

# Suvremene koncepcije održavanja

UDK 658.581

## 1. UVOD

Institut za industrijske sisteme Fakulteta tehničkih nauka Univerziteta u Novom Sadu tradicionalno organizira prolećne seminare u Hotelu „Dubrovnik - Palace“ u Dubrovniku.

Prošle godine od 06. do 11. ožujka je održan seminar: „SAVREMENE KONCEPCIJE ODRŽAVANJA“.

Organizator je svim sudionicima osigurao knjigu „SAVREMENE KONCEPCIJE ODRŽAVANJA“ s izlaganjima predavača i brošuru „IIS — EFEKTIVNI PROIZVODNI SISTEMI“ (slika 1.).

## 2. PROGRAM RADA SEMINARA

Na seminaru je nakon uvodnog izlaganja dan prikaz suvremenih koncepcija održavanja. U nastavku je detaljno razrađena koncepcija održavanja prema stanju i prikazane osnove tehničke dijagnostike. U završnom dijelu je obrađena primjena računala u održavanju, a u jednom izlaganju je sažeto objašnjen izravan pristup organizaciji održavanja.

### 2.1. Uvodno izlaganje

Uvodno je izlaganje „O nekim pitanjima revitalizacije procesa rada industrijskih sistema“ održao dr. Dragutin Zelenović. On smatra da u uvjetima nedostatka investicionih sredstava za ulaganje u nove tehnologije

jedino revitalizacija otvara mogućnost ostvarivanja povećane akumulacije.

Pod pojmom revitalizacije podrazumijeva se skup akcija za osposobljavanje radnih sistema za opstanak i razvoj u vremenu i datim uvjetima okoline.

### 2.2 Prikaz suvremenih koncepcija održavanja

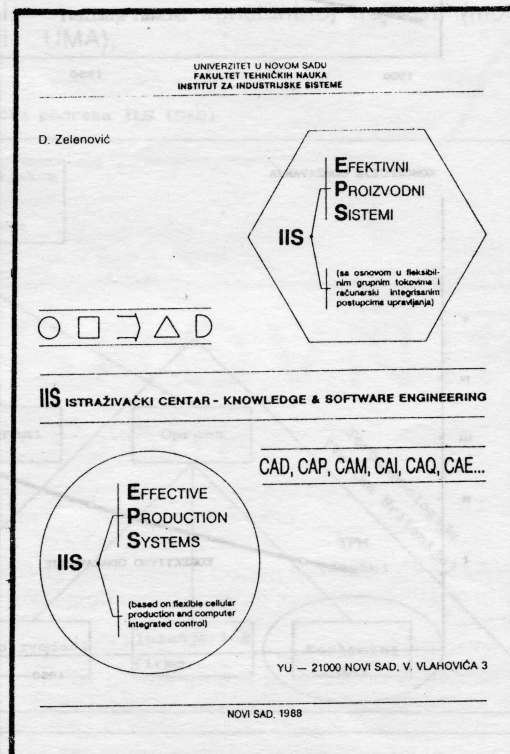
Pregled suvremenih koncepcija održavanja i IIS koncepciju održavanja izložili su dr. Dragutin Stanivuković i dr. Slobodan Kecojević. Oni su obradili sljedeće teme:

- definicije i klasifikacije održavanja,
- suvremene koncepcije održavanja,
- IIS koncepcija održavanja, te
- izbor politike i strategije održavanja.

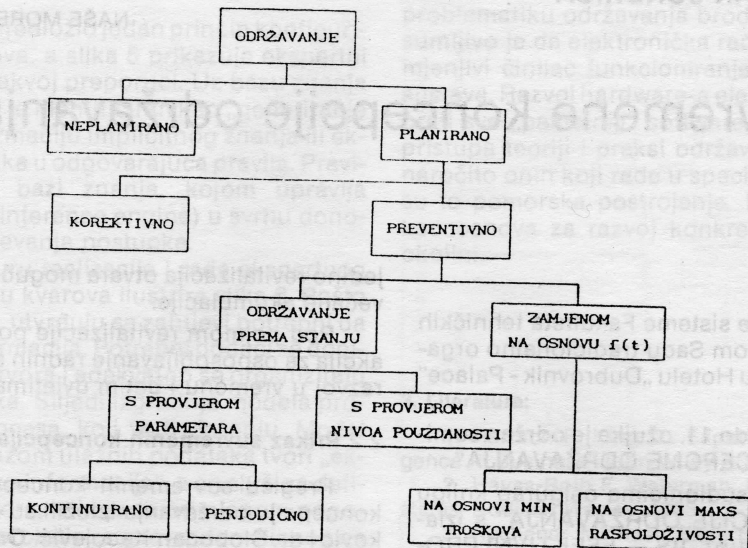
### Definicije i klasifikacija održavanja

Održavanje se može definirati kao kombinacija svih tehničkih odgovarajućih administrativnih postupaka namijenjenih da se komponenta zadrži ili vrati u stanje u kojem može izvršavati projektiranu funkciju.

