

A. VEHAUC, Z. ZARIĆ  
Institut "Boris Kidrič",  
Vinča

REFERAT

UTICAJ PROMENE POLAZNIH USLOVA NA PREDVIDJANJE  
RASPROSTIRANJA PERJANICA RASHLADNIH TORNJEVA  
NUKLEARNE ELEKTRANE

SADRŽAJ - U radu se razmatra kvantitativni uticaj promene polaznih uslova na predviđanje rasprostiranja perjanica energetskih rashladnih tornjeva. Pod polaznim uslovima podrazumeva se polazna brzina i temperatura perjanice, kao i polazne vrednosti koncentracija vodenih kapljica u perjanici. Polazni uslovi zavise od rada nuklearne elektrane i izražavaju osobine rashladnih tornjeva pri jednakim meteorološkim - aerološkim uslovima.

ABSTRACT - The paper deals with quantitative contribution of variations of starting conditions to cooling tower plume predictions. The starting conditions are: plume velocity and temperature and concentration of water drops in the plume at the cooling tower outlet. For the same thermal discharge and meteo-aerological conditions, starting conditions are given by characteristics of cooling towers.

#### 1. UVOD

Savremene nuklearne elektrane predaju okolini oko 2/3 proizvedene toplotne snage u reaktoru preko sistema hladjenja. Vlažni rashladni tornjevi u povratnom sistemu hladjenja termoelektrane ostvaruju predaju te toplote okolnoj atmosferi konvekcijom i isparavanjem malog procenta rashladne vode. Vazduh koji učestvuje u procesu i dolazi u direktan kontakt s rashladnom vodom u unutrašnjosti rashladnog tornja na taj način se zagreva i zasićuje vodenom parom. Prolazeći kroz rashladni toranj, vazduh povlači sa sobom i jedan broj vodenih kapi različitog prečnika, dok jedan deo sitnih kapi može nastati i kondenzacijom vodene pare u struji zasićenog vlažnog vazduha. Prisustvo kapi u struji vazduha koji napušta toranj čini tu vazдушnu struju vidljivom, pa je nazivamo perjanicom rashladnih tornjeva. U ovom radu perjanica označava samo ovaj vidljivi deo mlaza vlažnog vazduha, mada se u literaturi često sreće i šire

---

značenje, po kome se ceo mlaz naziva perjanica, a deo sa vodenim kapljicama - vidljiva perjanica.

Perjanica je uglavnom odgovorna za uticaj rashladnih tornjeva na širu okolinu /1/. Dugačke, relativno niske perjanice mogu promenom lokalnih meteoroloških uslova, nailaskom na teren višeg nadmorskog nivoa ili sopstvenim širenjem da dosegnu do tla, izazivajući lokalnu maglu, vlaženje ili čak zaledjivanje površina u hladnijim godišnjim dobima. Rasprostiranje perjanice i njene karakteristike zavise od aeroloških uslova, tj. rasporeda brzina vetra (U), temperature (TE), relativne vlažnosti vazduha ( $\phi$ ) i naravno, barometarskog pritiska (P) sa visinom i polaznih uslova - početne brzine (WPO) i temperature (TPO) perjanice i koncentracije sitnih (QCO) i krupnih (QHO) vodenih kapi pri izlasku iz rashladnog tornja. Polazni uslovi zavise od meteoroloških uslova s jedne strane, od snage i uslova rada termoelektrane s druge strane, a s treće strane od vrste i karakteristika rashladnih tornjeva. Prema tome, poznavajući kvalitativno i kvantitativno uticaj polaznih uslova na rasprostiranje i karakteristike perjanice, možemo da vršimo izbor tornjeva s obzirom na njihov uticaj na okolinu ili da utvrdimo neophodne podatke za njihov razvoj. Ispitivanje ovog uticaja na konkretnom primeru pruža mogućnost utvrdjivanja i osetljivosti modela predvidjanja ponašanja perjanice na tačnost, odnosno variranje polaznih podataka.

## 2. PREDVIDJANJE RASPROSTIRANJA PERJANICE MATEMATICKIM MODELOM

Matematički model perjanice rashladnih tornjeva polazi od zakona održanja horizontalnog i vertikalnog momenta, energije i mase, kao kod /2, 3/. U jednačini kontinuiteta, pri opisivanju uvlačenja okolnog vazduha, koristi se relacija koju predlaže G.Ooms /4/, čime je izbegnuta podela atmosferskih uslova na "tiho" i "vetrovito", kao u /2, 3, 5/. Sistem jednačina programiran je za numeričko rešavanje na digitalnom računaru i primenjen na NE Krško /6/. U najnovijoj verziji matematičkog modela perjanice izvršena je reformulacija osnovnih jednačina, u relacijama za promenu koncentracije vodenih kapi uveden član koji označava konverziju sitnih kapi u kišne (prema Kessleru /5/) i uključena resaturacija perjanice isparavanjem vodenih kapi.

