

Univerza v Ljubljani



UNIVERZA V LJUBLJANI  
FAKULTETA ZA MATEMATIKO IN FIZIKO  
ODDELEK ZA FIZIKO

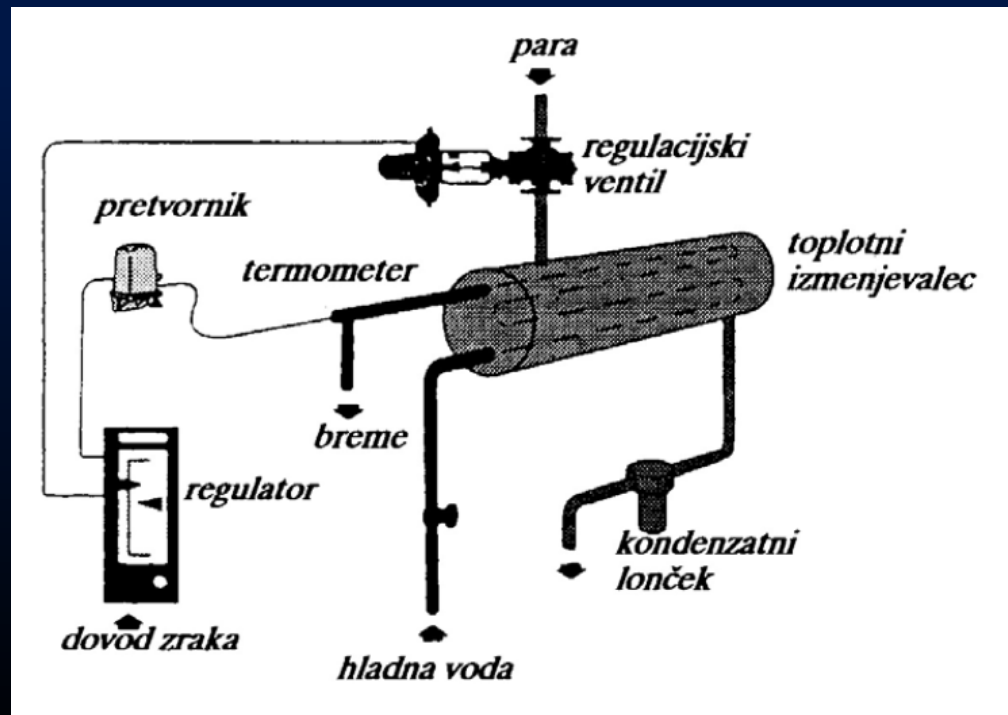
# REGULACIJA JEDRSKE ELEKTRARNE

Sebastjan Rupnik  
Reaktorska tehnika in energetika  
Mentor: prof. dr. Iztok Tiselj

december 2012

# PROCES

- fizikalne ali kemične spremembe snovi ali energije iz ene oblike v drugo (npr. segrevanje vode s pomočjo vroče pare)



# PROCES

- vsak proces ima vhodno in izhodno veličino
- motnja: sprememba izhodne veličine pri nespremenjeni vhodni veličini
- stanje procesa poznamo, če poznamo vrednost veličin, ki ga določajo (npr. temperatura, tlak, pretok, ...) – procesne veličine oz. parametri
- vrednosti fizikalnih veličin lahko ugotovimo le z merjenjem -> instrumentacija

# POMEN REGULACIJE V ENERGETSKIH SISTEMIH

- osnovni motilni vpliv na elektrarno je sprememba razmer v elektroenerg. omrežju
- elektrarna se mora na spremembe odzvati in zadostiti zahtevam potrošnikov
- regulacijski sistemi odpravljajo vplive motenj in vzdržujejo izbrane veličine na želeni vrednosti
- zmožni so odpravljati vplive manjših oz. počasnejših motenj

# POMEN VAROVALNIH SISTEMOV

- med obratovanjem prihaja tudi do okvar v elektroenerg. omrežju ali opremi elektrarne
- te povzročijo velike in hitre spremembe parametrov, ki ji reg. sistemi ne morejo obvladati
- posledice okvar omilijo varovalni sistemi, ki izločijo poškodovano opremo iz obratovanja
- varovalni sistem reaktorja poleg zaustavitve reaktorja lahko proži tudi varnostne sisteme – zaostala toplota, širjenje radioaktivnosti

