

9. savjetovanje HRO CIGRÉ
Cavtat, 8. - 12. studenoga 2009.

Ivan Bacinger
HEP d.d.- Proizvodnja d.o.o.
ivan.bacinger@hep.hr

UTJECAJ POREMEĆAJNIH REŽIMA RADA NA UČESTALOST KVAROVA CIJEVNIH AGREGATA

SAŽETAK

Poremećajni režimi rada agregata mogu biti nekontrolirano izazvani poremećajima iz mreže, ali i kontrolirano u slučajevima potrebe rada agregata za sustav iako nisu ostvareni svi uvjeti za optimalni režim rada.

Cijevni agregati su zbog specifičnih konstruktivnih, gabaritno ograničenih, rješenja posebno osjetljivi na svakovrsne poremećaje, te su stoga podložniji i kvarovima.

U podacima o kvarovima u eksploataciji agregata ugrađenih na hidroelektranama Čakovec i Dubrava, može se uočiti da su kvarovi posljedica pohabanosti, pojedinačnih udara, termičkih i mehaničkih cikličkih stresova i ostalog što upućuje na štetnost režima u kojima agregati često rade.

Ključne riječi: kvarovi, cijevni agregati, hidroelektrana, elektroenergetski sustav, poremećaj

THE INFLUENCE OF FAULTY OPERATING MODES ON THE FAILURE FREQUENCY OF BULB UNITS

SUMMARY

Faulty operating modes of power units could be uncontrolled caused by power system disturbances, but also controlled in cases when unit need to work out of optimal operating area because of power system demands.

Bulb units are very sensitive on different disturbances because of their specific construction and dimensional limitations, and therefore more subjected to faults.

According to data about failures of bulb units on HPP Čakovec and HPP Dubrava, faults are consequence of strains, cyclic thermal and mechanical stresses and other what refers to damaging effects operating modes.

Key words: Failure, Bulb Units, Hydro Power Plant, Electric Power System, Fault

1. UVOD

Svaka hidroelektrana (HE), kao proizvođač električne energije priključena je na elektroenergetski sustav (EES), i u izvršavanju svoje osnovne zadaće - proizvodnje električne energije za sustav, podložna je i svim povratnim utjecajima i zahtjevima sustava na postrojenja elektrane.

U električnoj mreži sustava se u bilo kojem momentu mogu pojaviti kojekakvi poremećaji koji djeluju kao udarna opterećenja na proizvodne agregate u elektrani, dok istovremeno ti isti agregati trebaju odraditi zadaću u pružanju pomoćnih usluga sustavu (regulacije frekvencija i napona...) čime su izloženi posebnim naporima, radu na graničnim područjima radnih karakteristika, čestim i brzim promjenama snage s mnogo uključivanja i prekida, što se može okarakterizirati kao poremećajni režimi rada.

Taj takozvani intermitentni rad, uz česte poremećaje, dovodi do štetnih pojava tokom rada, u pogledu termičkih i mehaničkih ciklusnih stresova, poremećenog ponašanja pogotovo u usporedbi s režimom rada za koji su agregati dizajnirani.

Posljedice prethodno navedenog su pojačana trošenja i češći ispadi agregata iz pogona te kvarovi pojedinih komponenti i stroja u cjelini a broj i vrsta kvarova koji proizlaze iz uvjeta rada takvi su da će neminovno utjecati na njihov vijek trajanja, postupke i troškove održavanja te smanjenje raspoloživosti i pouzdanosti elektrane.

Horizontalno građeni proizvodni agregati hidroelektrana (cijevni agregati) imaju niz distinktivnih karakteristika određenih gabaritno ograničenim konstrukcijama i stoga su posebno osjetljivi na svakovrsne poremećaje te jače podložni kvarovima pri promjenjivim uvjetima rada i pri raznim poremećajima koji mogu doći iz mreže elektroenergetskog sustava.

2. REŽIMI RADA AGREGATA ELEKTRANE

2.1. Pogonski radni dijagrami

U normalnim pogonskim okolnostima agregati rade prema pogonskim radnim dijagramima u optimalnim režimima. Za turbine postoje **radne karakteristike turbina** koje pokazuju promjene vrijednosti koeficijenta korisnosti η u ovisnosti o promjeni opterećenja (snage) N i iscrtane krivulje $\eta = f(N)$ pri stalnom tlaku H i brzini vrtnje n .

Prema radnim karakteristikama teško je dobiti predodžbu o svim režimima rada turbina budući da je za svaku vrijednost radnog tlaka neophodno imati posebnu krivulju, a osim toga te karakteristike ne pokazuju kavitacijska svojstva turbine. Kavitacijska svojstva turbine u vidu kavitacijskog koeficijenta σ prikazuje **univerzalna karakteristika turbine** .

