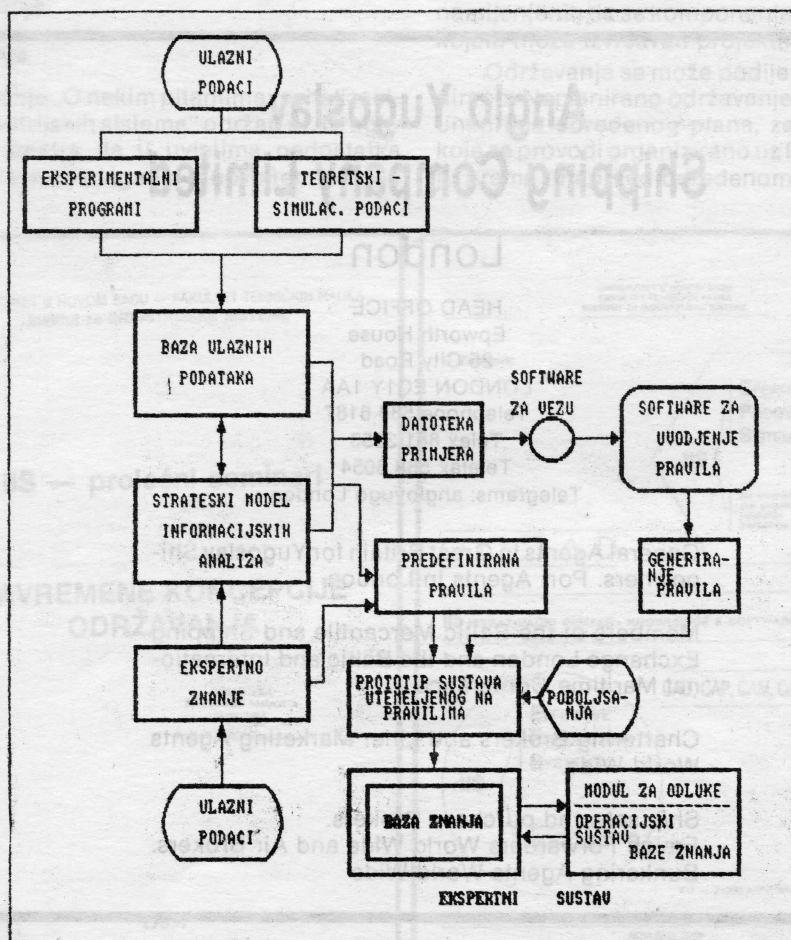
Slika 4.

o količini i kvaliteti te instrumentacije. Kako u pogledu funkcioniranja pojedinih dijelova motora postoje razlike za različite tipove motora, moraju se realizirati različiti ekspertni sustavi.

Uspješnost ekspertnog sustava izravno ovisi o kvantitetu i kvalitetu formiranih primjera i pravila. Stoga je potrebno uskladiti prikupljene podatke s radnim parametrima motora u ovisnosti o okolnostima kvara. U odsutnosti zadovoljavajućih podataka detalji se formiraju programima, koji simuliraju određene uvjete kvara.

Najveći dio podataka za bazu znanja dobija se eksperimentalnim putem, mjereći parametre stroja u radnim uvjetima. Najprije se uspostavlja baza sirovih podataka na temelju već spomenutih eksperimentalnih vrijednosti, odnosno, laboratorijskih i servisnih podataka (Slika 3). Posebnim software-skim postupkom se od prikupljenih podataka formira baza kondenziranih podataka, koja sadrži statističke rezultate kritičnih parametara. To može biti jedna relacijska baza podataka, koja pruža optimalnu fleksibilnost. Ona se može sastojati od relacijama povezanih tabela, koje su pogodne kao ulazne informacije za bazu znanja.

