

N.NINIĆ, Z.ZARIĆ
 Institut "Boris Kidrič",
 Vinča

REFERAT

MODELIRANJE BOČNOG DUBINSKOG IZLIVA
 PRI PROTOČNOM HLADJENJU NUKLEARNIH ELEKTRANA

SADRŽAJ - U prvom delu rada daje se kratak osvrt na mogućnosti matematičkog modeliranja strujnih polja u oblasti dubinskih izliva tople vode u reku.

Za rešenje konkretnog problema bočnog izliva izabran je metod zonskog modeliranja cilindričnog mlaza i prilagodjen za bateriju mlazeva. Data je grafička ilustracija rezultata.

ABSTRACT - The paper is dealing with possibilities of mathematical modelling of submerged jets in cross flow.

For the case of the actual waste heat disposal problem, the integral zonal approach is accepted. Also, the graphical representation of the results for the side-battery of jets has been given.

1. UVOD

Mogućnosti tekuće vode kao prijemnika otpadne toplote određene su maksimalno dozvoljivim poremećajem temperaturnog i strujnog polja, budući da se prijemom toplote remeti vodoprivredni i ekološki kvalitet vodotoka. Nažalost ovaj kvalitet se ne može izraziti jednostavno, jer zavisi od hidrološke i biološke specifičnosti lokacije /1, 2/.

Očita je potreba za kompromisnim rešenjem između tehničkih zahteva za niskotemperaturnim i jeftinim hladjenjem sa jedne i kompleksnog narušavanja kvaliteta vodotoka s druge strane. Kako je osnova za procenu narušavanja kvaliteta u ovom slučaju temperaturno i brzinsko polje, to proizilazi da je fizičko i matematičko modeliranje zone izliva neophodno za maksimalno uklapanje nuklearne elektrane u biološki lanac okoline i u vodoprivredu regije.

Cilj ovog rada je da se na osnovu sadašnjeg stanja u oblasti predviđanja poremećaja u reci, a za definisan konkretan

problem, izvrši izbor i daju osnovni rezultati izabranih metoda analize.

2. MOGUĆNOSTI DUBINSKOG IZLIVA I METODI ANALIZE

Poremećaj u vodotoku izazvan izlivom zavisi za datu količinu toplote od tipa izliva tj. da li je površinski ili dubinski. Dubinski izlivi u odnosu na površinske imaju kao osnovnu odliku intenzivniji proces mešanja sa svima što ovo prati: nižom temperaturom površine vode, većom dužinom regeneracije prijemnog kapaciteta vodotoka, većom mogućnošću ugrožavanja flore dna, ali sa mogućnošću ostvarivanja povoljnijeg koridora za ribe, manjim poremećajem plovidbene funkcije vodotoka, manjom količinom ishlapljene tečnosti i daleko manjom zonom mešanja.

Osnovne izvedbene mogućnosti podvodnog izliva su: bočni cilindrični izliv, cilindrični izliv sa dna, baterija bočnih izliva, bočni izliv kroz uzdužni prorez i poprečna baterija mlazeva sa dna. Unutar svake od ovih varijanti mogu se birati uglovi osa mlazeva, broj mlazeva u bateriji (a time i izlazne brzine i početni prečnici mlazeva).

S obzirom da je zona izliva strujno vrlo složena danas se razvija više fizičkih i matematičkih prilaza rešavanju problema /3, 4, 5/.

Proces mešanja izlivena i okolne vode prilikom izliva određen je u osnovi jednačinama bilansa energije, mase, impulsa i stanja. Međutim, energetske i impulsne jednačine sadrže članove koji obuhvataju efekte turbulentne difuzije, pa je potrebno posebno turbulentno zatvaranje sistema. Ovo je, pak, za raznolike uslove širok područja izliv prilično nesigurno učiniti, barem sa jednom relacijom. Druga je krupna teškoća rešavanja sistema definisanje graničnih uslova, posebno na otvorenim granicama unutar tečnosti.

Ako je izliv trodimenzionalan i ako se proračunom želi obuhvatiti i tzv. dalja zona, onda potrebna mašinska memorija postaje problem i za velike računare.

U pogledu načina uvodjenja dodatnih uprošćenja najdalje se otišlo sa takozvanim integralnim zonskim modelima izliva. Po

ovome postupku zona izliva se uslovno razbija na delove koji se razlikuju po efektima koji preovladjuju u njima, što i omogućava uvodjenje uprošćenja. U okviru "bliskog polja" definisanog kao prostor, gde se turbulencija i povlačenje okolne vode indukuju samim kretanjem mlaza, razlikujemo sledeće zone:

1. Zona izobražavanja (formiranja poprečnog profila mlaza).
2. Zona razvijenog kretanja mlaza.
3. Zona sudara sa površinskim slojem i prelaza mlaza u površinski.