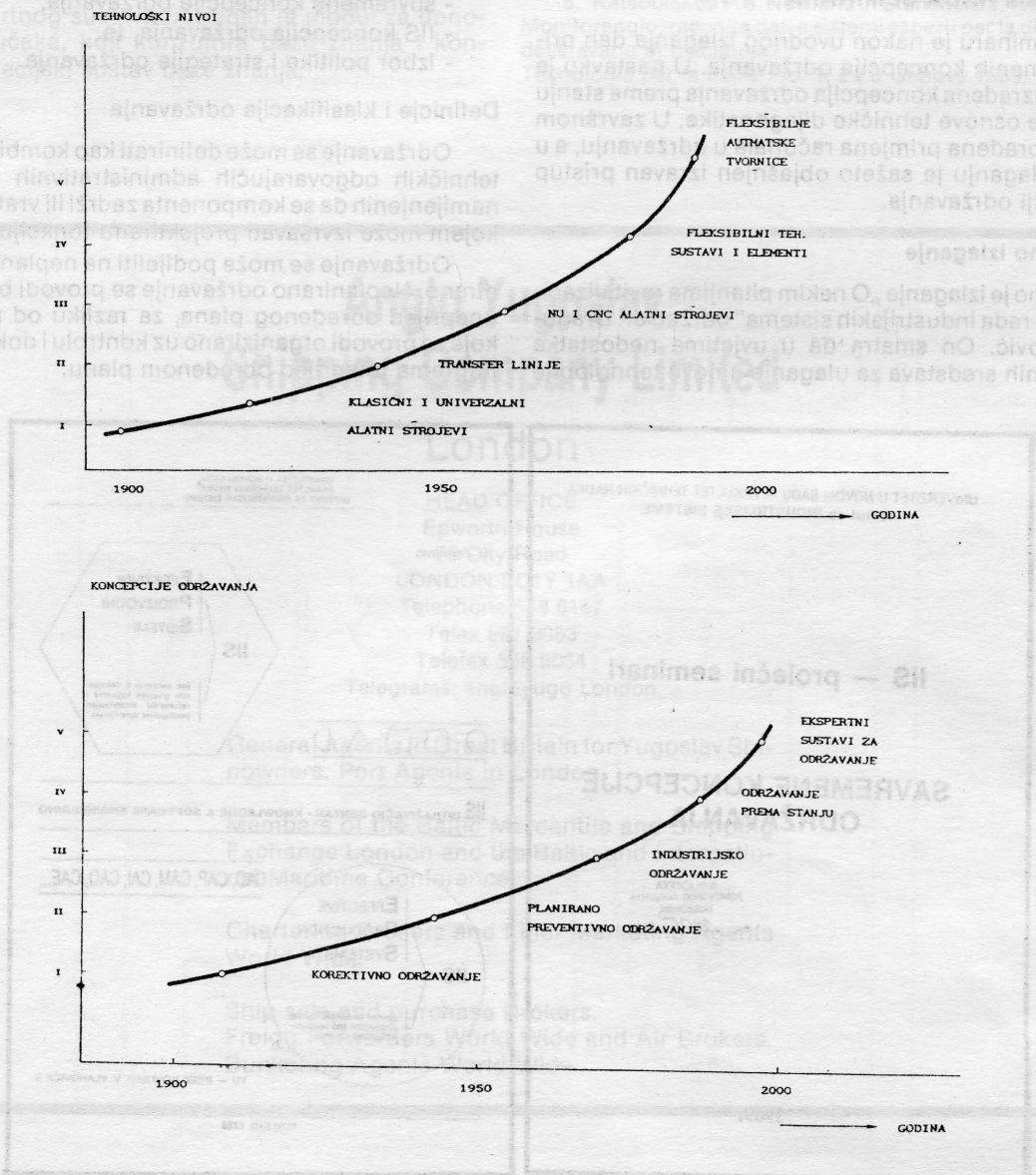
Održavanje se može podijeliti na neplanirano i planirano. Neplanirano održavanje se provodi bez ikakvog unaprijed određenog plana, za razliku od planiranog koje se provodi organizirano uz kontrolu i dokumentaciju prema unaprijed određenom planu.



Slika 1. Literatura sa seminara o suvremenim koncepcijama održavanja



Slika 2. Klasifikacija održavanja



Slika 3. Usporedba dosadašnjeg i budućeg razvoja tehnoloških sistema s teorijom i praksom održavanja



Planirano održavanje se može klasificirati na korektivno i preventivno. Korektivno se provodi nakon nastanka kvara, a preventivno prije nastanka kvara.

Preventivno održavanje se može provoditi prema stanju, potaknuto spoznajom o stanju neke komponente na osnovi periodičnog ili trajnog promatranja — monitoringa, ili po rasporedu.

Preventivno održavanje po rasporedu se provodi unaprijed određenim periodima ili prema drugim propisanim kriterijima sa ciljem da se smanji vjerojatnost pojave kvara ili smanjenja učinka komponente.

Opisana klasifikacija održavanja je shematski prikazana na slici 2.

### Razvoj koncepcija održavanja

Danas se razvoj koncepcija održavanja analizira u vezi s razvojem tehnoloških sistema. Očito je da se razvojem tehnoloških sistema razvijala teorija i praksa održavanja odnosno koncepti održavanja, slika 3.

### Suvremene koncepcije održavanja

Na seminaru su uspoređene tri suvremene koncepcije održavanja:

- Integralna logistička podrška (Integral Logistic Support - ILS).
- terotehnologija (Terotechnology) i
- totalno produktivno održavanje (Total Productive Maintenance - TPM).

Razlika između obuhvatnosti navedenih koncepcija održavanja vidi se na slici 4.

Najobuhvatnija koncepcija održavanja je integralna logistička podrška - ILS, poitekla iz SAD-a. ILS je upravljačka funkcija koja treba osigurati početno planiranje, postavljanje i upravljanje sa ciljem da se krajnjem korisniku osigura sredstvo za rad (sistem) koje će biti tehnički i ekonomski podržano u toku određenog životnog ciklusa.

Terotehnologija je prema BS (British Standards) kombinacija rukovodnih, finansijskih, inženjerskih i drugih aktivnosti, primijenjenih na fizička dobra radi

postizanja ekonomičnosti troškova njihovog radnog vijeka odnosno životnog ciklusa (Life Cycle Costs -LCC), pri čemu se uzima u obzir pouzdanost i mogućnost održavanja, instaliranja, puštanja u pogon, održavanja, rekonstrukcije i zamjene (otpisa).

