

Prof.dr.inž. Zoran Zarić  
Institut "Boris Kidrič"  
Beograd  
Laboratorija za toplotnu  
fiziku i tehniku

RASPROSTIRANJE EFLUENATA IZ NUKLEARNIH ELEKTRANA  
NA MORSKOJ OBALI

1. Uvod

Radiaktivnost i veoma značajna koncentracija oslobodjene energije po jedinici zapremine, osnovne su karakteristike po kojima se procesi u jednoj nuklearnoj elektrani odlikuju od onih u klasičnim termoelektoranama. Tokom rada nuklearnog reaktora oslobadaju se veoma značajne količine radioaktivnosti. Daleko najveći deo ove radioaktivnosti ostaje zatvoren u hermetički zatvorenim gorivnim elementima i unutar reaktorskog suda, koji je višestrukim barijerama odvojen od radnog dela elektrane. Na taj način se opslužuje elektrana bez opasnosti po personal. Isluženi gorivni elementi se daljinskim upravljanjem prenose u specijalne, dobro obezbeđene bazene za odležavanje, odakle se nakon određenog vremena iznose iz elektrane na preradu ili u određena mesta za čuvanje. Ipak, određena količina radioaktivnosti izlazi iz reaktora preko ventilacionog i rashladnog sistema u vidu tečnosti i gasovitih efluenata. Opet, najveći deo ovih radioaktivnih efluenata zadržava se u sistemima za prečišćavanje i filtriranje, naknadno se tretira, hermetizira i odlaže. Mali deo, ipak, i u normalnom pogonu, prodire van postrojenja u okolinu elektrane, kroz ventilacioni dimnjak i preko tečnih efluenata.

U tečnim efluentima koji se ispuštaju iz elektrane, od značajnih radioaktivnih izotopa ima, pre svega, tricijuma (H-3), a zatim radioaktivnog joda (I-131) i cezijuma (Cs). U gasovitim efluentima od radioaktivnih izotopa nalaze se, pre svega, plemeniti gasovi, Ksenom i Kripton (Xe, Kr), a zatim radioaktivni ugljenik (C-14) i, u veoma malim količinama, radioaktivni jod (I-131). Računa se da

---

se iz jedne nuklearne elektrane od 1000 MW, sa reaktorom PWR tipa, ispušta u tečnim efluentima godišnje 50 do 300 Ci u tricijumu i 0,2 do 1 Ci u ostalim radioaktivnim izotopima. U gasovitim efluentima, pak, 2000 do 3000 Ci/god. u plemenitim gasovima, oko 8 Ci/god. u ugljenikui oko 0,05 Ci/god. u jodu. Ako se zna da 1 Ci odgovara po radioaktivnosti 1gr radijuma to sve zajedno je ekvivalentno radioaktivnosti od nekoliko kilograma radijuma godišnje.

Da bi se dobio utisak o tome da li je to mnogo ili malo, potrebno je poznavati puteve rasprostiranja ovih efluenata u okolini, stepen njihovog razredjenja na tom putu i vidove mogućih delovanja na žive organizme. Tečni efluenti rastvaraju se u vodi, koja može služiti direktno za piće, ili se kupajući se u njoj čovek direktno izlaže zračenju preko kože. Sa druge strane, vodu koriste biljke, akvaorganizmi i životinje pri čemu u njima može doći do koncentrisanja određenih radioaktivnih izotopa. Ishranom ova radioaktivnost se može uneti u čovečiji organizam. Gasoviti efluenti se, opet, mogu direktno unositi udisanjem, a mogu delovati i preko kože. Takođe se gasoviti efluenti mogu taložiti na biljke i na vodu, preko kojih opet mogu dospeti u organizam. Od bitne je važnosti i to koji radioaktivni izotop deluje na koji čovečiji organ. Tako je jedinica za merenje apsorbovane doze zračenja u čovečijem organizmu 1 rad (približno 1 rentgen). Medjutim, baš stoga što različita zračenja mogu imati različite biološke efekte na raznim organima jedinica za delovanje zračenja je 1 rem. Ova jedinica može i do 20 puta biti veća od 1 rad-a, kada se radi o zračenju koje izuzetno nepovoljno može delovati na neke osetljive organe. Preporuke u pogledu tolerantnih doza radioaktivnog zračenja na čoveku, samo od rada nuklearnih elektrana date su u Tabeli 1. Pri tome treba imati u vidu da, usled prirodne radioaktivnosti na zemlji, svaki čovek prima dozu od oko 100 mrem-a godišnje.

