

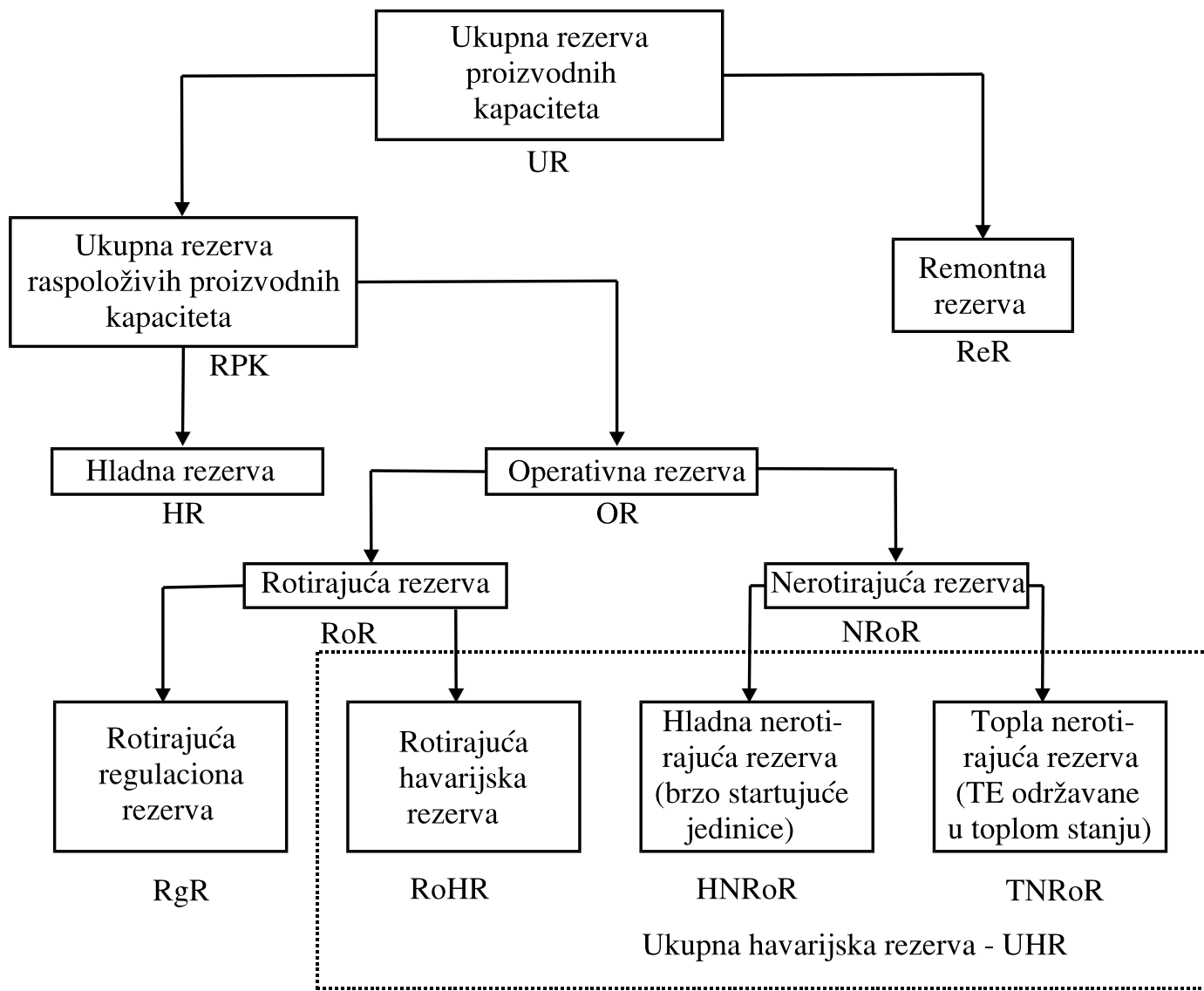
Eksploatacija EES-a

Rezerve proizvodnih kapaciteta

Uvod

- Pojam rezerve u proizvodnim kapacitetima odnosi se na razliku između instaliranih snaga generatora i stvarnog opterećenja elektroenergetskog sistema.
- Po svojoj prirodi i svrsi korišćenja, razni tipovi rezervi u nekom elektroenergetskom sistemu mogu se među sobom jako razlikovati.
- Postojanje rezervi proizvodnih kapaciteta u eksploataciji osnovni je faktor koji obezbeđuje pouzdanost i sigurnost rada sistema.
- Podela rezervi proizvodnih kapaciteta može se sprovesti prema različitim principima.
- Za eksploataciju najznačajnija je podela prema ulozi pojedinih tipova rezervi. Ta podela nije oštra, jer se pojedini tipovi rezervi mogu koristiti višenamenski.

Šematski prikaz rezervi proizvodnih kapaciteta u elektroenergetskom sistemu



Podela rezerve

- **Ukupna rezerva instalisanih proizvodnih kapaciteta** je razlika između instalisane (nominalne) snage u generatorima sistema i aktuelnog opterećenja.
- Ukupna rezerva se deli na remontnu rezervu i ukupnu rezervu raspoloživih proizvodnih kapaciteta.
- **Remontna rezerva** predstavlja onaj deo proizvodnih kapaciteta, koji se koristi za pokrivanje snage proizvodnih jedinica koje se nalaze u stanju planiranih remonata, opravki i nege.
- **Ukupna rezerva raspoloživih proizvodnih kapaciteta** je onaj deo instalisanih snaga generatora sistema koji se koristi za pokrivanje svih nepredviđenih ispada usled kvarova na generatorima u pogonu. Sastoji se iz dva dela: hladne rezerve i operativne rezerve.