Totalno produktivno održavanje je razvijeno 60-tih godina u Japanu. Filozofija prilaza je da održavanje osigura „O - kvarova“ opreme („O - defect“). TPM ima za cilj maksimalizaciju učinka sistema, stroja postrojenja i ljudi pri minimalnim troškovima u toku životnog ciklusa.

Iz navedenih definicija i iz slike 4. se vidi da je cilj svih koncepcija isti - ekonomičniji troškovi životnog ciklusa sredstava za rad (sistema). Međutim, različiti su pristupi projektiranju funkcije održavanja i obuhvatnosti koja iz toga proizlazi. Logistika obuhvaća sve proizvode, sisteme, programe i opremu, dok terotehnologija pokriva samo opremu (sredstva za rad). Terotehnologiju sprovode zajedno proizvođači opreme, inženjering firme i korisnici opreme, a totalno produktivno održavanje sprovode samo korisnici sredstava za rad.

### IIS — Koncepcija održavanja

IIS - koncepcija održavanja razmatra probleme održavanja sa strane korisnika odnosno održavaoca u okviru radnog sistema. To je takozvani zatvoreni tip održavanja čija koncepcija obuhvaća segmente prikazane na slici 5.

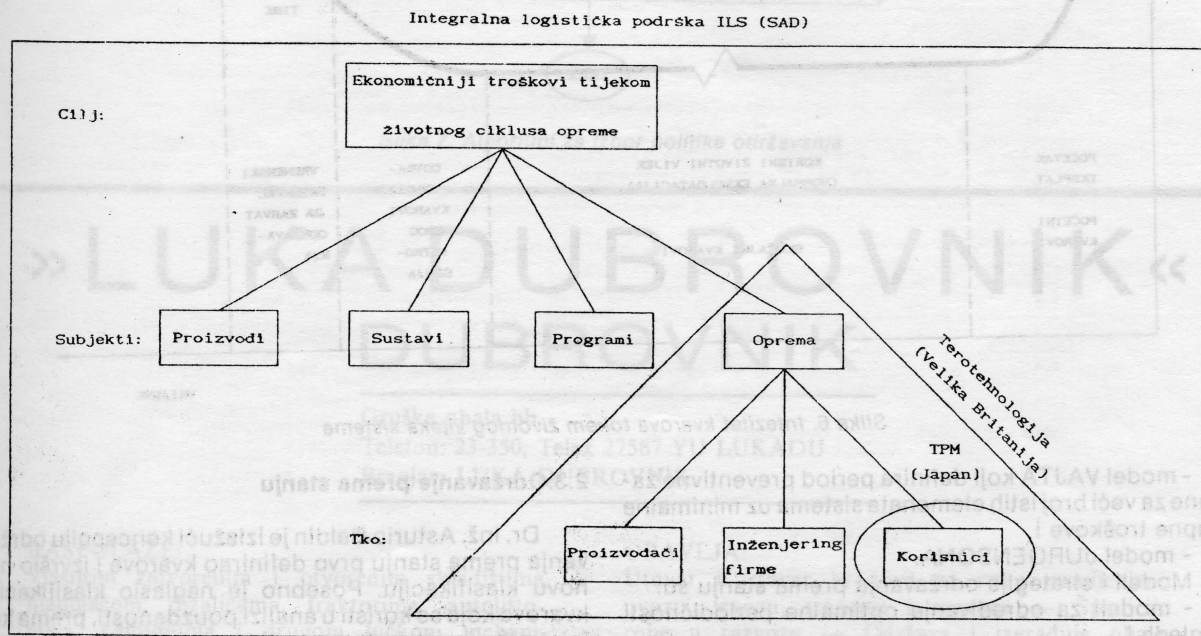
### Izbor politike i strategije održavanja

Izbor politike odnosno strategije održavanja se vrši na osnovi podataka o pouzdanosti, raspoloživosti, pogodnosti održavanja i troškovima održavanja.

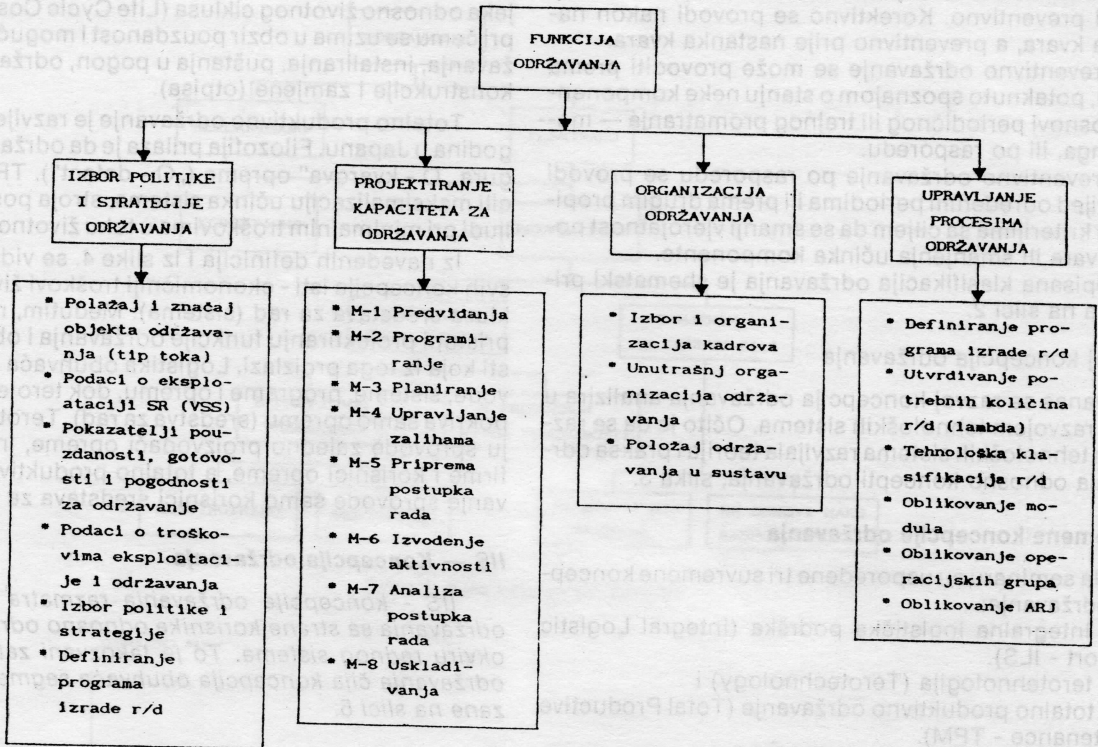
Opredjeljenjem za jednu od politika održavanja stvoren je osnovni preduvjet za izbor strategije održavanja odnosno modela.