Za sagledavanje područja mogućeg opterećenja sinkronog generatora kod raznih tereta služi **pogonski dijagram generatora**. Pogonski dijagram generatora ima na ordinati radnu snagu a na apscisi jalovu snagu, a na dijagramu su ucrtana razna ograničenja radnog područja.

Radi praktičnosti korištenja za organizaciju ekonomične eksploatacije se uz korištenje pojedinih karakteristika izrađuje **eksploatacijska univerzalna karakteristika** u koju se uz stalnu brzinu vrtnje n u koordinatama tlaka H i snage N ucrtavaju linije korisnog stupnja djelovanja i sva ograničenja za rad agregata (rubna područja pogona agregata). Podatak za snagu sadrži i gubitke u generatoru, tj. ne dobivaju se karakteristike turbine nego **karakteristike agregata**.

U svim dijagramima za praktičnu primjenu (korisnički dijagrami) su ucrtane su linije graničnih vrijednosti (limiti) radnih parametara, određenih bilo od strane proizvođača stroja, bilo određene temeljem ispitivanja energetskih i dinamičkih karakteristika instaliranih strojeva na samoj elektrani.

Ograničenja za turbine su maksimalne ili minimalne vrijednosti snage, protoka, razine gornje ili donje vode, bruto pada, dok za generatore u granicama snage pogonskog stroja, treba uvažiti termičko preopterećenje statorskog namota, ograničenja struja uzbude, granice statičke stabilnosti,.. . Time je svaki dijagram podijeljen na područje radnih točki u kojima je rad agregata optimalan i poželjan (po stupnju iskorištenja i po ponašanju) dok se za područja dijagrama preko ucrtanih ograničenja može reći da su to „**rubna područja dijagrama**“ u kojima je rad agregata moguć ali nepovoljan (stupanj djelovanja naglo pada) i štetan (povećanje kavitacije, pulzacija, vibracija, pregrijavanja, i sl.). Stoga se za najvažnije parametre, odnosno za sprječavanje najrizičnijih prekoračenja graničnih vrijednosti ugrađuju sustavi zaštita agregata.

2.2. Uvjeti rada na mreži

Stabilnost EES-a podrazumijeva svojstvo koje mu omogućava da bude u ravnotežnom pogonskom stanju pri normalnim pogonskim uvjetima, te da postigne zadovoljavajuće ravnotežno stanje nakon pojave poremećaja. U stabilnom EES-u svi međusobno povezani sinkroni strojevi trebaju nakon poremećaja zadržati paralelan rad pri istoj frekvenciji. U slučaju velikih poremećaja sinkroni strojevi mogu izgubiti

stabilnost što se tretira kao prijelazna stabilnost. EES treba izdržati posljedice prijelazne stabilnosti bez slabosti u kvaliteti isporučene električne energije potrošačima.

Kvaliteta dobavljene energije mora zadovoljiti minimalne standarde glede sljedećih činitelja:

- konstantnost frekvencije,
- konstantnost napona,
- razina pouzdanosti.

Gledano na samu proizvodnu jedinicu tj. elektranu ili pak proizvodni agregat, u praksi uglavnom vrijedi pravilo da kvar jedne komponente uzrokuje ispad agregata iz sustava, dok kvar agregata ili ispad čitave elektrane iz sustava, uglavnom ne uzrokuje pad čitavog sustava, ali može u njemu izazvati značajne poremećaje.

U Mrežnim pravilima je **poremećaj u sustavu** definiran kao slučaj kad granične vrijednosti napona i frekvencije nisu više održane i moguća su **preopterećenja proizvodnih jedinica** i jedinica mreže. Za ispravljanje tih poremećaja u mreži, odnosno održanje stabilnosti sustava, koriste se druge proizvodne jedinice uključene u sustav pružanjem tzv. **pomoćnih usluga sustavu**. Te usluge najčešće obuhvaćaju održavanje frekvencije, upravljanje naponom i proizvodnjom jalove energije. Prihvatanje povratnih utjecaja poremećaja u mreži i pokrivanje vršnih opterećenja sustava dovodi agregate u stalne promjene režima rada često u graničnim tj. rubnim područjima radnih dijagrama s mnogo uključivanja i prekida.

