

REZONANCA AKUMULACIJE

Nenad Kažić¹

SAŽETAK:

U radu je analiziran uticaj vezanih akumulacija i njihov uticaj na rad “energetske” mašine čiji je rad kontrolisan ON/OFF regulacijom. Pokazano je da se u odgovarajućim okolnostima javlja rezonanca, gdje povećana akumulaciona masa, suprotno očekivanju, dovodi do pogoršavanja rada mašine. Ova pojava se može javiti u nizu oblasti gdje se javlja direktna analogija: u hidraulici, operacionim istraživanjima, bazama podataka i sl.

1. UVOD

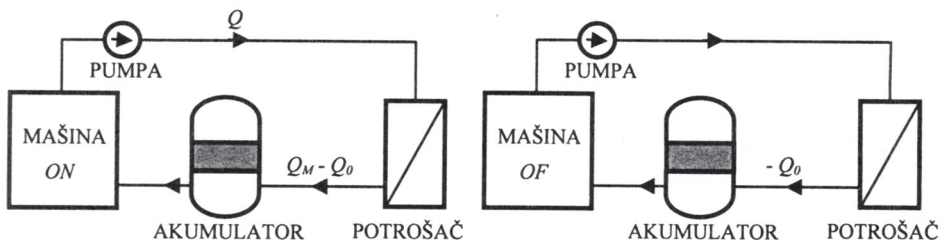
U ovom radu se koristi pojam “energetska mašina” za mašinu koja isporučuje neki oblik energije potrošaču, na primjer za grijanje ili hlađenje potrošača. Najbolji primjer za takvu mašinu je rashladni uređaj, odnosno toplotna pumpa. Vrlo često, u samoj tehnologiji razmjene energije prisutne su akumulacione mase kao prateći elementi koji su krajnjoj liniji neizbježan pratilac fizičke realizacije procesa. Međutim, vrlo često se akumulacione mase koriste kao način da se amortizuju “oštri” prelazi u režimu rada, koji su vrlo često uzrok kvarova ili lošeg funkcionisanja sistema. Na primjer, u instalacijama gdje se koristi toplotna pumpa kao grijni izvor, vrlo često se koristi ON/OFF regulacija, odnosno regulacija kapaciteta paljenjem i gašenjem rada mašine. U određenim uslovima dolazi do pojave tzv. “kratkih ciklusa” koji vrlo često dovode do havarije uređaja. Jedan od načina da se izbjegne ova pojava je uvođenje dodatnih akumulacionih masa u sistem. Uticaj akumulacionih masa na frekvenciju uključivanja energetske mašine je predmet ovoga rada.

¹ Mašinski fakultet u Podgorici.

2. DEFINICIJA I MATEMATIČKI OPIS PROBLEMA

Na slici (sl. 1) je prikazana tipična struktura veze između energetske mašine (EM), odnosno potrošača (P) i akumulatora (A). Akumulator je definisan svojom uslovno rečeno akumulacionom masom, čiji se efekat može izraziti kroz njen odgovarajući "vodeni ekvivalent" (M_w – masa vode, c_w – specifična toplota vode). Mašina (EM) snabdijeva potrošača energijom (fluks) \dot{Q}_M konstantne vrijednosti, po definiciji. Nakon što potrošač konzumira dio energije koja zadovoljava njegove potrebe \dot{Q}_0 , ostatak se skladišti u akumulatoru. Usljed toga, unutrašnja energija akumulatora se mijenja, odnosno temperaturu "vode" za Δt_w . Kako se rad mašine sastoji iz ciklusa uključenja i isključenja, vrijeme između dva uključenja mašine (τ) se sastoji od vremena tokom kojeg radi mašina (period moguće akumulacije viška energije τ_{ON}) i vremena (τ_{OFF}) tokom koga je mašina isključena. Dok je mašina isključena, potrošač troši energiju smještenu u akumulatoru. Drugim riječima, važi relacija

$$\tau = \tau_{ON} + \tau_{OFF}. \quad (1)$$



Slika 1: Shema instalacije u režimu ON (lijevo) i OFF (desno)