Modeli strategije preventivnog održavanja zamjenom prema rasporedu su:

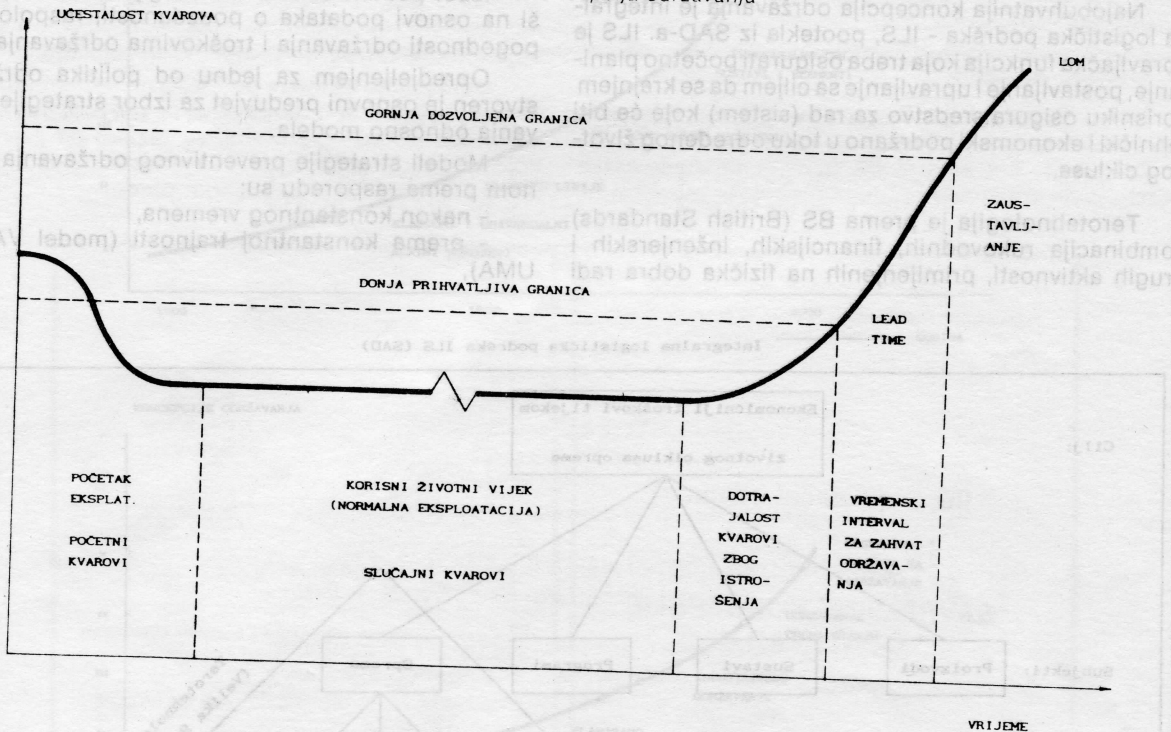
- nakon konstantnog vremena,
- prema konstantnoj trajnosti (model VAJSBA-UMA),



Slika 4. Razlike u obuhvatnosti koncepcija održavanja



Slika 5. IIS - koncepcija održavanja



Slika 6. Intezitet kvarova tokom životnog vijeka sistema

- model VAJTA koji definira period preventivne zamjene za veći broj istih elemenata sistema uz minimalne ukupne troškove i

- model JURGENSONA.

Modeli i strategije održavanja prema stanju su:

- modeli za određivanje optimalne periodičnosti pregleda i

- modeli zavisni od vrijednosti izmjerenih dijagnostičkih parametara.

