



# Održavanje EES-a

Općenito o održavanju

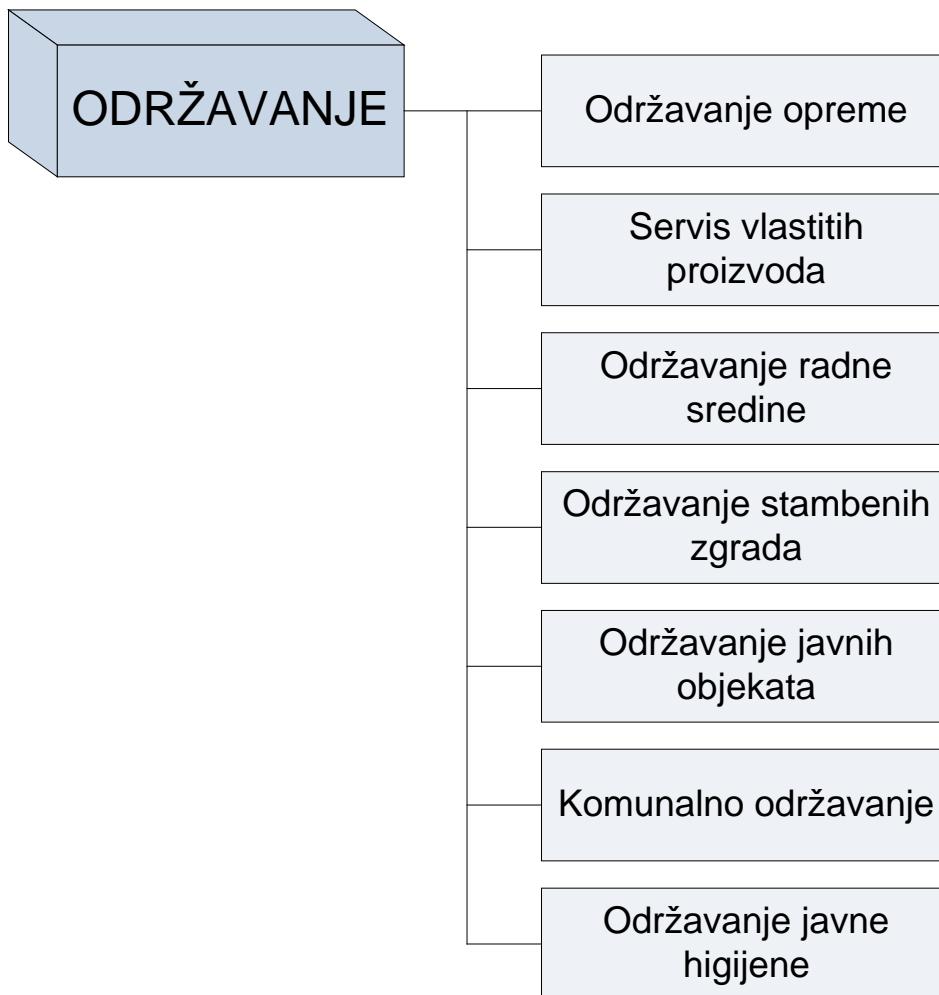
Prof.dr.sc. Igor Kuzle

Hrvoje Pandžić

# Definicija održavanja

- Održavanje su sva djelovanja usmjereni na očuvanje opreme u zadovoljavajućem pogonskom stanju u svrhu maksimiziranja produktivnosti iste tijekom njenog životnog vijeka.
- Termin održavanje (*maintenance, instandhaltung, manutenzione*)
  - rabi se za opisivanje raznih zahvata koji podupiru osnovnu funkciju tehničkih i drugih sustava
  - prvi se puta spominje 1914. godine u tvornici Henryja Forda

# Što se sve održava?



- najvažnije je održavanje opreme (vlasnik)
- održavanje vlastitih proizvoda (servis+proizvođač)
  
- održavanje objekata (stambenih, javnih)...

# Održavanje u poduzećima

Primarni zadaci	Sekundarni zadaci
Održavanje instalirane opreme (strojevi, uređaji itd.)	Briga oko smanjenja buke i raznih nečistoća
Održavanje postojećih industrijskih objekata i terena	Osiguranje sigurnosnih mjera propisanih zakonom (ETZ)
Pregledi, podmazivanja i čišćenja strojeva	Briga oko otpadnih materijala koji se još mogu upotrijebiti
Rekonstrukcija postojeće opreme i objekata	Briga o ekologiji
Izradba raznih čeličnih konstrukcija, instalacija te njihova ugradnja	Briga oko osiguranja normalnih radnih uvjeta (osvjetljenje, provjetravanje, vlažnost zraka i sl.)
Postavljanje nove opreme na njezino mjesto u pogonu	Proizvodnja i raspodjela energetskih medija

# Vremenski dijagram radova održavanja



# Vrijeme zastoja zbog održavanja

- Odnosi u postocima potrebnog vremena dijagnoze i vremena samog otklanjanja kvara u ovisnosti o vrsti sklopova

Sklopovi	Vrijeme dijagnoze (%)	Vrijeme popravka (%)
elektronski	90	10
električni	60	40
hidraulični	20	80
mehanički	10	90

# Zadatak održavanja

---

- Održavanje uključuje: ispitivanja, mjerjenja, zamjenu, prilagođavanje, popravke i poboljšanja opreme.
- Ne postoji jedinstvena metoda održavanja elektroenergetskog sustava. Postoje metode pojedinih kompanija nastale na temelju pogonskih iskustava za pojedinu opremu kao i preporuke proizvođača opreme.
- Svim metodama je cilj minimiziranje troškova održavanja (eksploatacije) i povećanje raspoloživosti opreme (100%), tj. povećanje produktivnosti.
- Osnovni zadatak stručne ekipe održavanja je smanjenje zastoja instalirane opreme.
- Zastoje bi trebalo po mogućnosti eliminirati.
- Zastoji su najčešće uzrokovani kvarovima.

# Trošenje

---

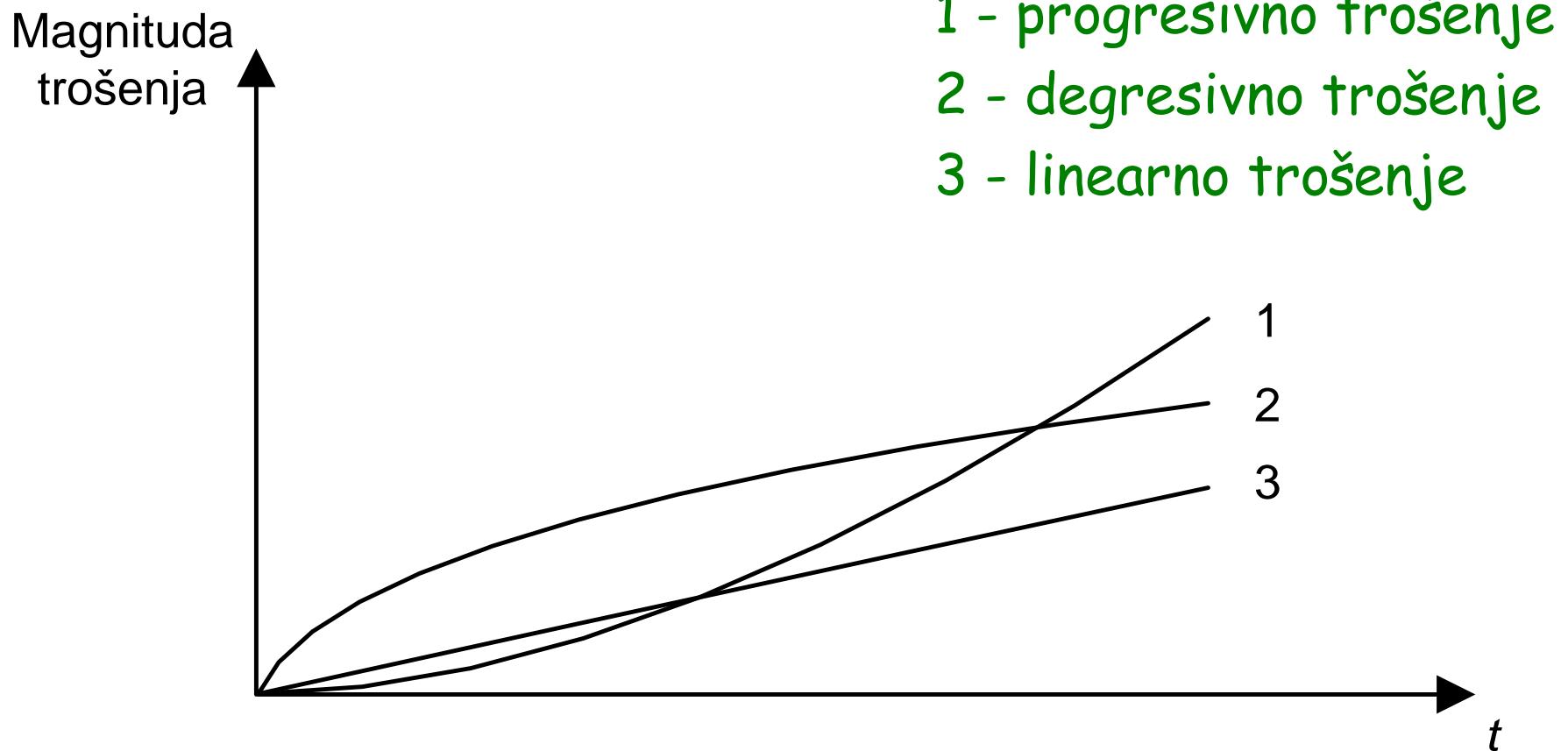
- Trošenje je proces degradacije opreme i pojavljuje se u više oblika, od kojih su najvažniji:
  - abrazija
  - zamor materijala
  - starenje
  - korozija
  - kontaminacija
- Svi ovi oblici trošenja utječu na smanjenje životnog vijeka opreme.

# Trošenje

---

- Trošenje najčešće nastaje kada su površine dvaju ili više dijelova u međusobnom dodiru i relativnom gibanju (trenje). Intenzitet tog trošenja određuje sila kojom dvije plohe djeluju jedna na drugu.

# Karakteristike trošenja



# Karakteristike trošenja

- Progresivno trošenje nastaje isključivo kao posljedica suhog trenja. U pravilu progresivno trošenje treba izbjegavati jer ono ima jaku tendenciju kidanja dijelova površine.
- Degresivno trošenje se najčešće javlja u uvjetima malih zračnih raspora kada finoća površina nije dovoljno velika. Naime, grubi vrhovi zbog loše izrade uzrokuju trenje. Međutim, ti vrhovi se s vremenom troše u početnom periodu rada i trenje se smanjuje. Smanjenje trenja znači i smanjenje trošenja.

# Karakteristike trošenja

---

- Linearno trošenje, prikazano na krivulji 3, nastaje međusobnim djelovanjem elemenata homogenih karakteristika. Ono je najočitije u trošenju zbog klizanja između metala i minerala bez krutog sloja. Trošenje s tekućim podmazivanjem tijekom stalnog rada se također može aproksimirati linearnim trošenjem jer je povećanje magnitude trošenja s vremenom zanemarivo.

# Preopterećenje

---

- Preopterećenje nastaje kada je naprezanje veće od granice izdržljivosti pojedine komponente.
- Iako su se donedavno trošenje i preopterećenje smatrali zasebnim procesima, njihov utjecaj se u stvarnosti zbraja.
- U pravilu trošenje prethodi preopterećenju, uz iznimku pogreške prilikom puštanja u pogon, kada preopterećenje nastaje bez prethodnog trošenja. Tada slijedi brzo uništenje ili kvar postrojenja ili opreme.

# Zamor materijala

---

- Naprezanje promjenjive magnitude i smjera koje može izazvati elastičnu i/ili plastičnu deformaciju dovodi do smanjenja čvrstoće materijala.
- To dovodi do zamora materijala, koje se stoga definira kao smanjenje čvrstoće zbog naprezanja koje je promjenjivo po veličini i smjeru.

# Narezanje

---

- Za vrijeme rada se javljaju različita naprezanja, koja iskazuju pojedinačne ili zajedničke učinke.
- Naprezanja materijala uzrokuju:
  - mehanička opterećenja
  - termička opterećenja
  - promjene tlaka u procesima
- Naprezanje uzrokuje zamor materijala, što se očituje kao pukotina ili izobličenje komponente.

# Narezanje

- Uzroci pukotina u elektrostrojarstvu:

Greška u materijalu	4 %
Greška u projektiranju	11 %
Greška u proizvodnji	48 %
Radni utjecaj	37 %

# Starenje materijala

---

- Starenje materijala podrazumijeva promjene u strukturi materijala nastale apsorpcijom energije, gdje su najvažniji učinci starosti.
- Rezultati starenja materijala su stalne promjene u čvrstoći ili obliku materijala.

# Što je kvar?

---

- Kvar - promjena je stanja opreme ili njezinih sastavnih dijelova, koje smeta ili onemogućava funkciju opreme ili je opasan za okoliš.
- Podjela kvarova
  - kritičan kvar (potpuno onemogućava funkciju ili je opasan za okoliš)
  - nekritičan kvar (smanjuje učinak ili kvalitetu rada u dopuštenim granicama)

# Što je oštećenje?

---

- Oštećenje - promjena je stanja opreme ili njezinih sastavnih dijelova, koja još ne smeta funkciji, ali se može razviti u kvar ili na drugi način smeta okolišu.
- Za definiranje strategije i kasnije tehnologije održavanja za neku opremu, potrebno je dobro poznavati strukturu kvarova koji se pojavljuju za vrijeme eksploatacije opreme.

# Uzroci kvarova

## ➤ vremenske prilike

- većina prekida nastaje kao posljedica oštećenja prirodnim pojavama (grmljavine, jaki vjetrovi, oluje, snježne oluje)

## ➤ konstrukcijska ograničenja opreme

- prenaponi, preopterećenja, ...

## ➤ loš nadzor

- nadgledanje i analiziranje nepravilnosti nužno je kako bi se ustanovio neispravan rad dijelova sustava kao i mjesto kvara ukoliko do njega dođe

# Uzroci kvarova

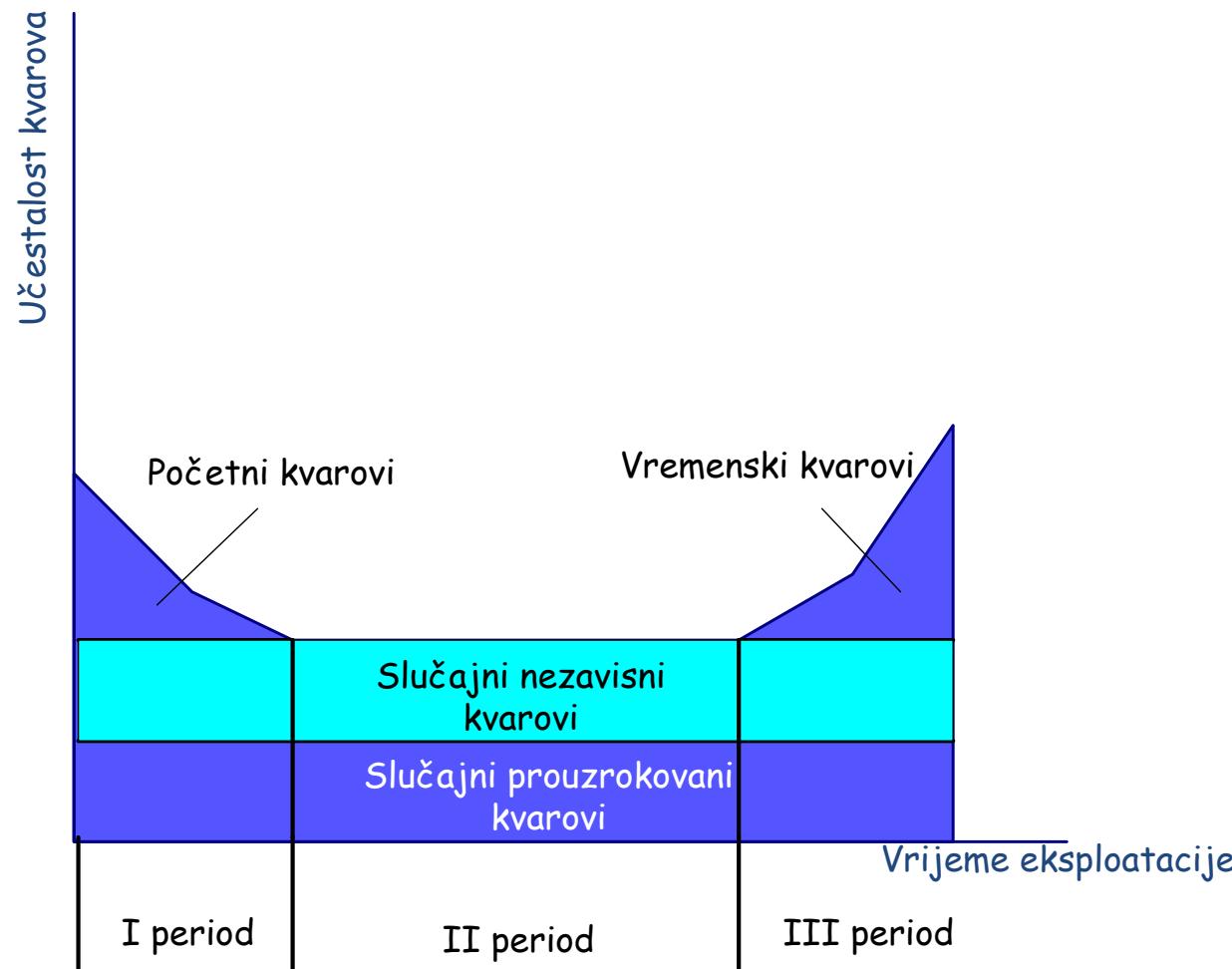
## ➤ promjenjivo opterećenje

- naprezanje opreme

## ➤ ostali uzroci

- djelovanja raznih životinja (naročito ptica te manjih sisavaca)
- ljudski faktor (prilikom radova kranovi često dodiruju nadzemne vodove, kopanjem se često prekinu ili oštete podzemni kabeli, rušenje drveća, prometne nesreće - rušenje dalekovodnih stupova, vandalizam, ...)
- nečistoća, posolica, ...

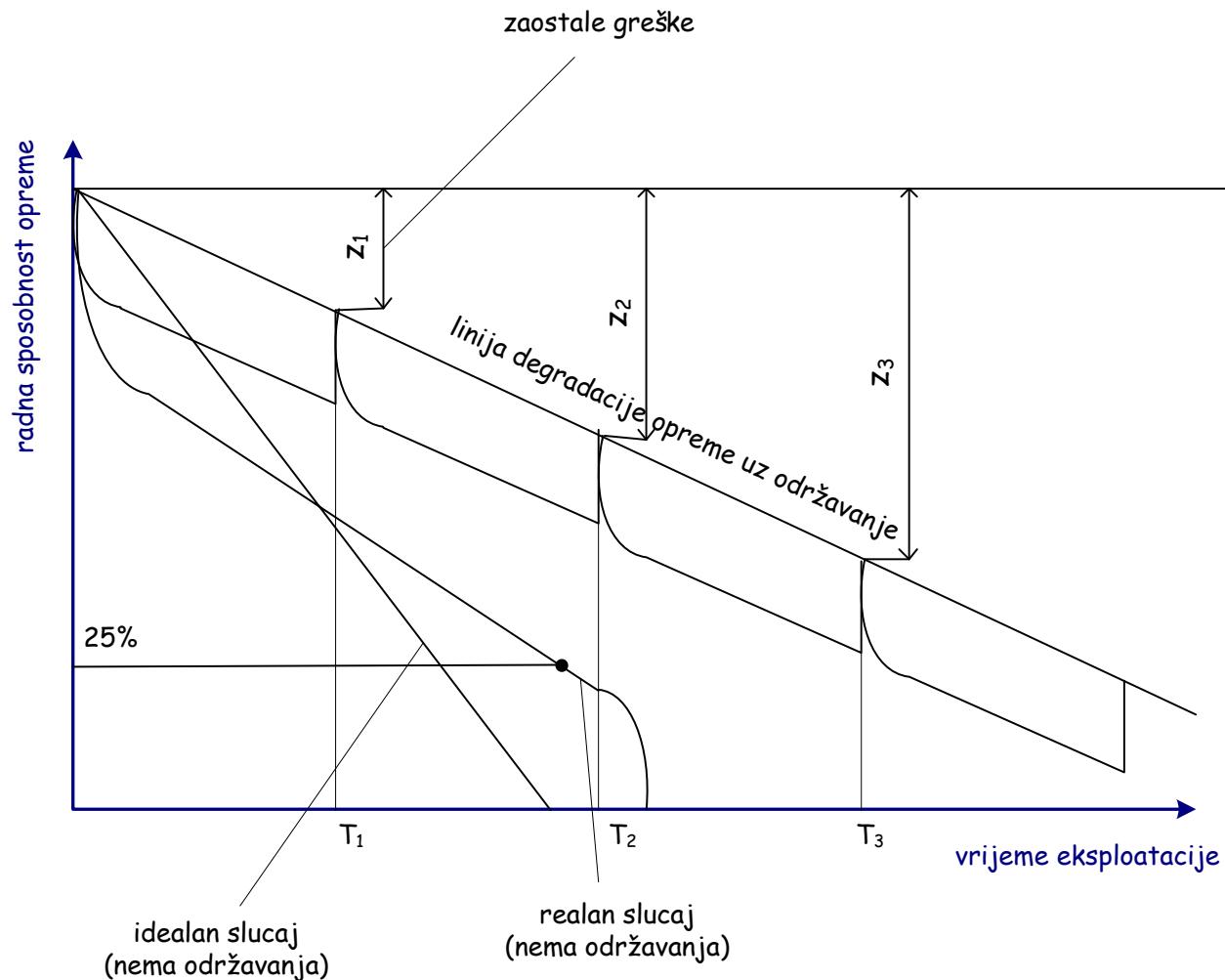
# Krivulja kade



# Pad radne sposobnosti opreme

- Za vrijeme vijeka eksploatacije opremi kao i svakomu drugom tehničkom sustavu u određenoj zakonitosti s vremenom pada ispravnost dijelova i cjeline.
- Opremi pada i radna sposobnost za koju je projektirana.

# Pad radne sposobnosti opreme



# Pareto princip

---

- Prema Pareto principu mali broj komponenata uzrokuje veliki postotak kvarova.
- U velikom tehničkom sustavu 10% komponenti troši čak 75% ukupnog budžeta za održavanje, 25% komponenti troši 15%, a oko 65% komponenti troši svega 10% ukupnog budžeta za održavanje.
- Ovaj princip se može primijeniti i na održavanje elemenata elektroenergetskog postrojenja jer u svakom postrojenju postoji manji broj elemenata koji su izrazito podložni kvarovima, puno više nego ostali elementi.

# Pareto princip

---

- Primjena se ostvaruje specijalizacijom svakog tehničara i inženjera na ograničen broj i opseg poslova, koji moraju biti identificirani, jer se najveći potencijali za uštedu postižu upravo analizom potprocesa stanja i održavanja.
- Tako se bolje upoznaju pojedine komponente sustava i lakše je identificirati one koje se najčešće kvare.

# Pareto princip

---

- Ovaj princip se može zasebno primijeniti na različite procese: održavanje, rezervne dijelove i materijal.
- Stoga je potrebno identificirati opremu koja čini najveći udio u cijeni održavanja i na nju обратити posebnu pažnju investirajući dodatna sredstva u održavanje opreme podložne kvarovima.

# Značajke kvalitete opreme

---

- mjera kojom se izražava kako izrađena oprema zadovoljava funkciju i namjenu za koju je izrađena
- za utvrđivanje kvalitete opreme često se rabe sljedeći klasični kriteriji (značajke opreme):
  - **Funkcionalnost** - ostvarivanje kvalitete u konstrukciji
  - **Tehnologičnost** - ostvarivanje kvalitete opreme za vrijeme njezine proizvodnje
  - **Eksplotabilnost** - ostvarivanje kvalitete opreme za vrijeme eksplotacije ili uporabe

# Značajke kvalitete opreme

---

- danas se sve češće iskorištavaju suvremene značajke opreme, a to su:
  - pouzdanost
  - raspoloživost
  - efektivnost
  - učinkovitost
  - sposobnost za održavanje
  - funkcionalna pogodnost i druge

# Značajke kvalitete opreme

- **Raspoloživost  $A$**  je odnos stvarnog rada neke opreme i teorijskog, tj. kalendarskog vremena

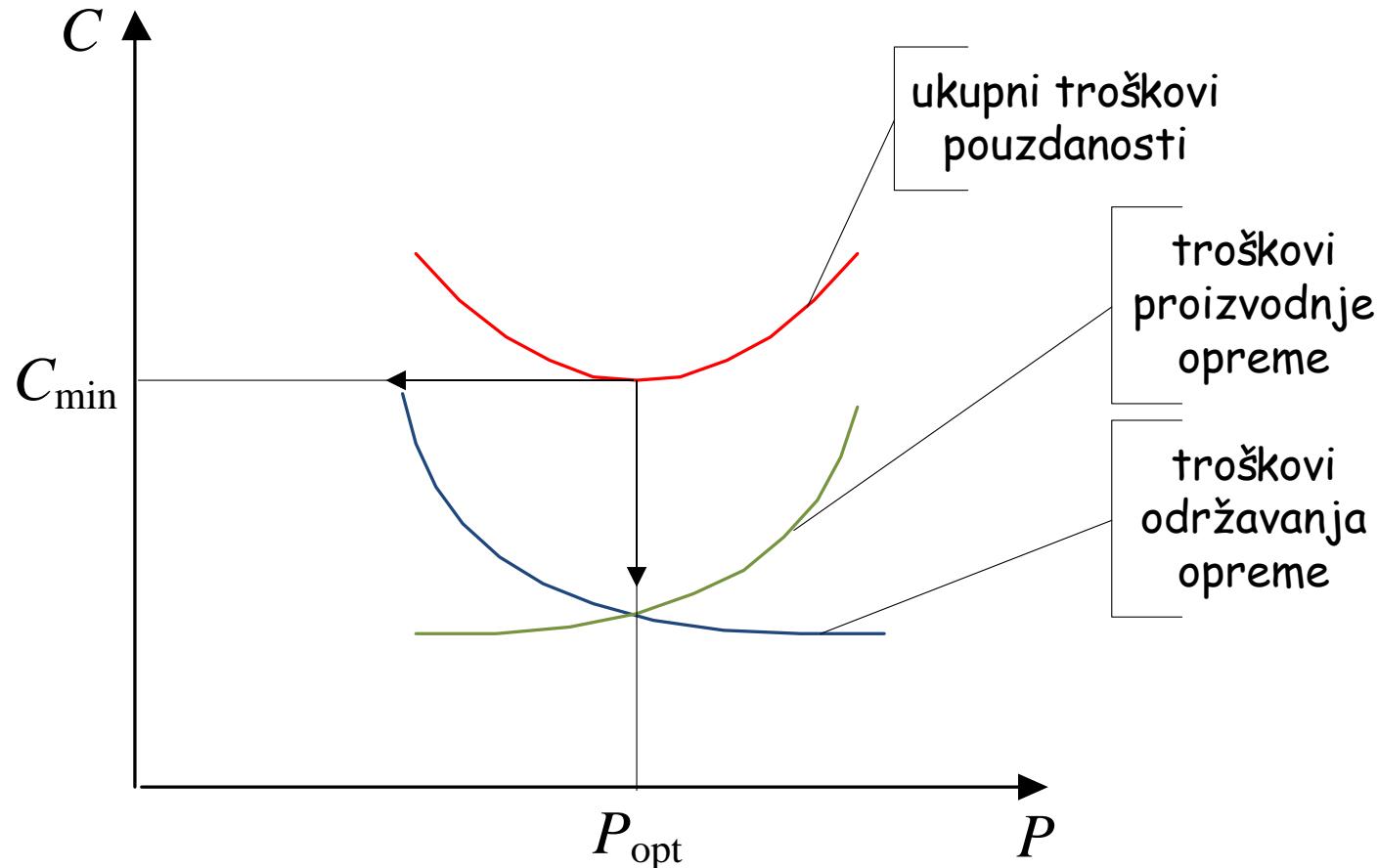
$$A = \frac{t_i - t_z}{t_i} \cdot 100\%$$

$t_i$  vrijeme ispravnog rada stroja

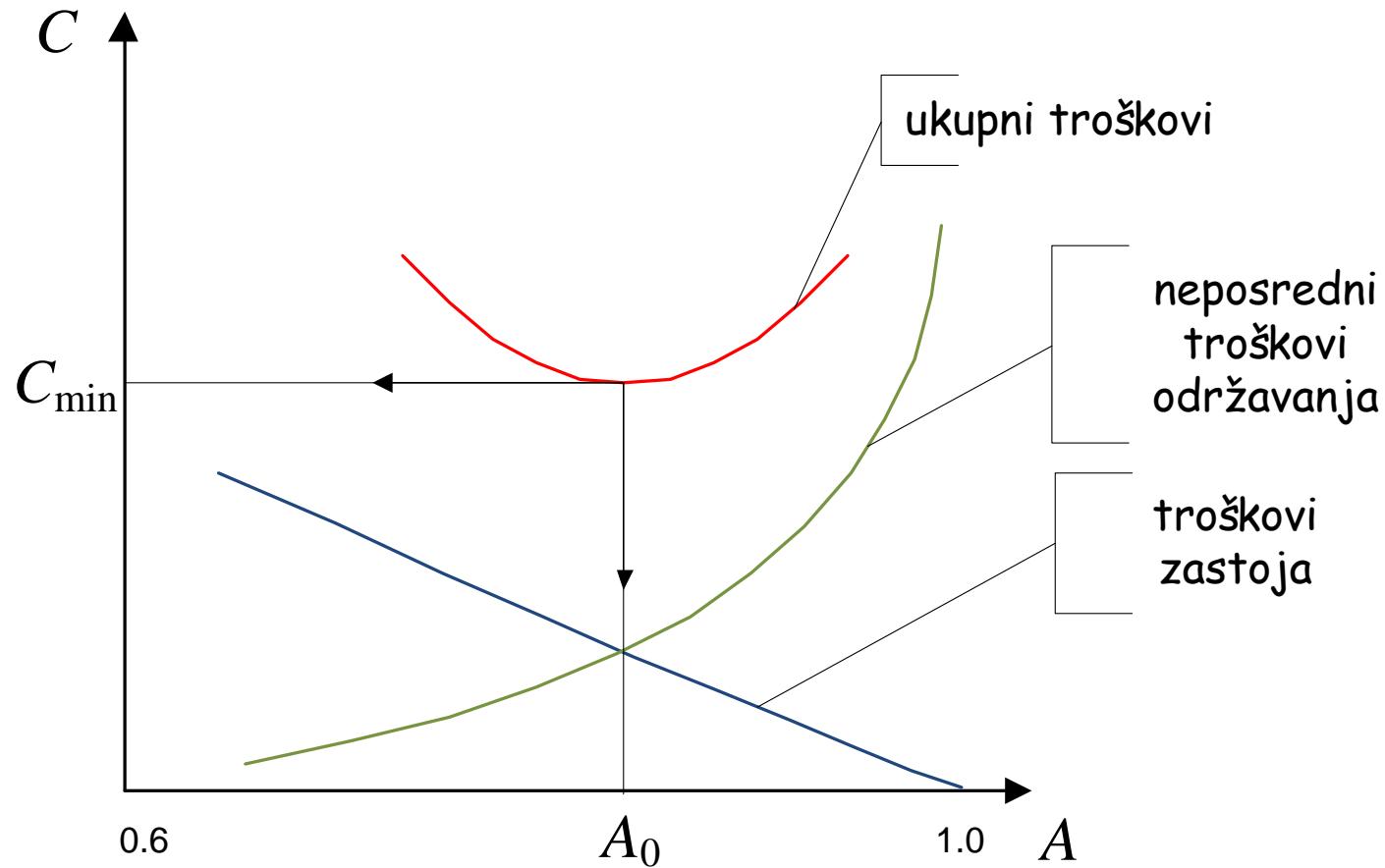
$t_z$  vrijeme zastoja

- **Pouzdanost  $R$**  je vjerojatnost da će određeni tehnički sustav u propisanim uvjetima rada i u određenu vremenu obaviti zadatak bez kvara

# Troškovi u ovisnosti o pouzdanosti



# Troškovi u ovisnosti o raspoloživosti



# Značajke kvalitete opreme

- Smatra se da se pouzdanost koristi za planiranje razvoja tvrtki - naime, kada bi se proizvodili samo visokopouzdani proizvodi dugog vijeka trajanja cijela industrija bi izumrla.
- Pouzdanost može biti:
  - **Projektirana** - određuju je projektanti koji projektiraju opremu
  - **Ostvarena** - određuju je radnici koji proizvode i izrađuju opremu
  - **Eksplotacijska** - određuje ju održavanje
- Eksplotacijska pouzdanost nekog sustava ne može se povećati bez značajne rekonstrukcije.

# Značajke kvalitete opreme

- **Funkcionalna pogodnost**  $F_p$  označava mogućnost uspješne prilagodbe opreme okolišnim uvjetima u određenu vremenu trajanja eksploatacije.
- **Efektivnost** opreme je izvedena veličina iz drugih značajki i danas se dosta primjenjuje. Ona označuje vjerojatnost uspješnog stupanja u rad opreme, obavljanje tog rada u određenu vremenu i u određenim uvjetima

$$E = A \cdot R \cdot F_p$$

# Nabavka nove opreme

- Od osoblja koje provodi održavanje zahtjeva se
  - što kraće trajanje popravka u slučaju kvara te
  - što bolje održavanje opreme
- Istovremeno predmetno osoblje najčešće nema nikakvog utjecaja na izbor opreme koja se kupuje, na režim eksploatacije, na način rukovanja i sl.
- Da bi se osigurala maksimalna raspoloživost opreme tijekom njenog pogona prilikom nabavke iste potrebno je:
  - kupovati visoko pouzdanu opremu koja je uglavnom relativno skupa (t.j. potrebno je naći odgovarajuću mjeru između cijene i kvalitete opreme koja se nabavlja)
  - u postupku izbora opreme koja će se nabavljati neophodno je uključiti stručnjake iz raznih područja (održavanje, eksploatacija, ...)