Kod integralnih zonskih modela do promene stanja u zoni izobražavanja mlaza ne dolazi se integracijom već se podaci o konačnim promenama u tome delu strujanja uzimaju iz eksperimenata /6, 7/, korelisanih sledećih bezdimenzijskim parametrima:

$$\text{Froudeovim brojem: } F = U_0 / (g \cdot L \cdot \Delta \rho_0 / \rho_a)^{1/2},$$

$$\text{tzv. parametrom razredjenja: } T = \Delta \rho_0 / L (-d\rho_a / dZ),$$

$$\text{i odnosom brzina okolne vode i mlaza: } K = U_0 / U_a$$

te početnim uglom prema vertikali ϕ_{00} i početnim uglom prema smeru strujanja okolne vode θ_{00}^* . Zavisnosti od Reynoldsova broja nema jer je tok turbulentan, svi transportni mehanizmi su turbulentnoga tipa.

Rezultati eksperimenata nažalost ne pokrivaju celu oblast promene bezdimenzijskih parametara. Medjutim, u pokrivenoj oblasti eksperimenti opravdavaju neke dodatne pretpostavke za sledeću zonu razvoja mlaza.

Na osnovu dosadašnjega eksperimentalnog iskustva /3, 8/ može se uzeti da su uspostavljeni poprečni profili gausovskog tipa sa tom pretpostavkom ide se na diferencijalne jednačine mlaza ove zone i na linijsku integraciju duž ose mlaza. Druga je implicitna pretpostavka da je apriori poznata kvalitativna slika strujanja. Ovde ističemo da usvojena pretpostavka o tipu poprečne distribucije utiče (najviše) na izbor koeficijenata interakcije mlaza sa okolnom tečnošću stoga što njihova brojčana vrednost zavisi od distribucije na koju su normirani.

* Eksperimentalni podaci postoje samo za $\theta_{00} = 90^\circ$.

Konkretan problem s kojim smo bili suočeni je modeliranje bočnog cilindričnog mlaza u reci sa približno homogenim rasporedom brzine. Sile kojima je mlaz izložen su uzgonska, zatim sila upravna na mlaz koja potiče od hidrodinamičkog otpora mlaza upravnoj komponenti okolne struje i sila koju izaziva priliv impulsa zbog prodora čestica okolne struje u prostor mlaza.

Brzina ovoga priliva, koji figuriše i u bilansu mase, definisana je koeficijentom mešanja α , a sila hidrodinamičkog otpora koeficijentom C_d , definisanim u sledećim jednačinama. Bilans mase glasi:

$$\frac{d}{ds} |b^2(2U_a \cos\theta + U)| = 2\alpha b(U_a^2 \sin^2\theta + U^2)^{1/2} \quad (1)$$

Leva strana je rezultat integracije po poprečnom preseku brzinskog profila formiranog u prethodnoj zoni izobražavanja /7/:

$$U^*(r,s) = U_a \cos\theta(s) + U(s) \cdot e^{-\frac{r^2}{b^2(s)}} \quad (2)$$

Desna strana (1) daje odgovarajući priliv mase okolne tečnosti koji je uzet kao proporcionalan koeficijentu mešanja α i modula vektora razlike brzina centra mlaza i okolne tečnosti, a na rastojanju od ose jednakom parametru distribucije b .

Jednačina bilansa impulsa u nizvodnom smeru je:

$$\frac{d}{ds} \left| \frac{b^2}{2} (2U_a \cos\theta + U)^2 \cos\theta \right| = 2\alpha b U_a (U_a^2 \sin^2\theta + U^2)^{1/2} + C_d \frac{\sqrt{2}}{\pi} U_a^2 b^2 \sin^3\theta \quad (3)$$

Leva strana je rezultat poprečne integracije izraza $\rho^* U^*(U^* \cos\theta)$ uz približenje o nestišljivosti tečnosti*; prvi član na desnoj strani je priliv impulsa mešanjem, a drugi član otpor poprečnoj komponenti brzine okolne tečnosti. Jednačina bilansa impulsa u vertikalnom pravcu (4) nema član priliva impulsa, ali ima uzgonsku silu, dok analogna jednačina za poprečni pravac kretanja (5) ima samo član hidrodinamičkog otpora:

* U svim jednačinama, osim u izrazu za uzgonsku silu i za "defekt gustine" (vidi 6). Aproksimacija poznata kao Boussinesq-ova.