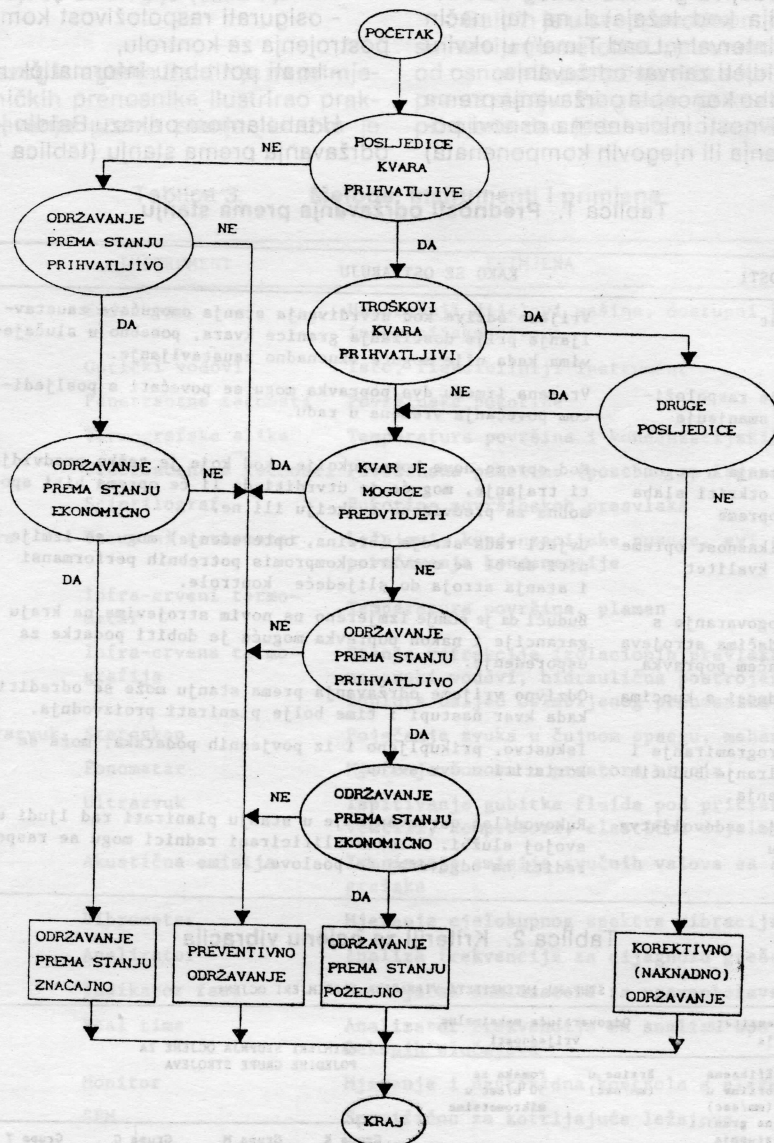
### 2.3. Održavanje prema stanju

Dr. inž. Asturio Baldin je izlažući koncepciju održavanja prema stanju prvo definirao kvarove i izvršio njihovu klasifikaciju. Posebno je naglasio klasifikaciju kvarova koja se koristi u analizi pouzdanosti, prema kojoj razlikujemo početne kvarove (početak korištenja), slučajne kvarove (koristan životni vijek) i vremenski zavisne kvarove odnosno kvarove zbog dotrajalosti (kraj



upotrebe). Intenzitet spomenutih kvarova tokom životnog vijeka prikazuje slika 6.

Krivulja učestalosti kvarova ili krivulja intenziteta prikazana na slici 6. ima oblik kade ili čamca, pa se susreću nazivi „bath - curve“ i „boat - curve“.



Slika 7. Algoritmi za izbor politike održavanja

# » LUKA DUBROVNIK «

## DUBROVNIK

Gruška obala bb  
 Telefon: 23-350; Telex 27567 YU LUKADU  
 Brzjav: LUKA DUBROVNIK

### RASPOLAŽE:

Vlastitim zatvorenim i otvorenim skladištima, hladnjačom, dizalicama, traktorima, autoliftovima, kamionima i drugom lučkom mehanizacijom.

### OBAVLJA:

Utovar i istovar brodova za robu namijenjenu uvozu, izvozu, tranzitu i razvozu — Špediciju robe u razvozu — Održava i izgrađuje obale. Pruža kompletan servis jahtama.

Empirijsko određivanje ove krivulje neophodno je za provedbu efikasnog održavanja prema stanju. Na snimljenoj krivulji definiramo alarmnu ili signalnu granicu i maksimalno prihvatljivu granicu nekog određenog parametra (vibracija kod ležaja) i na taj način određujemo vremenski interval („Lead Time“) u okviru koga je potrebno predvidjeti zahvat održavanja.

Za praktičnu provedbu koncepta održavanja prema stanju (preventivne aktivnosti inicirane na osnovi poznavanja stanja postrojenja ili njegovih komponenata)

- potrebno je:
- imati potrebne instrumente i metode za dijagnostiku,
  - imati kvalificirano osoblje i pogodnu organizaciju,
  - osigurati raspoloživost komponenata, strojeva i postrojenja za kontrolu,
  - imati potrebnu informatičku podršku.

U tabelarnom prikazu Baldin je prikazao prednosti održavanja prema stanju (tablica 1.).

Tablica 1. Prednosti održavanja prema stanju

PREDNOSTI	KAKO SE OSTVARUJU
Sigurnost	Vrijeme odziva kod utvrđivanja stanja omogućava zaustavljanje prije dostizanja granice kvara, posebno u slučajevima kada nije moguće iznenadno zaustavljanje.
Povećanje raspoloživosti i smanjenje troškova	Vremena između dva popravka mogu se povećati s posljedicom povećanja vremena u radu.
Kod puštanja u pogon mogu se otkriti slaba mjesta opreme	Kod opreme nove konstrukcije, kod koje je teško predvidjeti trajanje, moguće je utvrditi da li će oprema biti sposobna za predviđenu funkciju ili ne.
Veća efikasnost opreme i bolji kvalitet	Uvjeti rada stroja (brzina, opterećenje) mogu se izmijeniti da bi se ostvario kompromis potrebnih performansi i stanja stroja do slijedeće kontrole.
Lakše dogovaranje s proizvođačima strojeva i izvođačem popravka	Budući da je stanje izmjereno na novim strojevima, na kraju garancije i nakon popravka moguće je dobiti podatke za uspoređenje.
Bolji odnosi s kupcima	Odzivno vrijeme održavanja prema stanju može se odrediti kada kvar nastupi i time bolje planirati proizvodnja.
Bolje programiranje i projektiranje budućih postrojenja	Iskustvo, prikupljeno i iz povjesnih podataka, može se koristiti u ovu svrhu.
Povećanje zadovoljstva pri radu	Rukovodilac održavanja je u stanju planirati rad ljudi u svojoj službi. Visokokvalificirani radnici mogu se rasporediti na odgovarajuće poslove.