# Nabavka nove opreme

- Oko 80% troškova održavanja opreme u njenom životnom vijeku uzrokuje nepouzdana oprema, a krivicu snose svi stručnjaci koji su sudjelovali u nabavci i ugradnji te opreme.
- Da bi se predmetni troškovi smanjili potrebno je učiniti mnoge poslove tijekom nabavke opreme, a to su:
  - suradnja stručnjaka održavanja s ostalima prilikom izbora opreme
  - suradnja pri zaključivanju ugovora i pri ocjeni da li su proizvođači ispunili obveze
  - suradnja u pripremama za uključivanje opreme u tehnološki proces
  - suradnja u prijevozu i montaži opreme kao i nadzor instaliranja opreme
  - suradnja na praćenju radova i zahtijevanje ispunjenja garancijskih obaveza od dobavljača i proizvođača opreme.

# Nabavka nove opreme

---

- Što tako formirani radni tim zahtjeva od proizvođača?
  - podobnost opreme i njezine okolice za čišćenje
  - podobnost opreme za podmazivanje
  - mogućnost održavanja, čišćenja i podmazivanja bez posebnih uputa
  - mogućnost prilaska svim dijelovima i sklopovima radi održavanja i rukovanja
  - jednostavno prilaženje i otklanjanje mjestu kvara za vrijeme pogona

# Nabavka nove opreme

---

- Osim ovih načelnih i općih zahtjeva, stručnjak za održavanje mora prikupiti podatke i o važnim detaljima kao što su:
  - potrebe za doknadnim dijelovima, kakvi su rokovi nabave i sl.
  - mogućnost agregatne zamjene i brzog popravka
  - primjena standardnih materijala i dijelova
  - osjetljivost opreme na okoliš
  - zahtjevi za preventivni pregled i podmazivanje
  - jednostavno rukovanje i transport sastavnih dijelova pri sastavljanju
  - konstrukcijska rješenja dijelova tako da se onemogući pogrešno sastavljanje
  - je li dokumentacija proizvođača opreme opsežna i pregledna

# Nabavka nove opreme

---

- Vlasnici poduzeća ne bi smjeli štedjeti prilikom nabave kvalitetne i visokoproduktivne opreme, jer zastoji uzrokuju velike gubitke.
- Nabavom takve opreme stvoreni su samo preduvjeti za visoku raspoloživost, da bi se visoka raspoloživost održala tijekom pogona predmetnu opremu tijekom životnog vijeka treba njegovati na odgovarajući način.
- To se postiže ako stručnjak zadužen za održavanje dobro izabere strategiju održavanja.

# ODRŽAVANJE ELEKTROENERGETSKOG SUSTAVA

## Strategije i metode održavanja

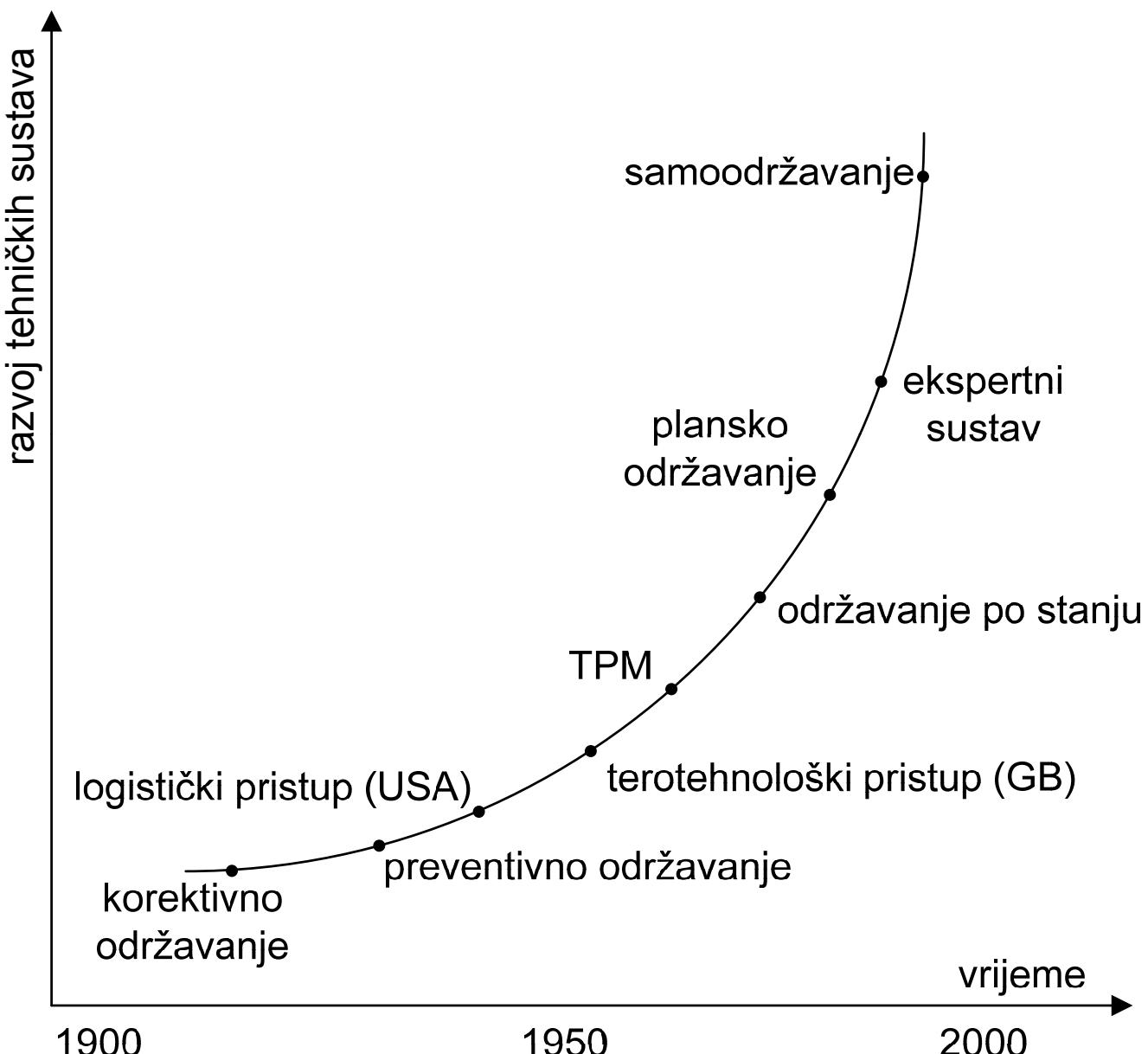
Prof.dr.sc. Igor Kuzle

- Korektivno
- Preventivno
- Održavanje po stanju
- Terotehnološko
- Logističko
- Plansko s remontima - Zakonsko održavanje
- Po ukazanoj prilici
- Cjelovito produktivno održavanje (engl. *Total Productive Maintenance*)
- Održavanje zasnovano na pouzdanosti (engl. *Reliability-Centered Maintenance*)
- Održavanje zasnovano na riziku (engl. *Risk-Based Maintenance*)
- Ekspertni sustavi
- Samoodržavanje

# Strategije i metode održavanja

2





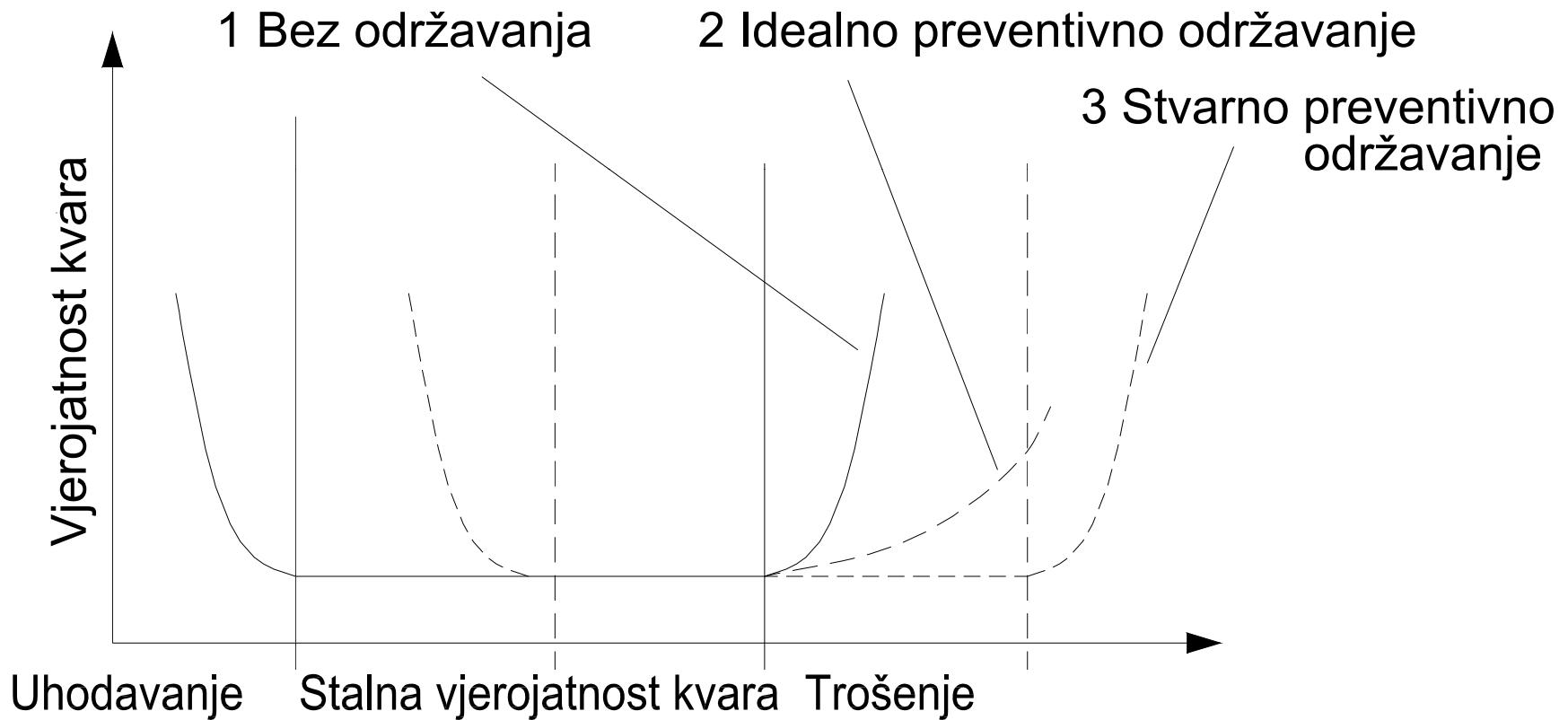
# Korektivno održavanje

---

- Najstariji pristup, svodi se na zahvate nakon što se kvar dogodio.
- Danas se koristi samo za nevažnu, tj. pomoćnu opremu koja ne utječe izravno na odvijanje proizvodnje ili na pogon postrojenja.

- Prvi put primijenjeno u Americi nakon II sv. rata. Temelji se na obavljanju radova održavanja prema zacrtanom planu, prije nego se kvar dogodi.
- Provode se ciklički zahvati u skladu s mogućnostima pogona. Uglavnom se zahtjeva planski izlazak iz pogona, što je nepovoljno.
- Za njegovo provođenje potrebno je angažiranje velikih sredstava (materijali, rezervni dijelovi i stručnjaci koji se bave angažiranjem).
- Najzastupljeniji pristup. Temelj svim ostalim pristupima.

- Za preventivno održavanje, oprema se treba ponašati prema kada-krivulji.



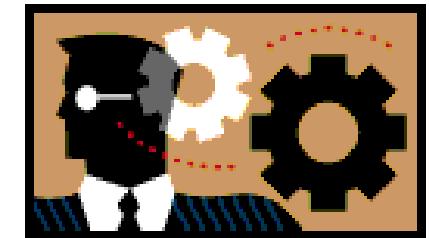
## ➤ Održavanje na temelju stanja

- Dio preventivnog održavanja, nastaje 70 godina (razvoj elektronike i instrumenata za mjerjenje raznih parametara bitnih za ocjenu stanja opreme).
- Na temelju mjerjenja daje se procjena stanja opreme u budućnosti.
- Razlika prema preventivnom (ciklički zahvati s unaprijed poznatim scenarijem) u slučaju održavanja po stanju održavanje se dozira s obzirom na rezultate mjerjenja.
- Smanjuju se troškovi održavanja i zastoji.

# Održavanje na temelju stanja

2

- U periodu 1950-1960 god. dominiralo je održavanje na temelju stanja, koje se potpuno oslanjalo na ljudska osjetila.
- U periodu 1960-1970 god. postupno se zamjenjivalo održavanjem temeljenom na vremenu.
- Povećani pritisak na troškove i nove mogućnosti otvaraju se tehnologijama dijagnostike u periodu nakon 1990 god. i doveli su do toga da se održavanje temeljeno na vremenu zamjenjuje sve više strategijom održavanja na temelju stanja, (mješavina subjektivne dijagnoze i one potpomognute opremom).



➤ Sustavno uvođenje održavanja na temelju stanja zahtjeva analizu sustava objekta i procedure.

- odabir komponenti na kojima vrijedi provoditi dijagnozu
- određivanje trajno relevantnih komponenti
- određivanje točaka mjerjenja i njihova identifikacija



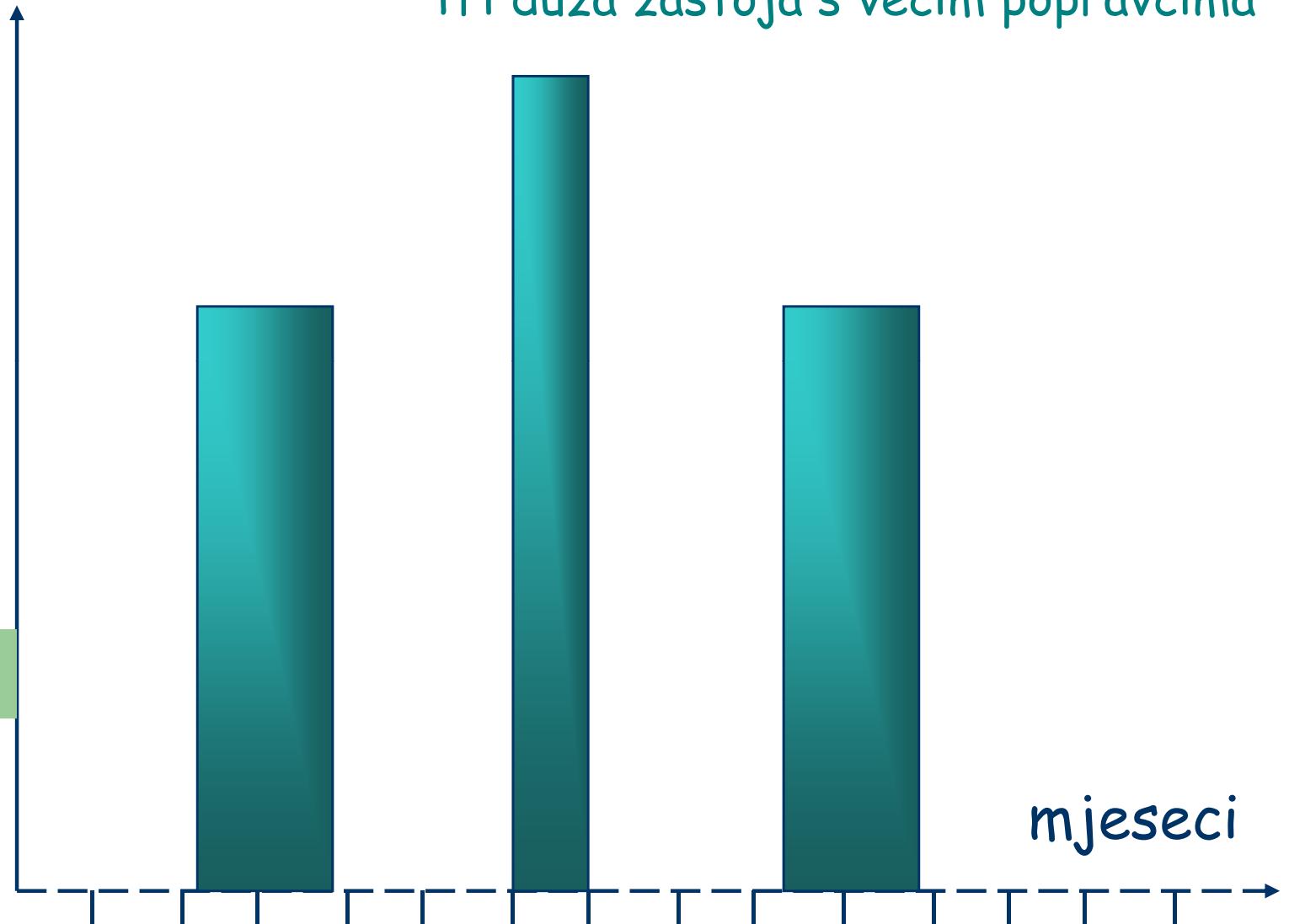
# Usporedba metoda održavanja

1

Tri duža zastoja s većim popravcima

Količina  
zahtjevnog  
napora  
održavanja

Korektivno







# Terotehnološko održavanje

---

- Grč. *Teros* - briga
- Nastalo u Velikoj Britaniji, početkom 70 godina (Dennis Parkes).
- Temelj koncepcije da stručnjaci održavanja moraju svojim znanjem izravno ili posredno sudjelovati u svim fazama životnog vijeka opreme (od ideje o nabavci do otpisa iste).
- Na taj način su stručnjaci iz održavanja počeli sudjelovati u odlučivanju o nabavci nove opreme (zbog manjih troškova održavanja tijekom eksploatacije i veće raspoloživosti opreme).
- Nastalo na temelju preventivnog održavanja.

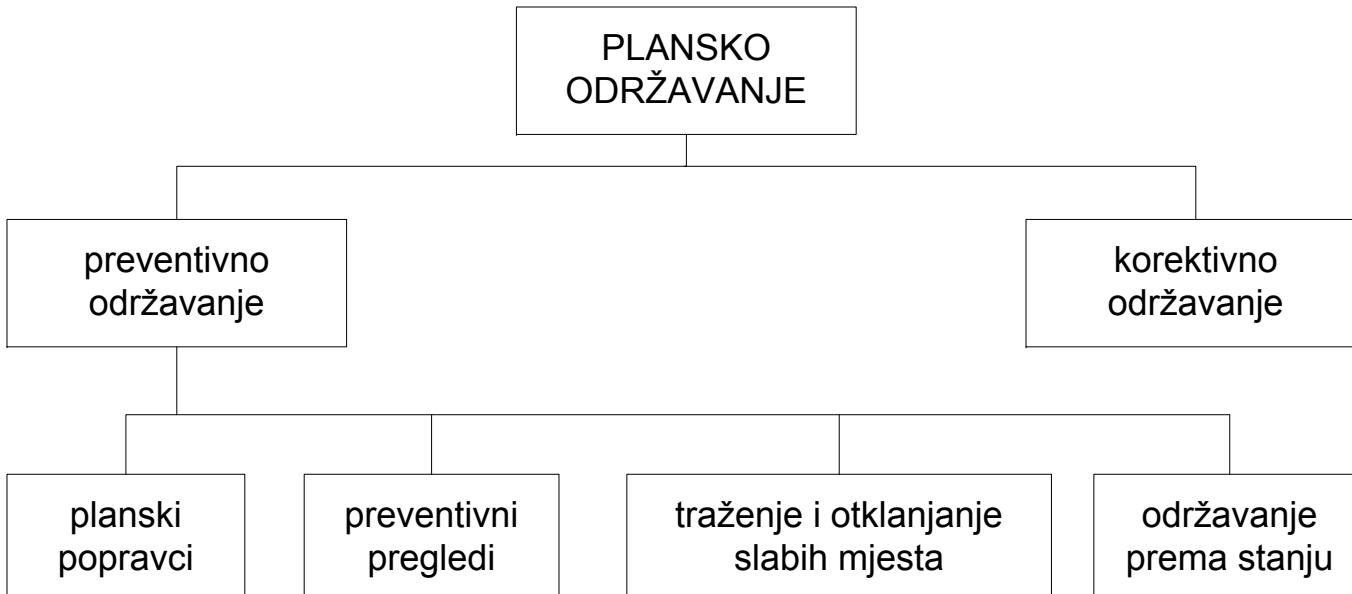
# Logističko održavanje

---

- Razvija se u Americi (B. Blanchard) paralelno s terotehnološkim pristupom u Europi. Kao što samo ime kaže radi se o potpori instaliranoj opremi u njenom pogonu. Pozornost se posvećuje samom projektiranju, proizvodnji opreme i u konačnici njenoj uporabi.
- Težište je da se kroz projektiranje i proizvodnju opreme učini maksimalno da bi oprema imala visok stupanj pouzdanosti i lako održavanje u svrhu učinkovite eksploatacije.
- Nastalo na temelju preventivnog održavanja.

# Plansko održavanje

- Pojavilo se 80 god. 20 st. kao kombinacija korektivnog i preventivnog održavanja u omjeru koje odgovara pojedinom poduzeću.
- Temelji se na korektivnom održavanju uz pojedine module preventive: planski popravci, preventivni pregledi, plansko podmazivanje, traženje i otklanjanje slabih mjesta, održavanje po stanju i drugi suvremeni pristupi održavanju.



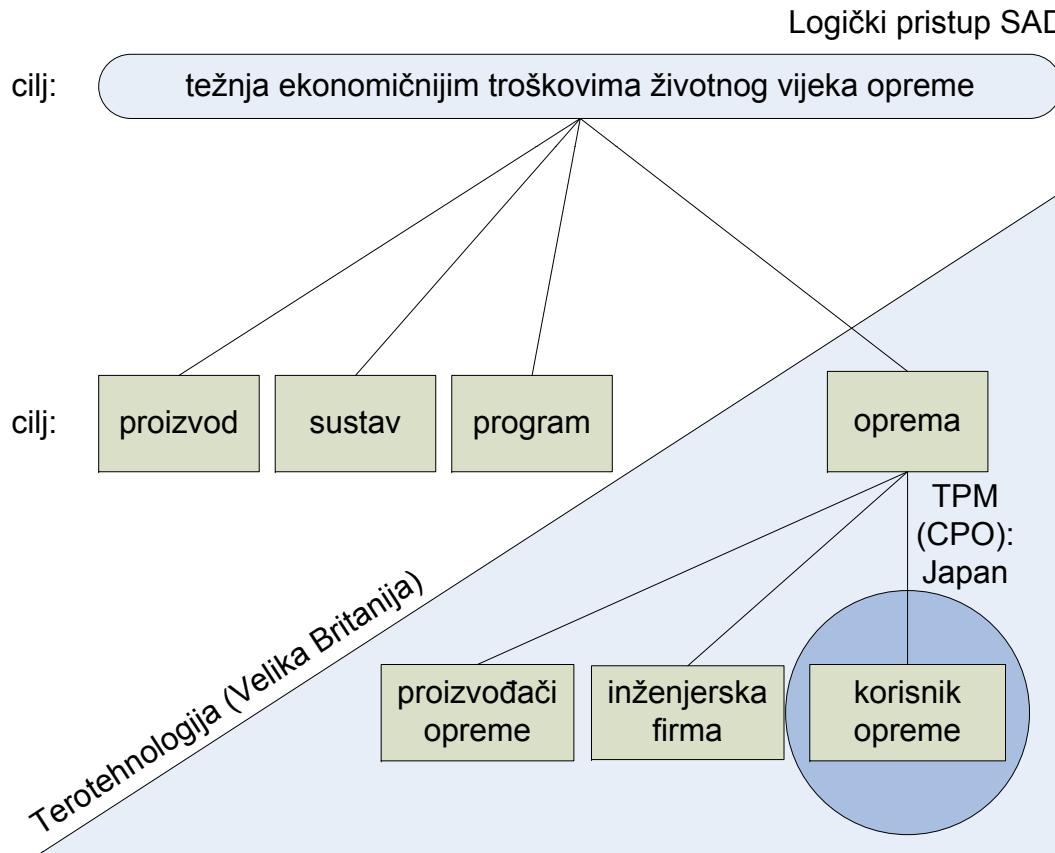
# Po ukazanoj prilici

---

- Kao što samo ime kaže ova vrsta održavanja može se smatrati dijelom proširenog korektivnog održavanja.
- Provodi se tijekom korektivnog održavanja, tj. tijekom uklanjanja kvara, na elementima na kojima se nije dogodio kvar.
- Najčešće uključuje razna čišćenja, podmazivanja, bojanja, i zamjenu jednostavnijih dijelova.

- Naziva se još i Totalno produktivno održavanje (TPO)
- Početkom 70. god. 20. st. razvija se u Japanu (S. Nakajima) u slučajevima visoko-automatizirane i masovne proizvodnje (Toyota).
- Održavanje se povjerava osoblju koja rukuje s opremom (osoblje koje je najmotiviranije za nesmetan rad opreme zbog zarade i uspjeha cijele grupe unutar tvrtke).
- Dugotrajan proces (min. 6 mj.) poštivanje tzv. 5S pravila (Seiso, Seiri, Seiton, Seiketsu i Shisuke - čišćenje, urednost, red, čistoća, disciplina).
- Izvan Japana prvi ga uveo Renault.

- Na zapadu se počelo primjenjivati 80. god. 20. st. (Renault – zastoji opreme smanjeni 20-30%).
- Nastalo na temelju preventivnog održavanja.



- Početak

1. Odluka rukovodstva
2. Informiranje i izobrazba rukovodećih kadrova
3. Postavljanje organizacijske strukture za vođenje
4. Dijagnostika postojećeg stanja i početak mjerjenja
5. Izradba programa

- Razvoj

6. Lansiranje zacrtanih zadataka
7. Analiza i otklanjanje glavnih uzroka lošeg rada
8. Razvoj samoodržavanja-rukovatelji sami obavljaju manje zahvate
9. Razvoj programiranog održavanja

- Ostvarivanje

10. Poboljšanje tehničkih znanja djelatnika
11. Uporaba dobivenih znanja u stvaranju podloga za nove uređaje
12. Naljepnica CPO

- Razvijeno sredinom 70. god. 20. st.
- Prva primjena u avionskoj industriji.
- Primjenom održavanja zasnovanog na pouzdanosti (RCM), svaki element postrojenja ima svoje sigurnosno minimalno predviđeno održavanje koje doprinosi općem povećanju sigurnosti, pouzdanosti i smanjenju troškova pogona.

- Pozornost je usmjeren na više elemenata održavanja:
  - Primjena projektiranja postrojenja da bi se omogućio pouzdan rad i lako održavanje
  - Uvjetno praćenje stanja postrojenja
  - Izrada studija opasnosti koje su moguće u pogonu postrojenja
  - Primjena računala
  - Metode analize pojave kvarova i njihovog učinka na sustav u kojem se nalaze
  - Timski rad i povećana stručnost osoblja održavanja itd.

- Dobrota RCM je u tome, što sustav omogućava jednostavno shvaćanje uvjeta koji su temelj za donošenje odluke za proaktivne korake održavanja (tehnički moguće korake i učestalost provođenja istih).
  - Za skrivenе prekide proaktivni korak je vrijedno činiti ako smanjuje rizik pojave višestrukih prekida. Ako to nije moguće, onda se pristupa planiranom traženju kvara. Ako kvar nije moguće pronaći, potrebno je pristupiti redizajniranju.
  - Za prekide koji imaju za posljedicu smanjenje sigurnosti osoblja i negativan utjecaj na okolinu, proaktivni korak se primjenjuje samo ako se time smanjuje rizik samog prekida. Ako se takav korak ne može pronaći, potrebno je pristupiti redizajniranju ili se mora promijeniti proces.

- Za prekide koji imaju negativni utjecaja na pogon, proaktivni korak je korisno činiti samo ako je trošak tog koraka u nekom određenom vremenskom periodu, manji od zbroja troškova gubitaka u proizvodnji i popravka (korak mora biti financijski pozitivan). Ako se troškovi ne mogu opravdati onda se primjenjuje neplanirani korak, odnosno "pogon do kvara".
- Za kvarove koji nemaju posljedica na pogon, proaktivni korak je korisno činiti samo ako je trošak koraka u nekom određenom vremenskom periodu, manji od troška popravka. Ako se korak ne može ekonomski opravdati, pristupa se neplaniranom koraku, "pogon do kvara" ili u krajnjem slučaju, redizajniranju.

- Ovom metodom održavanja u obzir se uzimaju i posljedice koje prekid (kvar) ima na svoju: okolinu, pogon i sigurnost ljudi.
- Isto tako, RCM proces uzima u obzir održavanje svakog elementa pogona u sadašnjem stanju, a ne u stanju koje će biti u budućnosti.

- Primjenom RCM pristupa, postižu se poboljšanja pogona koja se očituju u sljedećem:
  - Povećana sigurnost u pogonu i osiguranje okoliša.
  - Poboljšani rezultati pogona (količina, kvaliteta, usluge).
  - Bolje održavanje uz smanjenje troškova.
  - Duži period korištenja skupih uređaja (osnovnih sredstava).
  - Sveobuhvatna baza podataka održavanja.
  - Povećana motivacija pojedinaca vezanih za održavanje.
  - Bolji timski rad odjela za održavanje.

- RBM - engl. *Risk-Based Maintenance*
- Strategija za organiziranje rasporeda održavanja zasnovana na izjednačavanju inkrementalnog rizika nastala 1990. g.
- Prvo je primijenjen u naftnoj industriji u SAD-u, kasnije u medicini i energetici
- Proučavaju se mogući kvarovi i načini na koje oni mogu nastati, te njihov utjecaj na pogon sustava
- Analiza rizika uključuje: identificiranje, karakteriziranje, kvantificiranje i ocjenjivanje kvarova, odnosno nepovoljnih događaja

- Analiza rizika integrira vjerojatnost i posljedicu pojedinog događaja i pokušava odgovoriti na sljedeća pitanja:
  - Koji se neželjeni događaji mogu pojaviti?
  - Na koji način se sve ti događaji mogu pojaviti?
  - Koja je njihova vjerojatnost?
  - Koje su posljedice tih događaja?
- Rizik se definira na sljedeći način:  
**RIZIK = VJEROJATNOST × POSLJEDICA**
- Dakle, potrebno je izračunati vjerojatnost neželjenog događaja i njegove posljedice

- Analiza rizika može biti kvantitativna ili kvalitativna
- Kvantitativna analiza rizika:
  - Rezultat je broj (primjerice cijena u jedinici vremena)
  - Pomoću tog broja se radi redoslijed važnosti podsustava koje treba održavati
  - Iziskuje veliku količinu često nedostupnih ili nepotpunih podataka
- Kvalitativna analiza rizika:
  - Jednostavniji pristup
  - Rezultati opisni, bez konkretnih brojeva

- Nakon određivanja rizika pojedinih neželjenih događaja pažnja se usmjerava na pojačanje održavanja elemenata visokog i srednjeg rizika
- U područjima niskog rizika reducira se opseg radova održavanja na strukturiran i opravdan način

# Ekspertni sustavi održavanja

- Razvijaju se početkom 80. god. 20. st. I temelje se na razvoju hardware-a i software-a.
- Temelje se na bazama podataka i mehanizmima zaključivanja (tj. umjetnoj inteligenciji).
- Prepoznaju se mogući kvarovi na temelju ulaznih parametara i predlažu se potrebna djelovanja na održavanju (temeljena na pohranjenom znanju stručnjaka).
- Uz pomoć softwarea za ekspertne sisteme dobivaju se informacije koje su zapravo radni nalozi za obavljanje definiranih popravaka.

# Samoodržavanje

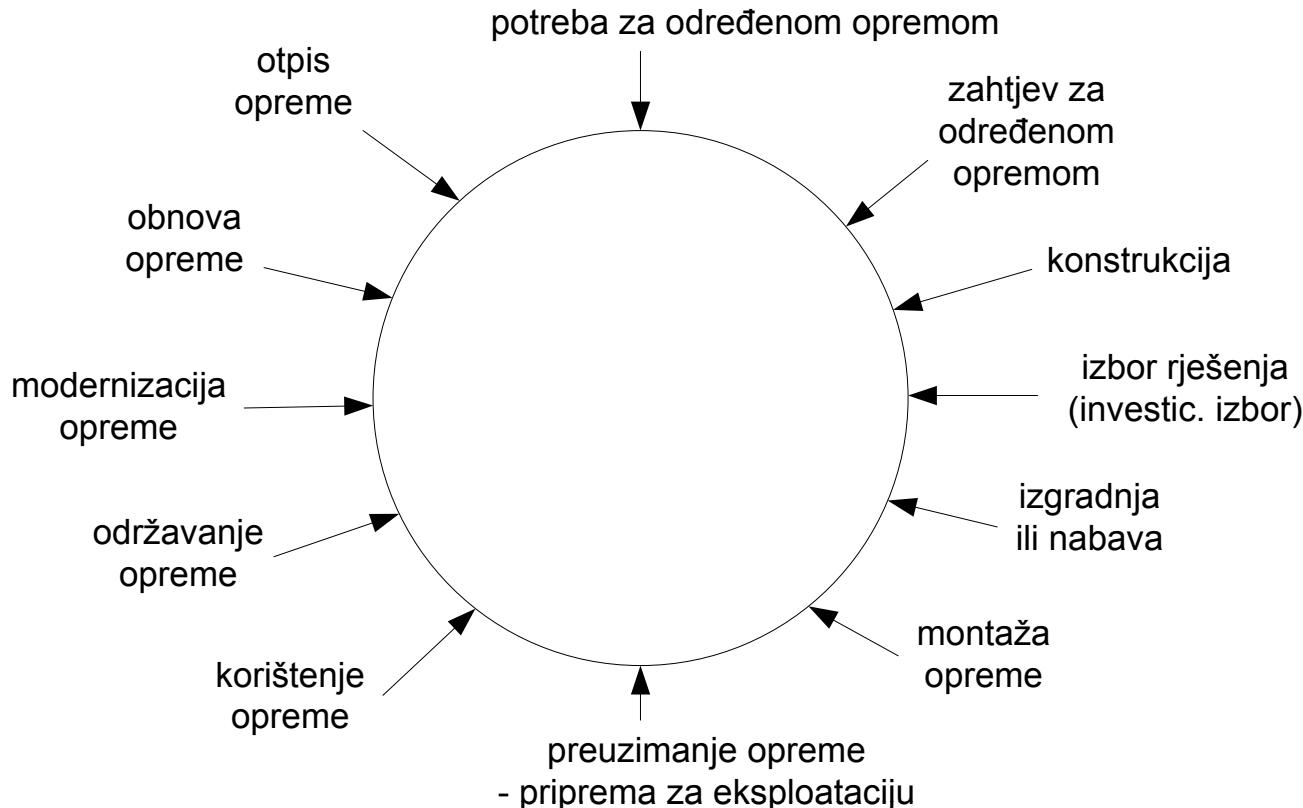
---

- Koncepcija najbliža budućnosti.
- Sastoji se od više Ekspertnih sustava koji naloge daju robotiziranoj tehnološkoj liniji sastavljenoj od jednostavno zamjenjivih modula.
- Module zamjenjuje robotska ruka.
- Sama zamjena modula naziva se agregatna zamjena jer se uglavnom obavlja bez zastoja proizvodnje ili uz njihovo minimalno trajanje.