Eksperimentalni podaci se jedino mogu dobiti pokusnim mjerenjima kritičnih parametara motora u radu. U tu svrhu potrebno je odabrane motore snabdijeti adekvatnom instrumentacijom senzorskog tipa. Analogni senzorski podaci se transformiraju u digitalni oblik i izravno unose u računalo. Slika 4 prikazuje jednu shemu takvog sustava za prikupljanje eksperimentalnih podataka. Podaci se memoriraju na magnetskom disku osobnog računala, a zatim odgovarajućim komunikacijskim vezama prenose u glavno računalo, gdje formiraju datoteku sirovih podataka.



Slika 6.

2.2 Dizajn ekspertnog sustava

Lloyd Register je predložio jedan princip konfiguriranja ekspertnih sustava, a slika 5 prikazuje ekspertni sustav postavljen po takvoj preporuci. Uz bazu znanja uveden je i modul, koji je identificiran kao „generiranje pravila“, a vrši transformaciju implicitnog znanja ili eksperimentalnih podataka u odgovarajuća pravila. Pravila se memoriraju u bazi znanja, kojom upravlja konzultacijski modul (inference engine) u svrhu donošenja odluka i razumijevanja postupka.

Detaljniju proceduru realizacije i rada ekspertnog sustava za dijagnostiku kvarova ilustrira slika 6. Pošto se specificira problem, utvrđuju se zahtjevi potrebni da se dođe do nužnih informacija. Potrebni podaci se dobijaju iz odgovarajućih izvora i adekvatno se organiziraju u bazi ulaznih podataka. Slijedi izgradnja modela problema sa shemom procesa, koji vodi rješenju. Model problema zajedno s bazom ulaznih podataka tvori „ekspertni sustav za analizu informacija“, a on služi za definiranje datoteke primjera, iz koje se primjenom pogodnog softwarea izvodi prototip „sustava utemeljenog na pravilima“. „Sustav utemeljen na pravilima“ se proširuje i poboljšava novim elementima, te se adekvatnim software-om od njega kreira baza znanja. Za kompletiranje ekspertnog sustava potreban je modul za donošenje zaključaka, koji konzultira bazu znanja i konstruira operacijski sustav baze znanja.

Ilustrirali smo jedno od rješenja za sve zahtjevniju problematiku održavanja brodskih diesel motora. Nesumljivo je da elektronička računala postaju teško zamjenjivi činilac funkcioniranja i održavanja tehničkih sustava. Razvoj hardware-a elektroničkih računala, koji prati sve „pametniji“ software, nalaže uvođenje novih pristupa teoriji i praksi održavanja strojnih sustava, a naročito onih koji rade u specifičnim uvjetima, kao što su to pomorska postrojenja. Izloženo može poslužiti kao osnova za razvoj konkretnog sustava u realnoj okolini.

3. Literatura:

1. Harmon P. King D.: Expert systems: Artificial Intelligence in Business, John Wiley & Sons, New York 1985.
2. Hayes-Roth F. Waterman, Lenat: Building Expert Systems, Addison Wesley, 1983.
3. Rychener Michael: Expert Systems for Engineering Design, Academic Press, San Diego 1988.
4. Waterman: A Guide to Expert Systems, Addison Wesley 1983.
5. Katsoulakos P.S. Newland J. Stansfield J.T. Ruxton T.: Monitoraggio, raccolta dati e sistemi esperti per la diagnostica delle avarie di macchina, Tecnologie per la mare, No. 1, 2 i 3 Genova 1989.

Anglo Yugoslav Shipping Company Limited

London

HEAD OFFICE

Epworth House

25 City Road

LONDON EC1Y 1AA

Telephone 588 6167

Telex 881 3053

Telefax 588 8054

Telegrams: angloyugo London

General Agents in Great Britain for Yugoslav Shipowners. Port Agents in London.

Members of the Baltic Mercantile and Shipping Exchange London and the Baltic and International Maritime Conference.

Chartering Brokers and Liner Marketing Agents World Wide.

Ship sale and purchase Brokers.
Freight Forwarders World Wide and Air Brokers.
Bunkering Agents World Wide