Tablica 2. Kriteriji za ocjenu vibracija

Stupanj intenziteta vibracija	Odgovarajuće maksimalne vrijednosti		PRIMJERI STUPNJA OCJENE ZA POJEDINE GRUPE STROJEVA				
	Karakteristike Efikasna brzina u (mm/sec) u granici stupnja	Brzine u (mm/sec)	Pomaka za 50 u/sec u mikrometrima	Grupa K	Grupa M	Grupa G	Grupa T
0.28							
0.45	0.29	0.4	1.25				
0.71	0.45	0.63	2	Dobro			
1.12	0.71	1.0	3.15		Dobro		
1.8	1.12	1.6	5	Prihvatljivo		Dobro	
2.8	1.8	2.5	8		Prihvatljivo		Dobro
4.5	2.8	4.0	12.5	Potrebno poboljšanje		Prihvatljivo	
7.1	4.5	6.3	20		Potrebno poboljšanje		Prihvatljivo
11.2	7.1	10	31.5	Neprihvatlj.		Potrebno poboljšanje	Prihvatljivo
18	11.2	16	50		Neprihvatlj.		Potrebno poboljšanje
28	18	25	80			Neprihvatlj.	
45	28	40	125				Neprihvatlj.
71	45	63	200				

- Grupa K - Pojedini dijelovi pogonskih i alatah strojeva, koji su u uvjetima djelovanja, spojeni sa ostalim dijelovima stroja. Posebno električni motori do snage 15 KW.
- Grupa M - Srednji strojevi, posebno elektromotori od 15 do 75 KW bez vlastitog temelja i koji mogu biti montirani na bilo koje druge komplekse. Motori do 300 KW sa fiksnom instalacijom ali bez posebnih temelja.
- Grupa G - Veliki rotirajući strojevi, na čvrstim temeljima (koji imaju vlastitu frekvenciju višu od radne). Primjer: Veliki spori strojevi
- Grupa T - Veliki rotirajući strojevi na elastičnim temeljima (koji imaju vlastitu frekvenciju nižu od radne). Primjer: turbogeneratori



Bez obzira na navedene prednosti održavanja prema stanju Baldin naglašava da se u praksi koriste razne kombinacije strategija održavanja i daje algoritam za izbor odgovarajuće strategije (slika 7).

U drugom dijelu svog izlaganja Baldin je na primjeru održavanja mehaničkih prenosnika ilustrirao praktičnu primjenu održavanja prema stanju. U tom je

izlaganju iznio i kriterije za ocjenu vibracija prema VDI 2056, tablica 2.

#### 2.4. Osnove tehničke dijagnostike

Baldin je u svom uvodnom predavanju naglasio da su razvijene metode i instrumenti za dijagnostiku jedna od osnovnih pretpostavki za funkcioniranje održavanja prema stanju. Pregledan prikaz metoda, instrumenata i primjene dao je tabelarno, tablica 3.

Tablica 3. Metode, instrumenti i primjena

METODA	INSTRUMENT	PRIMJENA
Vizuelno	Endoskop	Unutrašnji dijelovi mašina, dostupni kroz male inspekcijske otvore
	Optički vodovi	Isto, fleksibilniji instrument
	Penetrantne tečnosti	Površinske pukotine
	Termografske slike	Temperatura površina i kondenzacijskih posuda
	Fluorescentne tečnosti	Površinske pukotine (posebno za lagane metale)
Temperatura	Scintilograf	Pukotine površinskih presvlaka
	Trenutni termometar	Ležajevi, kondenzacijske posude, svi slučajevi povećavanja kondenzacije
	Infra-crveni termometar	Temperatura površina, plamen
Infra-crvena termografija		Stanje refrakcije izolacionih prevlaka, visoko naponski vodovi, hidraulična postrojenja, gubitak toplote usljed oslabljenog prenosnika
Buka, ultrazvuk	Stetoskop	Pojačanje zvuka u čujnom opsegu, mehanički zvuci
	Fonometar	Mjerenje šumova u prostoru stroja
	Ultrazvuk	Ispitivanje gubitka fluida pod pritiskom, vakuum ventili, kompresori, elastični dijelovi, lanci
Vibracije	Akustična emisija	Izazivanje emisije zvučnih valova sa strukturnih grešaka
	Vibrometar	Mjerenje cjelokupnog spektra vibracija
	Analizator	Analiza frekvencije za dijagnozu grešaka
	Indikator faze	Priključak analizatora za uravnotežavanje
	Real time	Analizator frekvencija za analizu spojeva i kompleksnih slučajeva
	Monitor	Mjerenje i neprekidna kontrola s alarmom u bloku
	SPM	Specifično za kotrljajuće ležajeve
Ispitivanje bez razaranja	Akustična emisija	Stanje kotrljajućih ležajeva
	X - zraci	Debljine, korozije, pukotine, uključci, poroznost, erozija
	Y - zraci	Isto
	Ultrazvuk	Isto
Dijelici nastali trošenjem	Lutajuće struje	Površinske greške ispod prevlake. Stanje cijevi izmjenjivača topline
	Magnetni čepovi	Nalaženje magnetnih dijelica i utvrđivanje oblika
	Automatska brojlara	Brojanje dijelica nastalih trošenjem i utvrđivanje njihovih dimenzija
	Spektrofometrija s apsorpcijom i emisijom	Kvantifikacija prisutnosti metalnih dijelica
	Fluorescencija sa X - zracima	Utvrđivanje prisutnosti određenog elementa
Maziva	Lubrisenzor*)	Određivanje grubosti stanja maziva
	Uređaj za ispitivanje sadržaja ispušnih pl.	Određivanje sadržaja ispušnih plinova kod motora sa unutrašnjim izgaranjem
	Setaflash*)	Određivanje prisutnosti nečistoća (nafta, voda) u mazivu

