

DOSSIER: ČERNOBIL ŠTO SE DOGODILO U ČERNOBILU?

Piše: Vladimir Paar

Nema sumnje da je Černobil poprište prve stvarne katastrofe nuklearne elektrane. U nedostatku detaljnijeg sovjetskog objašnjenja uzroka te katastrofe, osvrnimo se na mogući njezin tok na osnovi publicirane stručne i naučne literature o tom tipu nuklearnih elektrana te na nekoliko oskudnih informacija

o samoj nesreći. Unesrećeni nuklearni reaktor u Černobilu posebnog je tipa koji je razvijen u SSSR-u, i u svijetu je poznat pod nazivom »sovjetski tip reaktora«. Da bismo iznijeli mogući scenarij černobilske nesreće, prvo treba razmotriti neka osnovna svojstva unesrećenog nuklearnog reaktora.

Poznato je da su osnovne karakteristike po kojima se odlikuje svaki tip nuklearnog reaktora gorivo, usporavač i rashladiivač. U većini nuklearnih reaktora kao gorivo koristi se uran. Prirodni uran sastoji se od dvije vrste atoma: 99,3 posto jesu atomi uran-238 i 0,7 posto jesu atomi uran-235. Njihove atomske jezgre različite su, tako da samo uran-235 sudjeluje u lančanom procesu fisije (cijepanja jezgara), pri čemu se oslobađa energija. Kao gorivo za nuklearne elektrane u većini slučajeva koristi se uran u kojem je postotak urana-235 povećan na 2-3 posto.

Da bi se uopće mogao odvijati lančani proces fisije, u reaktoru je potreban i neki materijal koji ima svojstvo da usporava neutrone. Neutroni su čestice koje u reaktoru djeluju poput iskrica koje pale nuklearnu »vatra« – izazivaju cijepanje atomskih jezgara urana-235 na koje nalijeću, pri čemu nastaju i novi slobodni neutroni. Da bi se proces mogao uspješno odvijati, novostvorene neutrone treba usporavati. Zato je u reaktoru potreban materijal koji usporava neutrone, tzv. usporavač. U većini nuklearnih elektrana u svijetu koriste se tzv. lakovodni reaktori u kojima se kao usporavač upotrebljava obična voda. (Lakovodni reaktor ima i nuklearna elektrana Krško.)

Energija se u reaktoru oslobađa u obliku topline, pa se cirkulacijom nekog fluida, tzv. rashladiivača, od-

vodi iz reaktora. Kao rashladiivač koristi se neka tekućina, najčešće voda, ili neki plin. U lakovodnim reaktorima kao rashladiivač opet se koristi voda.

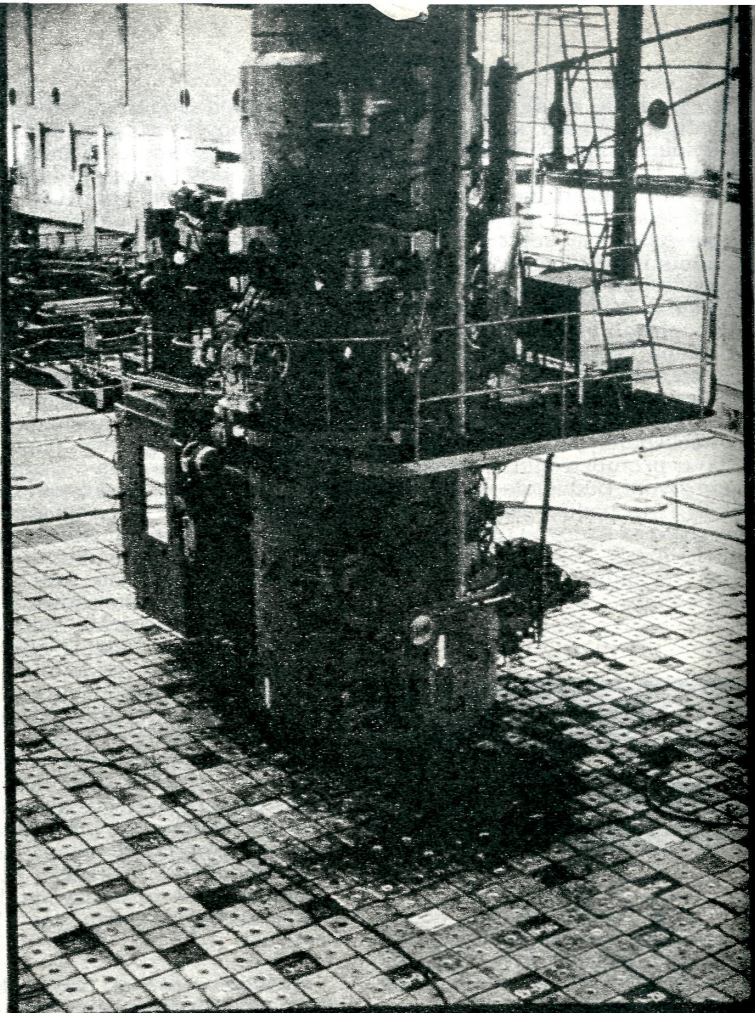
Sovjetski tip nuklearnog reaktora iz Černobila nosi naziv RBMK-1000, snage 1000 megavata. (Za usporedbu, snaga NE Krško jest oko 600 megavata.)