$$\frac{d}{ds} \left| \frac{b^2}{2} (2U_a \cos\theta + U)^2 \cos\phi \right| = gb^2 \frac{\rho_a - \rho}{\rho_a} - C_d \frac{1}{\pi} U_a^2 b^2 \sin^2\theta \cos\theta \cos\sigma \quad (4)$$

$$\frac{d}{ds} \left| \frac{b^2}{2} (2U_a \cos\theta + U)^2 \cos\epsilon \right| = -C_d \frac{1}{\pi} U_a^2 b^2 \sin^2\theta \quad (5)$$

U energetskom bilansu se može zanemariti viskozna i turbulentna disipacija. Tako se sve svodi na održanje ukupne entalpije ili, zbog njene jednoznačne veze sa gustinom, na održanje "defekta gustine" kako se naziva u literaturi:

$$\frac{d}{ds} \int_A U^*(\rho_a - \rho^*) dA = 0 \quad (6)$$

Kao i za brzinu u^* , ovde treba za $\rho_a - \rho^*(s, r)$ smeniti izraz

$$\rho_a - \rho^*(s, r) = |\rho_a - \rho(s)| e^{-\frac{r^2}{\lambda b^2}} \quad (7)$$

gde je koeficijent rasprostiranja mlaza $\lambda=1$ samo ako se gustina jednako izobražava po preseku kao i brzina.

Zatvarajući gornji sistem jednačina sa elementarnim geometrijskim relacijama; dobijamo sistem sa $U, b, \rho, x, y, z, \theta, \epsilon, \phi$, kao nepoznatim funkcijama.

Za prevodjenje sistema diferencijalnih jednačina u oblik pogodniji za integraciju, varijable su grupisane u bezdimenzijske izraze; time je dobiven zatvoren sistem od 7 jednačina sa bezdimenzijskom promenljivom i bezdimenzijskim nepoznatim funkcijama.

Sistem je rešavan numerički Runge-Kutta metodom, Gillovom modifikacijom. U odnosu na druge Runge-Kutta varijante ovaj postupak omogućuje relativno malo zauzimanje memorije računara, a greške zaokružavanja su dobro kompenzirane.

Integracija duž ose mlaza može da se odvija nesmetano sve do onog mesta na trajektoriji (centralnoj liniji mlaza) S_{d1} kojemu odgovara prelaz u takozvanu zonu sudara sa površinom. Ovo u našem slučaju znači kada visina gornje tačke obima mlaza dodirne vodenu

površinu*. U slučaju da se radi o bateriji mlazeva - koje inače do trenutka njihovog međusobnog dodira smatramo nezavisnim - mestom početka zone sudara uzimamo onu tačku na putanji mlaza S_{d2} , kojoj odgovara međusobni dodir mlazeva ako on nastupa pre dodira površine. Za konkretne okolnosti zadatka pokazalo se da se S_{d1} i S_{d2} ne razlikuju mnogo.

Zatvarajući celokupnu ovu zonu u kontrolnu granicu, sa ulaza tečnosti mlaza (ili mlazeva, u slučaju baterije) kod S_{d1} odn. S_{d2} i sa izlazom u obliku homogenog površinskog mlaza, mogu se iz globalnih bilansa mase i impulsa ustanoviti svi ulazni parametri horizontalnog površinskog mlaza. Ovo naravno uzimajući u obzir stanje razvijenog mlaza iz poslednjeg koraka integracije prethodne zone i računajući na gausovskim profilom brzine i gustine na ulazu u zonu sudara.

Na sl.1 dato je jedno tipično rešenje; ucrtana je samo kontura mlazeva na poluprečniku $R=b \cdot 2$, distribucija temperaturne razlike i brzine u osi mlaza. Prikazan je i prelaz u horizontalni mlaz u zoni sudara s površinom, a uticaj početnog prečnika D , odnosno brzina K i F -broja može se pratiti na slikama 2 i 3.

3. POLJE PRIMENE MODELA

Polje primene modela ograničeno je zonom stabilnosti mlaza izvan koje imamo, umesto prve i druge zone, složenu strujnu sliku u obliku cilindričnog vrtloga duž baterije, između ose mlaza i dna. Do ove nestabilnosti dolazi kada je impuls koji baterija mlazeva unosi u vodu toliko da uzgon vode mlaza nije dovoljan da obezbedi stabilan razvoj mlaza. Relevantni parametri za korelisanje ovih granica za izliv u mirnu vodu su Froudeov broj i relativna dubina vode H/D ; pri tome izobraženost mlaza igra takodje ulogu.