- **Hladnu rezervu** čine generatori u starijim i skupljim termoelektranama, koji su sposobni da se u slučaju potrebe relativno brzo (1-2 dana) pokrenu i koriste za pokrivanje potreba potrošača.
- **Operativna rezerva** je deo rezerve proizvodnih kapaciteta, koja se neposredno koristi u eksploataciji. Sastoji se od rotirajuće i nerotirajuće operativne rezerve.

Podela rezerve

- **Rotirajuća rezerva** je deo neiskorišćenih proizvodnih kapaciteta, koji je sinhronizovan na mrežu, čije se korišćenje može ostvariti u vrlo kratkom vremenskom roku (5-10 min). Dve osnovne komponente rotirajuće rezerve su regulaciona rezerva i rotirajuća havarijska rezerva
- **Regulaciona rezerva** služi za kompenzaciju grešaka između prognozirane i ostvarene potrošnje sistema, a **rotirajuća havarijska rezerva** za pokrivanje iznenadnih ispada proizvodnih kapaciteta iz pogona.
- **Nerotirajuća operativna rezerva** predstavlja rezervne kapacitete koji nisu sinhronizovani na mrežu, ali se mogu brzo staviti u pogon, sinhronizovati i opteretiti. Komponente ove rezerve su hladna nerotirajuća operativna rezerva i topla nerotirajuća operativna rezerva.
- **Hladnu nerotirajuću operativnu rezervu** čine brzo startujuće jedinice u hidroelektranama i gasnoturbinskim elektranama, dok se **topla nerotirajuća operativna rezerva** sastoji od agregata u parnim termoelektranama koji su van pogona, ali se održavaju u toplom stanju, spremni za brzo pokretanje i sinhronizaciju.
- **Ukupnu havarijsku operativnu rezervu** sačinjavaju svi slobodni kapaciteti u operativnoj rezervi, izuzev regulacione rezerve.