# Segmenti životnog vijeka postrojenja

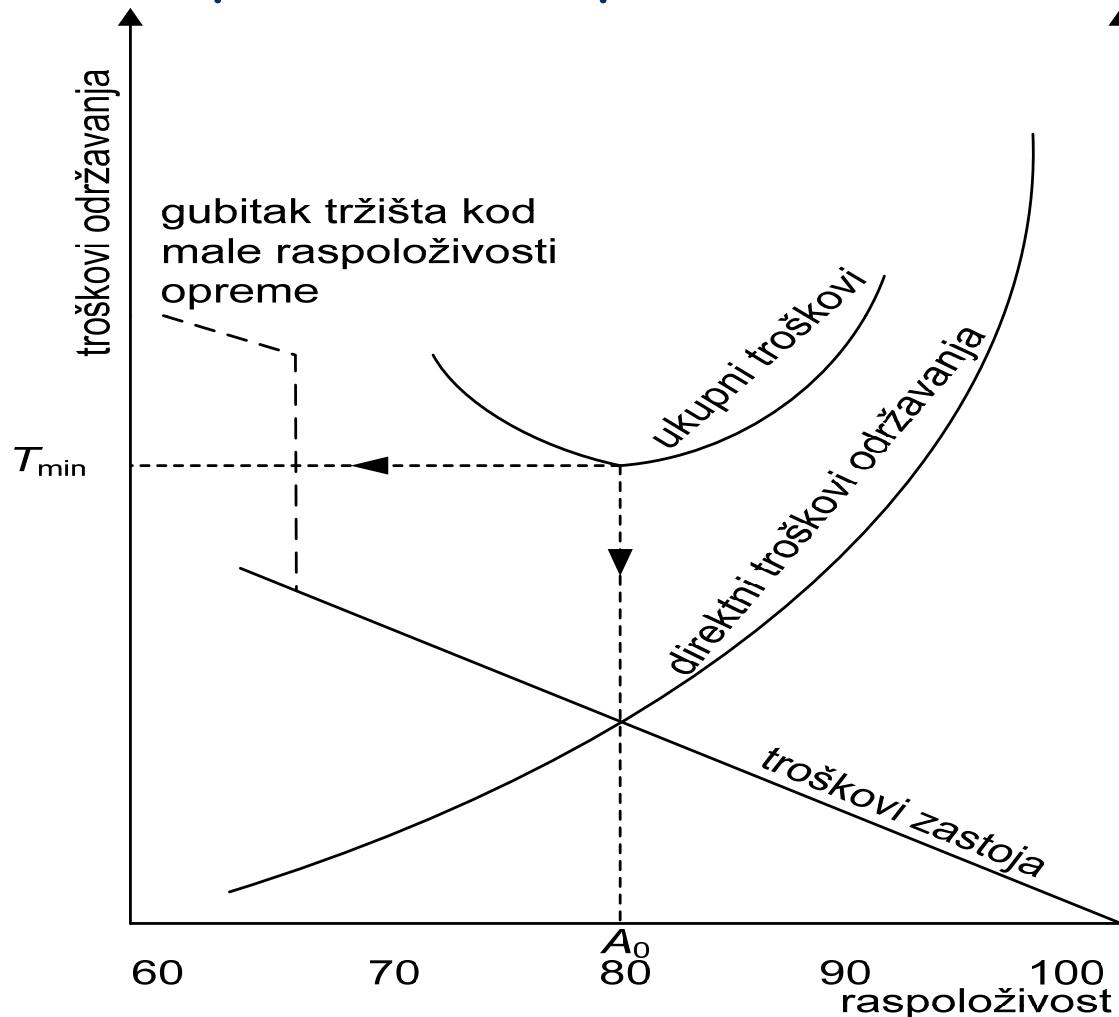
- Da bi se obuhvatio cijeli problem održavanja industrijske opreme u svakom pristupu potrebno je imati u vidu segmente životnog vijeka.

NA TROŠKOVE ODRŽAVANJA UTJEČE SE U SVIM FAZAMA ŽIVOTNOG VIJEKA OPREME

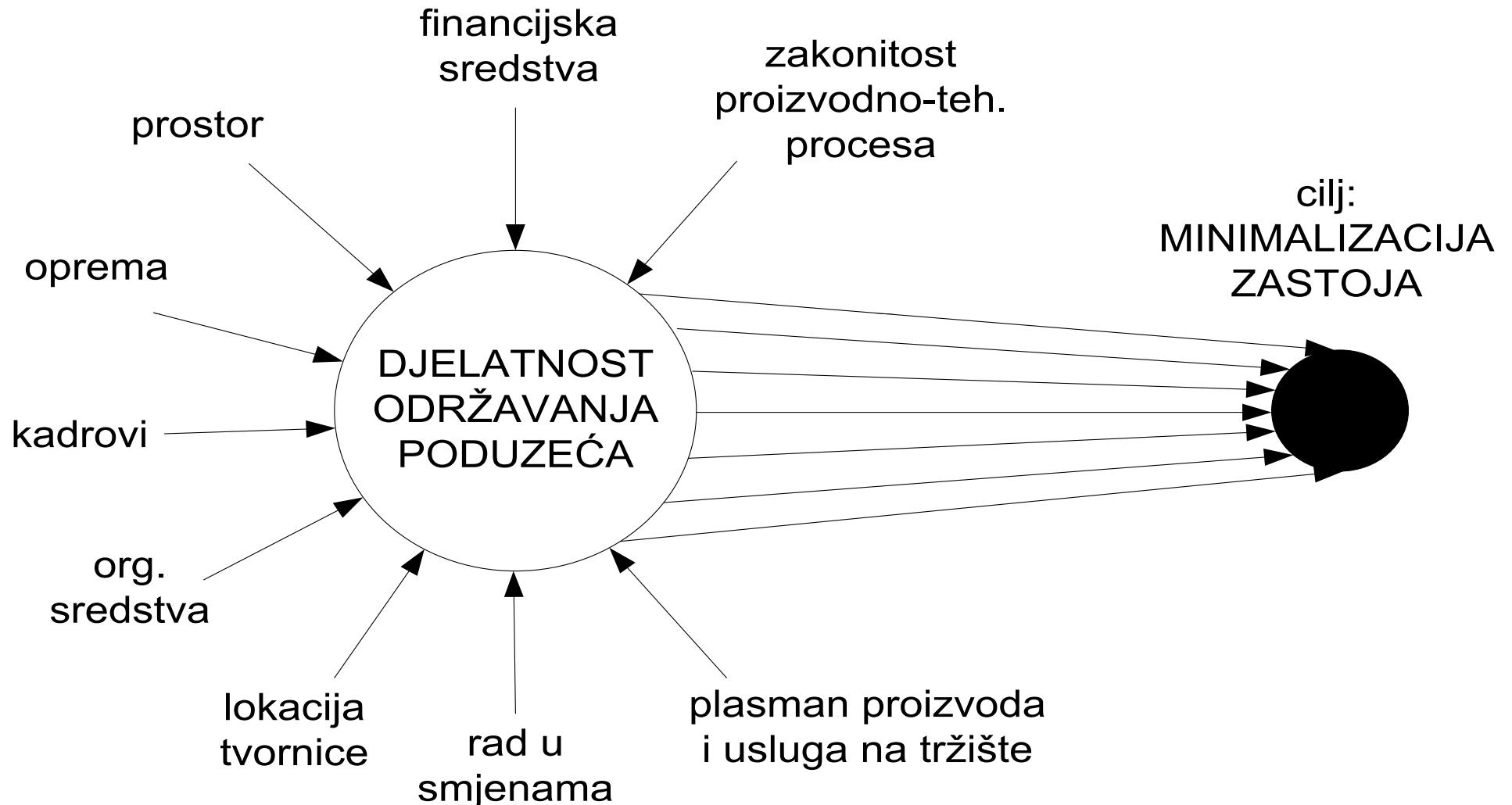


# Troškovi održavanja i zastoja

Prikazano kretanje troškova održavanja i troškove zastoja u odnosu na raspoloživost opreme



- Prilikom donošenja odluka o vrsti strategije održavanja treba odrediti osnovni cilj.
- Jedan od odlučujućih pokazatelja za donošenje odluke jest uporaba podataka o zastojima za svaki stroj u proteklom razdoblju.



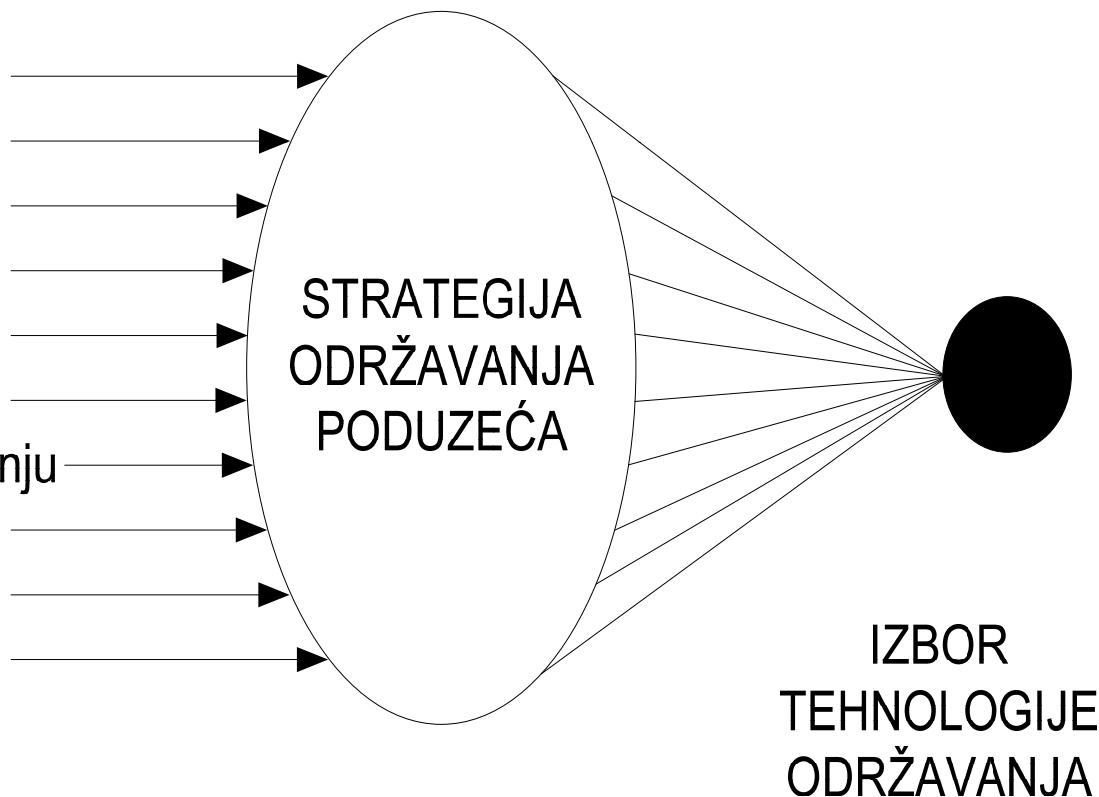
## TEORIJA

Pristupi i koncepcije  
održavanja

- korektivno
- industrijsko
- preventivno
- plansko
- terotehnološko
- logističko
- održavanje po stanju
- ekspertni sustavi
- TPO
- samoodržavanje

## PRAKSA

Održavanje poduzeća  
želja : zastoj = 0



# Teškoće provođenja održavanja

- Rukovoditelji zbog straha od zastoja proizvodnje često nalaze razloge protiv održavanja
- U slučaju kvara ili zastoja opreme često se optužuje služba održavanja kao jedini krivac, iako najčešće stručnjaci održavanja ne rukuju tom opremom, nisu sudjelovali u izboru, nabavi i montaži opreme

Utjecaj sudionika na ukupne troškove održavanja tijekom životnog vijeka opreme:



# Značajke održavanja

- Karakteristike održavanja računaju se kao:
  - trošak održavanja ili trošak preventivnog održavanja  
vrijednost imovine      ukupni trošak održavanja

# Izbor strategije održavanja

Prilikom izbora treba uzeti u obzir:

- Rezultate analize važnosti opreme
- Zahtjeve za pouzdanost i raspoloživost u radu opreme
- Strukturu uzroka oštećenja i kvarova
- Posljedice pojava oštećenja i kvarova
- Raspoložive kadrove
- Minimalne troškove

# Organizacija funkcije održavanja

- Centralizirano
- Decentralizirano
- Mješovito
- Povjereni specijaliziranim poduzećima

# Nove organizacijske strukture

- Nema stroge hijerarhije
- Sve manji broj razina
- Prevladava pristup procesnoj organizaciji  
(pomak od funkcije k procesima)
- Sve se više napuštaju principi stroge podjele rada

# Metode planiranja poslova održavanja

- Linijski dijagrami
- Metode mrežnog planiranja
- Organizacijska sredstva
- Programske sustave

# Prioritet zahvata održavanja

- Bussmannova klasifikacija:
  1. Zahvat koji je uvijek moguće izvesti
  2. Zahvat unutar 30 minuta
  3. Zahvat prema rasporedu
  4. Zahvat unutar 3 mjeseca

# Aktivnosti u održavanju

---

- Periodično testiranje opreme
- Vizualni pregledi
- Čišćenje, uklanjanje prašine i bojanje
- Podmazivanje i zamjena dijelova
- Upuštanje u pogon i ispitivanje prekidnih i izolacijskih medija
- Ispitivanja performansi opreme
- Uklanjanje lišća da se održi bistrina

# Periodičnost održavanja

Slijede se ovi obrasci:

- a) pravilni razmaci tijekom životnog vijeka opreme, temeljeni na preporuci proizvođača, te iskustvu;
- b) zajedno sa a), povećano održavanje starije opreme čime se može povećati ukupni životni vijek ili da se izbaci bavljenje zaštitom i zdravljem;
- c) zakonski zahtjevi održavanja;
- d) održavanje po ukazanoj prilici;
- e) usmjereni testiranje nasumičnog uzorka velikog broja istovjetnih dijelova opreme tako da ciljani uzorak predstavlja cijelu populaciju;
- f) bez održavanja - kada je oprema periodično u pogonu ili gdje se trošak održavanja ne može opravdati

# Karakteristike održavanja

---

- Sastoje se od preciznih "korak po korak" uputa za izvršenje
- Moraju se navesti potrebni instrumenti, alati i oprema za rad
- Svaki stadij ispitivanja mora biti popraćen kratkim sažetkom
- Izrada popisa za označavanje kvačicama i rezultati kao dokaz obavljenog posla

# Utjecaj otvorenog tržišta

- Tržišno natjecanje i konkurenčija nametnuli su nove izazove tvrtkama u elektroenergetskom sektoru kako bi odabrale ispravne postupke za određivanje rokova održavanja opreme.
- Odabir mora uzeti u obzir koordinaciju između dugoročnog i kratkoročnog održavanja kao i složene finansijske transakcije koje se javljaju tijekom održavanja pojedinih cjelina.
- Optimirani raspored održavanja može povećati pouzdanost sustava, smanjiti pogonske troškove i dovesti do ušteda u kapitalnim ulaganjima u nove pogone.

# Utjecaj otvorenog tržišta

- Rigorozno smanjenje trškova održavanja
- Ne dominira visoka raspoloživost već pouzdanost
- Ukupna strategija održavanja temelji se na širokoj lepezi znanja
- Raste proporcija održavanja zasnovanog na stanju postrojenja
- "Znanje o stanju" postaje pretpostavka učinkovitog održavanja

# Dugoročni ciljevi održavanja

- Visoka pouzdanost pogona
- Visoka raspoloživosti postrojenja
- Ekološka prihvatljivost
- Poboljšanja stupnja korisnosti ( $\eta$ )
- Smanjenje troškova održavanja
- Skraćenje vremena trajanja remonata
- Produženje međuremontnog perioda
- Održavanje po stanju

# Konvencija o pojmovima održavanja

## Održavanje

### Redovito održavanje

### Preventivni pregledi

- Vizuelni pregled ispravnosti
- Čišćenje
- Podmazivanje
- Zamjena dijelova i radovi održavanja koji ne zahtijevaju obustavu ili smanjenje snage postrojenja
- Kontrolna mjerena

### Korektivno održavanje

- Svi radovi održavanja koji nisu remont ili preventivni pregled.Mogu biti:
  - Neplanirani-otkazi na postr.
  - Kratkoročno planirani-njege
- Radovi se obavljaju na obustavljenom ili postrojenju u radu.

### Investicijsko održavanje

### Remonti

- Dugoročno planirani radovi održavanja koji zahtijevaju obustavu postrojenja.Mogu biti:
  - Kratki
  - Srednji
  - Kapitalni

**Periodičnost remonata:kapitalni-kratki-kratki-srednji-kratki-kratki-kapitalni**

# Informacijski sustav održavanja

- Suvremena organizacija podataka
- Integracija s informacijskim sustavom poduzeća
- Mogućnost prilagođavanja različitim strategijama održavanja
- Planiranje i praćenje poslova održavanja uz provjeru raspoloživosti kapaciteta
- Planiranje i praćenje poslova održavanja po jedinici održavanja
- Mogućnost praćenja troškova održavanja te usporedba s vrijednošću opreme
- Mogućnost statističke obrade povijesti rada opreme

# Izvještaj o održavanju

Sadrži:

- datum održavanja
- opseg održavanja
- što je otkriveno (ako je išta)
- što je dodatno učinjeno (ako je išta)
- neki posebni zahtjevi u budućnosti
- izvještaj o značajkama uređaja
- planirani datum sljedećeg održavanja

# Tehnike ispitivanja

Postoji 5 stadija u ispitivanju:

- Prikupljanje podataka
- Analiza podataka
- Ispitivanje štete
- Dijagnostička ispitivanja
- Zaključak

# Prikupljanje podataka

Mora se voditi računa o sljedećem:

- Česta dojava kvarova telefonom - lako je dobiti krivu informaciju (loše izražavanje, loša veza, brzopleto zaključivanje)
- Razmotriti sve moguće izvore informacija (zapisi kvarova, uređaji za snimanje, ...)
- Uzeti širu perspektivu, odrediti uvjete opterećenja, provjeriti da li je bilo istovremenih kvarova
- Provjeriti razmještaj uzemljenja
- Provjeriti omjer transformacije i veze prema strujnim transformatorima
- Uvjeriti se da su releji ispravno podešeni

# Analiza podataka

---

- Poredati informacije prema vremenu događanja i u obliku dijagrama
- Provjeriti da li je bilo ranijih slučaja istih kvarova
- Razumjeti obuhvaćene strujne krugove i da li odstupaju od standardnih krugova i opreme
- Ako zaključak nije jasno određen, navesti i razmotriti moguće uzroke kvara
- Razmotriti da li je moglo doći do privremenog nestanka energenata.

# Ispitivanje štete

- Obično povezano s štetom na visokonaponskoj opremi
- Ozbiljno pristupiti rješavanju problema, ne dirati ništa bez razmišljanja
- Fotografirati ili raditi crteže i zabilješke u svakom stadiju
- Usporediti situaciju sa zdravom opremom

# Dijagnostika



# Nadzor i dijagnostika

- Nadzor (monitoring) je koninuirano mjerjenje, odnosno praćenje neke veličine.
- Dijagnosticiranje je povremeno mjerjenje neke veličine, najčešće u unaprijed određenim vremenskim intervalima.

# Okruženje za nadzor i dijagnozu pogona

- Dijagnostika u pogonima je upotrebljavana prije preko dvadeset godina u znanstvenim i tehničkim uređajima (Sturm, Fösters )
- Upoznavanje s dijagnostičkim metodama i sustavima bilo je uspješno u praksi, u pogonima, u narednim godinama
- Bez sumnje, dijagnostika otvara nove mogućnosti poboljšanja ekonomičnosti upravljanja energetskim pogonima smanjujući korektivne i preventivne napore održavanja te pri tome održavajući istu ili čak veću razinu pouzdanosti postrojenja.

# Značajke dijagnostike

- Koji parametar ili parametri su prikladni za dijagnozu?
- Može li se odabrana metoda zadovoljiti postojećom instrumentacijom kvalitativno i kvantitativno?
- Da li je proces kvarenja zadovoljavajuće dug?
- Može li neočekivano oštećenje biti otkriveno na isti način kao i normalno oštećenje?
- Ima li odgovarajućeg pristupa točki mjerena?
- Mogu li zahtjevi opreme za dijagnozu biti zadovoljena u uvjetima rada?
- Jeli kontinuirano mjerjenje ili promatranje neophodno?
- Jeli osigurano odgovarajuće radno opterećenje na opremi?
- Jeli dostupno kvalificirano osoblje za rad s opremom za dijagnozu?
- Jesu li izbjegnuti nepovoljni utjecaji na okoliš?

- Ponoviti ispitivanje upuštanja u pogon i usporediti rezultate s originalima.
- Zapisati kratki raspored budućih ispitivanja, rezultate u svakom stadiju i sve privremene spojeve koji se trebaju ukloniti kada ispitivanje završi.
- Ponoviti isto ispitivanje nekoliko puta gdje je moguće; neke greške su prijelazne i neće se pokazati pri prvom ispitivanju.
- Provesti testove koji, koliko je to moguće, ponavljaju uvjete kvara.

Postupci i tehnike dijagnostike	Instrumenti i metode
Vizualna optička kontrola	ogledalo, boroskop, endoskop, stroboskop, ...
Mjerjenje vibracija	vibrometar, analizator, ...
Ispitivanje stanja kotrljajućih ležaja	SPM, SKF, ...
Ispitivanje maziva i ulja	kemijska analiza ulja (automatska apsorpcija), spektroskop, mag. detektori, ferografija, ...
Mjerjenje temperature	pirometri, termometarski pištolj, infracrvene kamere (termografi, termovizija), termometri, ...

# Dijagnostička ispitivanja

3

Postupci i tehnike dijagnostike	Instrumenti i metode
Mjerenje šuma i buke	stetoskop, fonometar, "SPM" metoda,...
Ispitivanje korozije i erozije	rengen zrake, ( $\gamma$ - zrake, radioak. izotopi), ultrazvuk, vrtložne struje, Magnetic flux leakage (MFL ...)
Mjerenje gubitka pare	ultrazvuk, fonometar
Ispitivanje toplinske instalacije	termografija, termovizija, .....
Ispitivanje površinskih oštećenja	toping (akustične metode), penetranti, ultrazvuk, vrtložne struje, magnetska metoda (promjena magnetskog toka na površini), ...

# Dijagnostička ispitivanja

4

Postupci i tehnike dijagnostike	Instrumenti i metode
Ispitivanje gubitnika topline	termografija, ...
Mjerenje električnih i elektroničkih funkcija	osciloskop, voltametar, amperometar, ...
Ispitivanje stanja membrana	zvučna emisija, ...
Ispitivanje trošenja materijala	fluoroscencija, ferografija, kemijska analiza ulja, ...
Mjerenje tlaka	manometri, kvarc-kristalni uređaji, ...
Mjerenje kutne brzine i broj okretaja	magnetska metoda, svjetlosni snop, tahometri, stroboskop, ...
Mjerenje protoka	digitalni mjerači protoka, hodometar, ...

# Zaključak

---

- Pažljivo planiranje i dobra koordinacija između zainteresiranih cjelina u restrukturiranom EES-u neophodni su za postizanje optimalnog odnosa između troškova održavanja i pouzdanosti snabdijevanja.
- Tradicionalni programi održavanja u vertikalno integriranim EES-ima uglavnom su se zasnivali na vremenski dirigiranom održavanju i preporukama proizvođača.

# ODRŽAVANJE ELEKTROENERGETSKOG SUSTAVA

## Računalna potpora održavanju

Prof.dr.sc. Igor Kuzle

- Postojeće strategije preventivnog održavanja su manje ili više učinkovite, ali zajednička značajka im je veliki broj potrebnih **informacija** za provedbu kvalitetnog održavanja.
- Upravo te informacije su ključne za opravdanje budžeta, kupovinu opreme, upravljanje zalihamama, pomoć pri odlukama vezanim za osoblje te mnoge druge važne odluke u postrojenju.
- U ovom informacijskom dobu smatra se da je računalna potpora postojećim metodama održavanja, od kojih se održavanje zasnovano na pouzdanosti smatra najnaprednjom, najbolji izbor.

- U prošlosti su informacije o opremi elektroenergetskog postrojenja bile distribuirane među različitim odjeljenjima na različitim lokacijama, čineći tako izvođenje točne procjene teškim i skupim.
- Računalna potpora održavanju omogućuje ekonomično integriranje svih relevantnih radova unutar postrojenja uz brzi pristup svim potrebnim informacijama, generiranje redoslijeda izvođenja radova te praćenje troškova radova.
- Ova značajka omogućuje jednostavan pristup podacima cjelokupnom ovlaštenom osoblju poduzeća.

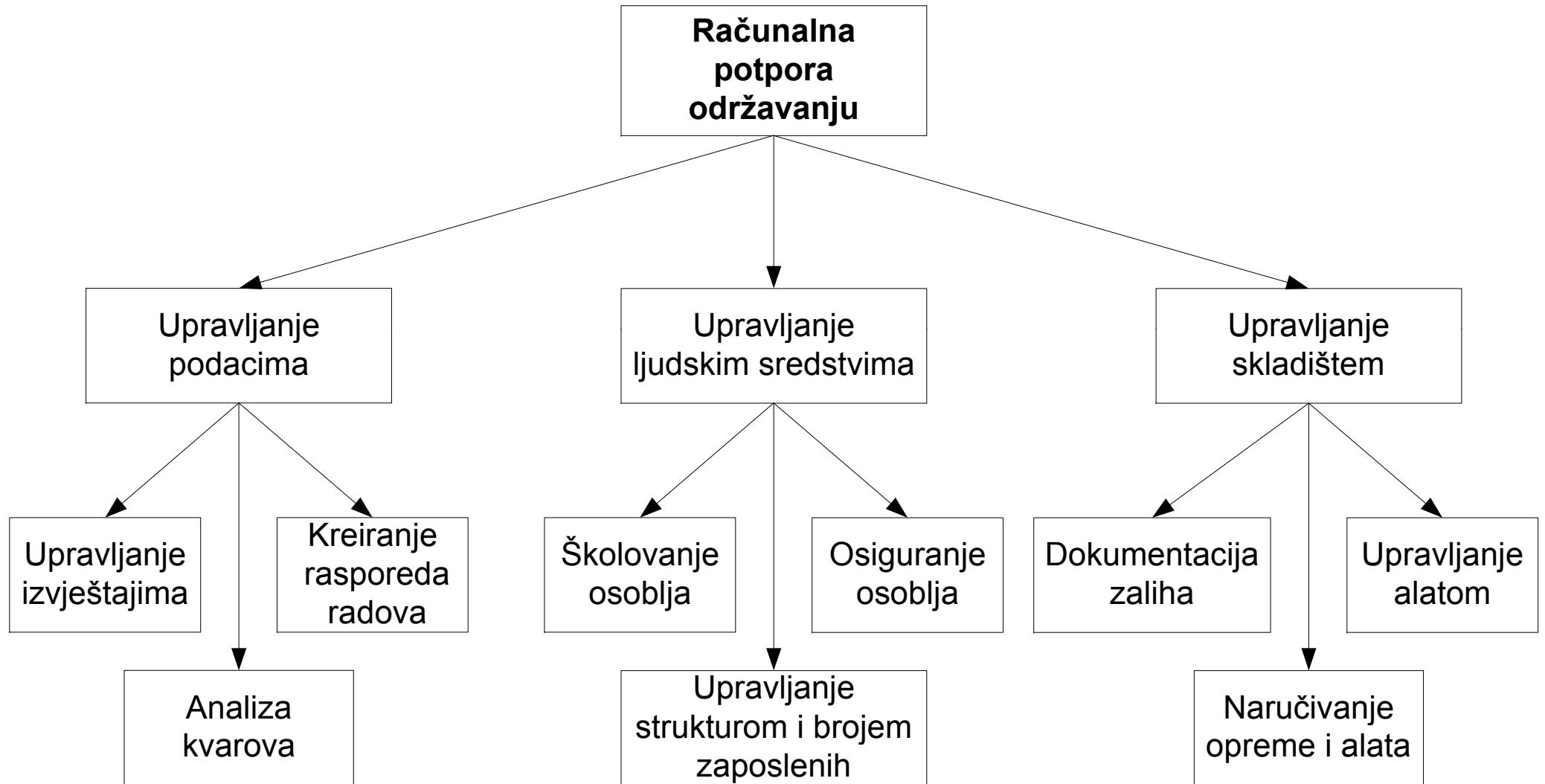
# Temeljne funkcije računalne potpore održavanju 1

- U većini elektroenergetskih postrojenja funkcije održavanja podijeljene su na nekoliko podfunkcija koje podržavaju odvojeni sustavi informacijskih tehnologija, bez stvarne organizacije i dosljednosti u strategijama njihove implementacije.
- Međutim, učinkovito upravljanje postrojenjem zahtijeva da sve potrebne informacije budu spremne i dostupne u svrhu ispravne procjene stanja opreme.
- Računalna potpora održavanju olakšava procjenu stanja opreme i kreiranje rasporeda održavanja jer je to centralizirani sustav kojim se donosi odluka na temelju svih dostupnih informacija.

# Temeljne funkcije računalne potpore održavanju 2

- Brzo spremanje i pretraživanje podataka računalnog sustava smanjuje vrijeme pronašlaska potrebnih podataka, čime se povećava učinkovitost osoblja.
- Nadalje, računalni sustav upravljanja održavanjem omogućuje lakše i učinkovitije izvješćivanje i analiziranje kvarova.
- Nапослјетку, računalni sustav omogućuje automatsko kreiranje radnih naloga, a prati i stanje skladišta opreme.

# Temeljne funkcije računalne potpore održavanju 3



# Temeljne funkcije računalne potpore održavanju 4

- Računalna potpora održavanju omogućuje praćenje izvođenja radova unutar centraliziranog softverskog paketa.
- Taj računalni program može automatski generirati redoslijed izvođenja radova, koji uključuje informacije o broju radnika koji rade na održavanju pojedine opreme ili dostupnosti materijala (stavke inventara) i alata.

# Temeljne funkcije računalne potpore održavanju 5

- Iz baze podataka o izvođenju radova održavanja opreme jednostavno je vidjeti, napraviti izvještaj ili grafički prikazati stanje određenog dijela opreme.
- Može se napraviti izvještaj o uzrocima kvarova, saznati koje osoblje je radilo na otklanjanju kvarova te pratiti koliki troškovi rada su uključeni u to.

# Primjena računalne potpore održavanju 1

- Primjenjuje se na gotovo sve postojeće metode i strategije održavanja.
- Prvenstvo održavanja određuje se po nekom od kriterija:
  - iznos troškova održavanja
  - hitni radovi
  - oprema koja se najčešće kvari
  - oprema s najduljim trajanjima kvara
- Najčešće se kombinira više kriterija, a u obzir se uzimaju i dodatni utjecaji poput raspoloživosti radnog tima (kada se koriste usluge vanjskih izvođača), cijene opreme i njene raspoloživosti.

# Primjena računalne potpore održavanju 2

- Nakon utvrđivanja liste važnosti održavanja opreme potrebno je detaljno proučiti podatke o prošlim kvarovima opreme koja se održava, poput očekivanog vijeka trajanja, intenziteta i učestalosti kvarova te učinka kvarova i posljedica koje ti kvarovi uzrokuju.
- Svi ti podaci bi trebali biti dostupni u računalnoj potpori održavanju.