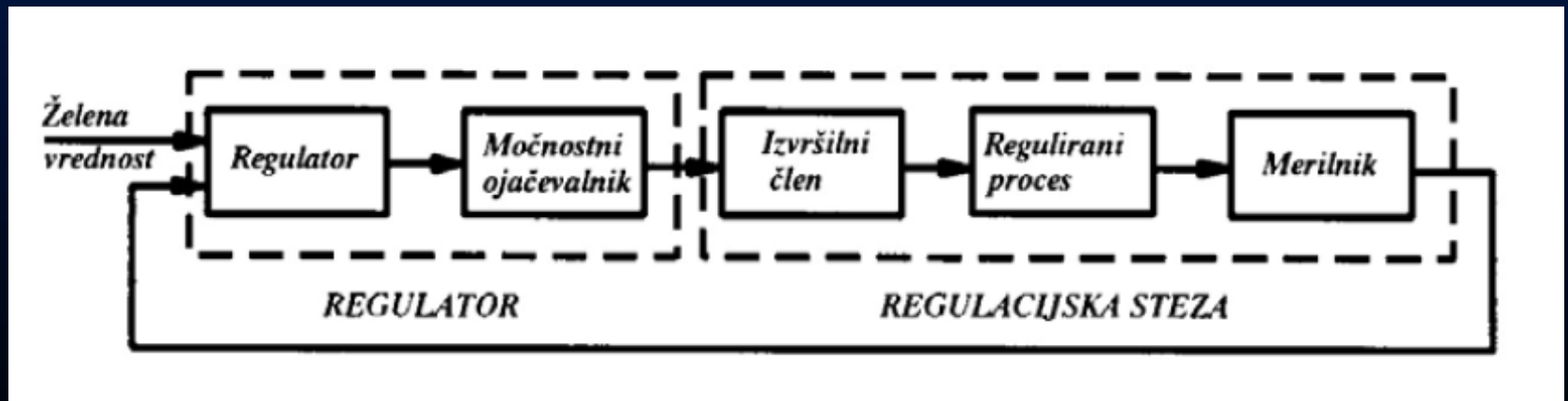
# REGULACIJA

- je postopek s katerim izbrano fizikalno veličino obdržimo na želeni vrednosti kljub delovanju spremenljivih motenj
- dve vrsti: - s konstantno želeno vrednostjo
  - sledilna regulacija
- želimo da je hitra, točna, stabilna

# REGULACIJA

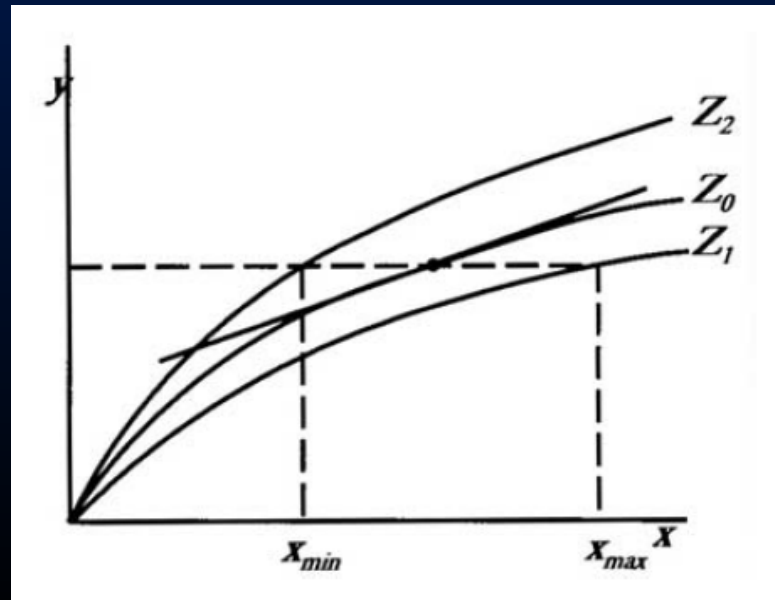
Značilne naloge regulacijske zanke:

- merjenje
- primerjanje
- posredovanje



# REGULACIJA

- obravnavamo manjša odstopanja regulacijske veličine od stacionarnega stanja
- odvisnost izhodne veličine od vhodne veličine v stacionarnem stanju nam podajajo statične karakteristike



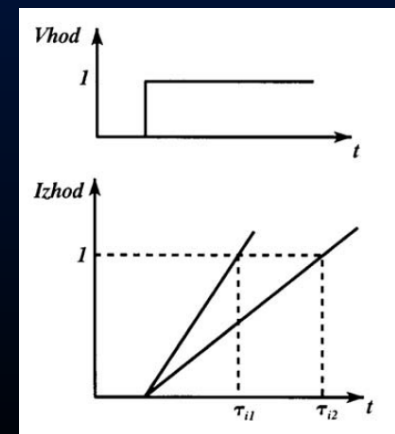
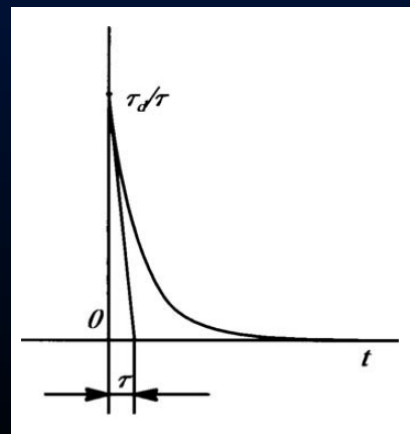
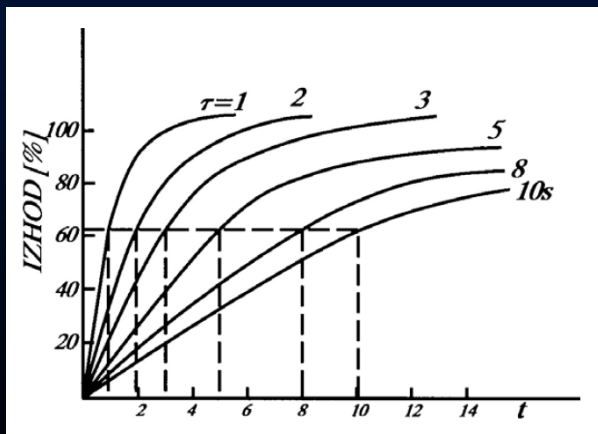
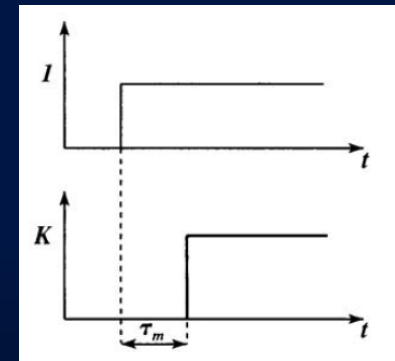
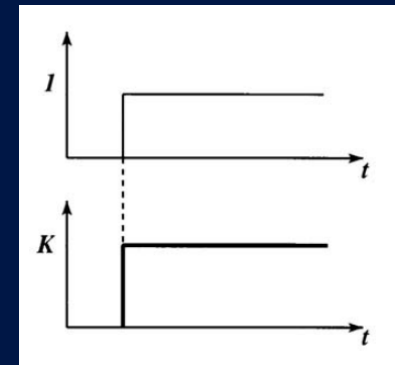


# REGULACIJA

- če želimo vedeti ali je regulacija stabilna in kako hitra je moramo poznati časovno obnašanje posameznih naprav
- to nam podajo prehodne funkcije, ki so časovni odziv izhodne veličine pri stopničasti spremembi vhodne veličine
- kljub raznolikosti naprav, njihovo dinamično obnašanje opišemo z nekaj tipičnimi členi

# REGULACIJA

- proporcionalni člen
- člen z mrtvim časom
- člen 1. reda
- integralni člen
- diferencialni člen



# REGULATORJI

Naloga: čim hitreje zmanjšati razliko med regulirano veličino in želeno vrednostjo regulirane veličine

- neke vrste računalnik
- elektronski, pnevmatski, mehanski, hidravlični
- nezvezni, zvezni
- dvotočkovni, proporcionalni, integralni, ...