Podela rezerve

- Klasifikacija operativne rezerve proizvodnih kapaciteta na bazi potrebnog vremena za njihovo angažovanje:
 - primarna rezerva, koja se aktivira za vreme od najviše 10 min;
 - sekundarna rezerva, koja se aktivira za vreme od najviše 20–30 min.
- U prvu grupu očigledno spadaju regulaciona i havarijska rotorajuća rezerva, kao i brzo startujuće jedinice iz hladne rezerve, koje se mogu staviti u pogon i opteretiti za vreme od 10 min.
- U drugu grupu spadaju jedinice iz hladne nerotirajuće rezerve, koje za stavljanje u pogon i opterećivanje zahtevaju vreme duže od 10 min.
- Podela američkih kompanija (uz još finiju diversifikaciju):
 - regulaciona rezerva (sa trenutnim aktiviranjem);
 - havarijska rotirajuća rezerva (aktivira se za vreme od 10 min);
 - brza nerotirajuća rezerva (brzo-startujuće jedinice, koje se pokreću i opterećuju u vremenu od 10 – 30 min);
 - spora nerotirajuća rezerva (služi za trajnu zamenu ispalih kapaciteta; ona se može učiniti raspoloživom u vremenu od oko 60 min).

Proračun rezervi proizvodnih kapaciteta

Regulaciona rezerva

- Regulaciona rezerva (RgR) je po definiciji onaj deo slobodnih proizvodnih kapaciteta, koji služi za kompenzaciju grešaka između prognoziranih i stvarnih opterećenja u sistemu u normalnim uslovima pogona.
- Ove greške mogu biti sa pozitivnim ili negativnim predznakom.
- Prema tome regulaciona rezerva (ili regulacioni opseg) mora da bude sposobna da deluje, kako u smeru povećanja (kada je planirano opterećenje manje od stvarnog), tako i u smeru smanjenja snage agregata na kojima je koncentrisana ova rezerva (kada je planirano opterećenje veće od stvarnog).
- Primećeno je da se potrebna regulaciona rezerva menja sa opterećenjem sistema po zakonu kvadratnog korena, pa se prema staroj UCTE preporuci izračunavala po formuli:

$$RgR = \pm a \sqrt{P_p} \text{ [MW]}$$

gde je $a=(1-2)$ u $[\text{MW}]^{1/2}$ prigodna, iskustveno utvrđena konstanta, dok se opterećenje sistema P_p izražava u $[\text{MW}]$.

Proračun rezervi proizvodnih kapaciteta

Regulaciona rezerva

- Veličine ovako izračunate potrebne regulacione rezerve (ili regulacionog opsega) kreću se u granicama $\pm(1-3\%)$ od opterećenja sistema i raspoređuju se na jedinice koje učestvuju u ručnoj, ili automatskoj sekundarnoj regulaciji (regulacioni agregati).
- Nova, takođe empirijska, UCTE formula je:

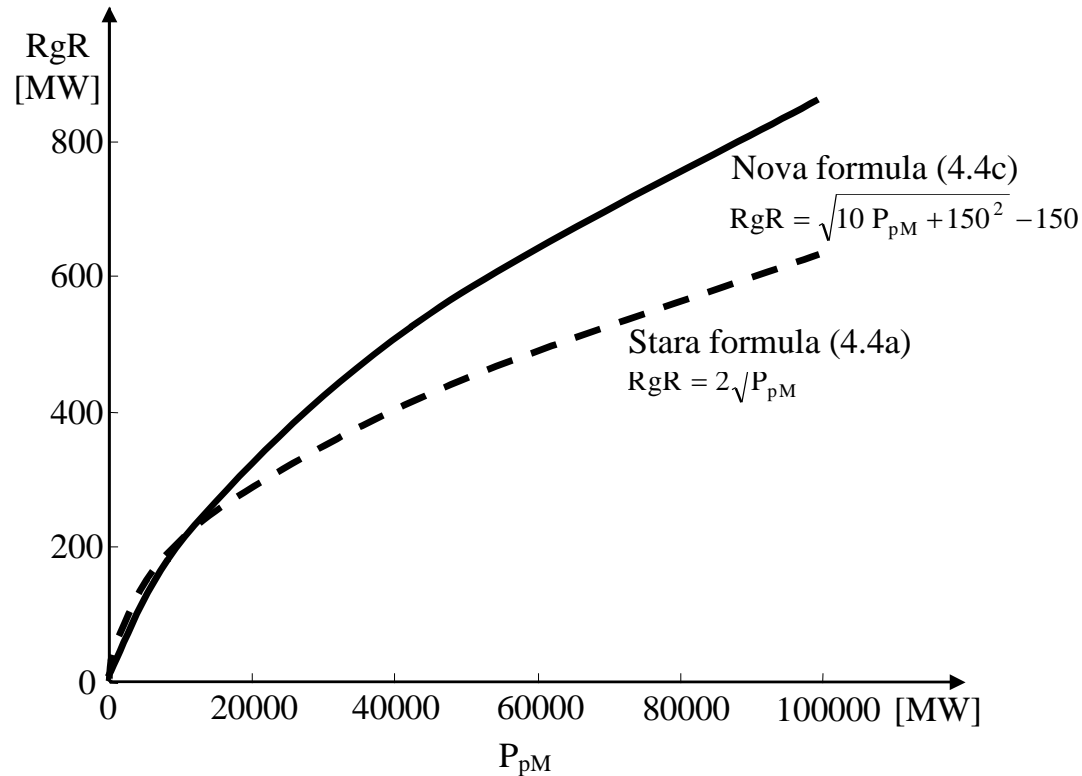
$$RgR = \sqrt{aP_{pM} + b^2} - b \text{ [MW]}$$