# Koristi od računalne podrške održavanju

- Cjelovit pregled zahtjeva za materijale i usluge

- Optimizacija odluka o nabavci na osnovi povijesne i projektirane uporabe

- Smanjivanje vremena planiranja uz upotrebu "biblioteke" planova poslova

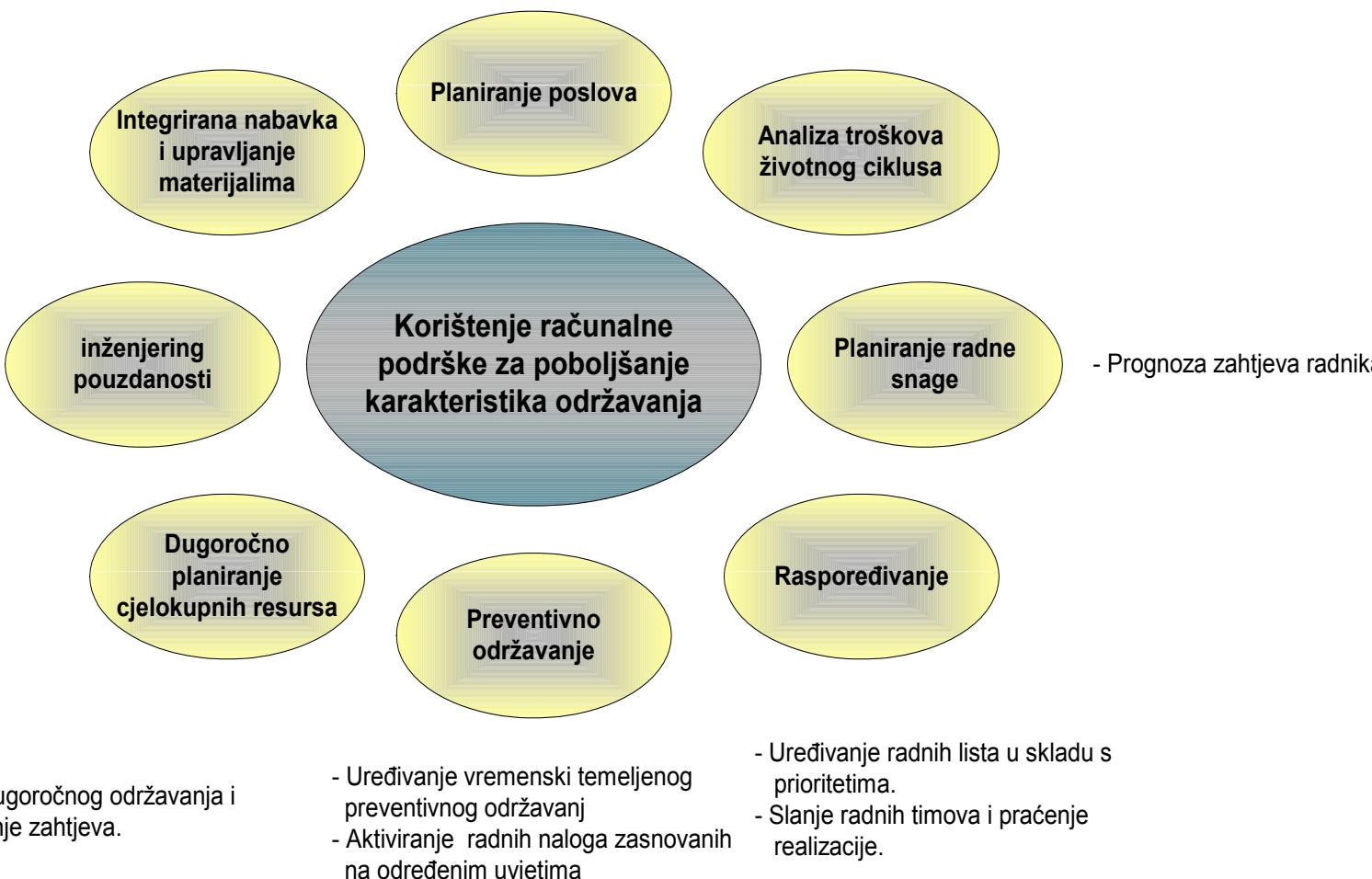
- Identifikacija zahtjeva za sigurnost

- Praćenje troškova u odnosu na komponente ili sustav

- Analiza troškova u cilju korištenja prilikom odlučivanja

- Arhiviranje rezultata analiza ispada uzrokovanih greškama na osnovnim dijelovima sustava.

- Analiza povijesti ispada



- Najvažniji dio osiguravanja potpunih i točnih podataka za računalnu potporu održavanju je dobivanje podrške za sustav, prvenstveno od osoblja koje je uključeno u održavanje sustava.
- Osoblje je potrebno educirati o svim značajkama sustava i njegovoj dobrobiti prilikom dugoročne primjene.
- Uprava bi korištenje računalne potpore održavanju trebala osjetiti kroz ušteđen novac u odjelu za održavanje.

- Uz to, oni bi trebali razumjeti da je korištenje računalne potpore održavanju investicija koja će se isplaćivati godinu za godinom kroz automatiziranje ručnih procesa kao što su generiranje rasporeda preventivnog održavanja, pisanja izvještaja te nabavka i lociranje dijelova.
- Služba nadzora mora također razumjeti da su, uz inicijalnu investiciju u računalnu potporu održavanju, potrebni dodatni resursi kao što je vrijeme, obuka i dodatno osoblje za postizanje maksimalnog iskorištenja vrijednosti sustava.

- Najčešća pogreška je kupovina softvera bez posvećivanja dovoljno vremena i resursa planiranju, implementaciji i njegovom potpunom iskorištavanju.
- Za izvođenje i podržavanje strateškog planiranja implementacije računalne potpore održavanju potrebno je formirati glavni tim, koji odlučuje koji moduli računalne potpore će se koristiti.
- Osim toga, tim odlučuje kada i kako će se ti moduli koristiti i tko će koristiti pojedine module.

- Da bi se postigla učinkovitost pri održavanju podataka, osoblju se mora osigurati temeljita obuka, kako bi rad osoblja bio jednostavniji i učinkovitiji.
- Stručna obuka ima značajan utjecaj i na oblikovanje stavova radnog osoblja.
- Umjesto da se osjećaju frustriranim i zbunjenim zbog novog softverskog paketa, osoblju je nužno predstaviti mogućnosti koje računalna potpora održavanju nudi i tako ga motivirati da iskoriste puni potencijal računalne potpore održavanju.

- Što su korisnici povjerljiviji pri korištenju softvera, njegova implementacija će biti uspješnija.
- Iako se početno unošenje podataka u računalni sustav može činiti naporno i mukotrpno, to je dostižna zadaća koja se može jednostavno postići podjelom tog postupka na više manjih koraka.
- Stručna obuka umanjuje probleme prilikom uvođenja računalne potpore održavanju i povećava točnost podataka.

- Održava se u okruženju gdje je poželjno praviti greške, što je sastavni dio procesa učenja.
- Tako se izbjegavaju pogreške prilikom rada na pravoj bazi podataka, što može biti skupo i zahtijevati dodatno vrijeme za ispravljanje.
- Stručnom obukom osigurava se da osoblje u računalnu bazu unosi potpune i točne podatke o opremi unutar postrojenja.

- Nakon jasno postavljenih ciljeva računalne potpore održavanju potrebno je odrediti podatke koje je potrebno prikupiti i analizirati.
- Ključni podaci iz računalne baze za analizu održavanja prema pouzdanosti vezani su za opremu i radove.
- Sva oprema na kojoj su obavljeni radovi mora postojati u računalnoj bazi.
- Ako u postrojenju postoji hijerarhija opreme, ona mora postojati i u računalnoj bazi da bi se slične grupe opreme mogle međusobno uspoređivati.

- Također, sve vrste radova moraju postojati u računalnoj bazi u svrhu njihovog jednostavnog klasificiranja.
- Svi zaposlenici koji rade na održavanju opreme i vanjski izvođači radova koji rade na opremi postrojenja moraju biti unešeni u računalnu bazu podataka.
- Nапослјетку, сvi коментари, razlozi кварова и времена траjanja кварова који се тичу извршеног посла moraju postojati u računalnoj bazi i biti dostupni za buduću analizu.

# Standardiziranje radnih postupaka

- Najbolji način osiguravanja pravilnog prikupljanja i unosa podatke u računalnu bazu jest korištenje standardnih radnih postupaka.
- Standardni radni postupci povećavaju učinkovitost procesa, smanjuju odstupanja te jasno definiraju postupke i pravila o njihovoj pravilnoj provedbi.
- Odstupanja mogu biti štetna za rad jer vode do rasipanja i nepotrebnih troškova.
- Kreiranjem standardnih radnih postupaka odstupanja prilikom izvođenja radova različitih izvođača svode se na najmanju mjeru.
- Uz to, standardni radni postupci osiguravaju učinkovitu kontrolu.

# Informacijska podrška održavanju

- Suvremena organizacija podataka
- Integracija s informacijskim sustavom poduzeća
- Mogućnost prilagođavanja različitim strategijama održavanja
- Planiranje i praćenje poslova održavanja uz provjeru raspoloživosti kapaciteta
- Planiranje i praćenje poslova održavanja po jedinici održavanja
- Mogućnost praćenja troškova održavanja te usporedba s vrijednošću opreme
- Mogućnost statističke obrade povijesti rada opreme

- Računalna potpora održavanju ima značajan potencijal prilikom primjene održavanja prema pouzdanosti.
- Centralizirani sustav s jedinstvenom bazom podataka i standardni radni postupci ključni su za uspješno upravljanje održavanjem.
- Iako računalna potpora zahtijeva značajnu modernizaciju u pristupu održavanju, dugoročne koristi su značajne.

- Potpuni i točni podaci u računalnom sustavu su ključni za uspješno provođenje preciznih analiza i optimiziranje održavanja opreme prema pouzdanosti.
- Najčešći uzroci neuspjeha uvođenja računalne potpore su nedostatna obuka, nedovoljna predanost osoblja, nedostatak resursa i podcjenjivanje samog projekta.

# ODRŽAVANJE ELEKTROENERGETSKOG SUSTAVA

## Održavanje prijenosne mreže

Prof.dr.sc. Igor Kuzle

- Prijenos električne energije, definiran je kao transport električne energije visokonaponskim sustavom, s ciljem isporuke krajnjim potrošačima ili distributerima električne energije.
- Prijenosna mreža, kao poveznica između elektrana, odnosno proizvođača električne energije, i njenih potrošača zauzima središnje mjesto u elektroenergetskom sustavu.
- Razvoj prijenosne elektroenergetske mreže uvjetovan je kontinuiranim porastom potrošnje električne energije i sve većim zahtjevima u pogledu sigurnosti, pouzdanosti i raspoloživosti sustava.

- Pravilno i učinkovito održavanja prijenosne mreže iznimno je bitno za osiguranje njene raspoloživosti i pouzdanosti, čije vrijednosti moraju biti na visokoj razini.
- S druge strane, raspoloživost i pouzdanost najčešći su i najzorniji pokazatelji pogona, a izračunavaju se iz statističkih podataka o zastojima u prijenosnoj mreži.

# Razvoj prijenosne mreže

- Prijenosna mreža trebala je na vrijeme omogućiti priključak elektrana i povezivanje sa susjednim prijenosnim mrežama zbog dobave električne energije, te priključak potrošača na strani potrošnje električne energije.
- Iz tog razloga, razvoj prijenosne mreže u pravilu je prethodio razvoju ostalih dijelova elektroenergetskog sustava.
- Bitna značajka razvoja prijenosne mreže je uvođenje viših naponskih razina, koje je nužno kada postojeća prijenosna mreža nije dovoljna za prihvati i prijenos snage potrebne za podmirivanje potrošnje električne energije.

# Temeljni podaci o prijenosnoj mreži 1

- Prijenosnu mrežu opisuju podaci o vodovima i transformatorskim stanicama prema naponskim razinama, podaci o proizvodnji i potrošnji električne energije, te podaci o starosti vodova i transformatorskih stanica.
- Temeljni preduvjeti sigurnog i pouzdanog pogona te raspoloživosti elektroenergetskog sustava su tehnička ispravnost elemenata prijenosne mreže, te ispravan, koordiniran i kontinuiran pogon prijenosne mreže.

# Temeljni podaci o prijenosnoj mreži 2

- Kvarovi u prijenosnoj mreži, do kojih može doći uslijed tehničke neispravnosti elemenata prijenosne mreže i djelovanja različitih vanjskih utjecaja, izazivaju poremećaje u pogonu elektroenergetskog sustava, koji za posljedicu mogu imati prekid napajanja s električnom energijom.
- Evidencija zastoja uvjetovanih kvarovima ili planiranim isključenjima elemenata mreže u svrhu održavanja predstavlja podlogu za uspostavljanje i vođenje statistike pogonskih događaja te izračunavanje pokazatelja pouzdanosti i raspoloživosti pojedinačnih elemenata, kao i cjelovite prijenosne mreže.

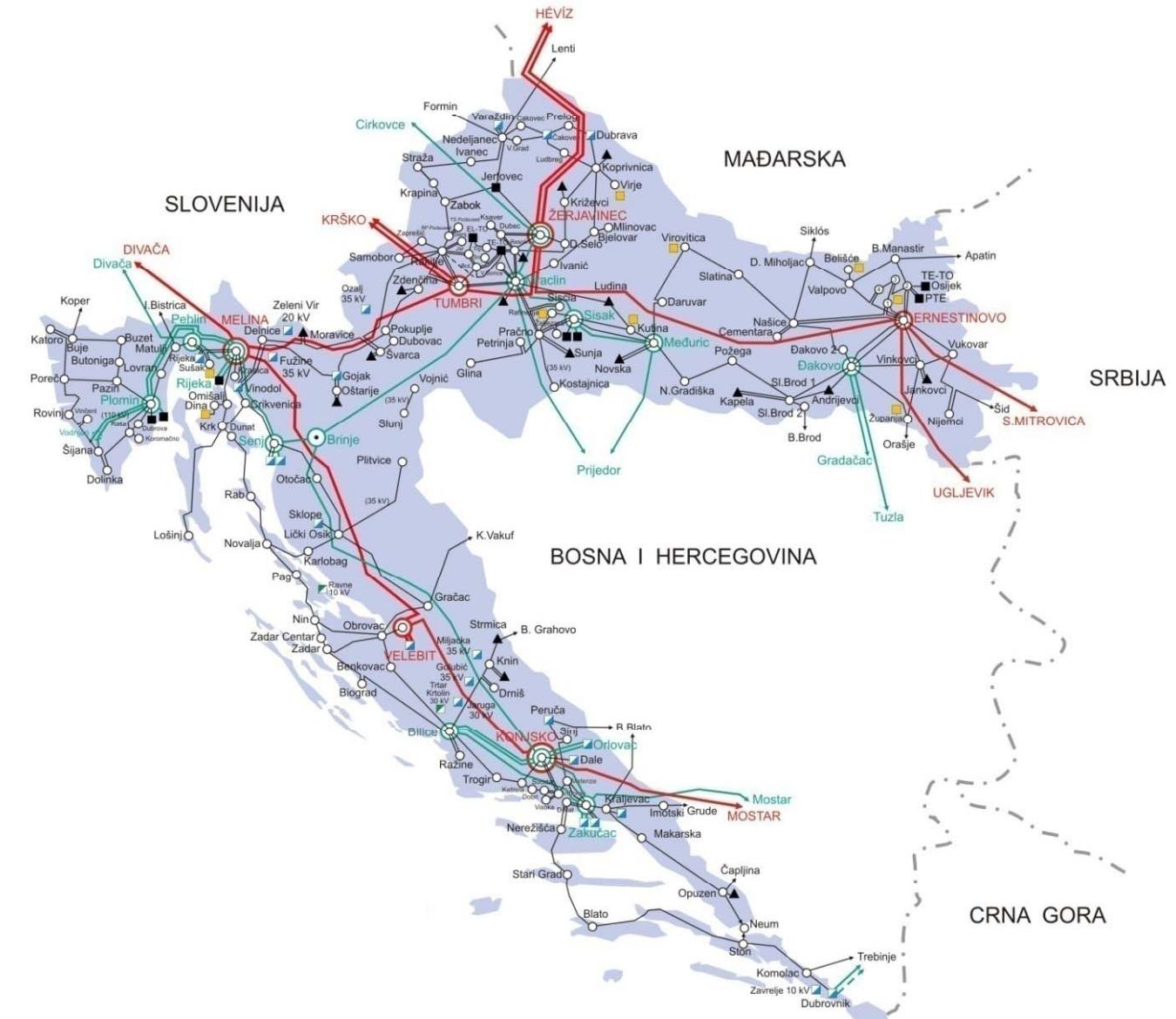
# Temeljni podaci o prijenosnoj mreži 3

- Elektroenergetski podaci utemeljeni su na elektroenergetskoj bilanci i pokazuju strukturu dobave električne energije potrebne radi podmirivanja potrošnje, te strukturu potrošnje električne energije.
- Na sigurnost, pouzdanost i raspoloživost elemenata prijenosne mreže znatan utjecaj ima i njihova starost, koja zbog gubitaka bitnih svojstava elemenata može biti jedan od razloga za kvarove u prijenosnoj mreži, te izravnih i neizravnih posljedica kvarova.

# Temeljni podaci o prijenosnoj mreži 4

- Podaci o starosti elemenata prijenosne mreže u kombinaciji s podacima o kvarovima i poremećajima pogona elektroenergetskog sustava najbolje pokazuju kvalitetu održavanja elemenata prijenosne mreže, te potrebu zamjene elemenata ili komponenti prijenosne mreže koje ugrožavaju pogon elektroenergetskog sustava.

# Temeljni podaci o prijenosnoj mreži 5



- Elektroenergetska bilanca hrvatskog elektroenergetskog sustava za 2007. (GWh):

Proizvodnja hidroelektrana	4357,10
Proizvodnja termoelektrana	6845,50
Proizvodnja ostalih elektrana	66,00
Ukupna proizvodnja domaćih elektrana	11268,60
Proizvodnja NE Krško	2713,90
Uvoz	9172,30
Ukupna dobava	23154,70
Ukupna potrošnja	17629,60
Izvoz	5525,10
Ukupna potrošnja i izvoz	23154,70
Konzum prijenosa	16707,70
Gubici prijenosa	547,10
Vršno opterećenje (17. prosinca)	3098 MW

- Najveći udio u dobavi ima proizvodnja iz vlastitih elektrana (79,4 %), ali značajan udio predstavlja i uvoz električne energije (20,4 %).
- Najveći udio u proizvodnji električne energije imaju termoelektrane i hidroelektrane.
- U elektroenergetskoj bilanci izvoz električne energije u znatnoj je mjeri uvjetovan viškom proizvodnje električne energije u hidroelektranama.
- Na prijenosnu mrežu, na strani potrošnje električne energije, priključeni su izravni potrošači i distribucijska mreža sa svim svojim potrošačima, koji predstavljaju temeljne kategorije potrošnje (konzuma) prijenosne mreže.

# Podaci o elementima prijenosne mreže 1

- Podaci o vodovima i transformatorskim stanicama u hrvatskoj prijenosnoj mreži za 2007. godinu:

Napon (kV)	400	220	110	Ukupno
Duljina vodova	km	1159	1233	4800
	%	16	17	67
Broj transformatorskih stanica	kom	5	6	106
	%	4	5	91
Broj transformatora	kom	12	14	161
	%	6	8	86
Snaga transformacije	MVA	4100	2100	4903
	%	37	20	44

# Podaci o elementima prijenosne mreže 2

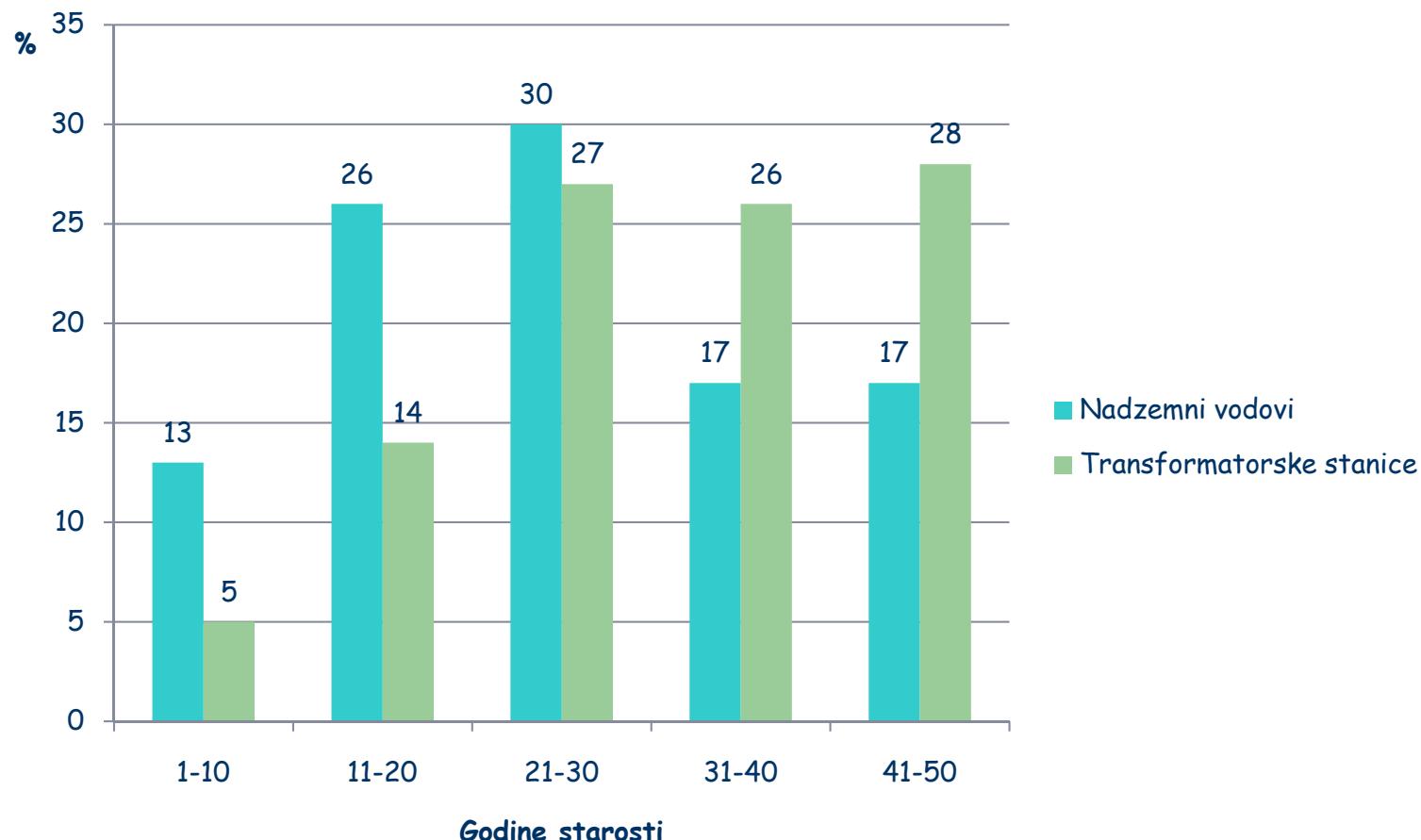
- Podaci o visokonaponskim vodovima pokazuju da su u prijenosnoj mreži najzastupljeniji vodovi naponske razine 110 kV (67 %), a udio vodova naponske razine 400 i 220 kV je podjednak.
- U pogledu broja jedinica najzastupljenije su transformatorske stanice gornje naponske razine 110 kV (91 %) i energetski transformatori 110/x kV (86 %).
- Najveća snaga transformacije također je instalirana na naponskoj razini 110 kV, dok je na naponskim razinama 400 i 220 kV u manjem broju objekata instalirana znatna snaga transformacije.

# Podaci o elementima prijenosne mreže 3

- Najveći udio elemenata prijenosne mreže na naponskoj razini 110 kV, te činjenica da je i znatan broj elektrana priključen na naponsku razinu 110 kV, pokazuju da elektroenergetska mreža 110 kV u hrvatskoj prijenosnoj mreži ima središnje mjesto.
- Omjer ukupne instalirane snage transformacije u svim transformatorskim stanicama (11103 MVA) i najvećeg opterećenja u 2007. godini (3098 MVA) iznosi 3,58, te pokazuje da u tom pogledu prijenosna mreža, sa znatnom rezervom na strani sigurnosti pogona sustava zadovoljava potrebe potrošnje električne energije.

# Starosna struktura prijenosne mreže 1

- Starosna struktura vodova i transformatorskih stanica u prijenosnoj mreži Hrvatske:



# Starosna struktura prijenosne mreže 2

- Znatan broj objekata prijenosne mreže (vodovi - 30 %, transformatorske stanice - 27 %) nalazi u starosnoj grupi 21 - 30 godina, koja se, s obzirom na predviđeni životni vijek, smatra približno polovinom životnog vijeka.
- Činjenica da se 34 % ukupnog broja vodova i 54 % ukupnog broja transformatorskih stanica nalazi u starosnim grupama 31 - 40 i 41 - 50 godina upućuje na zaključak da se znatan dio prijenosne mreže nalazi pri kraju životnog vijeka.

# Starosna struktura prijenosne mreže 3

- Stoga je znatan broj elemenata prijenosne mreže, posebice transformatorskih stanica starijih od 30 godina, podvrgnut, ovisno o stanju i značaju u prijenosnoj mreži, rekonstrukciji ili je u njima zamijenjena bitna oprema.
- Stoga svrstavanje u starosne grupe prema godini završetka izgradnje i puštanja u pogon elemenata treba uzeti uvjetno.
- Nadalje, nakon uništenja i oštećenja elemenata prijenosne mreže ratnim razaranjima, isti su djelomično ili u potpunosti obnovljeni te njihovo svrstavanje u starosne grupe također treba uzeti uvjetno.

# Starosna struktura prijenosne mreže 4

- Budući da se znatni dio vodova i transformatorskih stanica hrvatske prijenosne mreže nalazi u drugoj polovini životnog vijeka, za siguran i pouzdan pogon, te raspoloživost elemenata prijenosne mreže i postizanje predviđenog životnog vijeka, od posebnog značaja je njihovo pravodobno i kvalitetno održavanje.
- Starosna struktura elemenata prijenosne mreže u kombinaciji s podacima o kvarovima elemenata i prekidima napajanja električnom energijom omogućuje ocjenu učinkovitosti održavanja, procjenu rizika pogona u budućnosti, te donošenje odluke o obnovi ili zamjeni predmetnih elemenata prijenosne mreže.

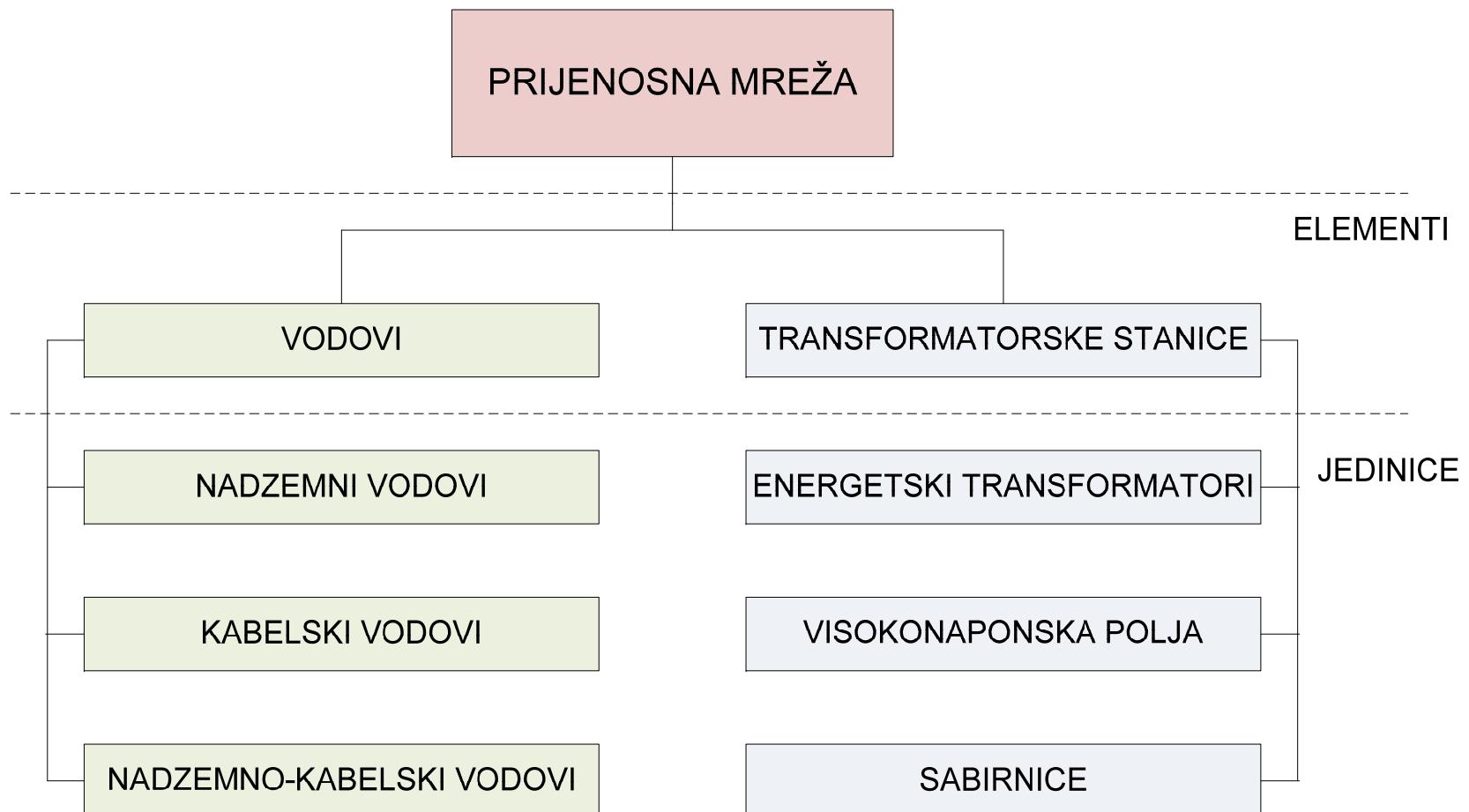
- Pogon prijenosne mreže opisuju pokazatelji koji se izračunavaju na temelju statističkih podataka o zastojima elemenata prijenosne mreže i posljedicama zastoja u pogledu prekida napajanja električnom energijom.
- Statistika pogonskih događaja (SPD) u prijenosnoj mreži Hrvatske vodi se od 1995. godine.
- Tijekom godine skupljaju se podaci o:
  - prisilnim zastojima elemenata prijenosne mreže uvjetovanih kvarovima,
  - planiranim isključenjima elemenata prijenosne mreže u svrhu održavanja.

- Na temelju evidentiranih podataka o zastojima, izračunavaju se pokazatelji pogona prijenosne mreže u pogledu sigurnosti opskrbe s električnom energijom, te raspoloživosti i pouzdanosti pogona prijenosne mreže.
- Pokazatelji pogona, kako pojedinačnih elemenata prijenosne mreže i njihovih komponenti, tako i cjelokupne prijenosne mreže, omogućuju usporedbu s pokazateljima pogona drugih prijenosnih mreža, analizu učinkovitosti pogona i održavanja, te donošenje odluka o investicijama u prijenosnu mrežu u pogledu poboljšanja postojećih objekata i izgradnje novih objekata.

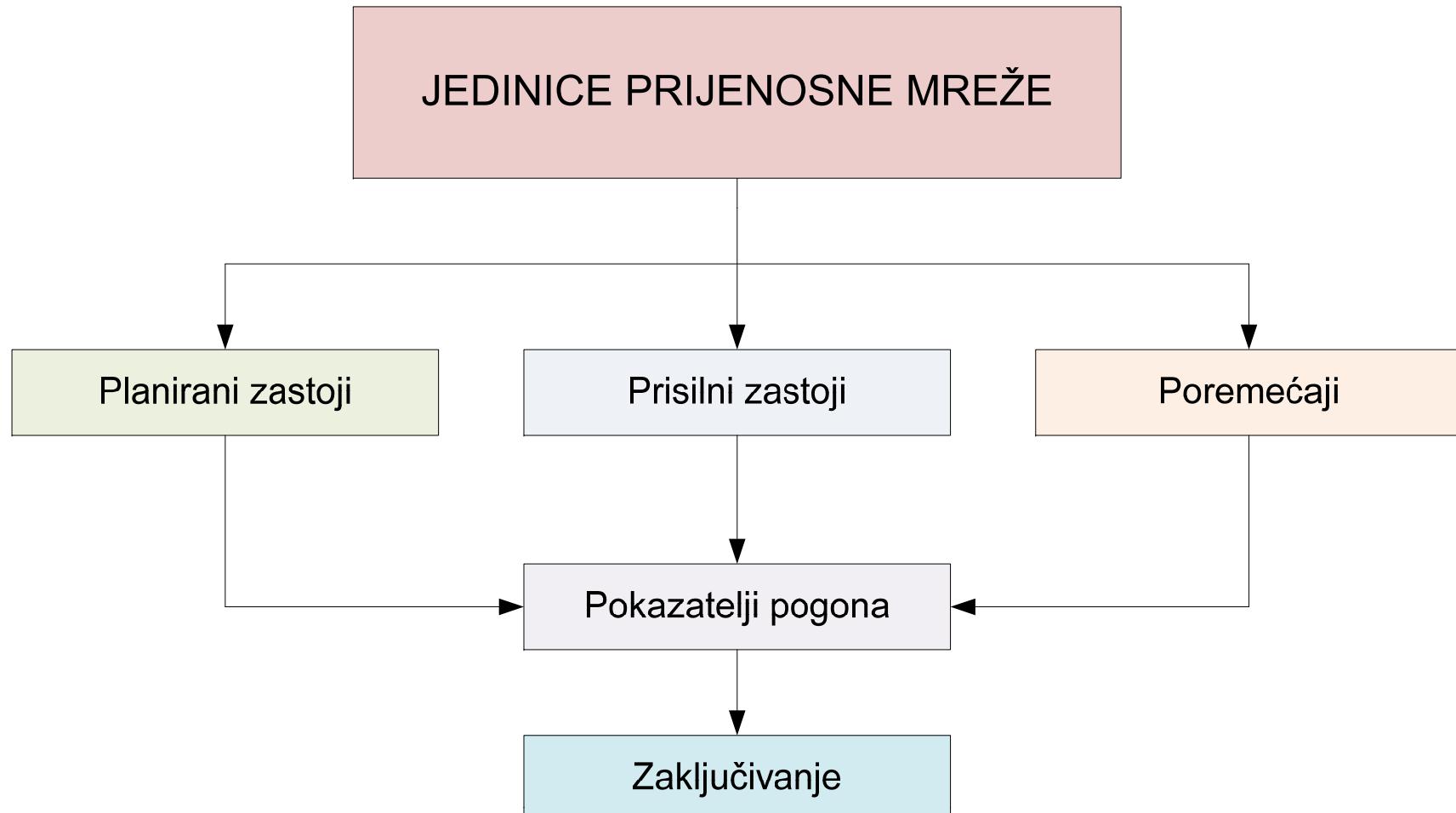
- Statistikom pogonskih događaja, na temelju podataka o pogonu prijenosne mreže, iskazuju se zastoji elemenata i komponenti prijenosne mreže prema vrstama i trajanjima zastoja, kao i poremećaji pogona, koji za posljedicu mogu imati prekid napajanja električnom energijom ili smanjenu sigurnost pogona prijenosne mreže.