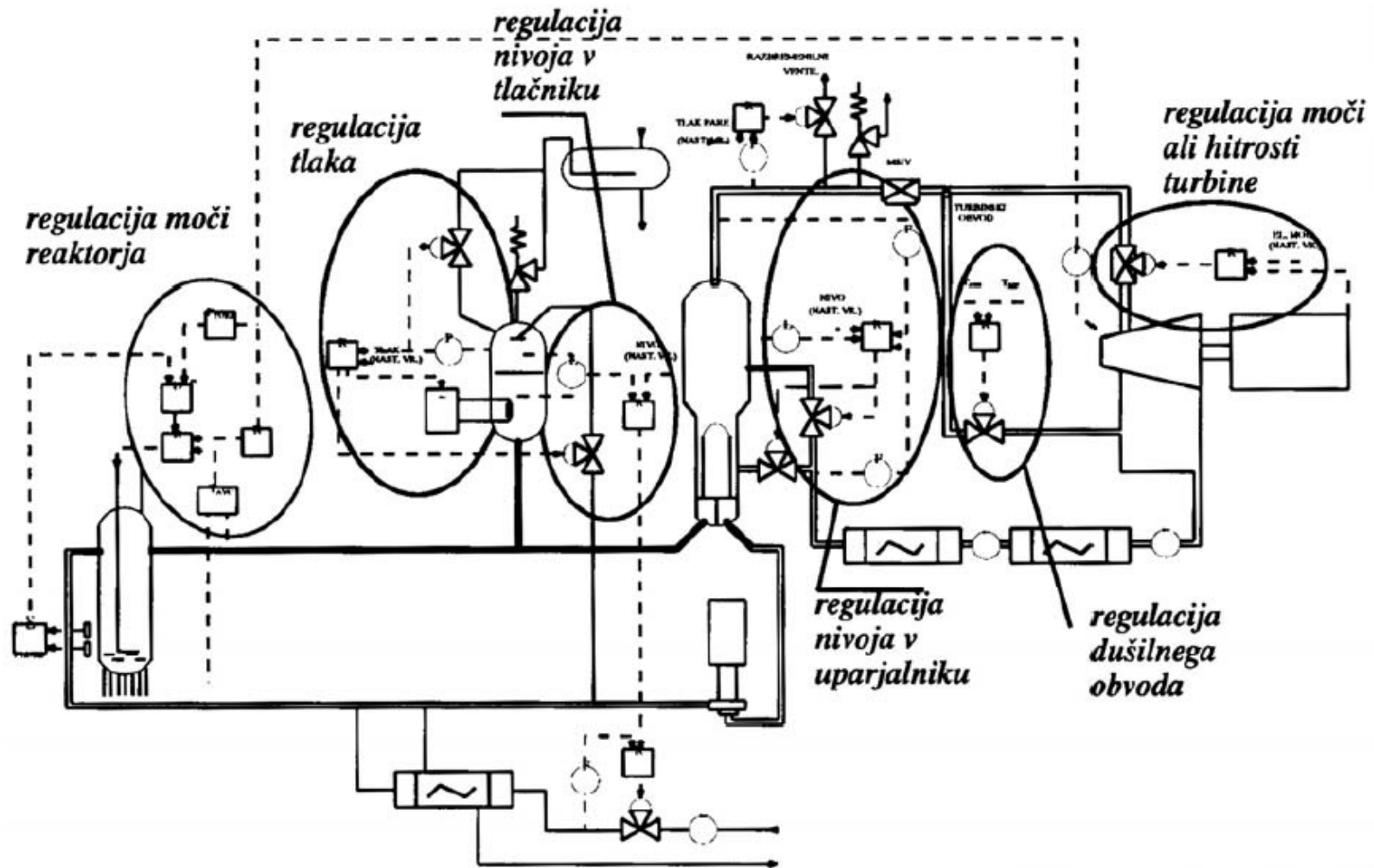
# REGULACIJE V JE

- tlačnovodni reaktor inherentno stabilen
- načeloma bi lahko deloval le z regulatorjem delovne moči generatorja
- višja moč ... novo stacionarno stanje bi bilo pri nižji povp. temperaturi primarnega hladila
- znižala bi se tudi prostornina hladila in tlak v primarnem sistemu