METODA	INSTRUMENT	PRIMJENA
Drugo	Spindrometar	Dielektrična konstanta ulja za transformatore
	Gaskeografija	Utvrđivanje prisutnosti plinova u transformatorskomazaju za postizanje potrebnog električnog otpora
	Modul electronic compression taster*)	Dijagnoza stanja klipnih motora

\*) Trgovački naziv instrumenta

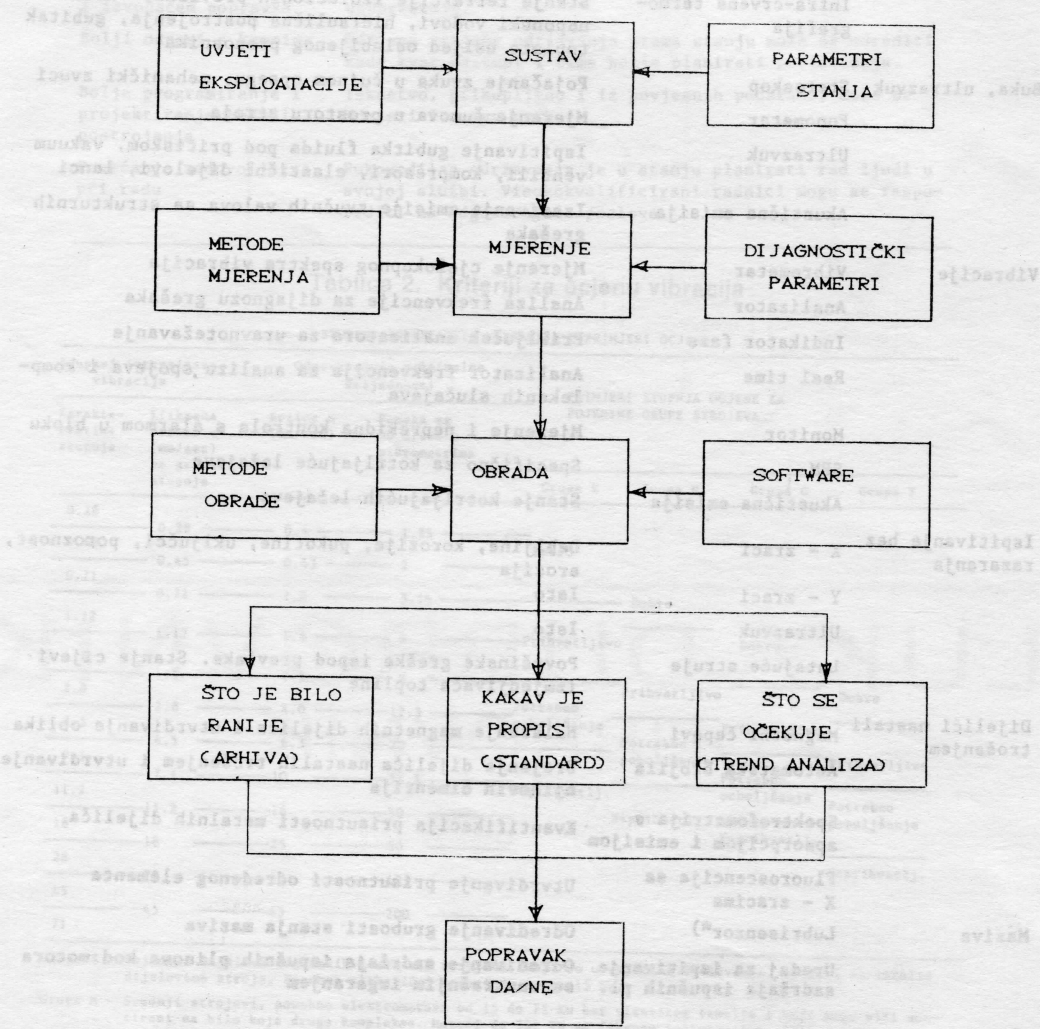
Dijagnostički pristup prikazan je na slici 8. i pretpostavke za dijagnostiku je detaljnije objasnio dr. Hotimir Ličen.

- Uz ilustrirane prikaze Ličen je u nastavku govorio o:
- mjernom lancu i vrstama kvarova,
  - mjernim veličinama - signalima,
  - opisu slučajnih veličina,
  - prenosnim funkcijama mjernog sistema,
  - mjerenju dinamičkih promjenjivih veličina,
  - indukcijom principu mjerenja,

- indukcijom davačima mehaničkih veličina,
- mjernim trakama i davačima na osnovi mjernih traka,
- piezoelektričnim sistemima mjerenja,
- primjeni spektralne analize u dijagnostici,
- dijagnostičkoj analizi i konfiguraciji sistema CAT (Computer Aided Test ng).