T a b e l a 1

Preporuke u pogledu tolerantnih doza za stanovništvo u okolini nuklearnih elektrana usled emisija radioaktivnosti iz ovih (SAD) u mrem/god

	celo telo	bilo koji organ
Tečni efluenti (I-131,Cs)	3-5	5 - 10
Plemeniti gasovi (Xe,Kr)	5	15
Radionuklidi i čestice (C-14,H-3)	-	15

Da li će stanovništvo u okolini neke nuklearne elektrane, pri gore navedenim emisijama radioaktivnih efluenata iz nje, primiti veće ili manje doze od onih preporučenih u Tabeli 1, zavisi od mnogo faktora. Ipak, najznačajniji su razblaživanje prilikom rasprostiranja u prirodnoj sredini i kritični putevi unošenja u organizam, odnosno organizmi i sredina koji služe kao prenosnici i stepen koncentrisanja radioaktivnosti u njima. Ovi elementi zavise od prirode sredine u kojoj se elektrana locira i, naravno, od njene naseljenosti. Za svaku elektranu vrše se detaljne analize rasprostiranja i kritičnih puteva unošenja i na osnovu ovih izračunavaju odgovarajuće doze za stanovništvo u celini i za najugroženijeg pojedinca, na primer za dete koje pije mleko od krave koja pase na pašnjaku najbližem elektrani. I to, ne samo u normalnom pogonu, već i u akcidentnim uslovima, sa isključenjem katastrofalnih akcidenata koji su krajnje malo verovatni.

Pored radioaktivnih delovanja od značaja su i toplotna delovanja nuklearnih elektrana na okolinu. Kao i kod svake termoelektrane potrebno je hladiti kondenzatore turbina i na taj način odvoditi otpadnu toplotu u okolinu. Ovaj problem nešto je više izražen kod današnjih nuklearnih elektrana u odnosu na termoelektrane na fosilna goriva. To uglavnom stoga što današnje nuklearne elektrane imaju nešto lošiji termodinamički stepen iskorišćenja i što su obično većeg kapaciteta iz ekonomskih razloga. Računa se da na svaki MW proizvedene električne energije odlazi 2MW otpadne toplote koju treba odvesti u okolinu. Pri tome je

ekonomski, pa i ekološki, najopravdanije primeniti protočno hladjenje kondenzatora vodom iz neke reke, jezera ili mora, ukoliko za to postoje uslovi. Ne samo da su investicije u rashladni sistem manje nego je i stepen iskorišćenja postrojenja viši, usled toga što je temperatura kondenzacije niža za 3 do 10°C u odnosu na primenu povratnog hladjenja rashladnim tornjevima. Ako se uzme da porast temperature u kondenzatoru od 3°C odgovara smanjenju stepena iskorišćenja za oko 1% vidi se da se razlika između protočnog i povratnog sistema odražava u redukciji snage elektrane reda 1 do 3%.

Uvođenje otpadne toplote rashladnom vodom iz NE u prirodni rezervoar vode dovodi do porasta temperature u bližoj i daljoj okolini od izliva, zavisno od kapaciteta rezervoara i od uslova mešanja. Temperatura je jedan od značajnih faktora od uticaja na sve životne funkcije svih oblika života u vodi. Na taj način poremećaju ambijentne temperature mogu biti kritični po životne zajednice u vodi utoliko pre što su optimalne temperature za život akvaorganizama svega za nekoliko stepeni niže, ili više, od incipijentno letalnih temperatura. Tolerantne temperature za neku određenu vrstu i uzrast zavise od absolutne temperature izlaganja, temperature aklimatizacije i vremena izlaganja. 141.

Stoga se i u odnosu na toplotno opterećenje okoline nuklearne elektrane propisuju ograničenja u odnosu na maksimalnu apsolutnu temperaturu vode, maksimalni dozvoljeni prirast temperature u odnosu na ambijentne uslove, veličinu zone povišenih temperatura tokom mešanja, itd. Da li će ova ograničenja biti zadovoljena ili ne, zavisi pre svega od prirodnih uslova za rasprostiranje tople vode i od načina kako se ona uvodi u prirodni rezervoar.