Za sada u svetu ima malo objavljenih podataka obuhvatnijih merenja perjanica rashladnih tornjeva u prirodnim uslovima. Model je primenjen na rashladni toranj sa prirodnim strujanjem vazduha u termoelektrani Lünen u SR Nemačkoj, gde su vršena intenzivna merenja radiosondama i fotografisane perjanice u novembru i decembru 1972. godine. Koristeći objavljene podatke /7/, uporedjeni su rezultati predviđanja rasprostiranja perjanica našim modelom sa podacima dobijenim merenjima i rezultatima predviđanja nekim drugim poznatim modelima. Kao primer uzeto je merenje od 30. novembra 1972. godine. Predviđanje rasprostiranja perjanice našim modelom potpuno odgovara snimljenom profilu perjanice (sl.1.A) pri termičkom opterećenju od 405 MW i koncentraciji sitnih vodenih kapi  $QS_0=0,0001$  kg/kg. Od stranih modela dobro slaganje pokazao je model Winiarski-Frick /7/, dok model Hanna /5/ dobro predviđa trajektoriju (srednju liniju) perjanice, ali sa dvostruko dužim vidljivim delom.

### 3. UTICAJ POLAZNIH USLOVA NA RAZVIJANJE PERJANICE

Polazni uslovi za perjanicu jednaki su uslovima na izlazu vazduha iz rashladnih tornjeva i zavise kako od parametara ulaznog vazduha, tako i od karakteristika samih tornjeva. Pri jednakim termičkim snagama i meteorološkim uslovima, polazni uslovi perjanica različitih rashladnih tornjeva mogu biti različiti u zavisnosti od konstrukcije i dimenzija tornjeva, otpora strujanju vazduha u tornju, izvedenih eliminatora kapljica itd. Dakle, perjanice rashladnih tornjeva određene termičke snage u opštem slučaju razlikuju se na startu po temperaturama i brzinama i koncentracijama vodenih kapi koje u vazdušnoj struji napuštaju toranj. Pri tome su za procese u perjanici naročito značajne koncentracije sitnih kapi (prečnika ispod  $50 \mu\text{m}$ ) koje uglavnom čine perjanicu vidljivom i isparavanjem zasićuju vazduh u perjanici vodenom parom. Uticaj polaznih uslova na razvijanje i krajnje domete perjanice mogu se kvalitativno i kvantitativno najbolje utvrditi merenjima na terenu, ali su takva merenja veoma skupa, pa se variranjem polaznih uslova u pouzdanom matematičkom modelu perjanice može odrediti pomenuti uticaj na predviđanje rasprostiranja perjanica rashladnih tornjeva na zadovoljavajući način. Polazeći od proračuna koji daje dobro predviđanje rasprostiranja perjanice (sl.1.A) u konkretnom slučaju vršili smo variranje polaznih uslova pri konstantnom termičkom opterećenju

---

tornja. Prema tome, perjanica zadržava istu trajektoriju, ali menja dužinu, s tim što je perjanica duža ako je polazna koncentracija sitnih kapi veća. Takodje, perjanica je duža ukoliko je polazna brzina manja sa odgovarajućom višom vrednošću polazne temperature i obratno, kraća je ukoliko je polazna brzina veća, tj. odgovarajuća polazna temperatura perjanica niža (sl.2). Povećanje termičke snage sa 405 MW (što predstavlja 90% maksimalne termičke snage za dati toranj) na maksimalnu snagu od 450 MW, trajektorija je neznatno viša, ali je duža, što je takodje prikazano na slici 2.