# REGULACIJE V JE

- velike spremembe nedopustne
- nizek tlak → kriza vrenja
- visok tlak → grožnja celovitosti primar. sistema
- nezaželenne spremembe parametrov  
primarnega kroga preprečimo z ustreznimi  
regulacijskimi sistemi

# REGULACIJSKI SISTEMI

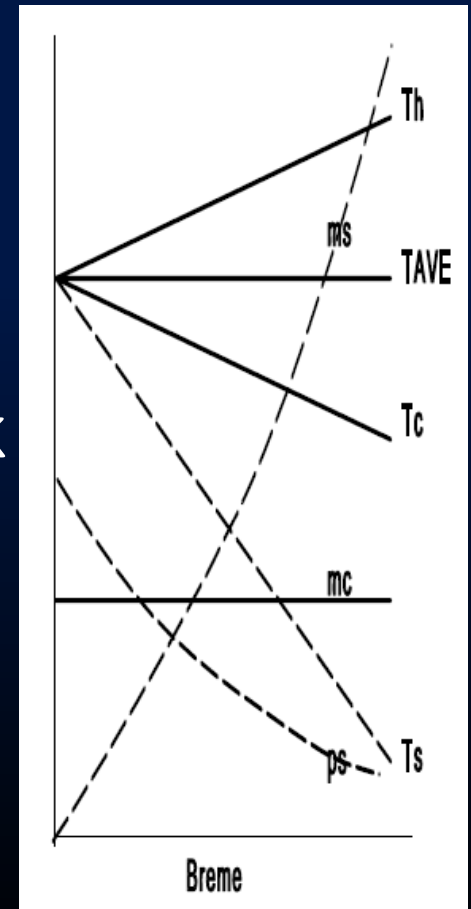


# SISTEM ZA REGULACIJO POVPREČNE TEMPER. PRIMARNEGA HLADILA

- skrbi, da povp. temperatura primarnega hladila  $T_{ave}$  narašča z naraščajočo močjo generatorja
- v NEK je želena  $T_{ave}$  od 291,67 °C do 305,9 °C, ko turbinska moč narašča od 0 do 100 %
- sistem vzdržuje povprečno temperaturo z uravnavanjem lege regulacijskih svežnjev
- ta program je kompromis med  $T_{ave} = \text{konst.}$  in konst. tlakom pare na sekundarni strani ( $p_s$ )

$$T_{ave} = \text{konstantna}$$

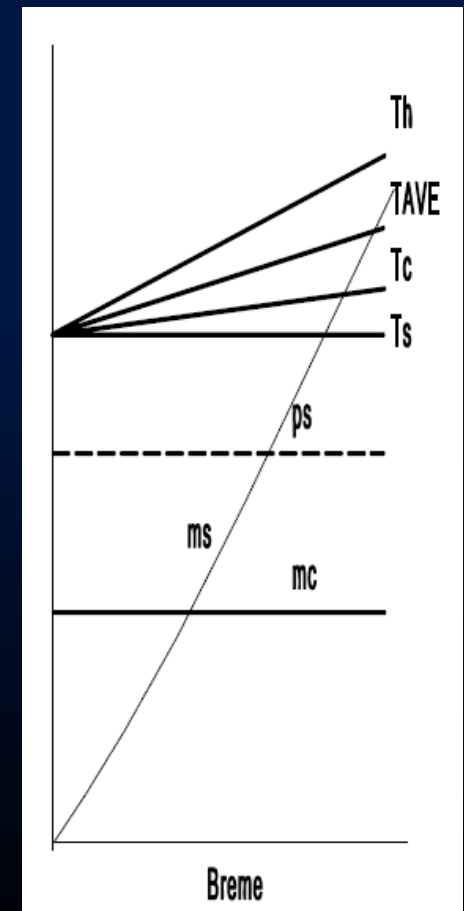
- povečanje moči ... sistem se stabilizira na višji reaktorski moči
- ne rabimo reg. svežnjev
- pomanjkljivost: temperatura in tlak pare se znižata → nižji izkoristek ter velika in draga turbina