U tom tipu reaktora kao gorivo upotrebljava se uran sa 1,8 posto urana-235, kao usporivač – grafit i kao rashladiivač – voda. U Černobilu je radila baterija od četiri nuklearne elektrane s reaktorima tog tipa. Inače, u SSSR-u je u pogonu ili izgradnji nekoliko desetaka reaktora iz serije RBMK.

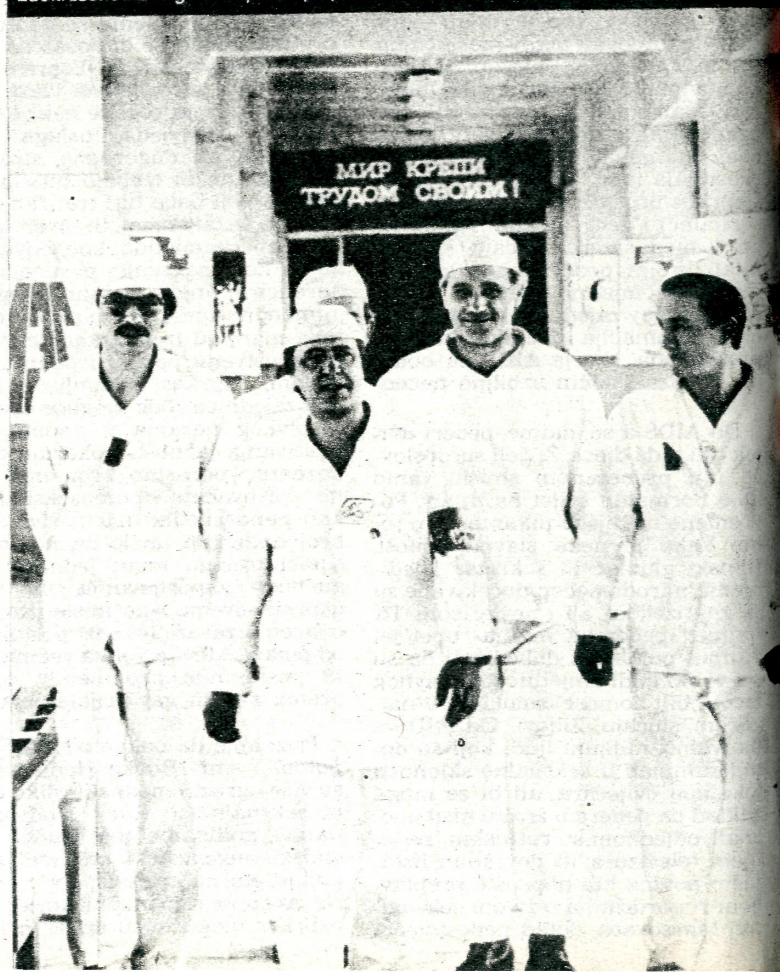
Po konstrukciji, RBMK-reaktori bitno se razlikuju od ostalih tipova nuklearnih reaktora.

Središnji dio reaktora RBMK-1000 jest grafitna jezgra koja ima oblik uspravno postavljenog valjka s promjerom 11,8 m i visinom 7 m. Ta grafitna jezgra složena je od 2488 grafitnih stupaca. Svaki stupac ima kvadratični presjek 25 cm x 25 cm. Stupci se sastoje od grafitnih blokova koji su poslagani jedan na drugi. Sredinom svakog stupca prolazi vertikalna rupa, s kružnim presjekom promjera 114 mm. Ukupna masa grafitne jezgre iznosi 1760 tona.