- Na temelju podataka o zastojima i poremećajima u prijenosnoj mreži izračunavaju se pokazatelji pogona pojedinih elemenata i komponenti, kao i sintetizirani podaci o pogonu cijelokupne prijenosne mreže.
- Jedinice prijenosne mreže u SPD vode se prema naponskim razinama 110, 220 i 400 kV, što omogućuje analize pogona za svaku naponsku razinu, te na razini cijelokupne prijenosne mreže.

- Za potrebe vođenja SPD, elementi prijenosne mreže iskazani su jedinicama prijenosne mreže:



- Dijagram toka vođenja i korištenja Statistike pogonskih događaja u hrvatskoj prijenosnoj mreži:



- Za svaku jedinicu prijenosne mreže tijekom godine se po jedinstvenoj metodologiji evidentira svaki prisilni zastoj (kvar) prema razlogu nastajanja zastoja, manifestaciji greške i prema trajanju.
- Također, za svaku jedinicu prijenosne mreže evidentira se planirani zastoj prema povodu, vrsti radova i razlogu zastoja.
- Na temelju podataka o zastojima jedinica prijenosne mreže tijekom godine, izračunavaju se pokazatelji koji opisuju prisilne i planirane zastoje pojedinačnih jedinica prijenosne mreže.

- Podaci o zastojima jedinica prijenosne mreže predstavljaju temelj za izračunavanje neraspoloživosti pojedinačnih jedinica i cijelokupne prijenosne mreže.
- Statistikom pogonskih događaja obuhvaćeni su i poremećaji pogona prijenosne mreže.
- Poremećaji pogona svake jedinice prijenosne mreže, također su iskazani prema povodu greški, prema vrsti otkaza i prema manifestaciji greške.
- Na temelju podataka o poremećajima jedinica prijenosne mreže, iskazuju se bitna obilježja poremećaja cijelokupne prijenosne mreže.

# Podaci o zastojima u prijenosnoj mreži 1

- Zastoji su izvanpogonska stanja jedinica prijenosne mreže, a mogu biti prisilni ili planirani.
- Prisilni zastoji uvjetovani su ispadom, odnosno prisilnim isklopom jedinice prijenosne mreže, koji se može dogoditi uslijed unutarnjih i vanjskih razloga.
- Za sve jedinice prijenosne mreže prikupljaju se podaci o prisilnim zastojima prema: razlogu zastoja, manifestaciji greške, načinu otkaza i trajanju.

# Podaci o zastojima u prijenosnoj mreži 2

- Na temelju tih podataka za svaku se jedinicu, kao i za cijelokupnu prijenosnu mrežu, iskazuju obilježja prisilnih zastoja: broj, učestalost i trajanje prisilnih zastoja.
- Na temelju obilježja prisilnih zastoja, za svaku jedinicu prijenosne mreže i za cijelokupnu mrežu, iskazuju se pokazatelji prisilnih zastoja:
  - srednje trajanje prisilnih zastoja,
  - trajanje zastoja po jedinici,
  - vjerojatnost prisilnog zastoja.

# Podaci o zastojima u prijenosnoj mreži 3

- Planirani zastoji uvjetovani su planiranim isklopom jedinice prijenosne mreže u svrhu održavanja, a mogu se dogoditi uslijed unutarnjih i vanjskih razloga.
- Za sve jedinice prijenosne mreže prikupljaju se podaci o planiranim zastojima prema povodu i vrsti radova.
- Na temelju podataka o planiranim zastojima, za svaku se jedinicu, kao i za cijelokupnu prijenosnu mrežu, iskazuju obilježja planiranih zastoja:
  - broj,
  - učestalost,
  - trajanje planiranih zastoja.

# Podaci o zastojima u prijenosnoj mreži 4

- Na temelju obilježja planiranih zastoja, za svaku jedinicu prijenosne mreže i za cijelokupnu mrežu iskazuju se pokazatelji planiranih zastoja:
  - srednje trajanje planiranih zastoja,
  - trajanje planiranih zastoja po jedinici,
  - vjerojatnost planiranog zastoja.
- Za analizu pogona bitni su podaci o udjelu broja i trajanja prisilnih i planiranih zastoja u ukupnim vrijednostima broja i trajanja zastoja u prijenosnoj mreži.

# Podaci o zastojima u prijenosnoj mreži 5

- Podaci o udjelu prisilnih i planiranih zastoja u ukupnom broju i trajanju zastoja u prijenosnoj mreži Hrvatske u 2007. godini:

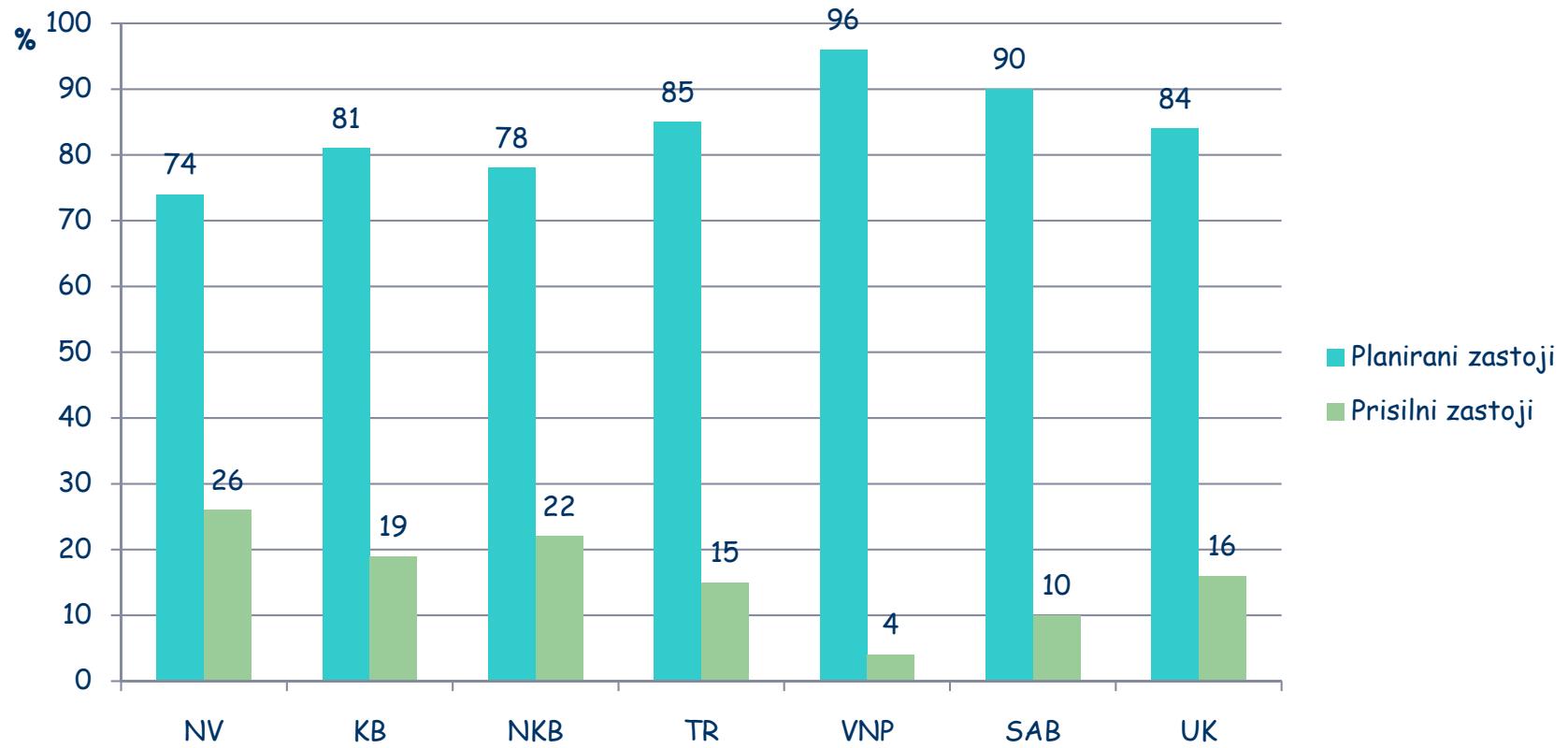
Vrsta zastoja	Broj zastoja							Trajanje zastoja [h]						
	NV	KB	NKB	TR	VNP	SAB	UK	NV	KB	NKB	TR	VNP	SAB	UK
Prisilni	422	9	31	144	37	10	653	2635	56	84	2382	1103	2	6262
Planirani	1231	39	107	843	1085	88	3392	21447	5567	948	43897	36126	367	108346
Ukupno	1653	48	138	987	1121	98	4045	24082	5623	1032	46279	37229	363	114608

# Podaci o zastojima u prijenosnoj mreži 6

- U zbroju zastoja svake promatrane jedinice mreže, te u ukupnom zbroju svih zastoja, znatno je veći udio planiranih nego prisilnih zastoja.
- Također je uočljivo da je u zbroju trajanja zastoja svake promatrane jedinice, te u ukupnom zbroju trajanja svih zastoja, znatno veći udio planiranih od udjela prisilnih zastoja.

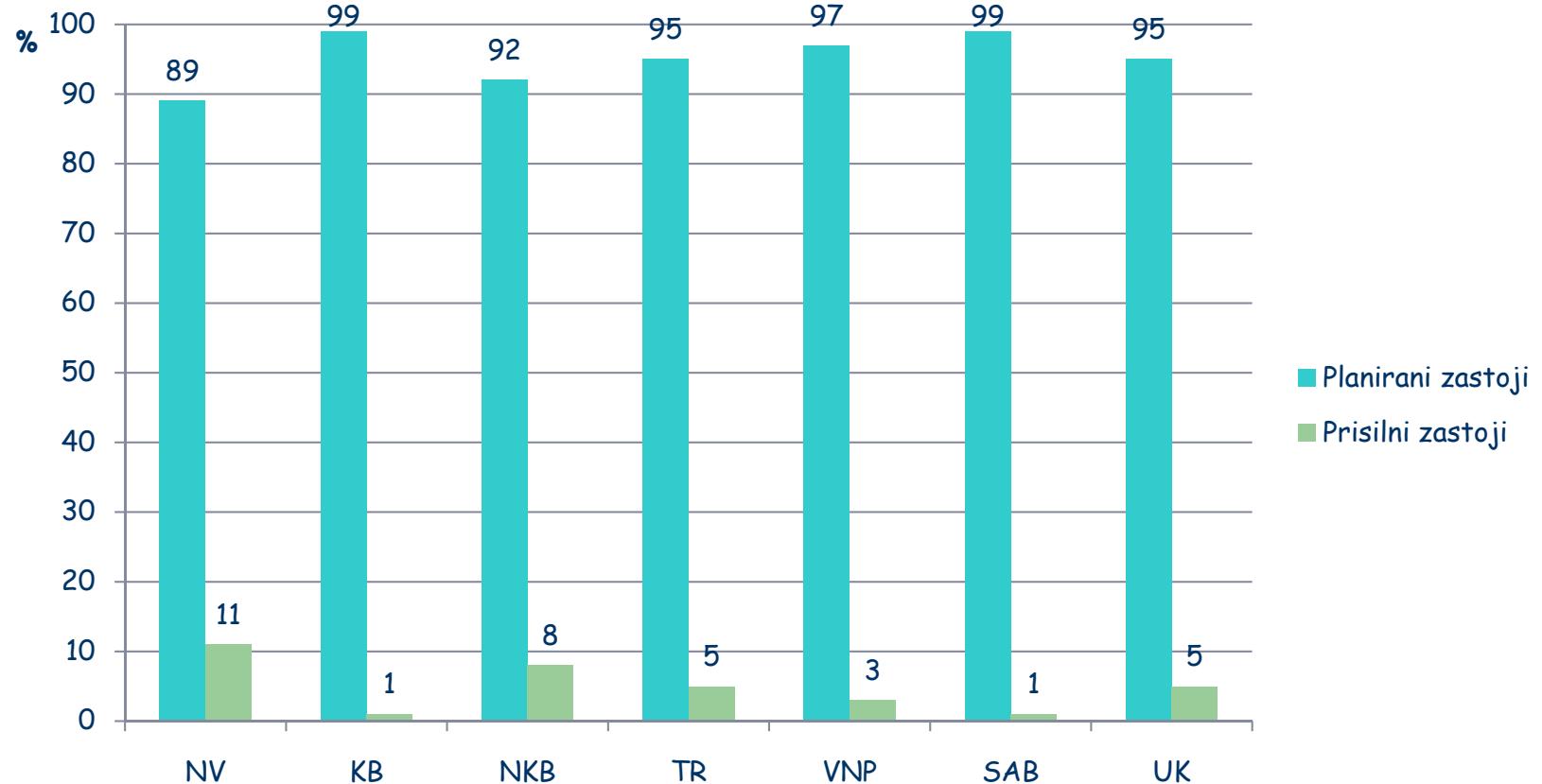
# Podaci o zastojima u prijenosnoj mreži 7

- Postotni udio planiranih i prisilnih zastoja u ukupnom broju zastoja promatranih jedinica mreže, te cijelokupne prijenosne mreže Hrvatske u 2007. godini:



# Podaci o zastojima u prijenosnoj mreži 8

- Postotni udjel planiranih i prisilnih zastoja u ukupnom trajanju zastoja promatralih jedinica mreže, te cijelokupne prijenosne mreže Hrvatske u 2007. godini:



- Bez obzira radi li se o prisilnom ili planiranom zastoju, promatrana jedinica prijenosne mreže ili dio prijenosne mreže, bili su tijekom trajanja zastoja neraspoloživi za pogon.
- Zbroj svih prisilnih i planiranih zastoja daje ukupni broj zastoja, a zbroj trajanja prisilnih i planiranih zastoja daje ukupno trajanje zastoja.
- Neraspoloživost dakle predstavljaju zbrojeni prisilni i planirani zastoji jedinica prijenosne mreže.
- Na temelju podataka o broju i trajanju prisilnih i planiranih zastoja iskazuju se pokazatelji pogona jedinica mreže i cjelokupne mreže: učestalost zastoja i vjerojatnost zastoja.

- Učestalost prisilnih zastoja nadzemnih vodova iskazana na 100 km duljine nadzemnih vodova izračunava se prema izrazu:

$$f_{PZNV} = \frac{N_{PZNV}}{l_{NV}} \cdot 100 \left[ \frac{1}{100 \text{ km} \cdot \text{god}} \right]$$

- gdje je:
  - $N_{PZNV}$  - ukupni broj prisilnih zastoja svih nadzemnih vodova u promatranoj godini,
  - $l_m$  - ukupna duljina svih nadzemnih vodova.

- Vjerojatnost prisilnih zastoja nadzemnih vodova iskazana na 100 km duljine nadzemnih vodova izračunava se prema izrazu:

$$p_{PZNV} = \frac{T_{PZNV}}{l_{NV} \cdot 8760} \cdot 100 \left[ \frac{1}{100 \text{ km} \cdot \text{god}} \right]$$

- gdje je:
  - $T_{PZNV}$  - ukupno trajanje svih prisilnih zastoja nadzemnih vodova u promatranoj godini.

- Podaci o učestalosti zastoja jedinica prijenosne mreže Hrvatske za razdoblje 1995. - 2007. godine, te prosječne vrijednosti učestalosti zastoja za promatrani niz godina:

Godina	Jedinice mreže					
	NV	KAB	NV-KAB	TR	VNP	SAB
1995.	10,5	1,0	15,5	7,6	1,4	1,1
1996.	7,9	2,3	13,7	6,1	1,2	0,1
1997.	8,0	3,0	9,1	6,4	1,5	0,1
1998.	8,9	3,5	16,6	8,2	2,2	0,2
1999.	8,6	1,0	15,1	8,3	2,1	0,3
2000.	8,9	1,8	10,0	6,9	1,9	0,5
2001.	7,8	5,3	10,7	7,0	1,8	0,4
2002.	8,1	2,5	14,5	6,9	1,8	0,4
2003.	8,4	5,3	20,1	7,1	1,6	0,2
2004.	8,2	3,5	16,9	7,1	1,8	0,5
2005.	6,7	3,8	15,1	6,2	1,6	0,4
2006.	7,5	7,7	16,6	5,3	1,6	0,4
2007.	7,2	6,0	8,6	5,1	1,6	0,4
1995-2007.	8,2	2,6	14,0	6,8	1,7	0,4

- Podaci o učestalosti prisilnih i planiranih zastoja jedinica prijenosne mreže pokazuju da najveći broj zastoja imaju kombinirane jedinice mreže nadzemni vod - kabel (14 zastoja po jedinici mreže u godini), a najmanji sabirnice (0,4 zastoja prema jedinici mreže u godini), što je s obzirom na strukturu i izloženost jedinica zastojima, očekivani rezultat.
- Ujednačeni broj zastoja pojedinih jedinica mreže u promatranom nizu godina, uz samo nekoliko izuzetaka, proizlazi iz činjenice da su jedinice tijekom godine u pogledu prisilnih zastoja izložene sličnim klimatskim utjecajima na jednakom prostoru i sezonama tijekom godine, te da imaju sličnu dinamiku održavanja u pogledu planiranih zastoja.

# Prekid napajanja električnom energijom 1

- Poremećajem u prijenosnoj mreži smatra se pogonski događaj pri kojem je došlo do prisilnog isklopa barem jednog prekidača u prijenosnoj mreži, što je uvjetovalo prisilni zastoj barem jedne jedinice mreže.
- Posljedica poremećaja i prisilnih zastoja u prijenosnoj mreži može biti prekid napajanja električnom energijom ili smanjena sigurnost, odnosno veći rizik pogona prijenosne mreže zbog neraspoloživosti jedinica mreže u prisilnom zastaju.
- Jednako tako, planirani zastoj jedinice mreže može biti razlog prekida napajanja s električnom energijom, ukoliko isključenje predmetne jedinice zbog održavanja uvjetuje prekid napajanja električnom energijom.

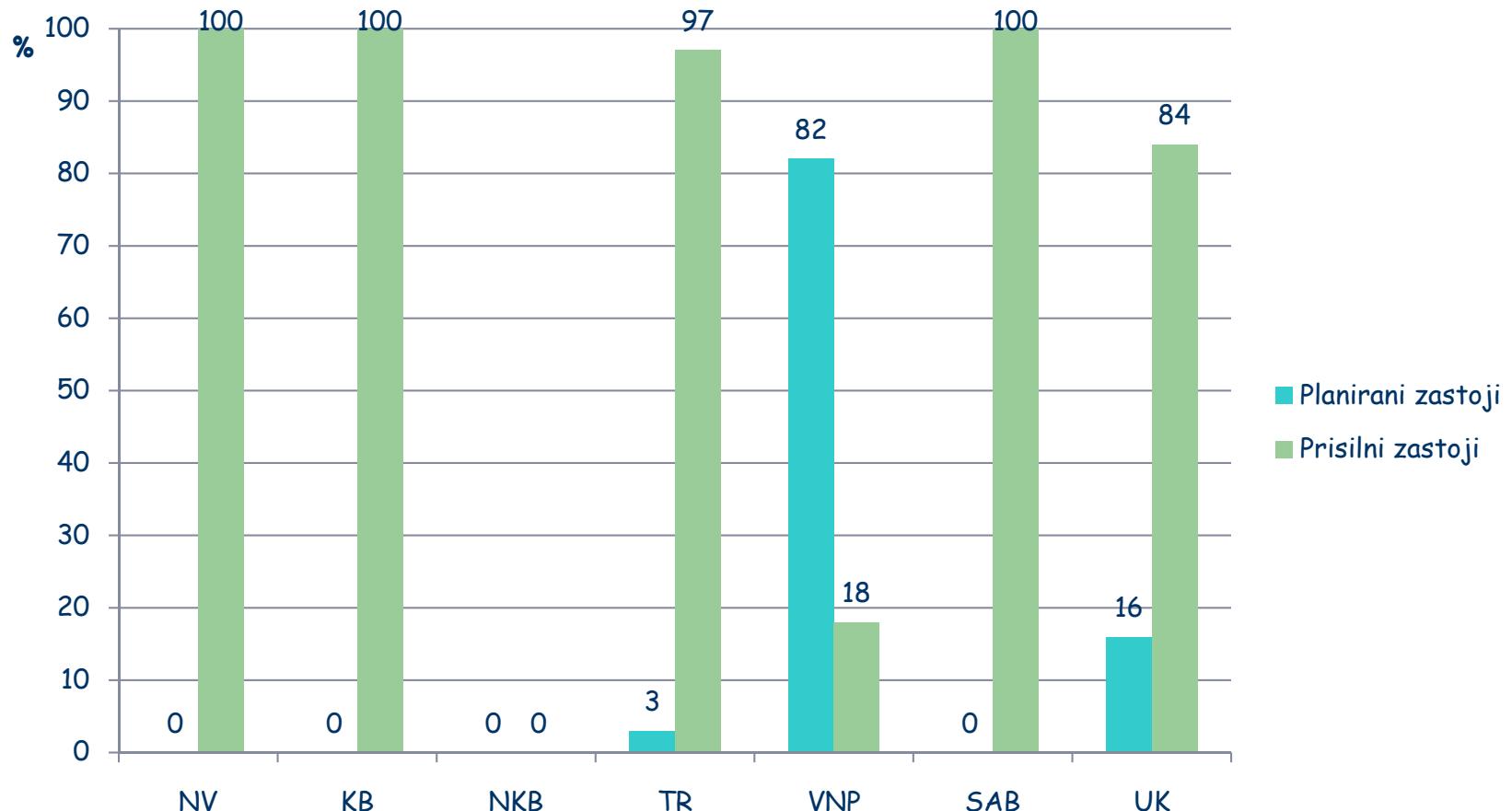
# Prekid napajanja električnom energijom 2

- Podaci o prekidima napajanja električnom energijom uvjetovanih prisilnim i planiranim zastojima u prijenosnoj mreži Hrvatske u 2007. godini:

Vrsta poremećaja	Broj poremećaja s prekidom napajanja							Trajanje poremećaja s prekidom napajanja [h]						
	NV	KB	NKB	TR	VNP	SAB	UK	NV	KB	NKB	TR	VNP	SAB	UK
Prisilni	14	2	0	57	3	7	83	5,4	0,2	0,0	45,0	2,6	1,6	54,7
Planirani	0	0	0	2	14	0	16	0,0	0,0	0,0	9,6	26,8	0,0	36,4
Ukupno	14	2	0	59	17	7	99	5,4	0,2	0,0	54,6	29,4	1,6	91,1

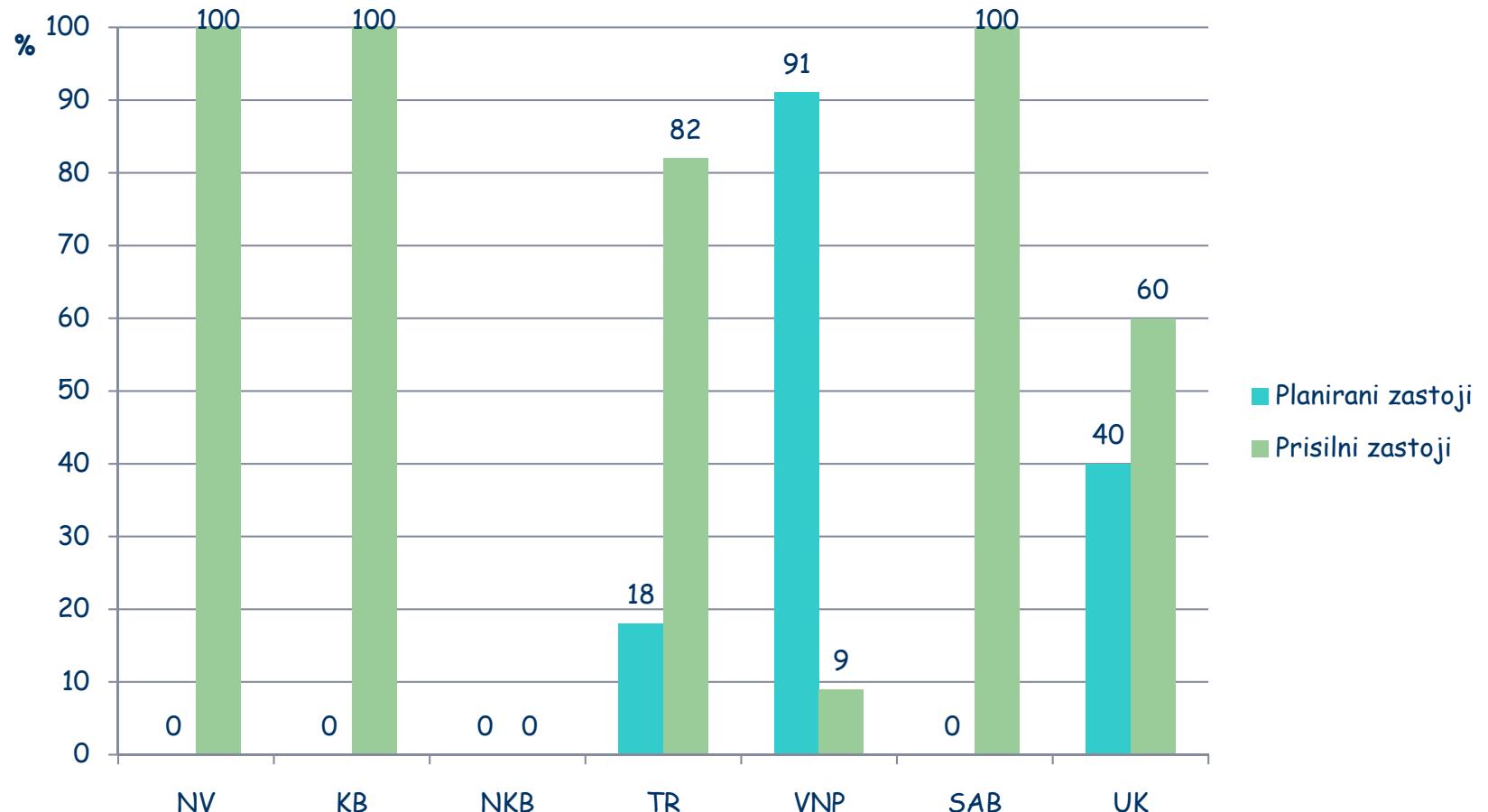
# Prekid napajanja električnom energijom 3

- Postotni udio broja prisilnih i planiranih zastoja u prijenosnoj mreži Hrvatske u prekidima napajanja u 2007.:



# Prekid napajanja električnom energijom 4

- Postotni udio trajanja prisilnih i planiranih zastoja u prijenosnoj mreži Hrvatske u prekidima napajanja u 2007.:



# Prekid napajanja električnom energijom 5

- Podaci o postotnom udjelu broja prisilnih i planiranih zastoja u prijenosnoj mreži Hrvatske u prekidima napajanja električnom energijom pokazuju za svaku jedinicu mreže znatno veći udjel prisilnih zastoja, nego li planiranih zastoja.
- Za ukupnu prijenosnu mrežu Hrvatske udio broja prisilnih zastoja u prekidima napajanja iznosi 84 %, a udio planiranih zastoja iznosi 16 %.

# Prekid napajanja električnom energijom 6

- Podaci o postotnom udjelu trajanja prisilnih i planiranih zastoja u prijenosnoj mreži Hrvatske u prekidima napajanja električnom energijom također pokazuju veći udio prisilnih zastoja u odnosu na planirane, osim u slučaju visokonaponskih polja, budući da ista sadrže više komponenti, koje zahtijevaju planirano održavanje.
- Za ukupnu prijenosnu mrežu Hrvatske udjel trajanja prisilnih zastoja u prekidima napajanja iznosi 60 %, a udjel planiranih zastoja 40 %.

# Prekid napajanja električnom energijom 7

- Na temelju podataka o poremećajima i planiranim zastojima jedinica mreže, koji za posljedicu imaju prekid napajanja električnom energijom iskazuju se sljedeći pokazatelji:
  - ukupno neisporučena energija,
  - vjerojatnost poremećaja s prekidom napajanja te
  - minutni parametar.
- Ukupno neisporučena električna energija izračunava se prema izrazu:

$$W_{ne} = \sum_{i=1}^N W_{nei} \left[ \frac{\text{MWh}}{\text{god}} \right]$$

- gdje je  $i = 1, \dots, N$  područje opskrbe električnom energijom.

# Prekid napajanja električnom energijom 8

- Vjerojatnost poremećaja s prekidom napajanja električnom energijom u prijenosnoj mreži tijekom jedne godine, iskazana prema broju jedinica mreže, računa se prema izrazu:

$$p_{PO} = \frac{T_{ne}}{N_j \cdot 8760} \left[ \frac{1}{\text{kom}} \right]$$

- gdje je:
  - $T_{ne} = \sum_{i=1}^N T_{nei}$  [h]
  - $N_j$  - broj jedinica mreže

# Prekid napajanja električnom energijom 9

- Minutni parametar predstavlja omjer ukupno neisporučene električne energije tijekom promatranog razdoblja iz prijenosne mreže i vršnog opterećenja promatranog sustava, a računa se prema izrazu:

$$t_{sm} = \frac{W_{ne}}{P_v} \cdot 60 \text{ [min]}$$

# Prekid napajanja električnom energijom 10

- Na temelju SPD u hrvatskoj prijenosnoj mreži moguće je uspoređivati podatke i pokazatelje koji opisuju raspoloživost prijenosne mreže za razdoblje 1995. - 2007. godine. Raspoloživost prijenosne mreže računa se prema izrazu:

$$R_m = \left( 1 - \frac{W_{ne}}{W_{ie}} \right) \cdot 100 \text{ [%]}$$

- gdje je:
  - $W_{ne}$  - neisporučena električna energija pri prekidu napajanja električnom energijom iz prijenosne mreže,
  - $W_{ie}$  - isporučena električna energija iz prijenosne mreže.

# Prekid napajanja električnom energijom 11

- Srednja vrijednost raspoloživosti prijenosne mreže Hrvatske za razdoblje 1995. - 2007. godine računa se prema izrazu:

$$R_{msr} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_{mi} \quad [\%]$$

- gdje je:
  - $n$  - broj promatranih godina
  - $R_{mi}$  - raspoloživost prijenosne mreže u  $i$ -toj godini

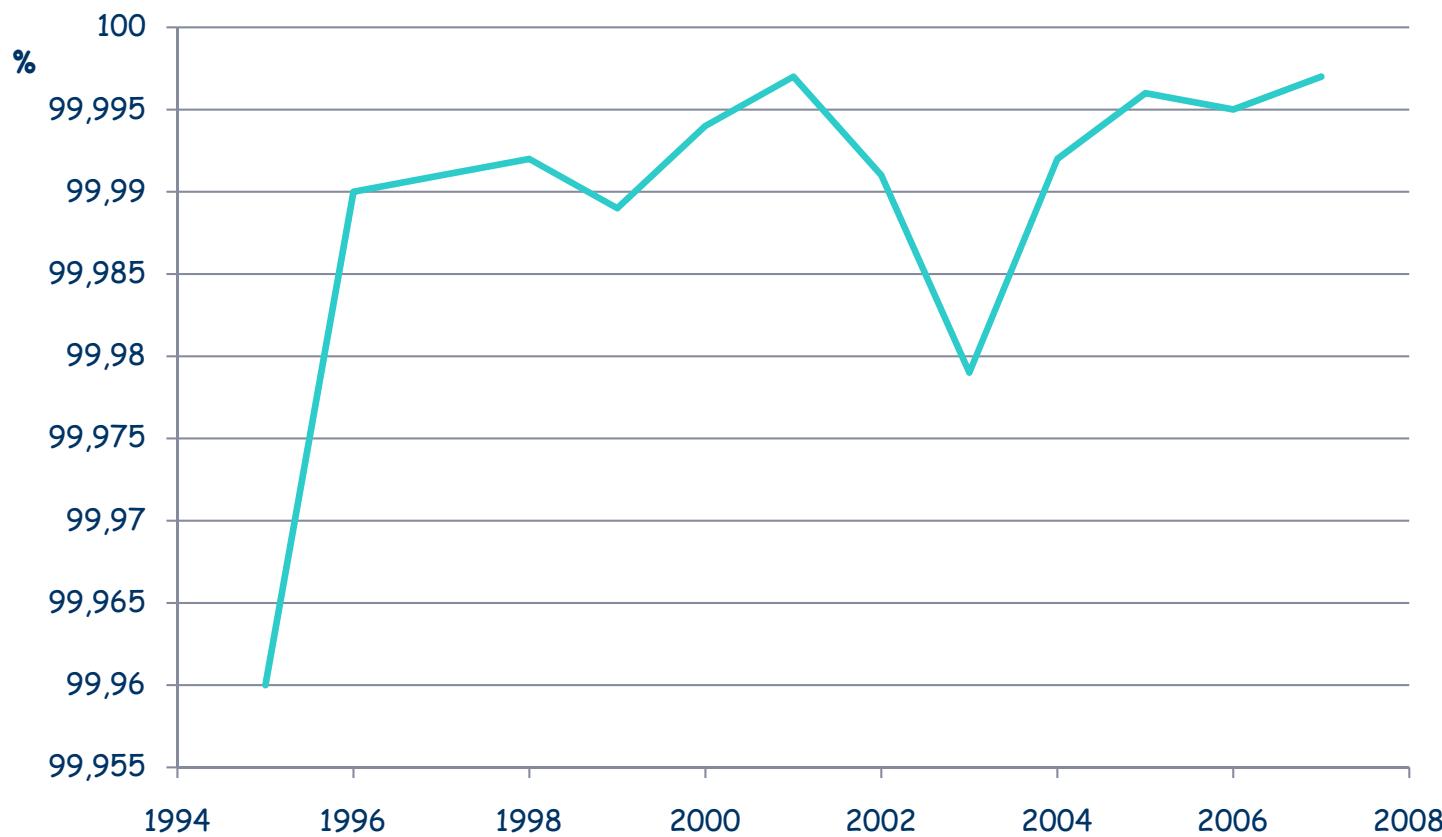
# Prekid napajanja električnom energijom 12

- Raspoloživost prijenosne mreže Hrvatske u razdoblju 1995. - 2007.:

Godina	$W_{ie}$ [GWh]	$W_{ne}$ [GWh]	$R_m$ [%]
1995	10992	4345	99,960
1996	11614	1196	99,990
1997	12349	1147	99,991
1998	12908	1085	99,992
1999	13157	1411	99,989
2000	13197	742	99,994
2001	13820	417	99,997
2002	13770	1210	99,991
2003	14557	3013	99,979
2004	15095	1192	99,992
2005	15752	608	99,996
2006	16298	786	99,995
2007	16707	368	99,997

# Prekid napajanja električnom energijom 13

- Raspoloživost prijenosne mreže Hrvatske u razdoblju 1995. - 2007.:



- Osim navedenih podataka koji opisuju prekide napajanja uvjetovane prisilnim i planiranim zastojima u prijenosnoj mreži, za pokazatelje pogona prijenosnih mreža često se koriste i pokazatelji *SAIFI* i *SAIDI*.