$$p_s = \text{konstanten}$$

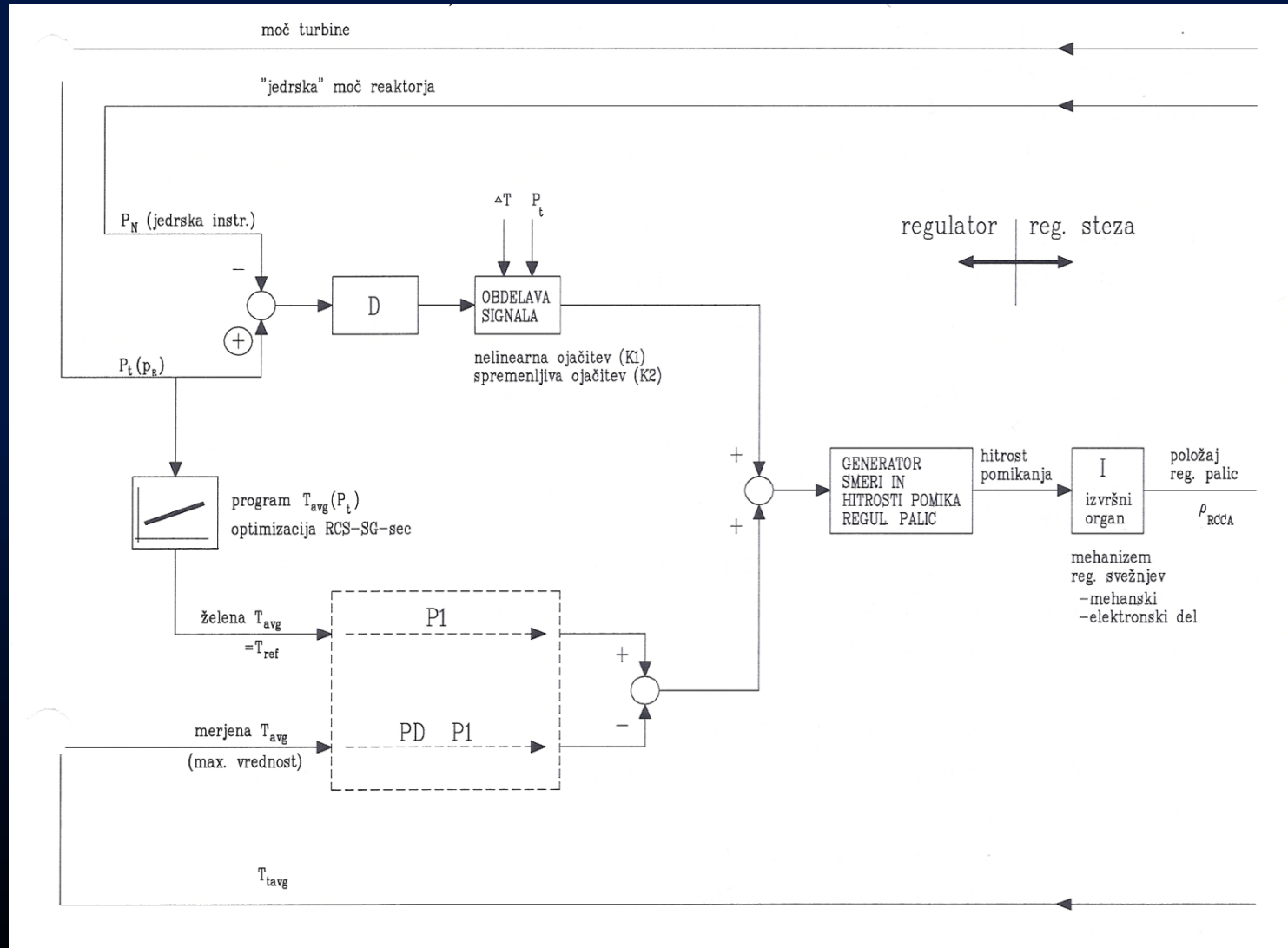
- optimalen za opremo na sekundarni strani
- moč sorazmerna pretoku pare
- pomanjkljivost:  $T_{ave}$  bi se močno spreminjal  $\rightarrow$  velike spremembe reaktivnosti, velik tlačnik in veliki problemi z regulacijo nivoja in tlaka