#### 2. KRITERIJUMI ZA LOCIRANJE NUKLEARNIH ELEKTRANA

Iz ovog uprošćenog izlaganja o mogućem delovanju NE na okolinu proizilaze i neki od značajnih kriterijuma za izbor određene lokacije za elektranu. Uopšteno, optimalna lokacija bi bila ona kod koje prevladaju takvi prirodni uslovi koji dovode

do minimalne interakcije elektrana - okolina, pri što manjoj gustini naseljenosti u okolini, i za što niže troškove proizvodnje energije. Pod interakcijom se podrazumeva ne samo delovanje NE na okolinu preko određenih emisija efluenata i uslova njihovog rasprostiranja, u normalnim i akcidentalnim uslovima, već i na moguće delovanje okoline na NE u smislu prouzrokovanja akcidentalnih uslova (poplave, nepogode, zemljotresi, itd.). Među najznačajnije kriterijume spadaju:

- elektroenergetski uslovi (konzum, mreža);
- demografsko-sociološki uslovi (naseljenost i struktura, privredna aktivnost i sl.);
- geološko-seizmički uslovi (trusnost tla, podloga i sl.);
- hidrometeorološko-klimatski uslovi (uslovi za dispersiju efluenata, verovatnoća elementarnih nepogoda i sl.);
- uslovi za protočno hladjenje; i
- mogućnost proširenja kapaciteta na datoj lokaciji.

U pogledu poslednja tri kriterijuma lokacije na morskoj obali imaju značajne prednosti u odnosu na lokacije dalje od obale. More ima mnogostruko veći kapacitet da bez posledica primi tečne radioaktivne efluente i toplotne efluente u odnosu na neku reku, a njihovo rasprostiranje i odgovarajuće razblaženje u moru je obično znatno efikasnije. Čak su i uslovi rasprostiranja u atmosferi obično povoljniji pošto se samo jedan deo efluenata taloži na kopnu. U vezi sa ovim na moru je obično moguće na istoj lokaciji postaviti bez posledica i više nuklearnih jedinica što ima značajnih ekonomskih i drugih prednosti.

To su ukratko osnovne prednosti koje favorizuju lokacije na obali mora, naravno ako su i ostali kriterijumi zadovoljeni. Naravno pre nego što se donese bilo kakva odluka o gradnji neophodno je sve to i dokumentovano dokazati brojkama i na osnovu pouzdanih podloga i detaljnih istraživanja. U ovom smislu od značaja su dva dokumenta, izveštaja, koje je potrebno izraditi da bi se dobila dozvola za gradnju. To su sigurnosni izveštaj i izveštaj o delovanju na okolinu (ekološka studija).

---

Prvi se radi za konkretan tip postrojenja i u njemu se analizira sigurnost svih vitalnih komponenti u raznim uslovima, ali isto tako i moguće delovanje okoline na NE u smislu elementarnih nepogoda. Drugi se velikim delom može raditi bez obzira na tip postrojenja i odnosi se na karakteristike lokacije u pogledu naseljenosti ljudima, ali i svim drugim životnim zajednicama, u pogledu prirodnih hidrometeoroloških uslova za rasprostiranje efluenata. Na osnovu ovih karakteristika daju se predviđanja o mogućem delovanju NE na okolinu u širem području radijusa oko 80km.

U ovom smislu, na primer, elektroprivreda Dalmacije započela je istraživanja na potencijalnoj lokaciji za NE Vir još 1974. god. uz učešće sva tri nuklearna instituta u zemlji, geološkog i hidrometeorološkog zavoda, kao i instituta za oceanografiju i hidrogradnju iz Splita a uz punu saradnju SO Zadar. U radu zadržaćemo se samo na nekim rezultatima dosadašnjih istraživanja mora u okolini o.Vira. Kao što je već istaknuto ova istraživanja neophodna su za predviđanje rasprostiranja radioaktivnih i toplotnih efluenata iz NE, odnosno za predviđanje primljenih doza i ocenu odgovarajućeg delovanja na sve što živi u moru i oko mora, uključujući naravno i čoveka.