Aerološki uslovi sa svoje strane, znatno utiču na rasprostiranje perjanice. Interesantno je utvrditi pri kakvim je aerološkim uslovima uticaj polaznih uslova izrazitiji. Zato smo, pored originalnih aeroloških uslova, uveli i varijante: I. - sa oštrijim padom temperature po visini od vrha tornja,  $(\Delta T/\Delta z) = -0,03^{\circ}\text{K/m}$ , (slika 1.B), II. - sa blažim padom temperature po visini od vrha tornja,  $(\Delta T/\Delta z) = -0,01^{\circ}\text{K/m}$ , (slika 1.B), III. - sa brzinama vetra 50% od originalnih (slika 1.C) i IV. - sa brzinama vetra 20% od originalnih (slika 1.C). Na slici 2. dati su rezultati proračuna trajektorija perjanica za originalne polazne uslove i date varijante aeroloških uslova. Smanjivanje brzine vetra znatno utiče na izdizanje perjanice (u konkretnom slučaju, na rastojanju horizontalnog dometa perjanice pri originalnim aerološkim uslovima, trajektorija perjanice ima oko 5 puta veću visinu pri brzinama vetra 20% od originalnih, odnosno oko 2 puta veću visinu pri brzinama vetra 50% od originalnih), dok promena gradijenta temperature utiče samo na dužinu trajektorije perjanice (pri čemu, oštiri pad temperature sa visinom produžuje perjanicu u horizontalnom pravcu, a blaži pad temperature je skraćuje). Ovim varijantama dodata je i varijanta V sa pretpostavljenom visokom relativnom vlažnošću atmosfere ( $\phi = 95\%$ ) (slika 2), pri čemu se prostiranje perjanice u horizontalnom pravcu povećalo čak oko 20 puta kod polaznih koncentracija  $Q_{CO} = 0,001 \text{ kg/kg}$  odnosno oko 27 puta kod polaznih koncentracija  $Q_{CO} = 0,0001 \text{ kg/kg}$ , sa neznatnim izdizanjem trajektorije. Pri tako dugačkim perjanicama (varijanta V) uticaj promene koncentracije vodenih kapi na izlazu iz tornja na dužinu perjanice je beznačajan.

Razmatralismo, pored toga, relativne promene horizontalnog dometa perjanice za jednake promene polaznih uslova, pri različitim aerološkim uslovima, kod termičkog opterećenja tornja od 405 MW. Na

slici 3. date su relativne promene horizontalnog dometa usled promene: A - polazne brzine, B - polazne temperature i C - polazne vrednosti koncentracije sitnih kapi. Opšti je zaključak da ista promena polaznih uslova više deluje na horizontalni domet kraćih perjanica. U konkretnom slučaju, promene polazne brzine za  $\pm 1$  m/s približno odgovaraju promenama polaznih temperatura od  $\pm 5^{\circ}\text{K}$ , pri čemu promene ne prelaze  $\pm 50\%$  vrednosti horizontalnih dometa sa neizmenjenim polaznim parametrima za date aerološke uslove. Promena polaznih koncentracija sitnih kapi od 0,0001 kg/kg na 0,001 kg/kg za različite varijante aeroloških uslova produžuju perjanice od 15% do 40%, sem kog veoma dugih perjanica (varijanta V), gde je procenat povećanja sasvim mali.

Ova razmatranja su naročito bitna kod izbora rashladnih tornjeva za neku nuklearnu elektranu određene snage s obzirom na njihov uticaj na okolinu. Pri istom termičkom opterećenju, rashladni tornjevi različitih karakteristika daju različite parove vrednosti WPO i TPO na svom izlazu, a samim tim imaju i različit uticaj na okolinu preko perjanice. Uticaj istih parametara na recirkulaciju vazduha, tj. na parametre vazduha na ulazu u toranj je razmatran u nekim ranijim radovima /8, 9/.

#### 4. ZAKLJUČAK

Uticaj polaznih parametara perjanice rashladnih tornjeva - brzine, temperature i koncentracije vodenih kapi, je osetan kod kratkih perjanica (do 300 m), a znatno manje izražen kod perjanica srednjih dužina (300 m do 900 m).

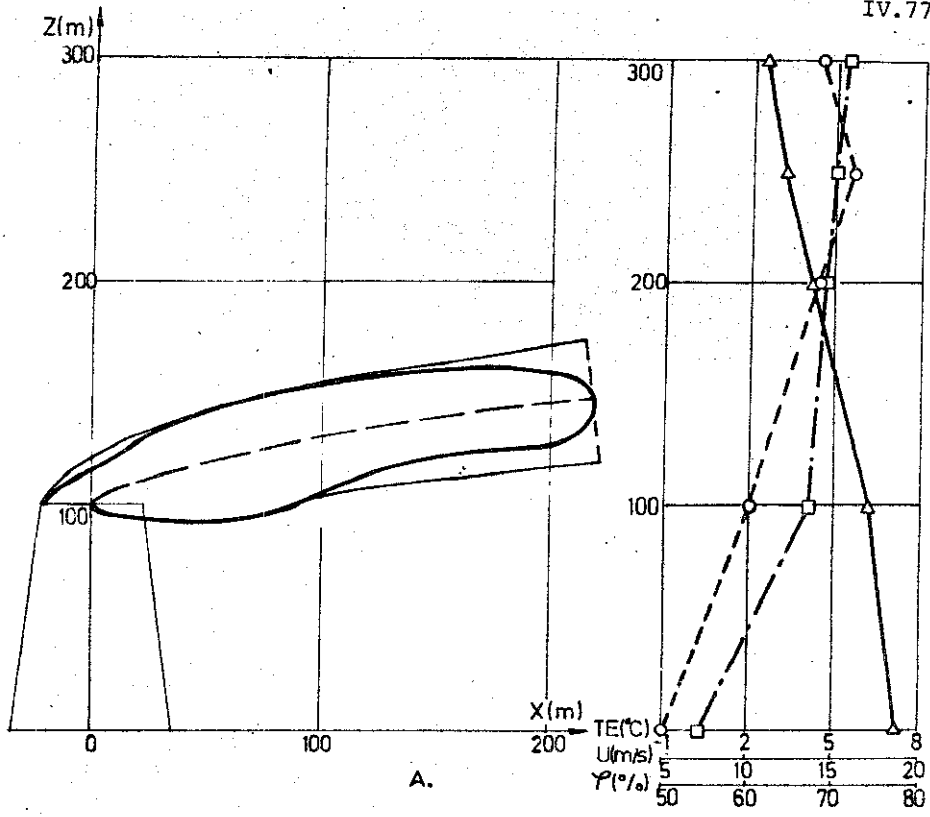
Smanjenje koncentracije vodenih kapi na izlazu iz rashladnih tornjeva poželjno je ne samo zbog smanjenja precipitacije ispadanjem kišnih kapi iz perjanice, već i zbog smanjenja dužine (vidljivog dela) perjanice.