gde je $a = 10$, $b = 150$, a P_{pM} maksimalna snaga potrošača sistema, tokom posmatranog vremenskog perioda.

Proračun rezervi proizvodnih kapaciteta

Regulaciona rezerva

- Zavisnost potrebnog regulacionog opsega od vršne snage sistema za staru i novu formulu data je na slici. Kod stare formule uzeto je da je $a=2$.



Proračun rezervi proizvodnih kapaciteta

Rotirajuća havarijska rezerva

- Rotirajuća havarijska rezerva (RoHR) služi za pokrivanje iznenadnih ispada proizvodnih kapaciteta iz pogona, radi obezbeđenja normirane (ciljne) pouzdanosti snabdevanja potrošača električnom energijom, koja mora biti veća od 0.999.
- Ovo praktično znači da se planska nemogućnost zadovoljavanja potreba potrošača tokom jednog dana statistički pojavljuje u više od 2,74 godine).
- Sve pojave narušavanja normalne isporuke električne energije potrošačima, koje su posledica ispada iz pogona pojedinih proizvodnih agregata, slučajnog su karaktera (nepredviđeni i iznenadni kvarovi).
- Zbog toga se za procenu neophodne havarijske rezerve moraju koristiti metode teorije verovatnoće.

Proračun rezervi proizvodnih kapaciteta

Rotirajuća havarijska rezerva

- Verovatnoća pojave ispada iz pogona nekog proizvoljnog broja agregata istog tipa, od ukupno n agregata u sistemu, određuje se po binomnom obrascu:

$$(p + q)^n = p^n + np^{n-1}q + \frac{n(n-1)}{1 \cdot 2} p^{n-2}q^2 + \dots + \binom{n}{n-1} pq^{n-1} + q^n = 1 \quad (*)$$

gde je p verovatnoća radnog, a q verovatnoća havarijskog stanja agregata, pri čemu je $p+q=1.00$.

- Verovatnoća havarijskog stanja (stanja ispada) agregata q nalazi se na osnovu statističkih podataka o njegovom radu u prošlosti i može se dati izrazom:

$$q = (FOR) = \frac{T_h}{T_h + T_i}$$

gde je T_i vreme ispravnog rada, a T_h vreme havarijskog stanja (vreme opravki) agregata u nekom određenom vremenskom periodu (obično 1 godina).