### 3. Oceanografska istraživanja na lokaciji

Ova se mogu podeliti na priobalna istraživanja i istraživanja u širem regionu Virskog mora. Ovde će biti reči samo o priobalnim istraživanjima, koja su do sada radjena dok će se istraživanja nastaviti u širem regionu Virskog mora u cilju predviđanja rasprostiranja efluenata u daljem polju i ocene izmene vodnih masa u Virskom moru. Priobalna istraživanja imaju veliki značaj iz više razloga. Pre svega od uslova strujanja pri obali zavisi inicijalno razblaženje efluenata koje je veoma značajno za dalje rasprostiranje. Za jednu NE od 1000 MW, što je uobičajena veličina jedinica koje se danas grade, protok rashladjivača na izlivu u more iznosi oko 50 m<sup>3</sup>/s.

---

Ovo je protok koji se ponekad leti javlja na Savi kod Krškog. Prema iskustvima sa izvedenih izliva, faktor inicijalnog razblaženja kod dobro izvedenih izliva iznosi oko 10, što znači da na kraju inicijalnog mešanja imamo protok od oko  $500 \text{ m}^3/\text{s}$ , što je skoro srednji protok Save kod Beograda. Od uslova strujanja pri obali zavisi da li će dovoljno vode biti na raspolaganju za razblaženje mlaza i da li će usisana voda u mlaz biti sveža voda ili možda već delimično kontamirana ili zagrejana, što bi naravno umanjilo efikasnost razblaživanja. Tu se javlja i problem moguće recirkulacije, odnosno usisavanja u rashladni sistem već zagrejane vode, što može dovesti do sniženja stepena iskorišćenja postrojenja.

Strujanje u moru spada u veoma kompleksna strujanja i zavisi od mnogo faktora. Od neposrednog interesa su pravac i intenzitet struja na raznim dubinama, temperatura i slanost po dubini, kolebanje nivoa mora od plime i oseke, kao i pravac i intenzitet vetra. Pri ispitivanjima treba voditi računa da se dobije prostorna slika strujanja oko lokacije, da se dobiju dovoljno dugi nizovi sa potrebnom vremenskom rezolucijom radi adekvatne statistike, i da se dobiju reprezentativni nizovi po sezonama.

Osnovna istraživanja obavljena su u periodu leto 1975-leto 1976. u četiri sezone, pri čemu je dužina dobijenih nizova očitavanja varirala od nedelju dana do tri meseca (leto 1976). Merenja morskih struja vršena su na 11 postaja u okolini potencijalne lokacije na o.Viru, na dve i tri dubine. Ukupno je prikupljeno oko 100.000 vrednosti pravca i intenziteta struja. Merenja su vršena od strane Hidrografskog instituta ratne mornarice i Instituta za oceanografiju i ribarstvo iz Splita, a na osnovu usaglašenog programa. Statistička obrada ovog obilja podataka, na računaru vršena je u Institutu "Boris Kidrič". Po mnogo čemu ovaj program oceanografskih osmatranja najkompletniji je do sada u priobalnom području Jadrana. /2/.

Na sl. 1 prikazani su vektori struja na tri dubine u blizini lokacije za svakih pola sata tokom mesec dana. U gornjem delu dijagrama data su kolebanja nivoa mora i vektori brzine

vetra. Očigledna je neprekidna promena pravca i intenziteta struja i činjenica da se jedino odgovarajućom statističkom obradom na računaru može izvršiti adekvatna analiza ovih podataka. U prividnom haosu ovih strujanja ustvari postoji neki red. Najznačajnija strujanja proizilaze od kolebanja nivoa mora koja su periodičnog karaktera. Ova strujanja, iako potpomažu efikasnost mešanja efluenata u moru, ipak ne odnose ove efluente dalje od lokacije. Kada bi samo ona bila prisutna došlo bi do koncentracije efluenata u neposrednoj okolini lokacije pošto bi se efluenti vratili nazad, iako ne baš na isto mesto gde su izliveni. Da to nije slučaj pokazuje hodogram na sl.2. Na ovom hodogramu, za tri dubine i tri meseca osmatranja struja, rezultatni dnevni vektor struje nanosi se u nastavku vektora prethodnog dana. Vidi se da rezultatna struja po nekoliko dana ima isti smer, uglavno paralelno obali, ali da ima dana kada kao da se vrti u mestu, pa se opet rasprostire u suprotnom smeru, itd. Takodje se može videti da je strujanje prostorno pošto se hodogrami na različitim dubinama razlikuju.