2.3. Poremećajni režimi rada

Poremećajni režimi rada agregata nastupaju kao povratni utjecaj poremećaja i prelaznih pojava u mreži, mogućih događaja na drugim dijelovima elektrane ili pak iz vode (strani predmeti, led, smeće).To su nametnuti uvjeti rada, uglavnom nekontrolirani trenutni događaji koje agregat treba prihvatiti bez mogućeg djelovanja operatera elektrane. Uz to se mogu pojaviti zahtjevi sustava za rad agregata s pojačanim teretom (potrebe za pomoćne usluge sustavu) bez obzira što na elektrani nisu ostvareni uvjeti za optimalni rad agregata (nedovoljne protoke i razine vode ili druge smetnje), pa agregati rade u rubnim područjima radnih dijagrama. Takav rad agregata može biti zbog cijena pomoćnih usluga od interesa i vlasniku proizvodne jedinice, ali zbog šteta koje mogu nastati na agregatima, treba u toj računici biti jako oprezan.

U poremećajne režime se osim spomenutog mogu ubrojiti i nepoželjne događaji i radnje kao što su asinkroni uklopi, nagle promjene tereta, isključenja agregata pod teretom, kratki spojevi, pobjeg, rad regulatora protoka i ostali prelazni režimi,

U navedenim tj. poremećajnim uvjetima na agregatima se pojavljuju

- povećane pulzacije tlaka vode, kavitacija, vibracije,
- pregrijavanje, različite temperaturne dilatacije,
- promjenjive aksijalne sile, mehanički udari,
- elektromagnetske nesimetrija, bacanje vratila

a uslijed toga

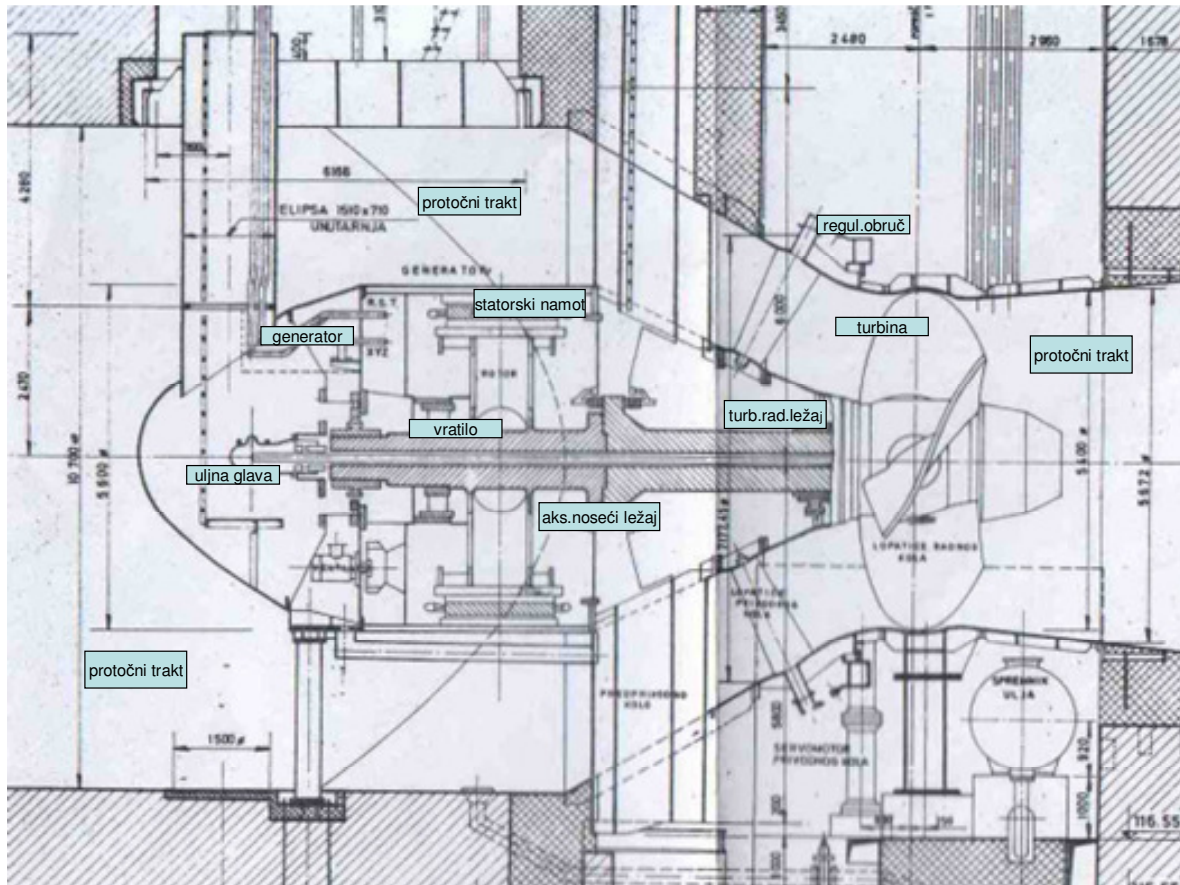
- poliharmonijska naprezanja, deformacije vratila,
 - kovanje i trošenje nasjednih površina
 - erozija, korozija,
 - labavljenje mehaničkih spojeva,
 - struganje izolacije statorskog namota.
 - oštećenja ležaja i brtvi,
- te konačno zamor materijala i pojava pukotina.