Proračun rezervi proizvodnih kapaciteta

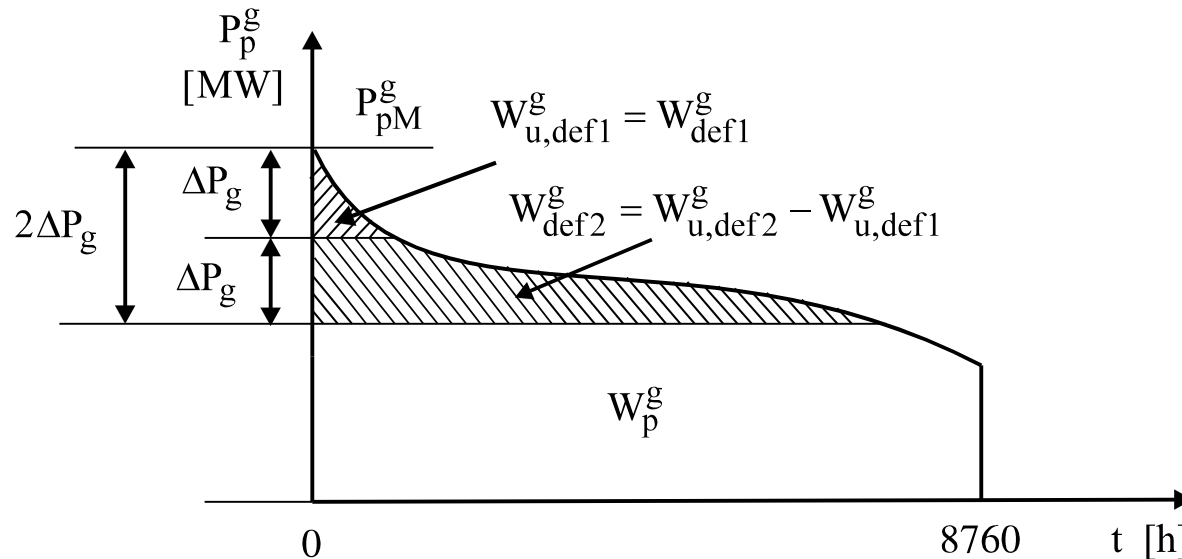
Rotirajuća havarijska rezerva

- Vrednosti za verovatnoću pojave havarijskog stanja (ili intenziteti ispada), kreću se od 0.005 za hidroagregate, do 0.05 – 0.06 za velike turboagregate na fosilna goriva, pa čak i preko 0.10 za velike turboagregate u nuklearnim i starijim termoelektranama na paru, koje troše fosilna goriva.
- Za intenzitet ispada u engleskoj literaturi koristi se termin *FOR* (*Forced Outage Rate*).
- Svaki član na levoj strani izraza (*) odgovara verovatnoći jednog mogućeg stanja; p^n je verovatnoća ispravnog rada svih agregata; $np^{n-1}q$ je verovatnoća ispada jendog agregata; q^n je verovatnoća ispada svih agregata.
- Za svako stanje može se odrediti veorvatnoća ispada neke snage ΔP_g a na osnovu godišnje krive trajanja opterećenje može se odrediti koliko taj ispad utiče na zadovoljenje potrošnje.
- Na taj način može se proceniti pouzdanost elektroenergetskog sistema.

Proračun rezervi proizvodnih kapaciteta

Rotirajuća havarijska rezerva

- Na slici je dat godišnji dijagram trajanja opterećenja i ilustracija proračuna manjka isporuke električne energije.



- U savremenim elektroenergetskim sistemima, ta rezerva se obezbeđuje na nivou 5–7 % vršne snage sistema. Češća praksa je da se ona jednostavno uzima da je jednaka najvećem mogućem deficitu snage pri verovatnom jednostrukom ispadu (a to je po pravilu snaga najveće jedinice u sistemu).

Proračun rezervi proizvodnih kapaciteta

Remontna rezerva

- Remontna rezerva (ReR) služi za pokrivanje deficita proizvodnje agregata u termoelektranama koji se nalaze u stanju redovne i vanredne godišnje nege, opravki ili remonata koji se ne mogu obaviti u periodima malih godišnjih opterećenja sistema.
- Tekuća održavanja ovih agregata moraju se obavljati onda kada se za to ukaže potreba, pa čak i u periodima maksimalnih opterećenja u sistemu.
- Da se to ostvari mora se obezbediti neophodna rezerva u proizvodnim kapacitetima, koja se kreće u opsegu od 5–8 % od ukupne instalisane snage u termoelektranama.
- Ova rezerva ne predviđa se posebno za hidroelektrane, čiji remont se po pravilu obavljaju u periodu malih voda, tako da se ničim ne ugrožava njihova proizvodnja, niti dolazi do pojave neiskorišćenosti raspoložive vode.