Prvi cilj analize bio je da se iz rezultatnih struja izdvoje periodične komponente od plime i oseke. To je vršeno na osnovu Furijeove analize vremenskog niza uz primenu brze transformacije Furije. Rezultati su u vidu spektra ukupnog intenziteta struja prikazani na sl.3. Vide se pikovi na spektru koji odgovaraju karakterističnim poludnevnim i dnevnim komponentama plimnih struja. Slična analiza je vršena i za komponente struja duž obale i upravno na obalu pri čemu je ustanovljeno da je uticaj plimnih struja na komponentu paralelnu obali daleko izraženiji. Na osnovu ovih analiza moguće je dobiti elipse plimnih struja na različitim dubinama. Tada je moguće izvršiti filtriranje vremenskih nizova struja i iz njih izdvojiti periodične komponente od plimnih struja koje su uvek prisutne ali koje, kako je već naglašeno, ne doprinose odnošenju efluenata dalje od lokacije. U rezultatu ostaju tzv.drift struje koje su posledica raznih drugih uticaja na strujanje u moru, vetra, stratifikacije itd. Na sl.4 prikazane su drift struje za isti period na koji se odnosi i sl.1. Može se videti da su

---



ova strujanja dovoljno značajnog intenziteta u proseku, ali da ima perioda, u trajanju od dan-dva kada su ona i neznatna i kada iznenada menjaju smer. Ovi periodi malih drift struja i iznenadne promene smera drift struja kritični su za rasprostiranje efluenata, kako radioaktivnih tako i toplotnih, pošto u njima može doći do povećanja koncentracije efluenata odnosno temperature mora. Na taj način, analiza drift struja ima veoma značajnu ulogu u analizama rasprostiranja efluenata. U ovom smislu značajne su i korelacije drift struja sa vetrom koje će se raditi u daljim istraživanjima na lokaciji. Dosadašnja analiza pokazala je, međjutim, da je strujanje oko o. Vira uglavnom povoljno za rasprostiranje efluenata. Tako je ustanovljeno da je učestalost pojave kritičnih perioda u pogledu drift struja retka. Tako se intenziteti struja manji od 5 cm/s u trajanju do 4h javljaju u 30% slučajeva ali nikad u trajanju dužem od 20h. Periodi bez drift struja nisu zabeleženi, što je veoma povoljno. /2/

#### 4. Modeliranje rasprostiranja toplotnih efluenata

Oceanografska istraživanja pretstavljaju neophodan elemenat za predviđanje rasprostiranja efluenata iz elektrane odnosno za određivanje koncentracija pojedinih efluenata i porasta temperature u moru u okolini elektrane, a za razne vremenske situacije. Rasprostiranje efluenata pri tome bitno zavisi od uslova izlivanja tople vode u more. Ekonomski najopravdanije je izvoditi površinski izliv tople vode ukoliko se pri tome može očekivati povoljno razblaženje mlaza. Ukoliko ne, pristupa se drugim rešenjima izlivanja.

Analiza se, bar u prethodnim ocenama, vrši na osnovu matematičkog modeliranja. U konačnom projektovanju ovi rezultati se proveravaju i fizičkim modelima u laboratorijama. Matematički modeli zasni- vaju se na numeričkoj analizi hidrodinamike mlazeva u poprečnom strujanju. Na sl. 5 prikazani su rezultati modeliranja za površinsko izlivanje vode tople iz elektrane od 1000 MW pri porastu temperature vode u kondenzatoru za  $11,5^{\circ}\text{C}$  a za različite intenzitete strujanja u moru. Pretpostavljeno je da ne dolazi do

---

### 3.10

interakcije mlaza sa obalom i dnom i da uvek ima dovoljno vode za usisavanje u mlaz. Rezultati pokazuju da prirast temperature u moru iznad ambijentne iznosi do  $2^{\circ}\text{C}$  na rastojanjima do 1,5km, zavisno od intenziteta struje u moru. /2/.