3. KONSTRUKCIJSKE I EKSPLOATACIJSKE POSEBNOSTI CIJEVNIH AGREGATA

Cijevne turbine pripadaju porodici Kaplan turbine i upotrebljavaju se u nizinskim područjima gdje rijeke imaju pretežno velike protoke i male brzine strujanja. Kaplan turbine se uglavnom izvode sa vertikalno postavljenim vratilom dok se cijevne turbine izrađuju s horizontalnim vratilom, na koje je spojen i generator u jednoj liniji (Slika 1.). Osnovna im je konstrukcijska karakteristika da se cijeli agregat nalazi u protočnom traktu („cijevi“), a generator se nalazi u potpuno oplakivanim kućištem od čelika kruškolikog oblika („kruška“) i time zaštićen od utjecaja vode.

Voda aksijalno dovedena rotoru prenosi silu impulsa na lopaticu i koja, prema profilu lopatice i kutu podešavanja lopatice, vrši okretanje rotora koji preko vratila pokreće generator. Kaplan turbine

imaju, suprotno prvobitno razvijenim propelernim turbinama, zakretne lopatice rotora. Time one postižu veliku prilagodljivost radnim uvjetima, odnosno promjenama opterećenja i protoka, uz dobru korisnost. Regulacija snage se vrši promjenom protoka putem zakretanja privodnih lopatica, prilikom čega se mijenja i kut nastrujavanja vode na rotorske lopatice. Sinkrono zakretanje lopatica radnog kola i privodnih lopatica naziva se kombinatnom vezom.



Slika 1. Uzdužni presjek agregata

Dok kod vertikalnih hidroagregata konstruktor generatora ima slobodan izbor optimalnih dimenzija (promjer D , dužina L , zamašni moment GD^2 itd.), kod cijevnih hidroagregata mora se podvrgnuti velikim ograničenjima. Uz definirani promjer rotora turbine D_1 ostaje na raspolaganju vrlo malo prostora za vanjski promjer kruškolikog kućišta D_b , a time i za stator generatora. Strujanjem uvjetovan skučeni prostor ograničava konstrukcijske gabarite zbog čega odnos promjera D_G i dužine generatora L_G najčešće odstupa od optimalne vrijednosti, a zamašni moment GD^2 je malen, što negativno utječe na regulacijska svojstva hidroagregata.

Horizontalno vratilo oslanja se na dva radijalna ležaja u velikom rasponu i opterećeno velikom težinom generatorskog rotora dobiva progib, a pri radu povećano plesanje i vibracije, uslijed čega se javljaju stalna dinamička naprezanja u radijalnim ležajima, nosivom aksijalnom ležaju te svim spojnim elementima.

Kod horizontalnih agregata s generatorom u krušci za razliku od vertikalnih postoji veća mogućnost razvodnjavanja ulja u regulacijskom sustavu zahvaljujući prodiranju vode u čahuru radnog kola pri oštećenju brtve rukavaca lopatica te u sustavu podmazivanja uslijed dospijevanja vode u ulje, koje izlazi iz turbinskih ležajeva, pri oštećenju brtve vratila.

Mada je oklop generatora oplakivan vodom, zbog lošeg prijelaza topline sa zraka na stjenke oklopa postavljena su rashladna rebra na unutarnje stjenke oklopa, te osigurana prisilna cirkulacija zraka ventilatorima. Radi boljeg koeficijenta prelaza topline za hlađenje namota u cijevnim generatorima je stlačeni zrak kojeg treba brtviti na izvodima sabirnica i kabela. Ako brtvljenje nije dobro, osušeni zrak izlazi, kompresori ubacuju novi vlažniji zrak, otpor izolacije namota pada i vjerojatnost pojave proboja izolacije raste. Kondenzaciji pogoduje i okolnost da sva procurivanja vode kroz brtve dodirišta kruške i vratila dospijevaju u krušku, uslijed čega se javlja pojačana vlažnost u krušci.

Iza turbine u protočnom traktu je ugrađen brzi pločasti zatvarač, izveden tako da pouzdano zatvara difuzor vlastitom težinom, tako da je on ujedno i sigurnosni zatvarač za zaustavljanje cijevnog hidroagregata ukoliko otkaže sustav turbinske regulacije.