Proračun rezervi proizvodnih kapaciteta

Remontna rezerva

- Potrebna rezerva za pokrivanje deficita snage termičkih jedinica u režimu kapitalnih remonata određuje se preko izraza:

$$(\text{ReR}) = \frac{\sum_{i=1}^k P_{gni} T_{kri} - S\varphi}{T_{kr}}$$

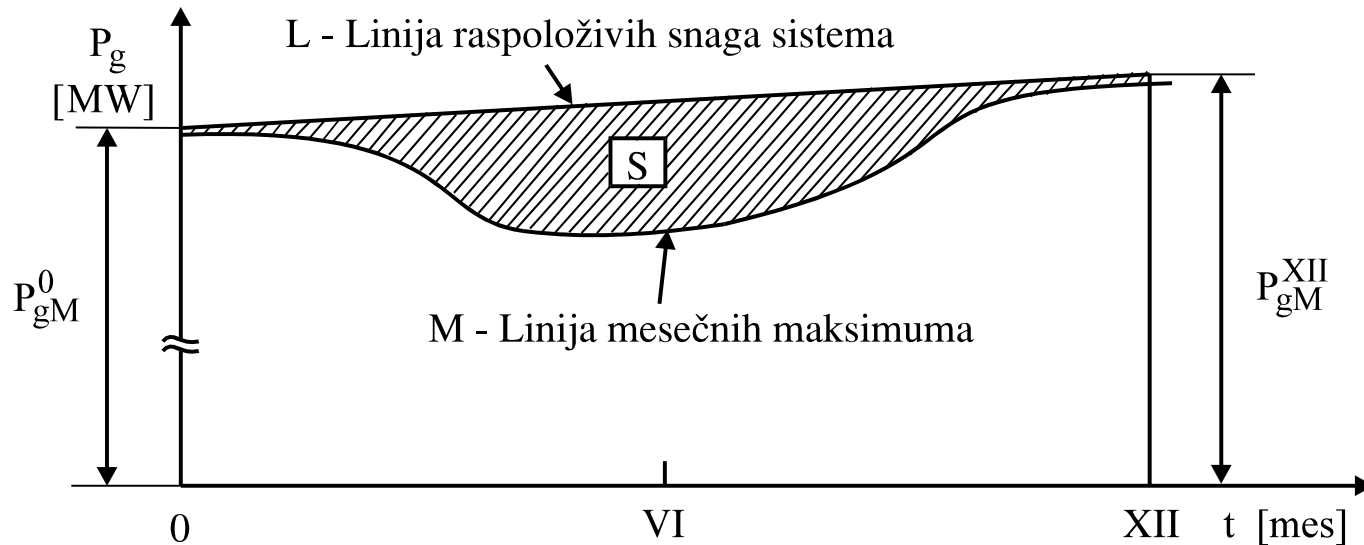
gde su P_{gni} i T_{kri} nominalna snaga u [MW] i trajanje kapitalnog remonta u [mes] (ili [sed]) agregata $i = 1, 2, \dots, n$.

- Veličina S je površina između linije raspoloživih snaga u sistemu tokom godine (uzeto je da se ta snaga menja po pravoj L koja povezuje mesečne maksimume na početku i kraju godine) i stvarne linije mesečnih maksimuma M izraženih u [MWmes].
- Veličina φ je koeficijent iskorišćenja te površine u svrhu remonata.
- Prava L na narednoj slici karakteriše raspoloživu snagu proizvodnih agregata elektroenergetskog sistema, a površina S rezervu u energiji tokom godine.

Proračun rezervi proizvodnih kapaciteta

Remontna rezerva

- Ilustracija proračuna remontne rezerve



Proračun rezervi proizvodnih kapaciteta

Rezerve u energiji

- U čisto hidro i mešovitim hidro-termo elektroenergetskim sistemima, pored obezbeđenja neophodnih rezervi snaga, pojavljuju se i problemi rezervi energije.
- Ove rezerve su strategijske prirode i obično se obezbeđuju sa akumulacionim hidroelektranama, u formi akumulisane vode, koja se koristi u slučaju dužih kvarova nekih agregata, ili pojave suše i drugih prirodnih nepogoda.