- Pokazatelj *SAIFI* (*System Average Interruption Frequency Index*) predstavlja srednji broj prekida napajanja električnom energijom prema jednom obračunskom mjestu uzimajući u obzir sve prekide i sva obračunska mjerna mjesta:

$$SAIFI = \frac{\sum_{i=1}^N N_{pi}}{N}$$

- gdje je:
  - $N_{pi}$  - ukupni broj prekida na obračunskom mjernom mjestu u jednoj godini,
  - $N$  - ukupni broj obračunskih mjernih mesta u promatranom sustavu.

- Pokazatelj *SAIDI* (*System Average Interruption Duration Index*) predstavlja srednje trajanje prekida napajanja prema jednom obračunskom mjernom mjestu, također uzimajući u obzir sve prekide i sva obračunska mjerna mjesta:

$$SAIDI = \frac{\sum_{i=1}^N T_{pi}}{N}$$

- gdje je:
  - $T_{pi}$  - ukupno trajanje prekida na obračunskom mjernom mjestu u jednoj godini,
  - $N$  - ukupni broj obračunskih mjernih mjesta u promatranom sustavu.

- Podaci o prekidu napajanja SAIFI i SAIDI za prijenosnu mrežu Hrvatske za 2007.:

Broj obračunskih mjernih mjesa	Broj prekida	Trajanje prekida [min]	SAIFI	SAIDI
339	169	6758	0,499	19,935

- Podaci o prosječnom broju prekida napajanja (SAIFI) i trajanju prekida napajanja (SAIDI) u europskim prijenosnim mrežama:

Država	SAIFI	SAIDI	Napomena
Austrija	0,9	82,0	VN, SN
Danska	0,5	24,4	VN, SN
Finska	5,2	106,5	SN
Francuska	0,9	61,6	NN
Hrvatska	0,4	16,9	VN
Italija	2,2	57,9	VN, SN, NN
Mađarska	1,8	130,8	VN, SN, NN
Nizozemska	0,3	33,1	VN, SN, NN
Norveška	1,7	96,0	VN, SN
Poljska	3,1	409,9	VN, SN, NN
Portugal	2,6	136,2	VN, SN, NN
Španjolska	2,2	103,8	VN, SN, NN

# ODRŽAVANJE ELEKTROENERGETSKOG SUSTAVA

## Eksternalizacija u održavanju prijenosne mreže

Prof.dr.sc. Igor Kuzle

- Prijenosna mreža ima ključnu ulogu u elektroenergetskom sustavu i na tržištu električne energije.
- Temeljna zadaća prijenosne mreže je postizanje što veće pouzdanosti pogona, uz razumne troškove pogona i održavanja, te prihvatljiv utjecaj na okoliš.
- U troškovima pogona i održavanja prijenosne mreže značajan udjel imaju troškovi održavanja rasklopnih postrojenja.

- U okruženju sve većih zahtjeva za što većom raspoloživošću i što manjim troškovima korištenja prijenosne mreže, kontrolirano smanjivanje troškova pogona i održavanja rasklopnih postrojenja ima posebnu važnost.
- Održavanje rasklopnih postrojenja u Hrvatskoj utemeljeno je na strategiji održavanja prema unaprijed zadanim rokovima, te orijentiranosti na vlastite resurse i infrastrukturu održavanja, koji su rezultirali pouzdanim pogonom prijenosne mreže, ali i znatnim troškovima održavanja.

- S obzirom na brojnost i različitost poslova održavanja i znatan broj postrojenja te s time povezani potrebnu infrastrukturu i osoblje održavanja, nije moguće, a niti opravdano, obavljanje svih poslova vlastitim angažiranjem.
- Zbog toga se za dio poslova održavanja angažiraju vanjski izvoditelji radova - **OUTOURCING**, odnosno **EKSTERNALIZACIJA!**
- Razvojem gospodarstva i tržišta roba, usluga i radova stvoreni su uvjeti za izdvajanje sporednih poslova održavanja iz temeljne djelatnosti, s ciljem smanjivanja troškova i povećanja učinkovitosti održavanja.

- Važno je razlikovati outsourcing od kooperanta:
- **KOOPERANT** obavlja zacrtani zadatak unutar sustava održavanja, odnosno izvodi jedan od više poslova, a tvrtka koja plaća kooperanta još uvijek upravlja cjelokupnim procesom održavanja.
- **OUTSOURCING** znači povjeriti kompletno upravljanje sustavom održavanja vanjskoj firmi.

- Analiza mogućnosti primjene eksternalizacije u održavanju rasklopnih postrojenja pokazuje da se odnos vlastitog obavljanja radova održavanja i angažiranja vanjskih izvoditelja vremenom mijenja.
- Opravdano je izdvajanje sporednih djelatnosti iz temeljne djelatnosti jer one imaju znatno veće troškove od istovrsne usluge na tržištu.
- Moguća mana: poslovna prevara!

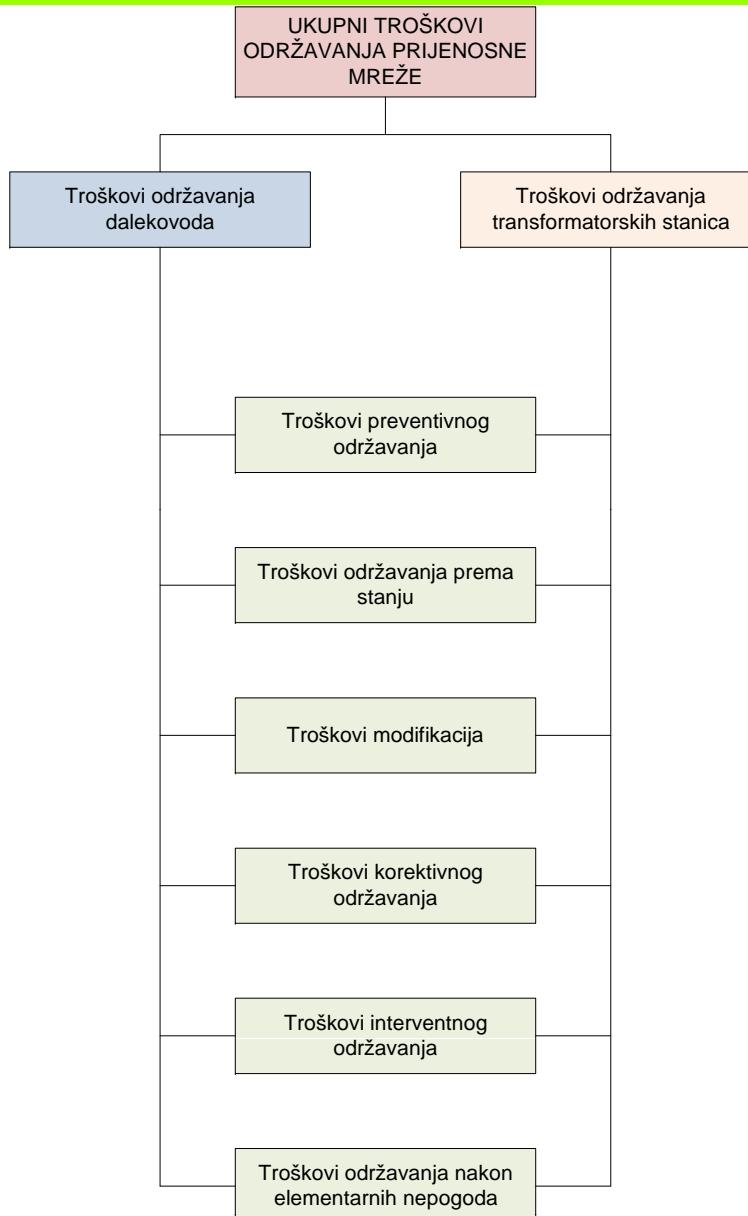
# Troškovi održavanja prijenosne mreže 1

- Troškovi održavanja prijenosne mreže zbroj su troškova:
  - materijala,
  - usluga,
  - općih troškova poslovanja te
  - troškova osoblja.

# Troškovi održavanja prijenosne mreže 2

- Troškovi održavanja prijenosne mreže podijeljeni su prema:
  - objektima održavanja (vodovi, transformatorske stanice),
  - vrstama održavanja (preventivno, prema stanju, modifikacije, korektivno, interventno, elementarne nepogode) te
  - naponskim razinama (110, 220, 400 kV).

# Struktura troškova održavanja prijenosne mreže



# Metoda održavanja prijenosne mreže 1

- Održavanje elektroenergetskih objekata prijenosne mreže temelji se na strategiji održavanja prema unaprijed utvrđenim rokovima i radovima održavanja.
- Visoka pouzdanost pogona, ali i znatni troškovi održavanja.
- Temeljna načela održavanja prijenosne mreže proizlaze iz usmjerenosti na periodičko redovito održavanje, vlastite resurse i razvoj infrastrukture održavanja.

# Metoda održavanja prijenosne mreže 2

- Održavanje se obavlja pri isključenom stanju elemenata prijenosne mreže.
- Polazna pretpostavka održavanja po rokovima bila je nemogućnost uvida u stanje komponenti te svojstava opreme i uređaja po isteku određenog vremena.
- Zato se unaprijed prema preporuci proizvođača odredio rok za pojedine radove redovnog održavanja.

# Metoda održavanja prijenosne mreže 3

- Glavni razlog znatnih troškova održavanja u provedbi održavanja prema rokovima je prevelika učestalost radova u velikom broju objekata, te s tim povezani znatni troškovi održavanja.
- Strategija održavanja po rokovima, odnosno zadanog održavanja, uzrokuje znatnu neraspoloživost objekata prijenosne mreže, te s time povezane povećane troškove pogona sustava te povećani pogonski rizik.

# Metoda održavanja prijenosne mreže 4

- Stoga je nužna promjena postojeće strategije održavanja i uvođenje novih metoda održavanja, od kojih je posebno značajno održavanje prema stanju.
- Zbog velikog broja objekata prijenosne mreže i njihove rasprostranjenosti na širem prostoru, što boljeg upoznavanja opreme i potrebe brzih intervencija u slučaju kvarova, od početka razvoja prijenosne djelatnosti, pa sve do današnjih dana, u Hrvatskoj je prisutno usmjerenje na održavanje objekata vlastitim resursima.

# Poslovi održavanja prijenosne mreže 1

- Poslovi održavanja vodova i rasklopnih postrojenja uvjetno se mogu podijeliti na **glavne** i **sporedne poslove**.
- Glavnim poslovima smatraju se poslovi na održavanju vodova te primarnoj i sekundarnoj opremi u rasklopnim postrojenjima.
- Glavne poslove pregleda, revizija i remonta vodova i funkcionalnih cjelina i podsustava u rasklopnim postrojenjima obavlja, u pravilu, vlastito stručno i specijalističko osoblje operatora prijenosnog sustava.

# Poslovi održavanja prijenosne mreže 2

- Izuzetak su poslovi održavanja koji se mogu obaviti jedino u tvornici proizvođača, specijalistička dijagnostička mjerena i ispitivanja, za koja operator nije ovlašten, te poslovi održavanja informacijskih podsustava.

# Poslovi održavanja prijenosne mreže 3

- Sporednim poslovima održavanja smatraju se svi ostali poslovi potrebni za cjelovito obavljanje održavanja objekata prijenosne mreže, kao što su:
  - poslovi transporta,
  - građevinski radovi,
  - elektromehanički radovi,
  - strojobravarski radovi,
  - poslovi čišćenja,
  - poslovi sječe raslinja u trasama vodova,
  - hortikulturni poslovi,
  - fizička zaštita objekata itd.

# Provodenje održavanja prijenosne mreže

- Održavanja prijenosne mreže provodi se u četiri glavna koraka:
  - planiranje,
  - priprema,
  - izvođenje radova,
  - izvješćivanje.
- Na temelju planova održavanja osiguravaju se pričuvni dijelovi, isključenja elemenata iz pogona i potrebni resursi infrastrukture održavanja, nakon čega se može pristupiti izvođenju radova održavanja i izvješćivanju.

- Stalni pritisak na smanjivanje troškova prisutan je u svim djelatnostima, pa tako i u elektroenergetskim djelatnostima.
- Menadžeri u svim djelatnostima i na svim razinama imaju jasan zadatak: povećanje učinkovitosti i smanjivanje troškova poslovanja, što se može postići promjenama dosadašnjeg pristupa održavanju.

- Jedan od načina za smanjivanje troškova održavanja je novi pristup gospodarenju imovinom, koji uključuje izdvajanje sporednih poslova iz temeljne djelatnosti i ugovaranje predmetnih poslova s vanjskim izvoditeljima radova.
- Potreba smanjivanja troškova održavanja, teško pronalaženje specijalista za održavanje i umirovljenja stručnog osoblja bez adekvatnih zamjena, dodatni su razlozi za proširenje eksternalizacije sa sporednih i na glavne poslove održavanja.

- Nadalje, unutar temeljne djelatnosti i u okruženju stalnog smanjivanja troškova poslovanja, vrlo je teško pratiti brzi razvoj tehnologije i specijalističkih znanja u glavnim, a posebice u sporednim djelatnostima održavanja.
- U tom pogledu tehnologija, infrastruktura i stručna znanja, a time i kvaliteta sporednih djelatnosti vremenom počinju zaostajati u usporedbi s istovrsnim poslovima na tržištu, pri čemu nerijetko troškovi sporednih djelatnosti postaju sve veći.

- Na taj način sporedni poslovi, koji znatno utječu i na glavne poslove održavanja, postaju kritična točka u održavanju kako u tehničkom, tako i u ekonomskom pogledu.
- Jedan od prihvatljivih načina rješavanja problema kritičnih sporednih poslova u održavanju, je njihovo izdvajanje iz temeljne djelatnosti, odnosno primjena eksternalizacije.

# Prednosti uvođenja eksternalizacije 1

---

- Smanjivanje troškova poslovanja, budući se istovrsne usluge i radovi izvršavaju uz manje ukupne troškove.
- Eksternalizacija omogućava fleksibilnost korištenja planiranih finansijskih sredstava u održavanju jer se određeni radovi i/ili usluge naručuju i plaćaju onda kada je to potrebno.
- Kada predmetni sporedni poslovi nisu izdvojeni troškovi osoblja i infrastrukture održavanja postaje neovisno o tome da li se usluga izvršava ili ne izvršava.

# Prednosti uvođenja eksternalizacije 2

- Eksternalizacija sporednih usluga također omogućuje učinkovitije obavljanje temeljne djelatnosti, budući se iz poslova pripreme, angažiranja potrebne infrastrukture i izvođenja radova isključuje predmetni dio sporednih poslova, koji se ugovara s vanjskim izvoditeljem radova, te ostaje više prostora i resursa za kvalitetnije obavljanje glavnih poslova.

# Prednosti uvođenja eksternalizacije 3

- Ugovaranje sporednih poslova s vanjskim izvoditeljima radova prema tržišnim načelima, u pravilu, za posljedicu ima snižavanje cijene usluga i radova uz istodobno zadržavanje postojeće kvalitete, a često puta i postizanje bolje kvalitete radova i usluga.

# Prednosti uvođenja eksternalizacije 4

- Vanjski izvoditelji radova, specijalizirani za pojedine poslove, u slučaju potrebe hitnih intervencija, raspolažu odgovarajućim resursima za hitni odziv i što bržu intervenciju, što operator prijenosnog sustava nije uvijek u mogućnosti osigurati za sve glavne i sporedne poslove održavanja.

# Prednosti uvođenja eksternalizacije 5

- Vanjski izvoditelji radova, zbog što boljih referenci i zadovoljstva svojih kupaca, posebno će se truditi u pogledu urednog, pravodobnog i kvalitetnog obavljanja sporednih poslova u održavanju i savjetovati poboljšanja učinkovitosti pogona i povećanja životnog vijeka opreme i uređaja koji su predmet eksternalizacije.

# Prednosti uvođenja eksternalizacije 6

- Kada sporedne djelatnosti nisu izdvojene iz temeljne djelatnosti angažiranje, zadržavanje i plaćanje osoblja specijaliziranog za predmetne sporedne djelatnosti posebno je osjetljivo i složeno pitanje, koje ima za posljedicu znatne izravne i neizravne troškove poslovanja.
- Izdvajanjem navedeni problemi prelaze na stranu vanjskih izvoditelja radova i rasterećuju operatora u tehničkom, pravnom i ekonomskom pogledu.

# Prednosti uvođenja eksternalizacije 7

- U slučaju kada nije provedena eksternalizacija poslova održavanja, u slučaju bolovanja, i godišnjih odmora osoblja održavanja, sporedne poslove obavljaju nestručne ili priučene osobe.
- Tada je kvaliteta radova upitna, te je prisutan povećan rizik od neželjenih događaja i povećanih troškova.

# Određivanje razine eksternalizacije 1

---

- Pitanje koje poslove održavanja izdvojiti, a koje obavljati u okviru temeljne djelatnosti glavno je pitanje mnogih strategija održavanja.
- Prema prvom kriteriju se zbog zadržavanja stručnih znanja i kontrole nad strateškom imovnom, u pravilu iz temeljne djelatnosti izdvajaju sporedni poslovi održavanja.

# Određivanje razine eksternalizacije 2

- Međutim, i u tom slučaju za specifičnu opremu i uređaje, kada operator nema potrebne resurse i znanje za održavanje, može se dopustiti eksternalizacija određenih glavnih poslova održavanja poput:
  - preventivnog održavanja regulacijskih preklopki energetskih transformatora,
  - korektivnog održavanja energetskih kabela nazivnog napona 110 kV, itd.

# Određivanje razine eksternalizacije 3

- Drugi kriterij su troškovi održavanja pri čemu se iz temeljne djelatnosti trebaju izdvojiti poslovi održavanja čiji su troškovi veći od tržišnih cijena istovrsnih poslova.
- Treći kriterij su poslovi za čije obavljanje u okviru temeljnih djelatnosti nisu ispunjeni temeljni uvjeti, odnosno infrastruktura i kvalificirano osoblje.

# Određivanje razine eksternalizacije 4

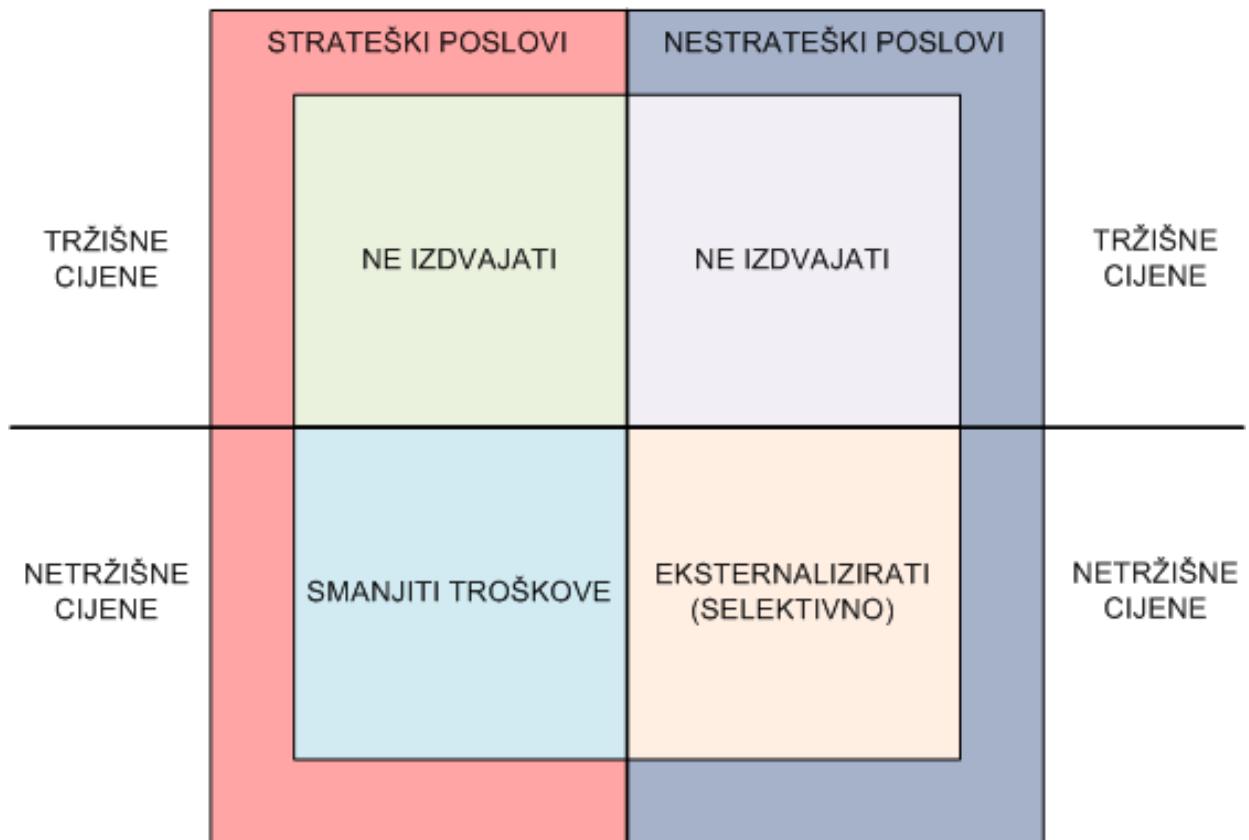
- Na temelju navedenog razvidno je da odluku o tome koje poslove izdvojiti, a koje ne iz temeljne djelatnosti može donijeti jedino vlasnik imovine, uzimajući u obzir prethodno navedene kriterije, konkretne prilike u temeljnoj djelatnosti i u okruženju, te u skladu s dugoročnim planom razvoja predmetne djelatnosti.

# Određivanje razine eksternalizacije 5

- Sobzirom da je proces eksternalizacije u pravilu nepovratan, odluka o izdvajaju poslova održavanja mora se donijeti vrlo pažljivo, uzimajući u obzir ukupne tehničke, ekonomiske i pravne kratkoročne i dugoročne posljedice.
- Odluka o eksternalizaciji ima dvije dimenzije: stratešku i tržišnu.

# Određivanje razine eksternalizacije 6

- Tržišna dimenzija odnosi se na usporedbu cijena poslova održavanja u okviru temeljne djelatnosti sa cijenama istovrsnih poslova na tržištu.



# Određivanje razine eksternalizacije 7

- a) Strateški poslovi koji se obavljaju prema tržišnim cijenama ne izdvajaju se.
- b) Troškovi strateških poslova čije su cijene veće nego na tržištu, moraju se smanjivati internim mjerama.
- c) Nestrategicke (sporedni) poslovi koji imaju cijenu istu ili manju nego na tržištu, ne izdvajaju se.
- d) Sporedni poslovi koji imaju cijenu veću nego na tržištu, ovisno o razlici u cijeni i značaju mogu se izdvojiti.

# Primjena eksternalizacije

- Primjeri poslova koji se izdvajaju iz temeljne djelatnosti i na kojima se primjenjuje eksternalizacija:
  - projektiranje
  - građevinski radovi
  - dijagnostička ispitivanja opreme
  - specijalistički obrtnički radovi
  - održavanje informacijskih sustava
  - specijalni transport
  - remont energetskih transformatora
  - fizička zaštita objekata
  - sječa raslinja na trasama dalekovoda
  - hortikultурno održavanje rasklopnih postrojenja

- Troškovi poslovanja prijenosne mreže obuhvaćaju troškove održavanja rasklopnih postrojenja te vodova.
- Jedan od načina smanjivanja troškova održavanja, ali i postizanja brojnih tehničkih i drugih pozitivnih učinaka u poslovanju, je izdvajanje određenih poslova održavanja iz temeljne djelatnosti.
- Budući da je proces eksternalizacije u pravilu nepovratan, odluka o razini izdvajanja poslova održavanja treba se donijeti vrlo pažljivo, uzimajući u obzir ukupne strateške, tehničke, ekonomske i pravne kratkoročne i dugoročne posljedice, te prednosti i nedostatke eksternalizacije.

- Iz temeljne djelatnosti izdvajaju se sporedni poslovi održavanja kada troškovi obavljanja predmetnih poslova u vlastitom angažmanu postanu znatno veći od istovrsne usluge na tržištu, te kada postojeći resursi i osoblje više ne mogu osigurati obavljanje predmetnih poslova održavanja.



# Održavanje EES-a

## Metode ispitivanja elemenata elektroenergetskog sustava

Doc.dr.sc. Igor Kuzle

Hrvoje Pandžić, dipl.ing.

# Vrste ispitivanja opreme

- Prijamna provjera - provodi se na novi opremi, obično nakon instalacije i prije puštanja u pogon. Oni se provode da bi se odredilo sljedeće:
  - Da li je oprema u suglasnosti sa specifikacijama
  - Da bi se odredilo mjerilo za buduća ispitivanja
  - Da bi se utvrdilo da li je oprema instalirana bez oštećenja
  - Da bi se potvrdilo da oprema zadovoljava svoju svrhu
- Rutinska ispitivanja opreme - Predmetna ispitivanja se provode u redovitim intervalima kroz čitav životni vijek opreme.
- Specijalna ispitivanja opreme koja se provode za specijalne svrhe - Predmetna ispitivanja se provode na opremi za koju se zna da je neispravna ili je bila izložena nepovoljnim uvjetima koji mogu utjecati na njene radne karakteristike.

# Vrste ispitnih metoda

- Ispitivanje električne opreme obuhvaća provjeru izolacije, električna svojstva i druge faktore koji su povezani sa sveukupnim radom električnog sustava.
- Ispitivanje električne opreme se može podijeliti na sljedeće tipove:
  - ispitivanje krute izolacije
  - ispitivanje izolacijske tekućine
  - ispitivanje zaštitnih uređaja
  - analiza vremena prorade prekidača
  - ispitivanje uzemljivačkog sustava
  - ispitivanje analize plina pri kvaru
  - ispitivanje infracrvenog nadzora

# Vrste ispitnih metoda

---

- ispitivanje krute izolacije
  - ispitivanje izolacije se provodi da bi se odredio integritet izolacijskog medija. To se obično izvodi tako da se visoki napon priključi na testni primjerak te se određuje struja koja teče u tim uvjetima
  - Pretjerana struja može pokazati dotrajalo stanje ili dolazeći kvar izolacije.
- ispitivanje izolacijskih tekućina
  - Izolacijske tekućine koje se koriste u transformatorima i drugim električnim elementima su izložene zagađenju i pogoršanju izolacijskih svojstava tijekom vremena
  - Čimbenici koji izazivaju degradaciju izolacijske tekućine su vlaga, toplina i kisik

# Vrste ispitnih metoda

- Ispitivanje zaštitnih uređaja
  - Ispitivanje zaštitnih uređaja uključuje ispitivanje i održavanje zaštitnih releja, prekidača i slične opreme kao što su mjerni transformatori
  - ispitivanja zaštitnih releja i uređaja i prekidača se može svrstati u rutinske provjere
- Analiza vremena prorade prekidača
  - Ovaj analiza se provodi kako bi se utvrdilo da li operativni mehanizam prekidača radi ispravno
  - Ovaj test se obično provodi na srednje i visokonaponskim prekidačima te prikazuje poziciju kontakta prekidača u odnosu na vrijeme

# Vrste ispitnih metoda

- Ispitivanje otpora uzemljenja postrojenja
  - održavanje referentne točke potencijala (zemlje)
  - osigurati odvod struje pražnjenja u zemlju za vrijeme udara groma
  - spriječiti rast potencijala metalnih dijelova postrojenja zbog induciranih napona u električnom sustavu
- Analiza vremena prorade prekidača
  - Ovaj analiza se provodi kako bi se utvrdilo da li pogonski mehanizam prekidača radi ispravno
  - Ovaj test se obično provodi na srednje i visokonaponskim prekidačima te prikazuje poziciju kontakta prekidača u odnosu na vrijeme

# Vrste ispitnih metoda

- ispitivanje na „plinove koji ukazuju na kvar“
  - Analiza otopljenih plinova u transformatorskom ulju
  - Zbog pretjerane topline prilikom opterećenja transformatora ili iskrenja unutar transformatorskog izolacijskog ulja, dio ulja u transformatoru se razgradi te proizvede zapaljive plinove
- Metoda infracrvenog ispitivanja
  - U upotrebi su mnogi uređaji koji pomoći infracrvene tehnologije mogu detektirati termalno kritična mesta u prekidačima i ostalim elementima pod naponom
  - Vrlo su korisni kod rutinskih održavanja i traženja "loših veza" i spojeva te preopterećenja terminala i linija

# Ispitivanje izolacije

---

- Izloženost širokom rasponu okolišnih uvjeta - temperatura, vlaga, kemijska i druga zagađenja, te izloženost vremenskim prilikama.
- ispitivanja koja se provode nad izolacijom:
  - ac dielektrični gubitci
  - faktor snage ili faktor rasipanja ( $\tg \delta$ )
  - kapacitivnost
  - ac otpor
  - napon radijskih smetnji
  - dc otpor
  - dc dielektrična apsorpcija

# Kvarovi izolacije

---

- Kvar izolacije može nastati na dva osnovna načina:
  - (1) kvar uslijed prekomjernih dielektričnih gubitaka
  - (2) kvar uslijed prenaponskih naprezanja
- Prekomjerni dielektrični gubici su rezultat oslabljene izolacije ili onečišćenja izolacije
- Prenaponska naprezanja nastaju kada je napon narinut na izolator veći od onoga kojeg može podnijeti s obzirom na njegova dielektrična svojstva

# Ispitivanje električne opreme istosmjernim naponom



- Prednosti i nedostatci ispitivanja s istosmjernim naponom:
  - **Prednosti:**
    - DC ispitivanje je pogodno za ispitivanje opreme koja ima vrlo velik nabojni kapacitet, npr. kabeli
    - Naprezanja koja nastaju DC ispitivanjem uzrokuju znatno manja oštećenja na izolaciji u odnosu na AC napon
    - Vremensko trajanje primjene DC napona nije kritično kao trajanje primjene AC napona
  - **Nedostaci:**
    - Raspodjela naprezanja za transformatore, motore i namote generatora je drukčija pri DC ispitivanju u odnosu na AC ispitivanje
    - Nakon DC ispitivanja potrebno je pažljivo izbiti preostali naboj
    - Moguće je da napon ne napreže jednolično svaki dio izolacije

# Ispitivanje otpora izolacije

- Instrument koji se koristi je megaohmometar u ručnoj izvedbi koji mjeri otpor izolacije u megaohmima.
- Sva očitanja potrebno je korigirati na standardnu temperaturu za klasu opreme koja se ispituje
- Same vrijednosti otpora izolacije ne indiciraju slabosti u izolaciji, niti ukupnu dielektričnu čvrstoću, ali mogu indicirati kontaminaciju izolacije i moguće buduće probleme s izolacijskim sustavom ako se nastavi padajući trend vrijednosti otpora izolacije

# DC ispitivanje transformatora

- Istosmjerno ispitivanje transformatora uključuje ispitivanje čvrste izolacije namota i izolaciju fluida korištenih u transformatoru
- Mjerenje otpora izolacije
  - Test se izvodi na nazivnom naponu za određivanje postojanja malih otpora prema zemlji ili između namota kao rezultat istrošenosti izolacije namota
- Ispitivanje apsorpcije dielektrika
  - Ispitivanje apsorpcije dielektrika je dodatak mjernom ispitivanju namota transformatora za izolacijsku otpornost. Ispitivanje se sastoji od primjene napona na 10 minuta i uzimanja očitanja mjerjenja u intervalima od 1 minute

# Kabeli i dodatna oprema

- Ispitivanje kabela se provodi iz više razloga:
  - kako bi se dobio grafički prikaz gubljenja svojstava tijekom vremena
  - kako bi se provela ispitivanja nakon same ugradnje kabela
  - kako bi se provjerili spojevi i upletke kabela
  - prilikom posebnih ispitivanja nakon izvršenih popravaka
- Istosmjerna naponska ispitivanja kabela se sastoje od mjerjenja otpora izolacije i prenaponskog istosmjernog ispitivanja.
- Test mjerjenja otpora izolacije:
  - nedestruktivna metoda utvrđivanja stanja izolacije kabela kako bi se provjerio stupanj "onečišćenosti" koji nastaje uslijed vlage, prljavštine ili karbonizacije.