4. KVAROVI NA AGREGARIMA HE ČAKOVEC I HE DUBRAVA

4.1. Tehničke karakteristike agregata

	HE Čakovec	HE Dubrava
broj agregata na elektrani	2	2
vrsta turbine	cijevne vodoravne	cijevne vodoravne
nazivna snaga turbine	40,3 MW	40,3 MW
nazivni neto pad turbine	17,5 m	17,5 m
nazivni protok turbine	250 m ³ /s	250m ³ /s
nazivna brzina vrtnje	125 o/min	125 o/min
promjer radnog kola	5,4 m	5,4 m
proizvođač turbine	Neyrpic-Litostroj	Litostroj
vrsta generatora	trofazni sinkroni cijevni	trofazni sinkroni cijevni
nazivna radna snaga generatora	40 MW	40MW
zamašni moment rotora gen.	1.150 tm ²	1.150 tm ²
vanjski promjer generatora	5,6 m	5,6 m
broj utora statora	252	252
proizvođač	Alsthom-Končar	Končar
godina proizvodnje	1982	1989
Ukupno proizvedeno el energije	9063405 MWh (1982-2009.)	6528629 (1989-2009.)
Uk.broj sati rada agregata na mreži	agr.1-148803 agr.2-149108	agr.1-100598 agr.2-110497
Uk.broj uključenja agregata na mrežu	agr.1-6538 agr.2-6732	agr.1-4819 agr.2-4799

4.2. Očekivane vrste kvarova

Pojava kvarova općenito je svojstvena svim tehničkim sustavima kroz čitavo vrijeme njihovog rada. Standardna definicija kvara kaže da je kvar prestanak sposobnosti nekog elementa da izvrši zahtijevanu funkciju [HRR EN 13306], a za elektroenergetske sustave je u Mrežnim pravilima usvojena definicija kvara da je kvar stanje u kojem jedinica mreže ili proizvodna jedinica ne može u pogon bez popravka ili zamjene barem jedne komponente.

Učestalost kvarova koja se u literaturi najčešće opisuje sa „krivuljom kade“, počinje visokom učestalosti kvarova u ranoj fazi, tijekom početnog perioda. To su tako zvani kvarovi uhodavanja (loša konstrukcija, loš materijal, loša montaža, ..) Iza toga slijedi konstanta, polako rastuća stopa kvarova i konačno sve brži porast u zoni istrošenosti, gdje prevladavaju tzv. vremenski kvarovi (starenje, zamor, trošenje, korozija, ..). Slučajni i prouzročeni kvarovi, međutim, podižu razinu krivulje kade tijekom čitavog radnog vijeka postrojenja pogona.

Gledano s pozicije eksploatacijskog interesa, na primjer za operatora elektroenergetskog sustava kao i za vlasnika proizvodnog objekta vrlo važna podjela je na kritičan kvar i nekritičan kvar. Kritičan kvar potpuno onemogućava funkciju ili je opasan za okolinu, prouzrokuje trenutni ispad proizvodne jedinice iz sustava, a time nastaje poremećaj i potreba za interventno uravnoteženje sustava.

Stoga je u vođenju i održavanju elektrane od posebne važnosti praćenje stanja agregata i predviđanje mogućih kvarova, kako bi se isti mogli izbjeći interventnim sanacijama u vrijeme planiranih stajanja agregata ili odgoditi do planiranih remontnih radova.

Kvarovi koji će se pojaviti mogu se očekivati na komponentama i sklopovima koji su najizloženiji spomenutim načinima opterećenja. Na promatranim agregatima su to

- nosivi aksijalni ležaji
- turbinski radijalni ležaj

- statorski paket
- statorski namot
- tračnice i brtve turbinskog zatvarača
- elementi regulacijskog sustava

Svaki kvar prouzrokuje direktne troškove popravka stroja i sanacije eventualno oštećene okoline i indirektnih troškova zastoja proizvodnje, a u proizvodnji električne energije zastoj u proizvodnji može biti posebno skup u trenucima kada je u elektroenergetskom sustavu povećana potražnja energije i prijetnja padu napona i frekvencije.

4.3. Učestalost nastalih kvarova

Podaci o ispadima agregata HE Čakovca i HE Dubrava s mreže („Knjiga ispada“, koja se vodi u zajedničkom centru daljinskog upravljanja – KL Varaždin) ukazuju na veliku širinu i raznolikost uzroka ispada. Brojeno u zadnjih deset godina ukupni broj ispada s mreže je 30 na HE Čakovec i 50 na HE Dubrava, a svedeno na četiri agregata i deset godina dolazi u prosjeku po dva ispada agregata na godinu, što obzirom na prije nabrojene uvjete rada nije mnogo.