Vidi se medjutim da je intenzitet i pravac struje od bitnog uticaja na inicijalno razblaženje mlaza. Sa druge strane, kao što se vidi na sl.1, strujanje u moru je dinamično, sa stalnim promenama pravca i intenziteta struje. Na taj način, statičko modeliranje, kao na sl.5, ima samo delimičan značaj. Stoga je primenjen dinamički model za rasprostiranje efluenata u moru razvijen u Institutu "Boris Kidrič" na osnovu iskustava u SAD /3/. Dinamičko modeliranje zasniva se na superpoziciji efekata. Inicijalno mešanje dovodi do odredjenih koncentracija na odredjenom rastojanju u okolini izliva. Struja nosi ove efluente pri čemu se oni dalje razblažuju difuzijom, taloženjem ili odvodjenjem sa površine. Na taj način se za odredjeni pravac i intenzitet struje dobijaju različite koncentracije u moru oko elektrane. Postupak se ponavlja za sve pravce i intenzitete struje tokom dužeg vremena od nekoliko dana. Pri tome se dobija superpozicija koncentracija u pojedinim tačkama prostora oko elektrane. Na sl.6 prikazani su rezultati numeričkog modeliranja prirasta temperature u okolini izliva svakih 6h tokom 42h u kojima je struja menjala pravac i intenzitet na način prikazan na donjem delu sl.6. Vidi se da se topla mrlja dinamički pomera oko izliva i da pri tome, u nepovoljnim uslovima strujanja, kada je struja malog intenziteta duže vreme, dolazi do porasta temperature i do  $3^{\circ}\text{C}$  na odredjenim rastojanjima od izliva. Na sl.7. prikazane su površine mora u okolini izliva koje su bile izložene pojedinim prirastima temperatura tokom mesec dana jula 1976 god. Vidi se da se prirast temperature od  $3^{\circ}\text{C}$  javlja izuzetno retko i da obuhvata malu površinu.

Na sl.8 prikazani su rezultati modeliranja u nepovoljnim uslovima strujanja po dubini a za razne varijante izlivanja tople vode na izliva. Interesantno je uporediti rezultate za elektranu od 1000MW sa onima za elektranu duplo većeg kapaciteta od 2000 MW. Vidi se da se izoterme na površini ne razlikuju mnogo, čak kod elektrane od 2000 MW i ne dolazi do prirasta temperatura

---

od  $3^{\circ}\text{C}$ , ali se pri tome obuhvata veća dubina mora. Sve u svemu ovi rezultati mogu poslužiti kao dobra ilustracija tvrdjenja da je kod nuklearnih elektrana na morskoj obali moguće značajno proširenje kapaciteta na istoj lokaciji bez nepovoljnih efekata na okolinu.

##### 5. Zaključci

Nuklearne elektrane ispuštaju određene emisije radioaktivnih efluenata i u normalnom pogonu, čemu treba pridodati i značajano toplotno opterećenje okoline. Opterećenje i ugroženost okoline od ovih radioaktivnih i toplotnih efluenata u značajnoj meri zavisi od njihovog rasprostiranja i razblaživanja u okolini. Ovo pak zavisi od lokalnih hidrometeoroloških uslova u atmosferi i vodama.

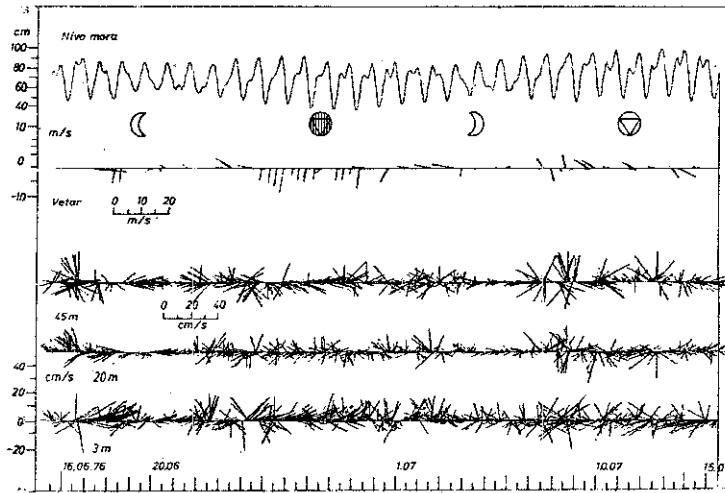
U načelu more pruža veoma povoljne uslove za razblaživanje tečnih i toplotnih efluenata i s tim u vezi za odvođenje otpadne toplote na efikasan način. Uslovi strujanja u moru veoma su kompleksni i nedovoljno iztraženi, a razlikuju se od lokacije do lokacije. Neophodna su stoga kompleksna, višegodišnja i skupa istraživanja.