# $T_{ave}$ Z MOČJO NARAŠČA

- spremembo položaja reg. svežnjev določa razlika med merjeno in želeno  $T_{ave}$
- želena  $T_{ave}$  je določena iz podatka o moči turbine
- hitrost odziva izboljšamo z merjenjem nevtronskega fluksa, ki predstavlja jedrsko moč

# $T_{ave}$ Z MOČJO NARAŠČA



# SISTEM ZA ODVAJANJE PARE

- ob razbremenitvi elektrarne preusmerimo tok pare neposredno v kondenzator
- omejimo porast tlaka v primarnem sistemu
- projektirano iz 100 % na 5 % (lastna raba) brez ustavitve reaktorja (dejansko iz 75 %)
- pri zagonu do sinhronizacije z omrežjem
- pri ohlajanju do parametrov, ki omogočajo vključitev sistema za odvajanje zaostale toplote

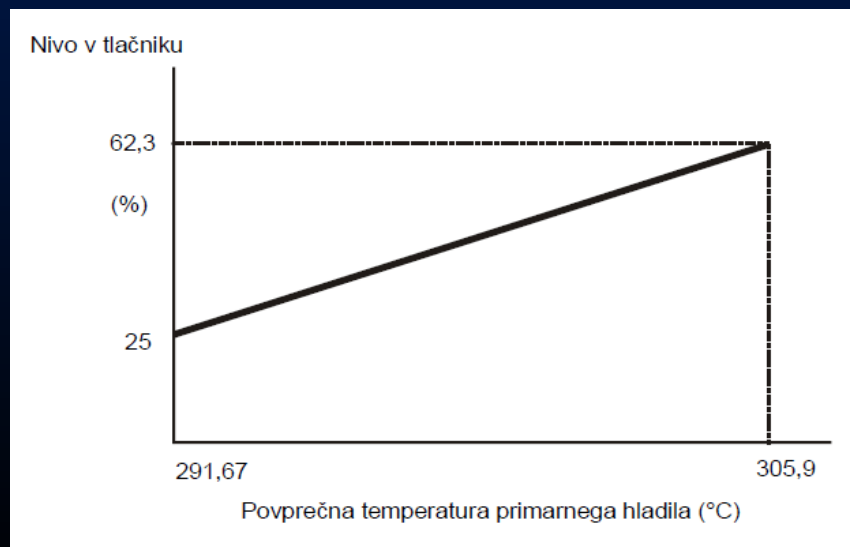
# SISTEM ZA REGULACIJO TLAKA

- v NEK vzdržujemo tlak  $157,1 \text{ kp/cm}^2$  ( $\approx 154 \text{ bar}$ )
- regulacijo tlaka v primarnem sistemu lajšajo inherentne lastnosti (ob razbremenitvi se zviša nivo vode  $\rightarrow$  stisne parni mehur  $\rightarrow$  kondenzacija  $\rightarrow$  nižji tlak, obratno pri povečanju moči)
- regulacijski sistem te procese pospešuje
- prhe
- razbremenilni ventili tlačnika
- grelniki

# SISTEM ZA REGULACIJO NIVOJA V TLAČNIKU

- nivo vode v tlačniku se linearno spreminja od 25 do 62,3 % pri spremembi moči od 0 do 100 %
- zgornja meja prepreči vodni udar na razbremenilne ventile, spodnja pa zagotavlja uspešno vzdrževanje tlaka