Najčešći su ispadi zbog malih kvarova ili smetnji koji se otklone istog dana u nekoliko sati ili pak samo resetiranjem aktivirane zaštite. Od ukupnog broja ispada oko 30% na HE Čakovec i 50% na HE Dubrava je uzrokovano kvarovima ili smetnjama prouzročenih izvan agregata, kao što su kvarovi na ostalim postrojenjima (rasklopište, sabirnice, rashl.voda, ..), lom sigurnosnog zatika (zbog predmeta iz vode), grmljavine ili čak regionalni pad elektroenergetskog sustava (22.01.2003.). Ostalih 50%-70% ispada su zbog kvarova nastalih na samim agregatima ili komponentama upravljačkih, regulacijskih ili zaštitnih sustava agregata. To su uglavnom poremećaji tlakova zraka, razina ulja, kvar plovka, kvar releja, kvar temperaturnih sondi i slično, usprkos kojih se uvjetno može nastaviti raditi s agregatom sve do planiranog stajanja kada se kvar može otkloniti. Jedan veliki dio od svih (opet oko 50%) su i ispadi zbog prorade lažnih alarma.

Također u knjigama kvarova i radnih naloga koji se vode na pogonima prepoznatljivi su češći mali kvarovi, a rjeđi ali veći i najneugodniji su kvarovi (prodori vode, ulja, proboji izolacija, ..) na vitalnim komponentama i sklopovima agregata. Otklanjanje tih kvarova može potrajati više dana ili čak tjedana pa se u tim slučajevima nastoji izvršiti privremena sanacija a popravak odgoditi do redovnog godišnjeg remonta. Ukoliko je popravak kvara neodgodiv i zahtjeva više od desetak dana tada se stajanje agregata iskoristi za obavljanje i ostalih remontnih radova na agregatu.

U najznačajnije od većih zahvata se mogu navesti ;

Nosivi aksijalni ležaj; propuštanje ulja u generator

Uzrok je oštećenje ili potrošenost aksijalnih ili / i radijalnih brtvi, a najviše zbog vibracija i izbačaja vratila. Kvar se otklanja zamjenom brtvi i sanacijom brtvenih površina u trajanju sedam do deset dana, a uglavnom se to obavlja u redovnim remontima u prosjeku svake dvije do tri godine.

Turbinski radijalni ležaj; propuštanje ulja u vodu i vode u ulje

Uzroci su pojačane vibracije i česti udari koji oštećuju ili poremete podešenost brtve, (konstrukcijska slabost ležaja).

Kvar se otklanja demontažom ležaja i zamjenom oštećene uljno-vodne brtve (uz prethodno pražnjenje protočnog trakta i podupiranje radnog kola turbine), sve u trajanju od najmanje dva tjedna.

Prosječna učestalost je približno jednom u dvije ili tri godine po svakom agregatu.

Ovdje se može ubrojiti i **osovinska brtva** čiji uzroci oštećenja i propuštanja vode te način popravka su skoro istovjetni brtvama turbinskog ležaja.

Statorski paket; labavost limova paketa

Uzroci su stalne vibracije i česta promjene opterećenja a time i temperature paketa pri čemu se pojavljuju razlike u termičkim dilatacijama sastavnih elemenata paketa, a uz prisustvo uljnih para je olakšano labavljenje steznih spojeva paketa.

Učvršćivanje limova paketa se obavlja u sklopu redovnih remonata nabijanjem klinova i pritezanjem steznih ploča.

Statorski namot; zemni spoj namota.

Kod takvih kvarova, bezuvjetno se zaustavlja agregat.

Uzroci su zagrijavanje, dilatacije, udari, vibracije, labavost paketa, struganje izolacije namota.

Pri svakom uključenju agregata na mrežu i svakom skokovitom terećenju stroja dolazi do naglog zagrijavanja i različitih temperaturnih dilatacija namota i paketa a time i struganja izolacije štapa namota. Dodatno tome, hidrauličko ulje koje kroz aksijalni ležaj prodire u generator i uvlači se u otore namota, razgrađuje grafitne premaze na svim dijelovima, djeluje i kao podmazivač pa smanjuje zaklinjenost i pomaže labavljenju paketa, čime se omogućavaju vibracije štapova namota u utoru paketa a time i

glodanje izolacije. Kada električno polje na dotičnom štapu zbog smanjenja debljine izolacije dostigne kritičnu tj. probojnu vrijednost dolazi do proboja glavne izolacije na masu, a kvar može nastati i u redovnom remontnom ispitivanju generatora.