U radu se iznose neki rezultati kompleksnih oceanografskih istraživanja iniciranih od Elektroprivrede Dalmacije na potencijalnoj lokaciji jedne nuklearne elektrane na o. Viru kod Zadra. Dosadašnji rezultati su veoma ohrabrujući u pogledu uslova za rasprostiranje efluenata u moru, uslova hladjenja kondenzatora i mogućnosti proširenja kapaciteta na datoj lokaciji. U radu se takodje iznose neki rezultati dinamičkog modeliranja rasprostiranja toplotnih efluenata u moru koji ilustruju gornje navode.

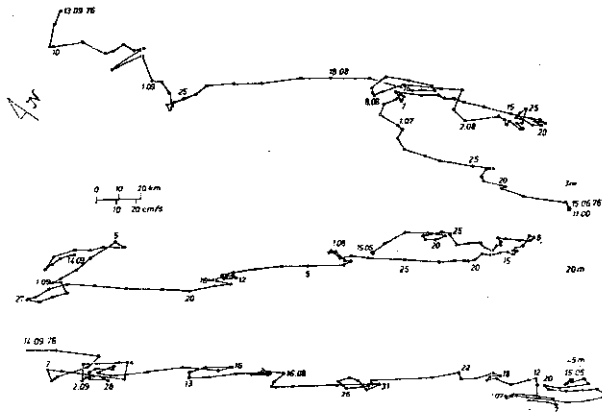
---

## R e f e r e n c e

1. Zarić, Z.: Karakteristični problemi u vezi sa hladjenjem nuklearnih elektrana. II Savetovanje o NE, JUGEL, Dubrovnik, april 1976
  2. Zarić, Z., i dr.: Nuklearna elektrana Vir kod Zadra. Studija toplotnih efekata. Završni izveštaj. Institut Boris Kidrič, april 1977.
  3. Adams, E.E. et.al.: Near and Far Field Analysis of Buoyant Surface Discharges, M.I.I. Rpt. 205 (1075).
-