- nivo uravnavamo z dotokom vode v primarni sistem



# SISTEM ZA REGULACIJO NIVOJA V UPARJALNIKU

- referenčni nivo je pri vseh močeh 69,3 %
- v stac. stanju sta masna pretoka napajalne vode in pare enaka → nivo se ne spreminja
- previsok nivo vode poviša vlažnost pare
- uparjalnik je ponor toplote: minimalen nivo vode mora zagotavljati dovolj časa za ustavitev reaktorja in turbine
- regulacija se vrši prek dveh ventilov

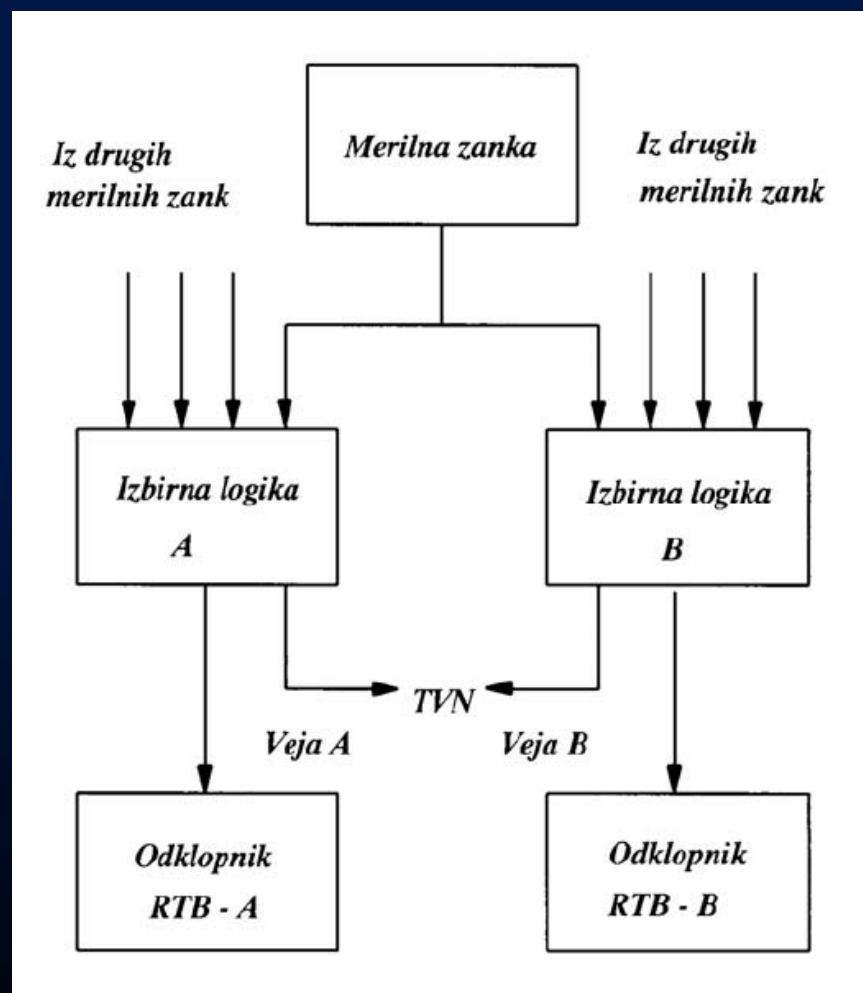
# VAROVALNI SISTEM

- odkriva nenormalne razmere
- proži posege za omejevanje hitrosti sproščanja energije iz sredice
- proži varnostne sisteme
- proži izolacijo možnih poti za sproščanje radioaktivnosti skozi zadrževalni hram



# VAROVALNI SISTEM

- redundanca
- koincidenčna logika  
m od n



# HVALA

## VIRI:

- Svilar R., Koželj M., Regulacijska tehnika, revizija 4, TJEM10\_FRE.doc, ICJT, Ljubljana, marec 2010
- več avtorjev, Osnove tehnologije jedrskih elektrarn, Učno gradivo, ICJT, Ljubljana, avgust 2005