Dakle uzroci su složeni; česti uklopi i promjene terećenja agregata, udari, rad u kavitacijskim uvjetima (povećane vibracije) kao i konstrukcijsko-tehnološke slabosti statorskog namota.

Učestalost; do sada je od izgradnje elektrana HE Čakovec i HE Dubrava zabilježeno dvanaestak takvih slučajeva što po agregatu prosječno izlazi kvar na svakih približno pet godina.

Na ovakvom broju primjera, teško je ustanoviti pravila raspodjele, ispada više kao stohastička raspodjela. Iznimno je na jednom agregatu HE Čakovca u prvim godinama rada (1982, 1983) bilo nekoliko zemnih spojeva statora (što se može kvalificirati kao tvornička greška) i nakon 15 godina rada su se isti zbog akumuliranih oštećenja kvarovi počeli redati skoro svake godine po jedan proboj, pa su 2005 i 2006.god. generatori obnovljeni zamjenom statorskih paketa i namota.

Kvar se otklanja zamjenom štapa namota (ili više njih), što uz prethodno neophodno pražnjenje protočnog trakta i vađenje rotorskog pola traje dva tjedna do mjesec dana, ovisno o mjestu i broju proboja.

Rotorski namot; pojava međuzavojnog ili zemnog spoja.

Uzroci mogu biti višestruki, slučajni događaj, vjerojatno skriveno slabo mjesto izolacije.

Učestalost; ukupno tri slučaja i to samo na jednom agregatu HE Dubrava

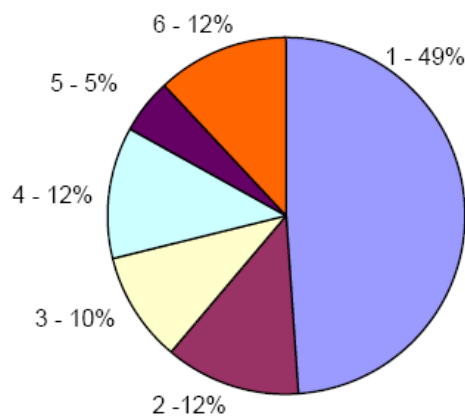
Kvar se otklanja vađenjem pola i zamjenom svitka u trajanju od najmanje tjedan dana.

Turbinski brzi zatvarač; propuštanje vode i vibracije tabli zatvarača

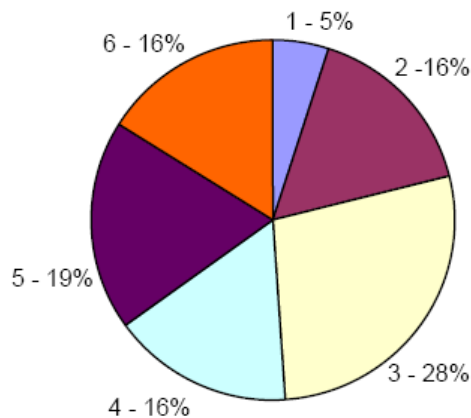
Uzroci su potrošene ili / i oštećene brtve, brtvene površine i vodilice koje nastaju (i kumuliraju se) pri svakom spuštanju zatvarača. Pri svakom zaustavljanju agregata se spušta zatvarač pri čemu dolazi do jakih udara i vibracija. Konstrukcijskim rješenjem je predviđeno svega nekoliko zaustavljanja na godinu (kontinuirani rad), dok se promatrani agregati skoro svakodnevno uključuju i isključuju.

Popravci i sanacije se obavljaju u redovnim remontima sanacijom brtvi i vodilica u trajanju do sedam dana Jednom u deset godina izvršen je opsežniji remont zatvarača na svakom agregatu (preslagivanje tabli zatvarača, zamjena svih vodnih i uljnih brtvi, obnova tračnih lamela i kotača, ..)

U dijagramima na slikama 2a i 2b prikazani su učestalost i učešće u međusobnim odnosima broja vrsta kvarova te njihovog trajanja, sve uzeto u prosjeku na deset godina po jednom agregatu. Slika 2a. prikazuje odnos broja slučajeva raznih kvarova, dok 2b. prikazuje međusobni odnos ukupnog trajanja zastoja agregata zbog nekih kvarova (broj kvarova pomnožen s prosječnim vremenom trajanja popravka pojedinačnog kvara).