Uslovi stabilnosti su eksperimentalno ustanovljeni za vertikalni cilindričan mlaz u mirnoj vodi, a rezultati su se kasnije pokazali važećim i za horizontalan mlaz pri dnu, takodje za mirnu

* Radius mlaza je naravno pojam uslovan. Ovde smatramo $R=b \cdot 2$ i time radiusu pripisujemo ekvivalentnu po protoku brzinu mlaza.

vodu /8/. Za slučaj mlaza sa dna u tekuću vodu, posebno za bočni mlaz, nema nikakvih eksperimentalnih podataka; oslanjanje na podatke za mirnu vodu može da nam za niže vrednosti K dá, mada dosta grubu, ocenu područja stabilnosti mlaza.

4. ZAKLJUČAK

Model je primenljiv u širokom spektru geometrijskih okolnosti izliva, zadržavajući pritom uslov da su mlazevi izbačeni u reku u poprečnoj ravni ($\theta_{00}=90^\circ$) zbog ograničenih eksperimentalnih podataka za zonu izobražavanja.

Mogućnosti usavršavanja modela vezane su pre svega za bolje obuhvatanje stvarne interakcije između mlazeva u bateriji. Interakcija naime počinje pre tačke međusobnog dodira mlazeva, a očituje se u poremećaju brzine okolne vode za sve mlazeve nizvodno od prvoga. Time koeficijenti mešanja i hidrodinamičkog otpora postaju za svaki mlaz drugačiji. Za usavršavanje ovoga modela (i uopšte integralnih modela baterije mlazeva) potrebno je izvršiti eksperimente sa baterijom i preispitati pretpostavku o turbulentnosti indukovanoj samim mlazom u zoni razvijenog strujanja.

OZNAKE

$b|m|$ - parametar distribucije definisan u (6); $b_0|m|$ - parametar distribucije na početku druge faze; C_d - koeficijent hidrodinamičkog otpora mlaza; $C_p|s/kg^\circ C|$ - specifična toplota; $D|m|$ - prečnik izlazne cevi; $g|m/s^2|$ - gravitacijsko ubrzanje; $H|m|$ - dubina izliva; $L|m|$ - karakteristična dužina; $r|m|$ - udaljenost od ose mlaza; $S|m|$ - dužina putanje mlaza; $t|s|$ - vreme; $T|^\circ C|$ - temperatura; $U|m/s|$ - nad-brzina na osi mlaza; $U^*|m/s|$ - apsolutna brzina u mlazu; $U_a|m/s|$ - brzina reke; $U_0|m/s|$ - početna brzina mlaza; $X|m|$ - koordinata duž toka; x_i - opšta koordinata; $y|m|$ - koordinata poprečno na tok; $z|m|$ - vertikalna koordinata; α - koeficijent povlačenja; $\Delta\rho_0$ - početna razlika gustine; ε - ugao (s,y); θ - ugao (s,x); θ_{00} - ugao (s,x) na početku prve faze; λ - koeficijent rasprostiranja; $\rho|kg/m^3|$ - gustina na osi mlaza; $\rho_a|kg/m^3|$ - gustina reke; ϕ - ugao (s,z); ϕ_{00} - ugao (s,z) na početku prve faze.

LITERATURA

1. "Economic comparisons of different cooling systems according to environmental constraints" Report transmitted by the Governments of Belgium and Switzerland; Seminar on environmental aspects of the cooling systems of Thermal power stations, Zurich, May 1974.
 2. F.L.Parker: "Thermal Pollution and the Environment", zbornik Industrial Pollution, 1974.
 3. G.Jirka: "Techniques for Hydrothermal Modeling", International Advanced Course Heat disposal from power Generation, August 23-28, Dubrovnik 1976.
 4. C.Zimmermann, P.Geldner: "Case studies of thermal discharges", Advanced Course Heat disposal from Power Generation, August 23-28, Dubrovnik 1976.
 5. G.Abraham: "Entrainment Solutions for jet discharge into deep water", International Advanced Course Heat Disposal from Power Generation, August 23-28, Dubrovnik 1976.
 6. Grdier R.L.: "Studies on Fluid Jets Discharging Normally into Moving Liquid", St. Anthony Falls Hyd. Lab. Tech. Paper 28, Ser. B, Univ of Minn. (1959).
 7. Fan, L.N. "Turbulent Buoyant Jets into Stratified or Flowing Ambient Fluids", California Institute of Technology, Report No. KH-R-15 (1967).
 8. G.H.Jirka: "Near Field Analysis - Shallow submerged Jet and Multiport Diffusers", Advanced Course Heat disposal from Power Generation, August 23-28, Dubrovnik 1976.
-