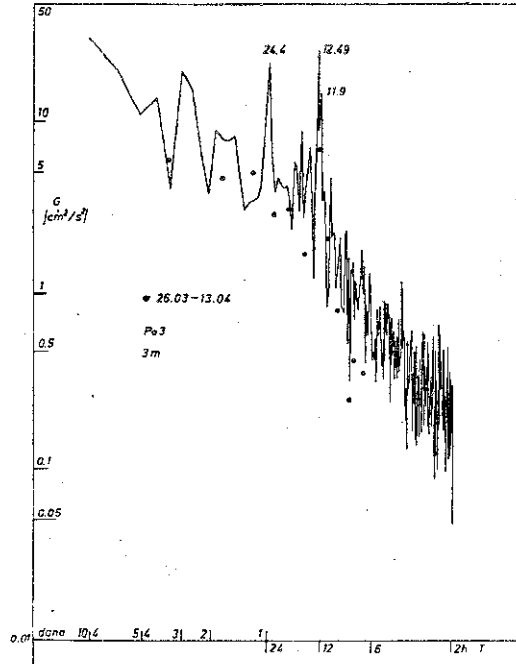


se. 1

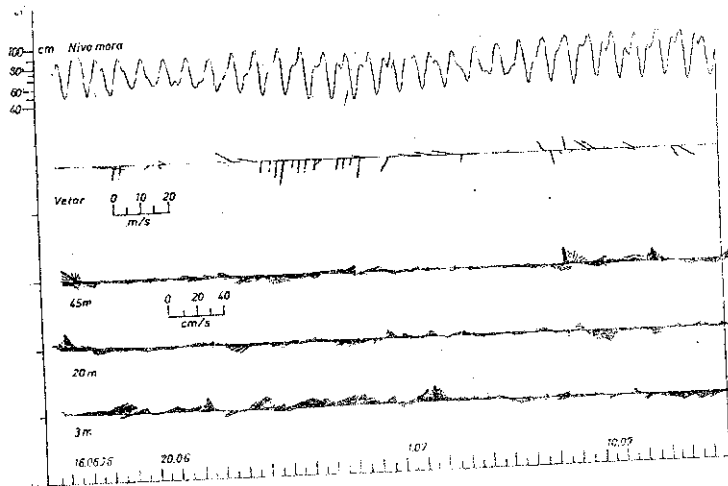


se. 2

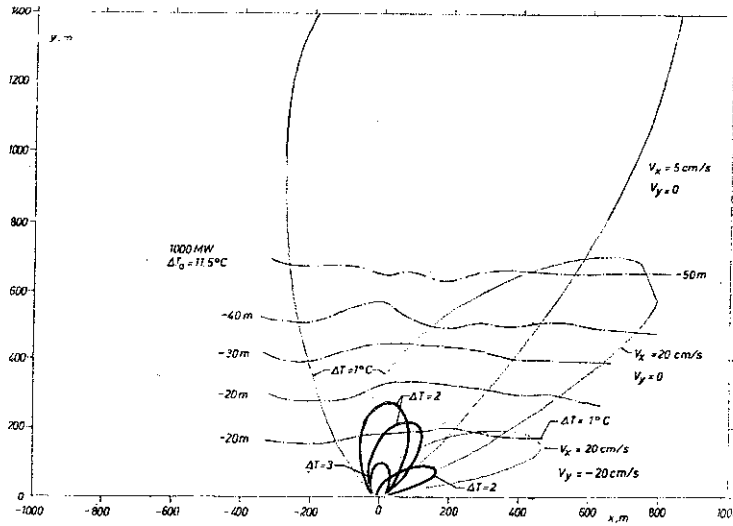
3.14



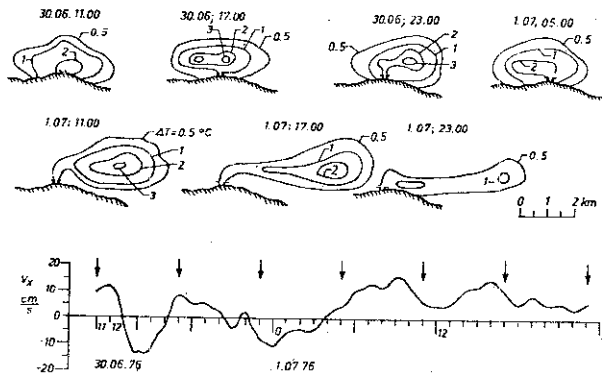
se. 3



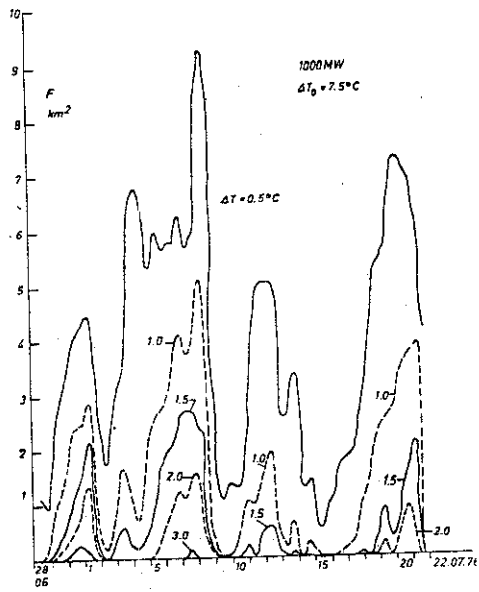
se 4



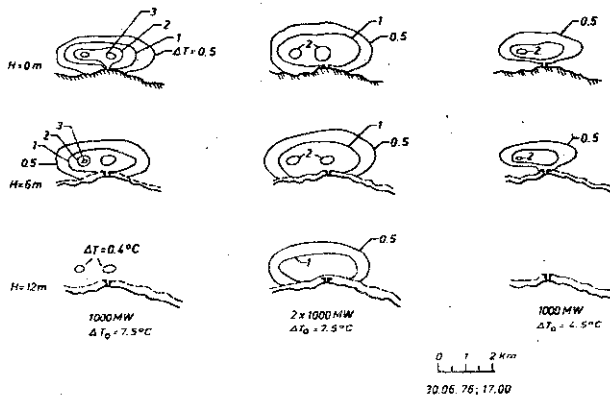
sl. 5



sl. 6



sl. 7



sl. 8