Slika 2a. Odnosi broja kvarova



Slika 2b. Odnosi trajanja kvarova

Brojevi na dijagramima predstavljaju;

- 1 - mali kvarovi koji su izazvali ispad agregata ali su brzo otklonjeni
- 2 - kvarovi na nosivom aksijalnom ležaju
- 3 - kvarovi na turbinskom radijalnom ležaju (uključivo i osovinska brtva)
- 4 - kvarovi na statorskom paketu
- 5 - kvarovi na statorskom namotu
- 6 - kvarovi na turbinskom brzom zatvaraču

Već na prvi pogled je uočljivo da su mali kvarovi iako najbrojniji ipak minorni u trajanju u odnosu na rjeđe kvarove čije otklanjanje zahtijeva puno više vremena, međutim nimalo nisu beznačajni obzirom

da se događaju iznenada i isključuju agregat s mreže što može biti posebno skupo u trenucima kada je u elektroenergetskom sustavu povećana potražnja energije i prijetnja padu napona i frekvencije.

U pogonskim evidencijama elektrana se nalaze svi kvarovi koji su se uzročno na agregatu događali bez obzira da li je ta pojava registrirana kao kvar ili se popravak obavljao u planirano vrijeme zastoja pod imenom njege ili pak su ti nedostaci uočeni i otklonjeni u vrijeme redovnih remonata.

Zbog toga ovdje nisu iznijeti upisani pojedinačni podaci trajanja pojedinih popravaka nego je uzet iskustveni prosjek kao da su radovi obavljani izvan remonta, jer ako su se obavljali i unutar remonta, obično su u gantogramu radova bili na kritičnom putu, a to znači i produljenje remonta za veći dio trajanja njihovih popravaka. U prosjek također nisu uzeti zastoji za zamjenu rotora na agregatima HE Dubrava (spoj polnog kotača na vratilo) i statora na agregatima HE Čakovec (uništena izolacija statorskog namota), što je trajalo oko pet mjeseci po agregatu. Ti bi podaci potpuno izokrenuli sliku o učestalosti ostalih kvarova, pa ti problemi mogu biti predmet posebne analize.

Iz pogonskih podataka o kvarovima nije kod svakog kvara moguće izravno iskazati pojedinačne mehanizme i funkcije djelovanja uzroka na posljedice jer opterećenja kojima je izložen agregat djeluju kompleksno na sve dijelove agregata istovremeno. Nadalje, šteta koja nastaje zbog zamora je makroskopski nevidljiva, često vrlo brzo napreduje pa je stoga sama po sebi opasna. S druge strane, šteta koja nastaje kao rezultat habanja i korozije je makroskopski vidljiva pa se prema tome očekuje da može napredovati postepeno. U pogledu triboloških otkazivanja, moguće analize ovise u prvom redu o tome je li pregled rastavljanjem dijelova kod svakog pojedinog kvara izvediv.

Neke korelacije „poremećaj-opterećenje-kvar“ u eksplicitnoj formi bilo bi moguće dobiti analizama uz pomoć nekih metoda raspodjele (Weibull) za što u ovom referatu nema mjesta.

Unatoč tome neosporna je i praksom potvrđena povezanost nekih kvarova s poremećajnim režimima rada. Na primjer kvarovi na turbinskom zatvaraču nakon rada u regulatoru protoka te pojačano propuštanje osovinske ili (i) ležajnih brtvi nakon nekih stresnih stanja agregata (pobjeg, asinkroni uklop i slično)

5. ZAKLJUČAK

Vrste, veličine šteta i učestalost kvarova na postrojenjima direktno su ovisni o uvjetima i režimima pogona tj. o opterećenosti u eksploataciji te tehničkoj kvaliteti same opreme.

Podacima o kvarovima u eksploataciji agregata ugrađenih na hidroelektranama Čakovec i Dubrava, može se potvrditi da su kvarovi posljedica, pojedinačnih udara, termičkih i mehaničkih cikličkih stresova i ostalog što upućuje na štetnost režima u kojima agregati često rade, a broj i vrsta kvarova koji proizlaze iz uvjeta rada takav je da će neminovno utjecati na skraćenje vijeka trajanja agregata, postupke i troškove održavanja te smanjenje raspoloživosti i pouzdanosti elektrane.

Opterećenja pod kojima agregati rade u poremećajnim režimima veća su i neugodnija ako se usporede s opterećenjima za koja su ovi agregati dizajnirani i može se zaključiti da cijevni agregati opisanog tipa nisu podobni za zahtjevne režime promjenjivog i vršnog opterećenja.

6. LITERATURA

- [1] - pogonska dokumentacija HE Čakovec i HE Dubrava
- [2] - tehnička dokumentacija turbina (LITOSTROJ) i generatora (KONČAR) na HE Čakovec i HE Dubrava