Po definiciji, akumulirana energija tokom perioda ON jednaka je energiji koju uzima potrošač tokom perioda OFF , pa slijedi relacija

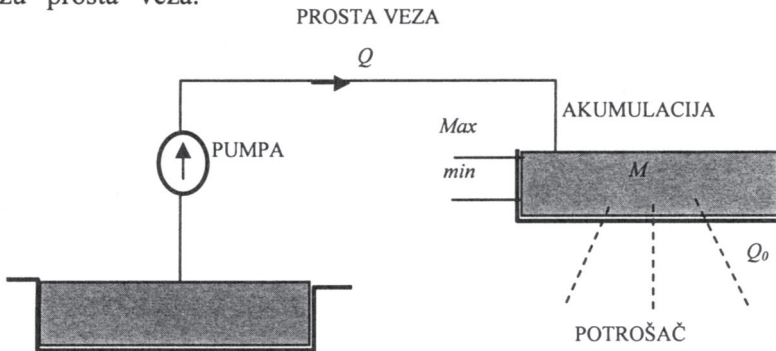
$$(\dot{Q}_M - \dot{Q}_0) \tau_{ON} = \dot{Q}_0 \tau_{OFF}. \quad (2)$$

Sa druge strane, izražavajući akumulacioni efekat kroz njegov vodeni ekvivalent (akumulator sa vodom), može se napisati jednačina

$$M_w c_w \Delta t_w = \dot{Q}_0 \tau_{OFF}. \quad (3)$$

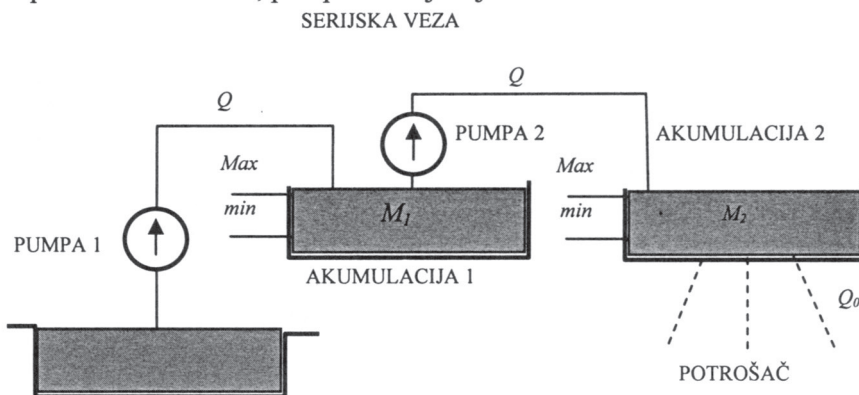
3. HIDRAULIČNA ANALOGIJA

Do sada smo, pod akumulacionom masom u sistemu, podrazumijevali mase čija se funkcionalna pozicija može definisati datom slikom (sl. 1). Nazovimo tu vezu "prosta" veza.



Slika 2: Shema "proste" veze – hidraulična analogija

Nju možemo predstaviti koristeći hidrauličnu analogiju. Po ovoj analogiji, energetska mašina je predstavljena hidrauličnom pumpom, akumulacija energije vodenom akumulacijom promjenljivog nivoa (količinom vode), a potrošač uzima vodu iz akumulacije (sl. 2). U ovoj varijanti, hidraulična pumpa snabdijeva potrošača vodom koju on troši, a višak se skladišti u vodenoj akumulaciji. Kada se dostigne maksimalni nivo u akumulaciji, pumpa se isključuje, odnosno kada nivo padne na minimum, pumpa se uključuje.