# Električne sklopke i prekidači

- DC ispitivanje električnih sklopki i prekidača uključuje sljedeće:
  - Test mjerena otpornost izolacije
  - DC visokonaponski test
  - Test mjerena otpora kontakata prekidača
- Test mjerena otpora kontakata prekidača
  - nepomični i pomični kontakti prekidača napravljeni su od materijala koji pruža otpor luku
  - ako kontakti nisu redovno održavani, otpor uslijed učestalog zatvaranja luka raste na štetu provodnosti kontakata
  - pojačana korozija kontakata odražava se na prekidnu moć prekidača

# Motori i generatori

---

- Sustav električne izolacije je najznačajniji dio motora i generatora koji zahtjeva periodično održavanje i ispitivanje.
- Izolacijski sustav strojeva podvrgnut je različitim stupnjevima mehaničkog, termičkog i električnog naprezanja
- Pouzdanost stroja ovisi o ispravnosti njegove izolacije

# Motori i generatori - nastavak

---

- **Test otpornosti izolacije :**
  - provodi se sa istosmjernim naponima od 500 do 5000 V i daje nam povratnu informaciju o stanju izolacije stroja
  - ovo ispitivanje ne provjerava visokonaponsku čvrstoću izolacije, ali nam daje informaciju o tome da li izolacija ima veliki ili mali otpor "curenju" napona
- **Istosmjerni prenaponski test:**
  - provodi se na motorima i generatorima radi mjerenja izolacijske dielektrične probajne čvrstoće

# Odvodnici prenapona

- Testovi održavanja koji mogu biti napravljeni na odvodnicima prenapona s izmjeničnim naponom su mjerjenje otpora izolacije i ispitivanje visokim naponom
- Povećanje struje iznad normalne razine upućuje na oštećen odvodnik
- Procjena ispitnih podataka treba biti temeljena na usporedbi mjerenih vrijednosti struje s vrijednostima prethodnih mjerjenja na sličnim uređajima ili usporednim vrijednostima tri jednopolna odvodnika u zajedničkom spoju

# Kondenzatori

---

- Testovi provjere stanja novih kondenzatorskih jedinica
- Testovi provjere stanja kondenzatorskih jedinica nakon puštanja u pogon
- Strujna mjerena na niskom naponu služe sljedećem:
  - Detekcija kratkospojnih područja u kondenzatoru.
  - Određivanje i korekcija nebalansiranih struja u razdvojenim baterijama tokom instalacije

# Ocjenvivanje rezultata ispitivanja

- Koji se faktori trebaju uzeti u obzir da se odredi da li je izolacija dobra ili loša?
  - Tvorničke informacije kad su dostupne
  - Uspoređivanje sa vrijednostima dobivenim putem inicijalnih mjerjenja pri instalaciji opreme
  - Uspoređivanje sa vrijednostima dobivenim u prijašnjim testovima
  - Uspoređivanje sa vrijednostima mjerjenja dobivenim na sličnim jedinicama

# Mjere opreza pri ispitivanju istosmjernom strujom

---



- Istosmjerni test može biti proveden u bilo kojem trenutku kad se oprema može izvaditi iz pogona na par sati
- Preferira se da test bude planiran u vezi sa periodičkim održavanjem pogona. To će ostaviti vremena da se istraže eventualni problemi i da se obave potrebni popravci sa minimalnim utjecajem na uobičajenu proizvodnju
- Gdje je god moguće, pogotovo kod velikih rotirajućih sustava, spojevi faza bi trebali biti odvojeni tako da se svaka faza zasebno ispitiva

# Mjere opreza pri ispitivanju istosmjernom strujom - nastavak



- Svako otapalo koje koristimo pri čišćenju trebalo bi biti takvo da potpuno ispari prije ispitivanja inače može doći do krivih očitanja.
- Da bi se pridonijelo sigurnosti, prije bilo kakvih istosmjernih naponskih testova svi kablovi i jedinice trebaju biti uzemljeni
- Treba dopustit da se naboј koji se nakupio prilikom narinutog istosmjernog napona dovoljno isprazni, pogotovo u kablovima na kojima su netom izvršeni testovi



# Održavanje EES-a

Održavanje elemenata rasklopnih postrojenja

Energetski transformatori

---

Prof.dr.sc. Igor Kuzle

Hrvoje Pandžić, dipl.ing.

# Energetski transformatori



# Energetski transformatori

---

- Energetski transformator izložen je raznim mehaničkim naprezanjima (vibracije), dinamičkim silama kratkih spojeva te termičkim i kemijskim utjecajima.
- Tijekom vremena sustav izolacije energetskog transformatora gubi svoja osnovna svojstava čime je pouzdanost energetskog transformatora smanjena. Vijek trajanja transformatora može se usko vezati s njegovog sustava izolacije.
- Dijagnostika energetskog transformatora sastoji se od:
  - ispitivanja izolacijskog sustava istosmjernim i izmjeničnim naponom
  - ispitivanja vlažnosti izolacije metodom obnovljivog napona
  - kontrole deformacije namota mjeranjem rasipnih induktiviteta te
  - kontrole spojeva namota i regulacijske sklopke mjeranjem djelatnih otpora.

# Dijagnostička ispitivanja

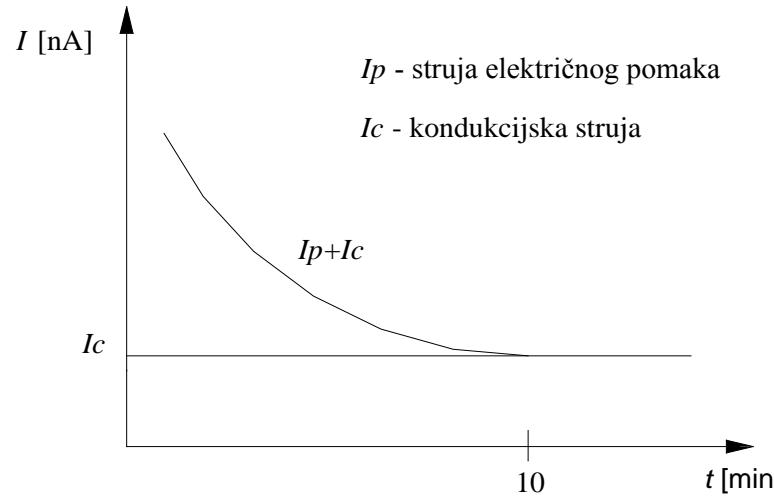
---

- Provode se približno svake 2- 6 godina u ovisnosti o stanju transformatora, vrsti transformatora, zahtjevima za raspoloživost te starosti.
- Bitan čimbenik je i izloženost ekstremnim situacijama kao što su kratki spojevi, atmosferski ili pogonski prenaponi i sl.
- Svaka dijagnostička metoda pokazuje stanje pojedinog dijela transformatora dok ukupna mjerena te interpretacija izmjerениh podataka daju pravu sliku stanja energetskog transformatora.
- Prilikom tumačenja dobivenih rezultata važno je uzeti u obzir referentne vrijednosti s prošlih mjerena ili tvorničke vrijednosti. Zbog mogućnosti usporedbe potrebno je koristiti iste spojeve te mjerne veličine pomoći korekcijskim faktora pretvoriti na referentnu temperaturu od  $20^{\circ}C$ .

# Ispitivanje izolacijskog sustava transformatora istosmjernim naponom

- Vrijednost otpora izolacije dobije se mjernjem ukupne struje pri narinutom poznatom istosmjernom naponu nakon deset minuta.
- Rezultati se također očitavaju i nakon 15 i 60 sekundi. Otpor izolacije očitan u desetoj minuti ( $R_{10'}$ ) ovisi samo o količini vodljivih tvari u izolaciji transformatora, jer je proces polarizacije u mjeri završen.

# Ispitivanje izolacijskog sustava transformatora istosmjernim naponom



- $I_c$  predstavlja konduksijsku struju koja je neovisna o vremenu pri stalnom električnom polju dok je  $I_p$  struja električnog pomaka koja se smanjuje sve do zavrešetka polarizacije

# Ispitivanje izolacijskog sustava transformatora istosmjernim naponom

- Indeks polarizacije *i.p.* definiran je kao omjer otpora izolacije nakon 60 sekundi i otpora izolacije nakon 15 sekundi ( $R_{15''}$  i  $R_{60''}$ ) te je temperaturno neovisan pokazatelj.
- Indeks polarizacije nije mjerodavan za određivanje ocjene ovlaženosti ili zastarjelosti izolacije već korisna informacija.

$$i.p = \frac{I_{15''}}{I_{60''}} = \frac{R60''}{R15''}$$

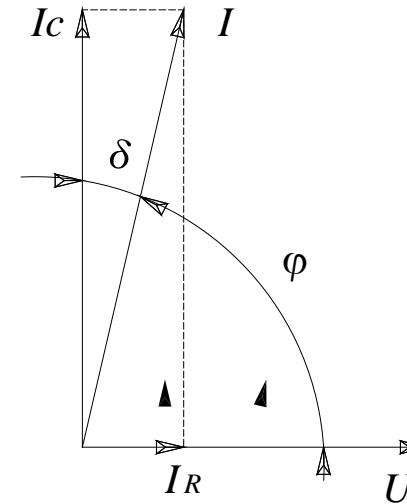
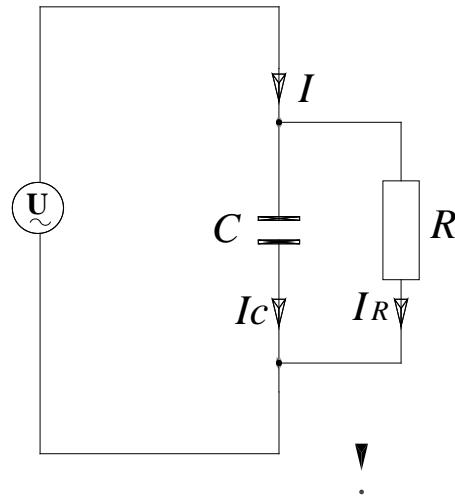
- Indeks polarizacije nije mjerodavan za određivanje ocjene ovlaženosti ili zastarjelosti izolacije već korisna informacija.

# Ispitivanje izolacijskog sustava transformatora izmjeničnim naponom mjerenjem kapaciteta i faktora dielektričnih gubitaka

- Faktor dielektričnih gubitaka namota pokazuje stanje glavne izolacije u smislu njene ovlaženosti i nečistoće.
- Izuzetno bitna informacija prilikom interpretacije rezultata mjeranja je trend promjene vrijednosti faktora dielektričnih gubitaka tijekom vremena. Kao referentna mjeranja uzimaju se vrijednosti izmjerene na prethodnim ispitivanjima.
- Ukoliko vremenom dođe do promjena kapaciteta namota to može ukazivati na promjenu geometrije namota i izolacijskog sustava. Zbog loše razlučivosti ova metoda se ne upotrebljava za kontrolu geometrije namota.

# Dielektrički gubici

Nadomjesna shema izolacijskog sustava transformatora i fazorski dijagram



faktor dielektričkih gubitaka:

$$\tan \delta = \frac{I_R}{I_C} = \frac{P}{Q} = \frac{\frac{U}{R}}{\frac{X_C}{R}} = \frac{U}{X_C} = \frac{I}{\omega C} = \frac{I}{R}$$

# Dielektrički gubici

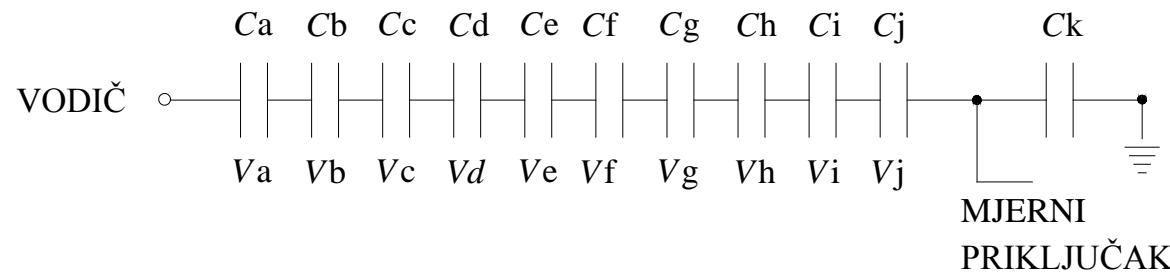
- gubici električne energije - generiranje topline
- kapacitivna struja mjernog priključka:

$$i = j\omega C [1 - j \tan \delta] u$$

- $C$  i  $\tan \delta$  konstantni su tijekom pogona
- mjerjenje  $C$  i  $\tan \delta$  tijekom dijagnostičkih ispitivanja transformatora

# Provodni izolatori

- Na provodnim izolatorima transformatora potrebno je također izvesti mjerjenja kapaciteta i faktora dielektričnih gubitaka. Mjerenje se provodi na mjernom priključku ukoliko ga ima u protivnom potrebno je skidati provodni izolator.
- Provodni izolator sastoji se od serijski spojenih obloga, tj. kondenzatora jednakih kapaciteta, označenih s  $C_a, C_b, \dots, C_k$ . Na kondenzatorsku oblogu  $C_k$  je spojen mjerni izvod koji je u normalnom pogonu je uzemljen.



# Kvarovi provodnika

- **Mehanički kvar**
  - loše brtvljenje – prodor vlage
  - puknuće – curenje izolacijskog ulja
  - djelovanje vanjskih sila
- **Dielektrički kvar**
  - proboj kondenzatorskog tijela
  - pojava parcijalnih izbijanja
  - loš kontakt mjernog priključka
- **Termički kvar**
  - prekomjerno zagrijanje spojnih mesta
  - starenje



# Ispitivanje vlažnosti izolacije transformatora metodom obnovljenog napona

- Metoda određivanja spektra polarizacije izolacijskog sustava, mjerenjem obnovljenog napona, jest električna metoda koja utvrđuje stupanj vlažnosti papirne izolacije transformatora bez njegova otvaranja.
- Ukoliko se izolacija izvrgne djelovanju električnog polja, njen počinjanje opisuje se električnom vodljivosti i električnom polarizacijom.
- **Polarizacija** je pojava zakretanja postojećih električnih dipola u smjeru polja i stvaranje novih dipola.

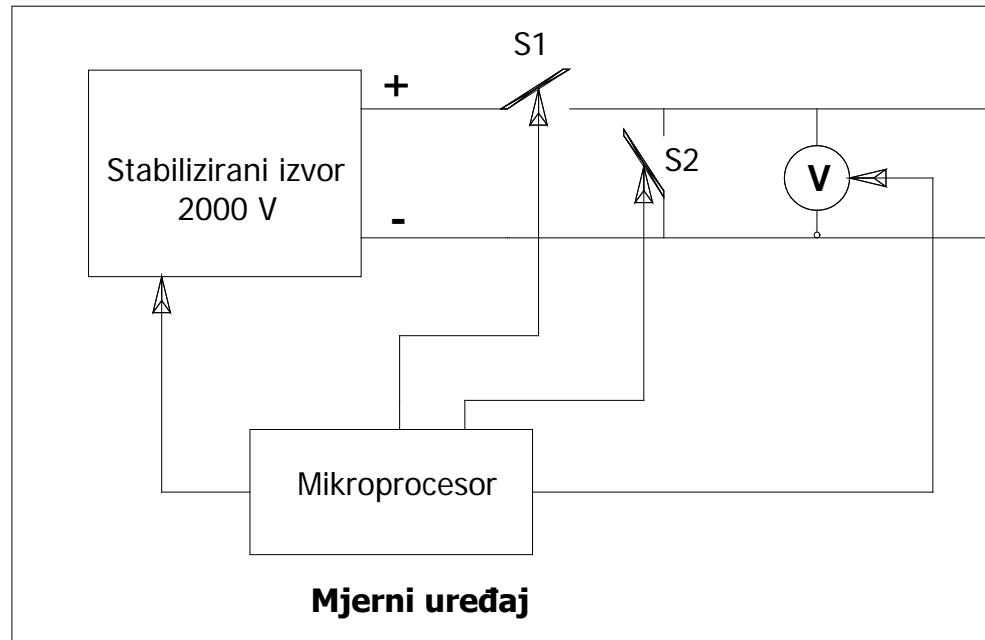
# Spektar polarizacije

---

- Spektrom polarizacije naziva se intezitet polarizacije kao funkcija vremenskih konstanti polarizacijskih mehanizama, koji su ovisni o svojstvima, strukturi i stanju tvari, tj. izolacije.
- Polarizacijski spektar izolacije transformatora, određen je sadržajem vode u izolaciji, u području vreme.
- Transformator se može prikazati kao kondenzator, s elektrodama koje s jedne strane tvori niskonaponski namot, a s druge strane visokonaponski namot i svi uzemljeni dijelovi transformatora, uključivši jezgru i kotao. Izolacija transformatora koja je sačinjena od papira i ulja tvori dielektrik toga kondenzatora.  
skih konstanti od 0,02 s do 10 000 s

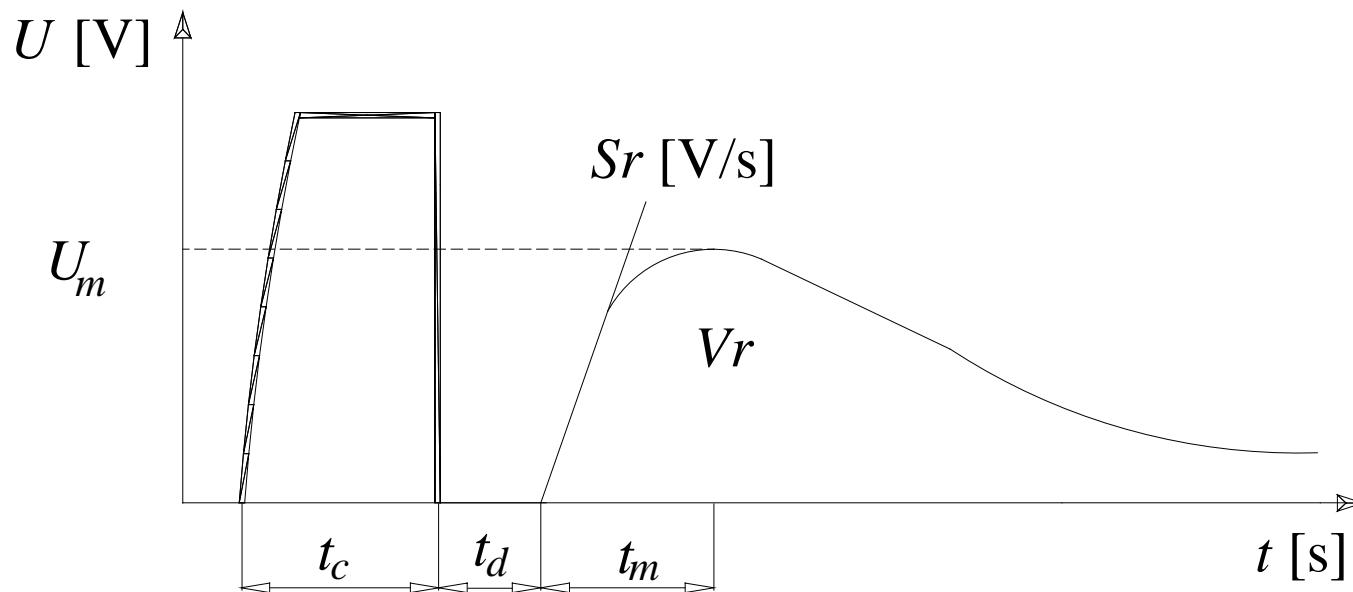
# Mjerna metoda

- Uređaj za mjerjenje obnovljenog napona sastoji se od stabiliziranog istosmjernog izvora, dviju sklopki, voltmetra i mikroprocesora koji upravlja uređajem.



# Mjerenje spektra polarizacije

- Mjerenje spektra polarizacije izolacije energetskih transformatora s uljno papirnom izolacijom provodi se metodom obnovljenog napona



# Postupak mjerenja

- Tijekom mjerenja ispitivani energetski transformator višestruko se nabija i izbija u različitim vremenskim razmacima.
- Vrijeme nabijanja ( $t_c$ ) ostvaruje se sklopkom  $S_1$ , ponavlja se u koracima 1:2:5 od 0,02 s do 10 000 s.
- Vrijeme izbijanja ( $t_d$ ) ostvaruje se sklopkom  $S_2$  ponavlja se u jednakim koracima kao i vremena nabijanja, ali vremenski traju upola kraće.

$$t_d = \frac{1}{2} t_c$$

- $V_r$  predstavlja iznos tjemene vrijednosti obnovljenog napona dok  $S_r$  početni porast obnovljenog napona.

# Postupak mjerenja

- Za vrijeme nabijanja  $t_c$  dolazi do polarizacije izolacije. Tijekom izbijanja  $t_d$  stezaljke se kratko spajaju te dolazi do djelomične depolarizacije izolacije. Zatim se prekida kratki spoj te se priključuje voltmetar s velikim ulaznim otporom koji je spojen s mikroprocesorom.
- Mjerenje je automatizirano te mikroprocesor odgovarajućim programom bilježi vrijednosti  $V$ ,  $S_r$  te vrijeme postizanja obnovljenog napona  $t_m$ .
- Predmetna mjerna metoda osjetljiva je na promjenu vlage u zraku pa u slučaju kiše ili rose nije preporučljivo započinjati mjerenja.
- Tijekom trajanja mjerenja poželjno je da temperatura ispitivanog transformatora bude jednaka, jer se sadržaj vode mijenja s promjenom temperature za  $0,05\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{K}$ .
- Pri temperaturi nižoj od  $8\text{ }^{\circ}\text{C}$  i višoj od  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$  nije preporučljivo mjeriti ovom metodom. Poznato je da ukoliko je sadržaj vlage u papirnoj izolaciji transformatora veći od  $3\%$  potrebno je provesti sušenje izolacije.

# Mjerenje rasipnih induktiviteta

---

- Dinamičke sile uzrokovane strujama kratkog spoja mogu mehanički deformirati namot.
- Deformacija namota se očituje izbacivanjem jednog ili više zavoja ili pomakom cijelog namota stvaranjem usjeka ili izbočina. Ukoliko dođe do takvih pomaka dolazi i do promjena rasipnog induktiviteta  $L_x$  i kapaciteta  $C_x$ .
- Mjerenjem rasipnih induktiviteta moguće je utvrditi da li su na namotu zabilježeni pomaci ili određene deformacije.

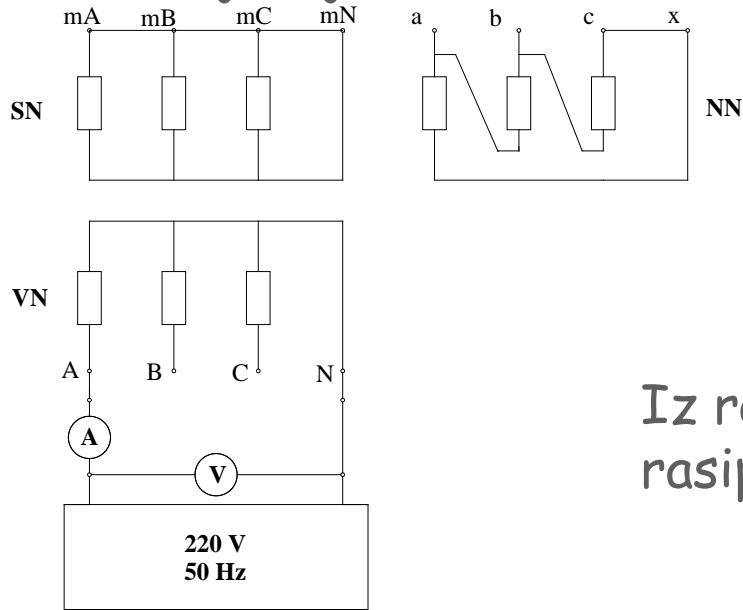
- 
- Induktivitet je ovisan o presjeku zračnog raspora između pojedinih namota kada se jedan namot kratko spoji. Na taj način je presjek primarnog namota kompenziran presjekom sekundarnog namota. Glavni magnetski tok tvore silnice kroz zavoje primarnog i sekundarnog svitka dok rasipni tok primarnog ili sekundarnog svitka tvore silnice oko zavoja primarnog odnosno sekundarnog svitka. Rasipni induktivitet se upotrebljava umjesto rasipnog toka i određen je izrazom:

$$L_x = \frac{N \cdot \Phi_r}{I} = \frac{N \cdot I \cdot N \cdot A \cdot \mu}{I \cdot l} = \frac{\mu \cdot N^2 \cdot A}{l}$$

- gdje je rasipni induktivitet, rasipni magnetski tok,  $I$  struja kroz svitak,  $N$  broj zavoja, permeabilnost,  $A$  presjek zračnog raspora i / duljina namota.

# Mjerna metoda

- Mjerna metoda koja se često upotrebljava kod mjerjenja rasipnog induktiviteta pa tako i kod predmetnog mjernog transformatora je  $U-I$  metoda.
- Izmjenični naponski izvor 220 V se priključuje na namote te se očitavaju mjerne veličine voltmetrom i ampermetrom.



Izmjerene vrijednosti napona i struje uvrste se u izraz za rasipnu reaktanciju:

$$X_L = \sqrt{\frac{U_i^2}{I^2} - R^2}$$

Iz rasipne reaktancije  $X_L$  izračuna se rasipni induktivitet:

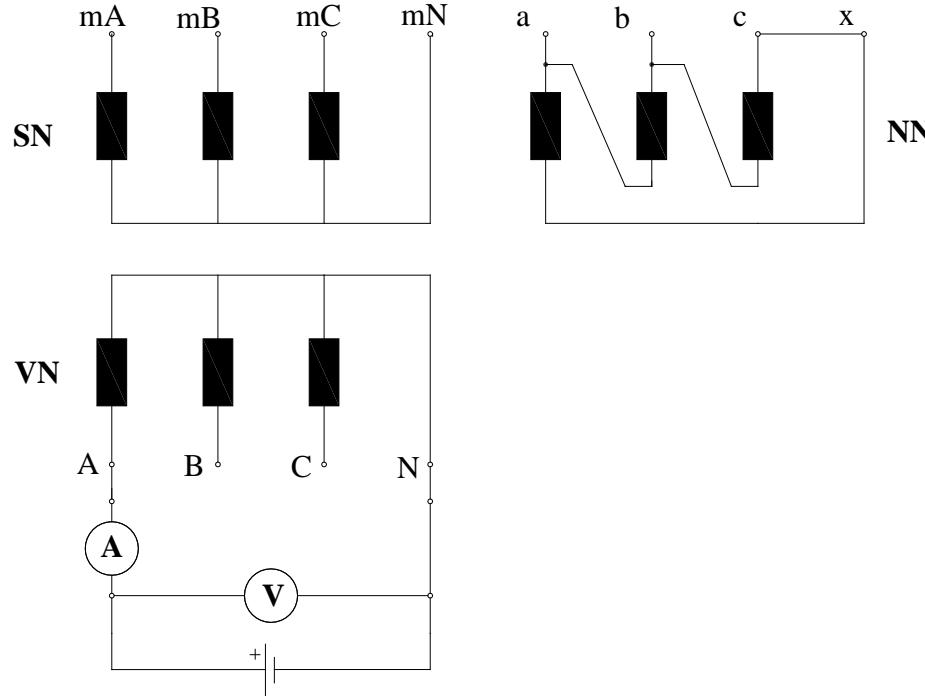
$$L_x = \frac{X_L}{2 \cdot \pi \cdot f}$$

# Mjerenje djelatnog otpora namota

- Mjerenjem djelatnih otpora namota provodi se kontrola kontakata regulacijske sklopke, namota te njegovih spojeva.
- Mjerenje se provodi između faza VN namota i neutralne točke te na svim položajima regulacijske sklopke. Za izvor može se koristiti stabilizirani izvor ili baterija. Mjerenje djelatnog otpora provodi se  $U-I$  metodom.
- Potencijalno povećanje djelatnog otpora može dovesti do pregrijavanja namota i do njegovog prekida. Vrijednosti dobivenih djelatnih otpora mogu se uspoređivati samo s vrijednostima dobiveni mjerjenjem u istom mjernom spolu te na referentnoj temperaturi od  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

# Mjerna metoda

- Djelatni otpor se mjeri  $U-I$  metodom.
- Na isti način izvedena su mjerjenja između svakog faznog vodiča i neutralne točke.



# Kontinuirana dijagnostika

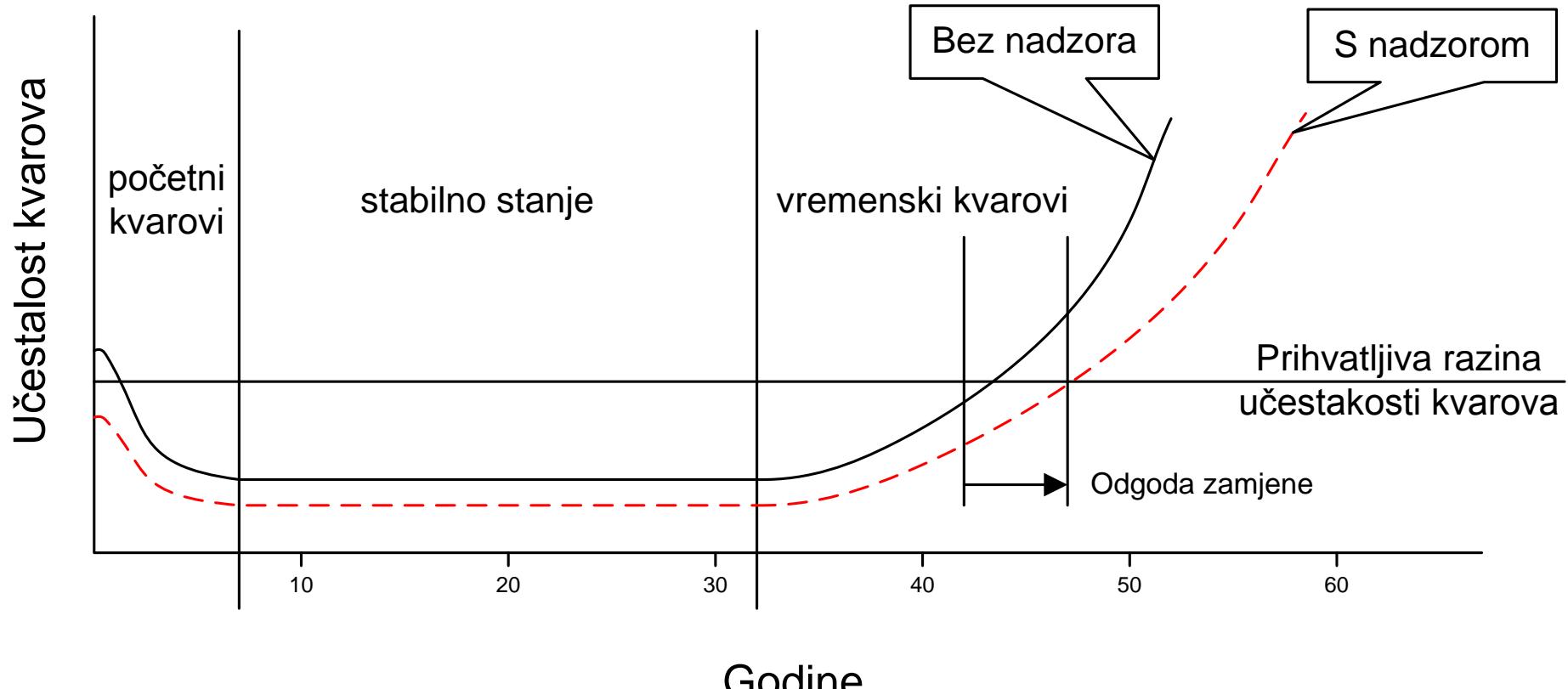
---

- **prednosti**
  - mjerjenje tijekom pogona transformatora
  - signal upozorenja operateru prije nastanka kvara
  - mogućnost otkrivanja kvarova između dva termina periodičkog održavanja
  - mogućnost pogona i nakon otkrivanja kvara
- **nedostaci**
  - utjecaj temperature, vlažnosti i vodljivih čestica na mjerjenje
  - temperaturna ovisnost izračunava se pomoću aproksimativnih korekcijskih faktora
  - donošenje dijagnostičke odluke na temelju relativnih kriterija

# On-line nadzora transformatora

- Ekomska analiza:
  - Smanjen trošak inspekcije i održavanja
  - Smanjeni troškovi zamjene i kvara
  - Poboljšano uklopanje transformatora u realnom vremenu
  - Odgođen rast troška zbog rasta opterećenja
  - Odgođena zamjena troška zbog starosti ili stanja opreme

# Odgoda zamjene transformatora



Učinak nadziranja na životni vijek transformatora



# Održavanje EES-a

Održavanje elemenata rasklopnih postrojenja

Održavanje prekidača i rastavljača

---

Prof.dr.sc. Igor Kuzle

Hrvoje Pandžić, dipl.ing.

# Prekidači



SF<sub>6</sub> prekidač 123 kV  
s hidrauličnim pogonom



s opružnim pogonom

# Prekidači

---

- Visokonaponski prekidač je sklopni aparat koji služi za uklapanje, trajno vođenje i prekidanje pogonskih struja te kratkotrajno vođenje i prekidanje struje kratkog spoja.
- Pravovremeno i pravilno održavanje prekidača važan je preduvjet pouzdanog pogona EES-a.
- Pravilno funkcioniranje prekidača u svim pogonskim uvjetima, posebice prilikom prekidanja struja kratkog spoja izuzetno je važno.
- U uklopljenom stanju impedancija prekidača zanemarivo je mala dok u isklopljenom stanju prekidač ima beskonačno veliku impedanciju.

# Naprezanja prekidača

- Tijekom pogona prekidači su izloženi različitim vrstama naprezanja:
  - **električna** (prekidanje struja kvara, sklopni i atmosferski udarni prenaponi itd.),
  - **mehanička** (sile prilikom sklapanja, elektrodinamičke sile struja kratkog spoja, vjetar i dr.),
  - **toplinska** (temperatura okoline, zagrijavanje nazivnom strujom, strujom kvara i dr.),
  - **kemijska** (proizvodi raspada plina zbog električnog luka, vlaga, prašina i sl.).
- Nakon energetskih transformatora i kabela raspoloživost prekidača najvažnija je za siguran i pouzdan pogon postrojenja.