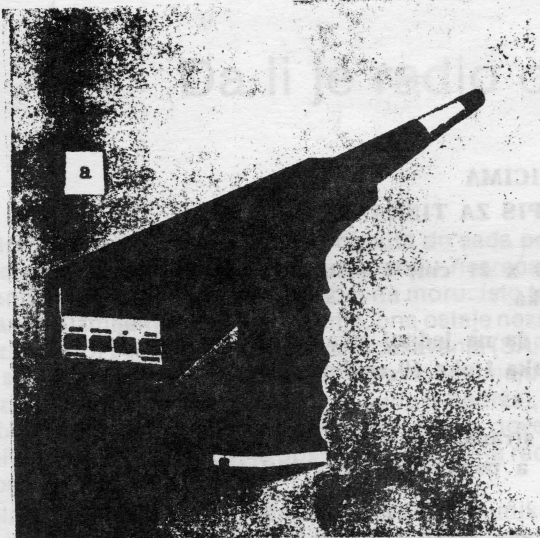
Na seminaru je prezentiran i dio kataloga proizvođača mjernih instrumenata za održavaoce, djelimično prikazanih na slici 9.

### DIJAGNOSTIČKI PRISTUP

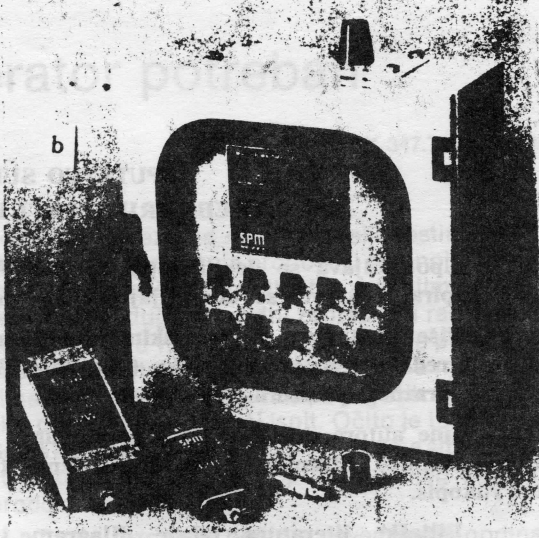


Slika 8. Dijagnostički pristup





**Analizator ležaja BEA -52**



**Sistem 32**

Slika 9. Analizator ležaja s mikroprocesorom /a/ i alarmni uređaj za kontrolu kotrljajućih ležaja kao i vibracije strojeva /b/

## 2.5. Primjena računala u održavanju

Danas se rijetko može susresti s održavanjem u kome nema primjene računala, počevši od pomoći u održavanju i održavanja podržanog računalom do upravljanja održavanjem podržanog računalom te ekspertnih sistema za dijagnostiku i održavanje.

O upravljanju održavanjem podržanom računalom (Computer Aided Maintenance Management) su izlagali prof. dr. Alan Wilson i Gaetano Vitarelli. Oni su iznijeli iskustva prikupljena u grupi za upravljanje održavanjem pomoću računala poznatoj kao CAMM. Ova grupa se sastoji od organizacija iz Velike Britanije. Analizom načina korištenja računalom oko 150 kompanija ustanovljeno je da se sistemi za održavanje sastoje od modula za registar opreme, modula skladišta i nabave, modula za upravljanje procesom rada i modula za analizu podataka.

Osnovni motiv za uvođenje i razvoj računarskih sistema je korist koja se očituje u:

- poboljšanju efikasnosti postojećih manualnih sistema,
- poboljšanju kontrole,
- omogućavanju analiziranja podataka koji se koriste za razvoj i praćenja strategija održavanja.

Obično se kod navođenja opravdanosti kompjuterizacije poslova održavanja koriste i neki brožani podaci:

- porast produktivnosti od 3%,
- smanjenje zaliha od 5%,
- smanjenje troškova oko naručivanja za 3%,
- povećanje raspoloživosti postrojenja za 2%,
- energetske uštede od 5%.

Iako su prednosti informatizacije održavanja očite autori navode nekoliko savjeta kojih se treba pridržavati prije odluke o nabavci informatičkog alata.

1. Procijeniti cjelovitost paketa
2. Ne kupujte prvo hardware, a zatim software
3. Izaberite sistem koji se može širiti prema vašim potrebama

4. Nemojte samo kompjuterizirati vašu ručnu obradu- izvršite i kontrolu

5. Provjerite izabrani sistem u primjeni

Ekspertni sistemi su nova generacija software proizvoda za različite inženjerske aktivnosti, a takvi sistemi za dijagnostiku i održavanje su nova grupa unutar te generacije. O njima je izlagao dr. Vidosav D. Majstorović prikazujući razvijeni sistem EXMAS - Expert Maintenance System. Namjena tog sistema je osiguranje toka inženjerskih podataka za projektiranje za održavanje, projektiranje tehnologije održavanja, te planiranje i upravljanje održavanjem.

## 2.6. Direktni pristup organizaciji održavanja

Dr. Emil Rejec u svom izlaganju objašnjava princip direktnog pristupa poboljšanju organizacije rada poznatog pod nazivom „nulta opcija“, (Zero Option) koji se ne opterećuje postojećim stanjem.

Ovaj pristup je dao bolje rezultate od rezultata dobivenih tradicionalnim pristupom organiziranju.

Autor smatra da je postupajući na analogan način moguće direktnim organiziranjem održavanja postići potrebnu raspoloživost sredstava za rad uz najniže moguće troškove.

## 3. ZAKLJUČAK

Nadamo se da će ovaj nešto širi osvrt na IIS proljetni seminar o suvremenim koncepcijama održavanja pridonijeti upoznavanju s raznim koncepcijama održavanja prema raznim autorima, objasniti bitne postavke održavanja prema stanju te uočavanju značaja tehničke dijagnostike i informatičke podrške za efikasnu provedbu održavanja. Radi kompletiranja ovog osvrta spomenut je i direktni pristup organizaciji koji se može primijeniti i na održavanje, a koji je detaljno objašnjen u Zborniku. Mnoga saznanja s ovog područja se već koriste u pomorstvu, a jedan je od ciljeva ovog osvrta proširivanje vidokruga na tom polju.