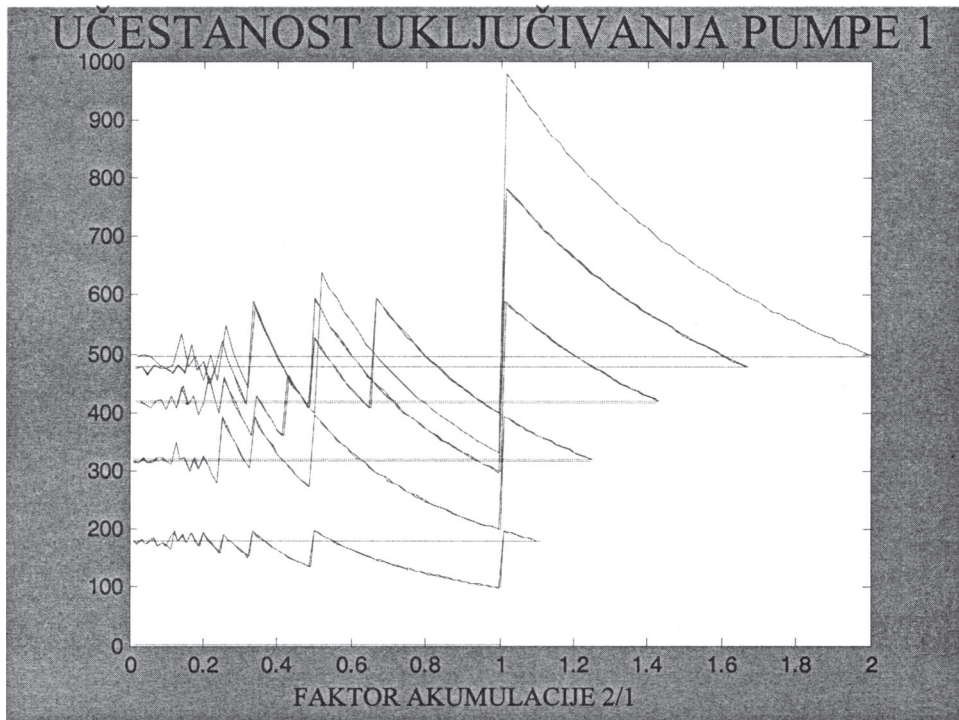
Slika 3: Shema „složene“ veze – hidraulična analogija

U sistemu se može javiti "složenija" veza gdje su akumulacione mase redno vezanim *ON/OFF* regulacionim kolima (sl. 3). U tom slučaju, uticaj masa ne samo što se neće odraziti kao prosti zbir masa u sistemu već će u određenoj situaciji doći do pogoršanja u radu osnovne mašine (pumpa 1).

4. RJEŠENJE

Ako se sistem jednačina (1, 2, 3) riješi simulacijom na računaru, moguće je grafički prikazati frekvenciju uključivanja glavne pumpe (pumpa 1) u zavisnosti od redno vezanih akumulacionih masa, definisanih faktorom akumulacije *ACF*:

$$ACF = M_2/M_1 / \text{Max}(Q_0/Q, 1 - Q_0/Q). \quad (4)$$



Slika 4: Učestanost uključivanja Pumpe 1 u funkciji od faktora akumulacije

5. ZAKLJUČAK

U radu je pokazano da redno spregnute akumulacione mase ne samo što ne garantuju „bolji” rad instalacije već je mogu u određenim okolnostima znatno pogoršati. Tako, postoji kritični slučaj kada je faktore akumulacije $ATF=1$, kada ako se on pređe dolazi do naglog skoka u učestanosti paljenja glavne pumpe (mašine) i to do 3 puta.

6. LITERATURA

- [1] Copeland Co: *Compressor Short Cycling an Unrecognized Problem*, Application Engineering Bulletin AE-1262.
- [2] Fahlen, P., Karlsson, F: *Improving Efficiency of Hydronic Heat Pimp Heating System*, Int. Congress of Refrigeration, Washington, 2003.
- [3] N. Kazic, V. Ivanovic: *Evaluation of the Number of Cycles of a Heat Pump during the Heating Season*, Congress GAMM, Drezden 2004.
- [4] Carslav, H. S., Jeager, J. C: *Conduction of Heat in Solids*, pg. 65-70, University Press, Oxford 1967.