# Gašenje luka - najčešći mediji

- **Ulje**
  - Toplina luka razgrađuje okolno ulje na veći broj plinova (80% vodik) koji učinkovito odvode toplinu
- **Zračna komora**
  - Protjecanjem komprimiranog zraka luk se produljuje i pomiče na sondu za luk
  - Zrak vrlo brzo odvodi toplinu s luka
- **SF6**
  - Nakon prekida struje brzo se povećava električna čvrstoća prostora među kontaktima

# Gašenje luka - najčešći mediji

---

- **Vakuum**
  - Nepomični i pomični kontakt smješteni u zatvorenoj vakuumskoj komori
  - Paru nastalu izgaranjem luka vrlo brzo upijaju štitovi za ograničavanje luka
- **Zrak**
  - Luk je zbog elektromagnetske interakcije sa strujom koja se prekida natjeran među ploče za razdvajanje
  - Prekid luka uzrokovani je produljivanjem i hlađenjem

# Tipovi prekidača

---

**"zatvoreno i uzemljeno metalno kućište"**

- Svi dijelovi prekidača pod naponom i njihovi izvodi nalaze se u uzemljenom metalnom kućištu

**"uzemljena posuda"**

- Prekidač zatvoren u uzemljenoj metalnoj posudi, s izvučenim izvodima
- Prikladni za ugradnju na otvorenom

**"neuzemljena posuda"**

- Posuda prekidača je na pogonskom naponu i izolirana od zemlje
- Otvoreni izvodi
- Prikladni za ugradnju na otvorenom

# Održavanje prekidača

---

- Načini održavanja ovise o tipu prekidača
- Definira ih proizvođač
- Obuhvaća:
  - čišćenje
  - Podmazivanje
  - provjera rada mehanizma
  - mjerjenje otpora kontakata
  - vremenska ispitivanja
  - ispitivanje značajki izolacije i
  - prekidnog sredstva ...

# Učestalost održavanja

Ovisi o radnim uvjetima, zapisima o radu prekidača,  
mjerenjima ...

1. Periodičke provjere (svakih 6 mjeseci)
2. Rutinska održavanja (2~3 godine)
3. Glavna održavanja (6~12 godina)

Nije uvijek moguće primijeniti predmetnu strategiju  
(npr. u slučaju generatorskih prekidača).

# Problemi u radu i kvarovi

---

- Najčešći problem - Gubitak izolacijskog, radnog ili prekidajućeg sredstava
- Nastaju zbog istrošenosti izolacije, onečišćenosti prekidnog sredstva
- Prilikom analize i otkrivanja kvara postupak je potrebno dokumentirati

# Dijagnostika prekidača

---

- Dijagnostika visokonaponskih i srednjonaponskih prekidača podrazumijeva pravovremeno ili periodičko određivanje stanja prekidača (i njegovih sastavnih dijelova) u svrhu procjene pouzdanosti daljnog pogona i/ili predlaganja načina i volumena održavanja.
- Dijagnostička ispitivanja omogućuju otkrivanje prisutnosti kvara u začetku, kao i određivanje prirode i volumena kvara, predviđanje potrebe za odgovarajućim radovima održavanja i sl.
- Obično se provode na prekidaču izvan pogona (engl. off-line tests), međutim postoje i ispitivanja tijekom pogona (engl. on-line tests), a obuhvaćaju:

# Dijagnostička ispitivanja prekidača

- Ispitivanja mehaničkih operacija odnosno mjerenje sklopnih vremena i nesinkronizma polova
- Mjerjenje otpora glavnih strujnih putova (mjerni, zaštitni uređaji i signalizacije)
- Ispitivanja pregrijavanja
- Ispitivanje izolacije (rijetki kvarovi, izolacija uglavnom od epoksidnih smola, porculana ili silikonske gume tako da je utjecaj vlage na onečišćenje izolacije zanemariv)
- Ispitivanja dielektričnih svojstava plina (kvaliteta plina SF<sub>6</sub>, kontrola gustoće, nepropusnost)
- Ispitivanje pomoćnih uređaja (ispitivanja kompresorskih postrojenja, provjera blokada)

# Parametri koji se prate

Dijagnostičkim ispitivanjima prate se promjene i tendencije pojedinih parametara bitnih za funkcioniranje prekidača

- otpor glavnih strujnih krugova
- pogonska vremena
- upravljačka vremena
- gibanje kontakata
- trošenje kontakata

U slučaju SF6 prekidača

- kvaliteta krute izolacije
- kvaliteta plina

# Dijagnostička oprema

---

- Dijagnostička oprema obuhvaća:
  - Analizator prekidača
  - Uređaj za nadzor prijelaznih pojava (engl. tranzijent recorder)
  - Termovizijsku kameru
  - Izvor istosmjerne struje
  - Uređaj za mjerjenje padova napona
  - Prijenosni analizator sadržaja vlage
  - Uređaj za analizu produkata raspada plina SF6
  - Uređaj za detekciju curenja plina SF6
  - Uređaj za mjerjenje otpora izolacije pomoćnih strujnih krugova

# Ispitivanja mehaničkih operacija

- **Vrijeme isklopa** - vremenski period od uzbude isklopnog svitka, za prekidač u zatvorenom položaju, do trenutka otvaranja kontakata u sva tri pola.
- **Vrijeme uklopa** - vremenski period od uzbude uklopnog svitka, za prekidač u otvorenom položaju, do trenutka zatvaranja u sva tri pola.
- **Vrijeme uklop-isklop** - vremenski period od trenutka zatvaranja kontakata prvog pola tijekom operacije uklopa do trenutka otvaranja kontakata u sva tri pola tijekom operacije isklopa. Nije jednako vremenu vrijeme uklopa+vrijeme isklopa. Vrijeme isklop-uklop (tijekom automatskog ponovnog uklopa) vremenski je period od trenutka razdvajanja kontakta u svim polovima do trenutka zatvaranja prvog kontakta u sljedećoj operaciji uklopa. Vrijeme isklop-uklop = vrijeme trajanja luka + mrtvo vrijeme + vrijeme predpojave luka.

# Ispitivanja mehaničkih operacija

---

- Svako uklapanje ili isklapanje velikih struja (snaga), u slučaju neuspješnog isklapanja prekidača, može završiti katastrofalno.
- Lokacija prekidača u mreži, topologija mreže i vrsta sklopnog događaja utječu na veliku promjenjivost dielektričnih, toplinskih i mehaničkih stresova tijekom isklapanja i uklapanja prekidača.
- Dijagnostičkim ispitivanjem sklopnih vremena i nesinkronizma polova omogućava se otkrivanje potencijalnih kvarova na vrijeme, jer velika većina kvarova ne nastaje bez prethodne najave.
- Ispitivanjem sklopnih vremena obuhvaćena su ispitivanja sljedećih vremena:
  - isklop (*C*)
  - uklop (*O*)
  - isklop-uklop (*C-O*)
  - uklop-isklop (*O-C*)
  - uklop-isklop-uklop (*O-C-O*)

# Mjerenje otpora glavnog strujnog kruga

- Za pouzdanost nekog sklopnog aparata, ključni je uvjet sposobnost vođenja struje primarnog kruga u zatvorenom položaju.
- Nemogućnost ispunjavanja tog uvjeta obično se očituje kao pregrijavanje kontakata, spojeva ili drugih dijelova primarnog kruga što može s vremenom dovesti do zavarivanja kontakata, ozbiljnih kvarova izolacije ili drugih ozbiljnih kvarova.
- Tipični proces propadanja kontakata u početku se razvija prilično sporo. Može proći i nekoliko godina dok proces propadanja ne uđe u završnu fazu koja može dovesti do potpunog loma kontakata.

# Mjerenje otpora glavnog strujnog kruga

- Mjerenje otpora glavnog strujnog puta mjeri se U-I metodom pomoću strujnih i naponskih priključaka na svim polovima prekidača.
- Izmjereni rezultati se preračunavaju na referentnu temperaturu od  $20^{\circ}\text{C}$  korištenjem izraza

$$R_{20} = R_T \frac{k + 20}{k + T}$$

$R_{20}$  djelatni otpor preračunat na onu vrijednost koju bi imao pri temperaturi od  $20^{\circ}\text{C}$ ,  $R_T$  izmjereni djelatni otpor pri nekoj temperaturi  $T$ ,  $k$  konstanta, za bakar iznosi 235, a za aluminij 225 i  $T$  temperatura glavnog strujnog puta prilikom mjerenja.

# Ispitivanja stanja izolacije

---

- Funkcija električne izolacije u slučaju sklopne opreme osigurana je kombinacijom plinovitih, tekućih i krutih dielektričnih materijala.
- Proboj izolacije tijekom rada obično dovodi do kratkog spoja, između faza, između faza i zemlje, ili pak kroz otvorene kontakte.
- Do proboga može doći kroz sam izolator ili uz njegovu površinu.
- Najveći postotak prijavljenih teških kvarova sklopne opreme otpada na izolaciju.
- Proboj izolacije može nastati kao posljedica ostalih kvarova i nepravilnosti (položaj kontakata, lom mehaničkih dijelova, previsok napon, pregrijavanje kontakata itd.)

# Ispitivanje pomoćnih i upravljačkih uređaja te signalizacije

- Istraživanja pouzdanosti pokazuju da se velik dio kvarova pojavljuje u pomoćnim i upravljačkim uređajima prekidača.
- Ispitivanjima i kontrolama preventivno se mogu zamijeniti dijelovi koji se ispitivanjem ili vizualnim pregledom pokažu kao neispravni.

# Ispitivanja rastavljača

---

- Temeljni zadatak rastavljača je vidljivo odvajanje dijela visokonaponskog postrojenja koje nije pod naponom od dijela koji je pod naponom, a prema konstrukcijskoj izvedbi dijele se na višestupne i jednostupne rastavljače.

# Ispitivanje električnih i mehaničkih blokada

- Da bi se ostvarilo bezstrujno otvaranje i zatvaranje rastavljača, izvedene su mehaničke i električne blokade između prekidača, rastavljača i zemljospojnika čime je onemogućen nepravilni redoslijed sklapanja.
- Ispituje se daljinsko upravljanje rastavljačem iz transformatorske stanice ukoliko je preklopka „lokalno-daljinski“ na poziciji „lokalno“. U predmetnom slučaju upravljanje mora biti onemogućeno zbog zaštite ljudi u postrojenju.
- Ispitivanje ispravnosti mikrosklopki na vratima ormarića rastavljača vrlo je važno jer je preko njih spojeno upravljanje rastavljačem te se njihovim otpuštanjem (otvaranjem vrata) postiže dodatno osiguranje mesta rada.
- Ispituje se ispravnost pokazivača položaja aparata i mikrosklopki za krajnje položaje aparata.

# Mjerenje otpora glavnog strujnog puta

- Sposobnost vođenja struje u primarnom krugu ključna je za pouzdanost visokonaponskog rastavljača.
- Loši spojevi, kontakti i druga mesta primarnog kruga uzrokuju pregrijavanja što može uzrokovati oštećenja samog rastavljača i prekid napajanja potrošača.
- Periodičnim dijagnostičkim ispitivanjima te redovnim održavanjem (revizijama) otklanjaju se navedeni problemi. Prilikom revizije rastavljača potrebno rastaviti oba kontaktna mesta rastavljača propisno ih očistiti te podmazati ležajeve.
- Ispitivanja glavnih strujnih putova obuhvaćaju mjerenje padova napona na rastavljaču koji ne smiju biti viši od dozvoljenih. Ukoliko su padovi napona previsoki potrebno je lokalizirati mjesto kvara pomicanjem strujnih i naponskih priključaka te otkloniti mesta loših spojeva.

# Utjecaj posolice

---

- Primarna oprema u primorskom dijelu može biti pod velikim utjecajem posolice što je posebno vidljivo na izolatorima, spojevima rastavljača, prekidača i mjernih transformatora, ventilatorima energetskih transformatora te na drugim mjestima primarne opreme.
- Utjecaji posolice mogu se otkriti pravovremenim ispitivanjima, vizualnim pregledima te snimanjima spojeva termovizijskom kamerom.
- Ukoliko su uočeni veliki slojevi posolice na izolatorima i ostalim elementima primarne opreme postrojenja postoji mogućnost probaja preko vodljivog dijela sloja nanesenog posolicom i ispada postrojenja. U tom slučaju potrebno je predvidjeti pranje postrojenja kojim se uklanjaju neželjeni nanosi posolice.

# Pranje posolice



Pranja postrojenja zbog posolice ne obavljaju se prema ranije utvrđenim rokovima već se izvode na temelju vizualno utvrđenog stanja elemenata u postrojenju ili dijagnostičkim ispitivanjima.



# Održavanje EES-a

Održavanje elemenata rasklopnih postrojenja  
Ispitivanja mjernih transformatora, odvodnika prenapona,  
dijagnostika nadzemnih vodova i kabelskih vodova

---

Prof.dr.sc. Igor Kuzle

Hrvoje Pandžić, dipl.ing.

# Ispitivanja mjernih transformatora



# Općenito

---

- Mjernim transformatorima pogonske struje i naponi transformiraju se na veličine koje omogućuju upotrebu instrumenata i releja izgrađenih za nazivne struje 1-5 A i nazivnih napona 100 V.
- Značajke mjernog transformatora prvenstveno su određene stanjem sustava izolacije koji je vrlo osjetljiva komponenta podložna kvarovima pa čak i eksplozijama.
- Mjerni transformatori su zbog svoje specifične konstrukcije (izolator, izolacijsko ulje) te funkcionalnih značajki (protjecanje velikih struja, visoki napon ili prenaponi) podvrgnuti ekstremnim naprezanjima tijekom eksploatacije.

# Kvarovi mjernih transformatora

- Nastaju uslijed:
  - konstrukcijsko-tehnološkog rješenja,
  - utjecaja vanjskih faktora (prenaponi, havarija na susjednoj opremi,...) i
  - prirodnog proces starenja.
- Prirodno starenje i procesi degradacije koji se odvijaju u sustavu izolacije tijekom vremena eksploatacije uzrokuju slabljenje ili čak potpuni gubitak značajki potrebnih za siguran pogon.
- Pretpostavljeni životni vijek mjernih transformatora je reda 25-30 godina.

# Dijagnostička ispitivanja

- Električna ispitivanja na terenu:
  - ispitivanja izolacije namota istosmjernim naponom: mjerjenje otpora izolacije namota istosmjernim naponom 1000 V izolacije ( $R_{15''}$ ,  $R_{60''}$ ,  $R_{10'}$ ) te određivanje indeksa polarizacije (i.p.);
  - kontrola degradacije izolacije uključuje mjerjenje otpora izolacije te mjerjenje kapaciteta i faktora dielektričnih gubitaka ( $tg\delta$ ) izolacije s izmjeničnim naponom 10 kV, 50 Hz za strujne transformatore i 1,5 kV za naponske transformatore;
  - mjerjenje klase točnosti;
  - kontrola parcijalnih izbijanja metodom ultrazvuka;
  - kontrola termovizijskim snimanjem.

# Dijagnostička ispitivanja

---

- Laboratorijska ispitivanja ulja:
  - kromatografska analiza plinova,
  - sadržaj vode u ulju,
  - ispitivanje granične površinske napetosti i
  - strukturalna analiza (IR spektar) ulja.

# Ispitivanje istosmjernim naponom

- Mjerenje otpora izolacijskog sustava strujnih i naponskih transformatora provodi se  $U-I$  metodom upotrebom stabiliziranog izvora istosmjernog napona 1000 V i nanoampermetra klase točnosti 0.5.
- Otpor izolacije ( $R_{10'}$ ) predstavlja vodljivu komponentu dielektrika. U području konstantne vodljivosti (deseta minuta), nakon prijelaznih stanja, otpor izolacije praktično ovisi o količini vodljivih tvari odnosno o vlazi i nečistoći u transformatoru.
- Metoda ispitivanja otpora izolacije je jednostavna i jeftina.
- Referentni parametri koji se dobiju ispitivanjem su:
  - otpor izolacije u 10. minuti ( $R_{15''}$ ,  $R_{60''}$ ,  $R_{10'}$ ) i
  - indeks polarizacije.

# Ispitivanje istosmjernim naponom

---

- Metoda izuzetno osjetljiva na vlagu.
- Za uspješno mjerjenje otpora izolacije:
  - prilagodljiv mjerni uređaj
  - dobra priprema ispitivanog transformatora
  - iskustvo mjeritelja.
- Preporučuje se ispitni napon 1000 V jer ne djeluje destruktivno na svim izolacijskim razinama.
- Kriteriji koji se koriste za donošenje ocjene o stanju izolacije na temelju izmјerenih otpora izolacije i indeksa polarizacije iskustveni su.

# Kriteriji za ocjenu stanja izolacije

**Granične vrijednosti otpora izolacije strujnih mjernih transformatora**

Vrsta transformatora	Spoj	Otpor izolacije $R_{10} [G\Omega]$	Stanje izolacije
Strujni mjerni transformator	VN - E	< 30	izolacija loša
	VN - E	30 - 60	izolacija zadovoljava
	VN - E	60 - 200	izolacija dobra
	VN - E	> 200	izolacija vrlo dobra

**Granične vrijednosti indeksa polarizacije strujnih mjernih transformatora**

Vrsta transformatora	Spoj	Indeks polarizacije i.p.	Stanje izolacije
Strujni mjerni transformator	VN - E	< 1,4	izolacija loša
	VN - E	1,4 - 1,7	izolacija zadovoljava
	VN - E	1,7 - 2	izolacija dobra
	VN - E	> 2	izolacija vrlo dobra

# Kriteriji za ocjenu stanja izolacije

## Granične vrijednosti otpora izolacije naponskih mjernih transformatora

Vrsta transformatora	Spoj	Otpor izolacije $R_{10} [G\Omega]$	Stanje izolacije
Naponski mjerni transformator	VN - E	> 5	izolacija loša
	VN - E	5 - 15	izolacija zadovoljava
	VN - E	15 - 30	izolacija dobra
	VN - E	< 30	izolacija vrlo dobra

## Granične vrijednosti indeksa polarizacije naponskih mjernih transformatora

Vrsta transformatora	Spoj	Indeks polarizacije i.p.	Stanje izolacije
Naponski mjerni transformator	VN - E	< 1,2	izolacija loša
	VN - E	1,2 - 1,3	izolacija zadovoljava
	VN - E	1,3 - 4	izolacija dobra
	VN - E	>1,4	izolacija vrlo dobra

# Ispitivanje izmjeničnim naponom

---

- Ispitivanje izolacijskog sustava provodi se mjerenjem kapaciteta i faktora dielektričnih gubitaka.
- Kut dielektričnih gubitaka ( $\tg\delta$ ) predstavlja radnu komponentu dielektrika. Rezultati mjerena izolacijskog sustava izmjeničnim naponom odnosno iznosi faktora dielektričnih gubitaka ovise o:
  - količini vodljivih tvari (vlaga i nečistoća) u izolaciji,
  - vrsti izolacijskog materijala te
  - o tipu izolacije transformatora.
- Mjerenjem otpora izolacije  $R_{10}$  i faktora dielektričnih gubitaka može se ustanoviti u kojoj je mjeri neka izolacija ovlažena odnosno u kojoj mjeri je zastupljena degradacija (ostarjelost) izolacije.
- Otpor izolacije i tangens kuta dielektričnih gubitaka mjernih transformatora eksponencijalno su ovisni temperaturi izolacije.

# Ispitivanje izmjeničnim naponom

---

- Mjerenje faktora dielektričnih gubitaka u slučaju strujnih mjernih transformatora provodi se na naponskoj razini 10 kV, a u slučaju naponskih mjernih transformatora na naponskoj razini 1,5 kV pomoću specijalnog uređaja koji omogućava mjerenje  $\tg\delta$  u rasponu od 0.0001 do 11, s mogućnošću razlučivanja od  $2 \cdot 10^{-6}$ .
- Mjerenja je potrebno obaviti u području temperatura +10 do  $+30^\circ\text{C}$

# Kriteriji za ocjenu stanja izolacije

**Granične vrijednosti otpora izolacije strujnih mjernih transformatora**

Vrsta transformatora	Spoj	Otpor izolacije R10[GΩ]	Stanje izolacije
Strujni mjerni transformator	VN - E	< 30	izolacija loša
	VN - E	30 - 60	izolacija zadovoljava
	VN - E	60 - 200	izolacija dobra
	VN - E	> 200	izolacija vrlo dobra

**Granične vrijednosti pri 20°C faktora dielektričnih gubitaka strujnih mjernih transformatora**

Vrsta transformatora	Spoj	$tg\delta [\times 10^{-3}]$	Stanje izolacije
Strujni mjerni transformator	VN - E	> 14	izolacija loša
	VN - E	12 - 14	izolacija zadovoljava
	VN - E	10 - 12	izolacija dobra
	VN - E	< 10	izolacija vrlo dobra

# Kriteriji za ocjenu stanja izolacije

**Granične vrijednosti otpora izolacije naponskih mjernih transformatora**

Vrsta transformatora	Spoj	Otpor izolacije R10[GΩ]	Stanje izolacije
Naponski mjerni transformator	VN - E	> 5	izolacija loša
	VN - E	5 - 15	izolacija zadovoljava
	VN - E	15 - 30	izolacija dobra
	VN - E	< 30	izolacija vrlo dobra

**Granične vrijednosti indeksa polarizacije naponskih mjernih transformatora**

Vrsta transformatora	Spoj	Indeks polarizacije i.p.	Stanje izolacije
Naponski mjerni transformator	VN - E	< 1,2	izolacija loša
	VN - E	1,2 - 1,3	izolacija zadovoljava
	VN - E	1,3 - 4	izolacija dobra
	VN - E	>1,4	izolacija vrlo dobra

# Ispitivanja odvodnika prenapona



# Općenito

---

- Temeljni zadatak odvodnika prenapona je ograničavanje amplitude predmetnih prenapona.
- U načelu spojeni u paralelu sa štićenom opremom.
- U rasklopnim postrojenjima visokog napona kao osnovna zaštita pretežitu primjenu imaju odvodnici s nelinearnim otpornicima s iskrištem odnosno ventilni odvodnici te odvodnici s nelinearnim otpornicima bez iskrišta tj. cink-oksidni ( $ZnO$ ) odvodnici prenapona (dominiraju u današnje vrijeme zbog pouzdanosti i ostalim značajkama).

# Ispitivanja odvodnika prenapona

---

- Cink oksidni odvodnici prenapona ne zahtijevaju redovno održavanje:
  - održavanje vijčanih spojeva te
  - čišćenje izolatora.
- Starenjem tijekom eksploatacijskog vijeka, odvodnik prenapona propušta sve veću struju tj. referentni napon se smanjuje. U normalnom pogonu zbog prevelike struje može se pojaviti pregrijavanje te u krajnjim slučajevima do uništenja i pucanja tijela odvodnika.

# Ispitivanja odvodnika prenapona

---

- Izvode redovita ispitivanja kako bi se utvrdilo stanje odvodnika prenapona.
- Ispitivanja se izvode u normalnom pogonskom stanju.
- Mjerna metoda kojom je moguće ispitivati odvodnike prenapona u pogonu je metoda mjerjenja struje odvođenja pomoću uređaja LCM (engl. Leakage Current Monitor).

# Mjerenje struje odvođenja

- LCM uređaj se sastoji od tri osnovna dijela:
  - strujna sonda - sadrži elektroničke sklopove za mjerjenje struje odvođenja,
  - sonda polja - smještena u blizini podnožja odvodnika i preko koaksijalnog kabela i adaptera spaja na strujnu sondu,
  - uređaj za mjerjenje struje odvođenja s ugrađenim mikroprocesorom za određivanje otporne komponente struje.
- Priključivanje uređaja izvodi se na način da se mjerna sonda priključuje na odgovarajući priključak na brojaču prorade odvodnika. Ukoliko ovaj priključak ne postoji sonda se priključuje na strujna mjerna kliješta.

# Dijagnostika nadzemnih vodova



# Općenito

---

- Helikopterima se vrlo učinkovito pregledavaju trase dalekovoda i njihove temeljne komponente: stupovi, vodiči, zaštitna užad i izolatori.
- Više dijagnostičkih postupaka:
  - video pregled,
  - lasersko skeniranje,
  - termografski pregled i
  - korona pregled.
- Obavezno se uz digitalnu kameru visoke rezolucije i video kamere koristi i GPS prijemnik kako bi se omogućilo precizno utvrđivanje lokacije oštećenja na dalekovodima. Podatci prostorno i vremenski usklađeni automatski se spremaju na računalo.

# Cilj dijagnostičkih ispitivanja

---

- ustanavljanje stvarnog stanja na trasi dalekovoda,
- dokumentiranje dalekovoda i objekta koji se nalaze u pojasu dalekovoda,
- određivanje geometrijskih i geodetskih parametara u izmjerrenom pojasu,
- prikaz parametara koji odstupaju od projektne dokumentacije,
- određivanje stupnja zarašćenosti i prikaz kritičnih mesta te
- projektiranje zamjene vodiča i užeta za uzemljenje.

# Termovizijsko ispitivanje dalekovoda

- nedozvoljena zagrijavanja raznih spojeva i strujnih stezaljki na strujnim mostovima u slučaju kutno-zateznih stupova
- mehanička oštećenja izolatorskih lanaca
- mehanička oštećenja stupova
- vodovi koji mogu doći u dodir s višim raslinjem i drvećem
- Provode se sa zemlje često istovremeno sa snimanjem korona kamerom.

# Dijagnostika kabelskih vodova

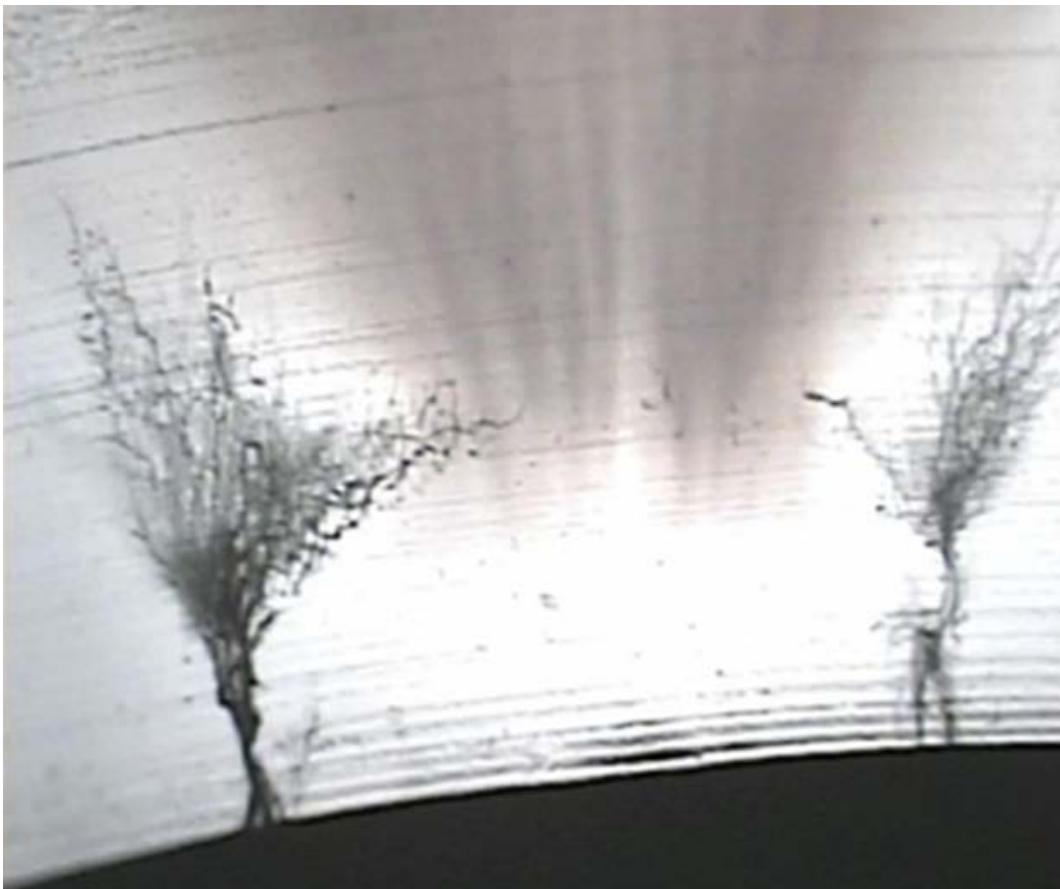


# Općenito

---

- U slučaju starih kabela prisutan je proces erozije vanjskog omotača kabela i unutarnje, osnovne, izolacije kabela što izravno utječe na životnu dob kabela.
- Proces starenja kabelske izolacije posljedica je prodora vode kroz mehanički oštećen vanjski omotač kabela (plašt) u unutarnje slojeve izolacije gdje voda ispunjava šupljine u ekstrudiranim izolacijama i grana se kao mreža elektro-oksidiranim stazama.
- Voda na površini unutarnjih slojeva izolacije stvara tzv. vodene grane koja se rasprostiru radijalno na uzdužnu os kabela.

# Vodene grane



- Vodene grane su vrlo uski kanali tj. lanci molekula vode povezanih kohezivnim silama čija se debljina kreće već od nekoliko desetaka mikrometara.

# Vodene grane

- Četiri čimbenika uvjetuju stvaranje vodenih grana:
  - električno polje,
  - vrijeme,
  - voda u praznini šupljine i
  - ulazna točka u kabelima.
- Vodene grane su vrlo opasne za izolacijski sustav jer su vodljive i u izolaciji koja je pod utjecajem električnog polja izazivaju poznati efekt gromobrana.
- Na krajevima vodenih grana dolazi do izrazitog povećanja električnog polja što utječe na daljnje povećanje vodene grane te konačno do stvaranja električne grane i do probroja izolacije.

# Ispitivanje kabelskih vodova

---

- U slučaju novo položenih kabela preporučljivo i dovoljno je kabele ispitati istosmjernim naponom zbog kontrole stanje izolacije u svrhu otkrivanja mogućih mehaničkih oštećenja prilikom polaganja ili grešaka prilikom izrade kabelskih završetaka i spojnica.
- U slučaju starih kabela pronalaze se slabe točke u kabelskoj izolaciji pomoću električnog probaja. Ispitivanje istosmjernim naponom nije pogodno jer i pri višestruko višim naponima od nazivnog neće doći do probaja izolacije unatoč prisutnim vodenim granama. Proboji će nastupiti samo u slučaju kada postojeća vodena grana premosti cijelu debljinu izolacije ili u slučaju ekstremnih oštećenja kabela.

# Najznačajnije metode

---

- mjerjenje faktora dielektričnih gubitaka
- mjerjenje obnovljenog napona
- detekcija parcijalnih izbijanja i
- ispitivanje niskim frekvencijama

# Faktor dielektričnih gubitaka

- Ako se kabel promatra kao savršeni kondenzator prodor vode u izolaciju smanjuje njenu dielektričnu čvrstoću i gubitci u izolaciji se povećavaju. Kabeli s oštećenom izolacijom imaju veći faktor dielektričnih gubitaka i veću promjenu predmetnog faktora s povišenjem napona, od onih s dobrom izolacijom
- Metoda mjerjenja faktora dielektričnih gubitaka pogodna je za ocjenu stanja izolacije papirnih kabela jer dobro odražava količinu vlage u izolaciji iako nije jako prihvaćena.
- Daje srednje stanje kabelske izolacije.
- Mjerjenja je potrebno ponavljati više puta pri različitim temperaturama i pratiti ih u dužem vremenskom razdoblju kako bi se dobio trend faktora dielektričnih gubitaka.
- Prilikom ispitivanja pojavljuje se i problem korone na spojnicama koji može navesti na pogrešan rezultat.

# Metoda obnovljenog napona

- RVM (engl. Return Voltage Measurement) metoda se koristi za sve vrste kabela bez obzira na izolaciju.
- Maksimalni povratni napon (napon depolarizacije nakon pražnjenja kabela) ovisi o visini napona kojim je kabel nabijan i o sadržaju nečistoća u kabelu (t.j. o vodenim granama).
- Provodi se proces nabijanja kabela na određeni istosmjerni napon ( $0,5U_0$ ,  $1U_0$ ,  $1,5U_0$ ,  $2U_0$  ili samo s  $U_0$  i  $2U_0$ , gdje je  $U_0$  fazni napon). Nakon procesa nabijanja slijedi proces pražnjenja izolacije pri čemu se u cijelosti isprazni kapacitet  $C_g$ . Mjerjenje povratnog napona provodi se voltmetrom koji bilježi ponovno nabijanje kabela. Proces ponovnog nabijanja kabela je posljedica depolarizacije polariziranih molekula; "onečišćavača izolacije".
- Na temelju omjera  $U_{max}(2U_0)/U_{max}(U_0)$  izračunava se dijagnostički faktor. To je ujedno i ocjena stanja izolacije.

# Metoda parcijalnih izbijanja

---

- Metoda detekcije parcijalnih izbijanja određuje mesta na izolaciji gdje dolazi do parcijalnih probaja koristeći vremensku razliku između dva vala što ga formiraju izboji na slabom mjestu, na temelju koje se određuje udaljenost na kojoj je došlo do probaja.
- Izaziva se namjerni porast svih potencijalno opasnih vodenih grana te namjerni probaj na slabim mjestima.
- Koristi se nazivni ili bliski napon.
- Kabel prvo nabija na visoki istosmjerni napon, a potom se prazni preko serijske prigušnice. Pojavljuje se serijska rezonancija između prigušnice i pogonskog kapaciteta kabela, dolazi do porasta polja na slabim mjestima i do izboja koji se mogu detektirati PD opremom.

# Ispitivanje niskim frekvencijama

---

- Koristi se izmjenični napon (kosinus-pravokutni ili sinusoidalni valni oblik) frekvencije u rasponu 0.01-1 Hz od kojih se najčešće koristi ispitivanje na 0.1 Hz jer ispitivanje s naponima frekvencije manjom od 0.1 Hz može povećati rizik od kvara kabela nakon testiranja.
- VLF metoda ne spada u dijagnostičke metode, pogodna jer je moguće otkriti ozbiljne i opasne kvarove ispitivanjem s naponskom razinom od  $3 U_0$  u trajanju od 60 minuta.
- Dovodi do probaja na najlošijim mjestima kabelske izolacije.
- Svakih 5 s dolazi do promjene polariteta pa nema opasnosti od stvaranja prostornih naboja.

# VLF

---

- Djelomična izbijanja, koja nastaju prilikom svake izmjene polariteta, uzrokuju erozijski proces kao i u slučaju napona frekvencije 50 Hz ali zbog spore promjene frekvencije (0,1 Hz), izbjegava se stvaranje plinskog tlaka (nagomilavanje razgradnih produkata dielektrika u obliku plina pa je metoda nerazaznajuća za kabel).
- PD kanali kroz izolaciju mogu rasti sporo, ali rastu stalno i to u radijalnom pravcu (što ubrzava proboj izolacije) te puno brže nego u slučaju ispitivanja s naponom 50 Hz (kada PD kanali rastu aksijalno što je vrlo nepovoljno).