Pri istim termičkim opterećenjima i aerološkim uslovima, prema predviđanju matematičkog modela, perjanice imaju određenu trajektoriju, pri čemu su trajektorije perjanice sa nižim polaznim vrednostima temperature kraće.

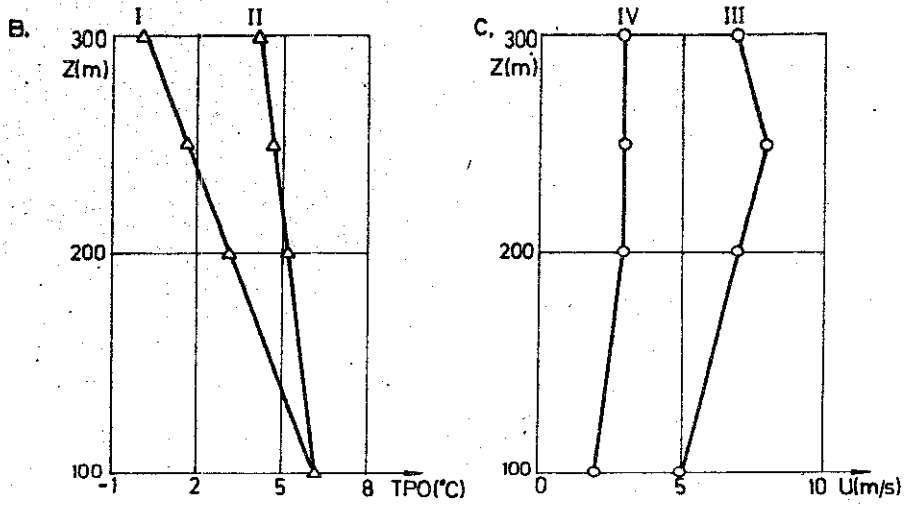
#### LITERATURA

1. A. Vekauc, Z. Zarić: "Uticaj povratnog sistema hladjenja termoelektrana na okolinu", IBK-LTFT-57, 1976.

2. N.Ninić, Z.Zarić, F.Test: "Predvidjanje ponašanja oblaka iz rashladnih tornjeva", XVIII Konf.ETAN-a, 1974.
  3. S.R.Hanna: "Rise and Condensation of Large Cooling Tower Plumes" J. of Applied Meteor., August 1972.
  4. G.Ooms: "A New Method for Calculation of the Plume Path of Gases Emitted by a Stack", Atmos.Environ., Vol.6, 1972.
  5. S.R.Hanna: "Predicted and Observed Cooling Tower Plume Rise and Visible Plume Length at The John E.Amos Power Plant", ADTL Cont. File No.75/21, November 1975.
  6. Z.Zarić, F.Test, N.Ninić, A.Vehauc: "Uticaj rashladnih tornjeva na okolinu na lokaciji NE Krško", Studija za "Elektroprivredu"- Zagreb i "Savske elektrane" - Ljubljana, 1974.
  7. Argonne Lab.: "Progress Report on Atmospheric Effects of Evaporative Cooling Systems", August 1 - October 31, 1976.
  8. "Cooling Tower Environment - 1974", Proc.of the Symp. at the Univer. of Maryland, 1975.
  9. A.Vehauc: "Uopštavanje rezultata merenja i analiza recirkulacije vazduha u kompleksu rashladnih tornjeva", XX Konf.ETAN-a, 1976.
-



A.



Slika . 1.