U vertikalne rupe u grafitnim stupcima postavljene su metalne

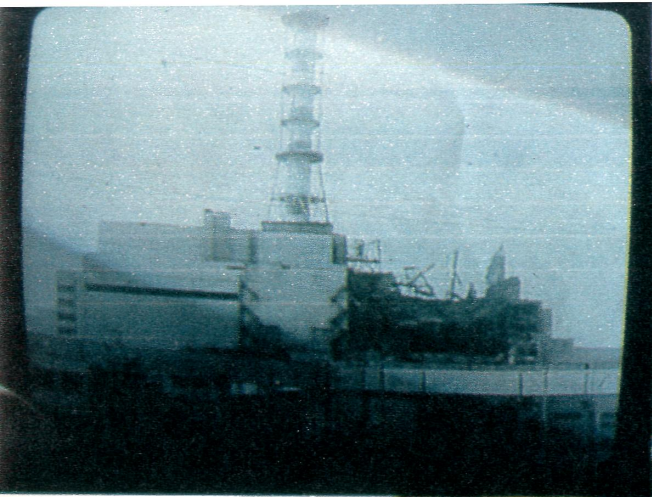


Gore: Uredaj za mijenjanje šibaka s gorivom u radnoj prostoriji iznad reaktora. Dolje: Radnici u nuklearnoj elektrani. Desno: Satelitska snimka nuklearnoenergetškoga kompleksa Černobil i obližnjeg jezera za hlađenje reaktora. Zaokruženo: Energetsko postrojenje sa četiri nuklearna reaktora.



Nastavak na stranici





Gore: Vanjski pogled na oštećenu zgradu s rastopljenim reaktorom.



Gore: Provjera ozračenja putnika na aerodromu.



Gore: Prikaz svjetske raspodjele broja nuklearnih elektrana u radu.
 Desno: Provjera radioaktivne zagađenosti.
 Sasvim desno: Pojednostavnjena maketa presjeka nuklearnog reaktora RBMK-1000 u Čemobilu.



cijevi koje gornjim dijelom strše iz grafitne jezgre. Sistemom velikog broja tanjih cijevi one se spajaju u cijevnu mrežu koja prolazi grafitnom jezgrom. Ta se mreža uključuje u krug kojim cirkulira vrela voda pod visokim pritiskom (tlakom), odvođeci toplinu iz reaktora. U neke rupe u grafitnim stupcima stavljaju se cijevi s gorivom i sa sistemima za kontrolu i regulaciju procesa fisije.

Grafitna jezgra s mrežom cijevi za rashladnu vodu, uranskim gorivom i kontrolnim sistemima nalazi se u hermetički zatvorenom prostoru u obliku cilindričnog šahta. Donja podložna ploča šahta ima oblik cilindrične konstrukcije promjera 14,5 m i visine 2 m, a masa joj je 408 tona. Kružna bočna stijena šahta, ima vanjski promjer 19 m, a građena je od šupljih metalnih cilindara ukupne mase od 572 tone. Šupljine u tim cilindrima ispunjene su vodom koja sa strane služi kao štiti od neutronskog zračenja iz reaktora. S gornje strane šaht je s reaktorom zatvoren gornjom zaštitnom pločom. Ona ima oblik cilindrične konstrukcije promjera baze 17,3 m i visine 3 m, a masa joj je 588 tona.

Grafitna jezgra u šahtu još je sa strana obavijena metalnim omotačem u obliku plašta valjka, koji je dolje zavaren za podložnu ploču, a gore za gornju zaštitnu ploču.

Prilikom montaže reaktora, gornja zaštitna ploča, koja je ključni element za sigurnost nuklearne elektrane, sastavlja se iz velikog broja metalnih dijelova koji se zavaruju na licu mjesta. Kroz tu zaštitnu ploču prolaze vertikalne cijevi koje se s donje strane spajaju s vertikalnim cijevima što strše iz grafitne jezgre reaktora, te otvori kroz koje se u reaktorski prostor spuštaju grafitni blokovi i drugi dijelovi konstrukcije unutrašnjosti reaktora. Cijevi za rashladnu vodu koje izlaze iz gornje zaštitne ploče nadovezuju se na sistem cijevi koje su povezane sa separatorima pare. Cijevima rashladnog sistema cirkulira vrela voda pod visokim tlakom (pritiskom), 65 puta većim od atmosferskog, i odvodi toplinu iz reaktora. Temperatura rashladne vode na izlazu iz reaktora jest 284°C, a u jednoj sekundi reaktorom protječe 139 m³ vode.

Vrela voda iz reaktora ide u separator pare, gdje se para odvajala od vode i koristi za pogon dviju turbina od po 500 megavata. Ponoću 8 pumpi voda se vraća u donji dio mrežnog sistema cijevi u reaktor. Nekoliko metara iznad gornje zaštitne ploče reaktora nalazi se druga zaštitna ploča, podna ploča, napravljena od kockastih metalnih

elemenata, ispunjenih materijalom koji upija radioaktivnost. U toj ploči nalaze se rasklopni otvori kroz koje se zamjenjuje gorivo i drugi elementi u reaktoru. Odmah iznad te zaštitne ploče nalazi se pod radne prostorije u kojoj su uređaji za montažu reaktora i izmjenu elemenata u njemu.

Što su prednosti nuklearnih elektrana s reaktorima tipa RBMK? Kao osnovnu prednost sovjetski stručnjaci ističu fleksibilnost konstrukcije, što omogućuje promjene u konstrukciji ovisno o uvjetima eksploatacije.

Taj sistem omogućuje povećanje snage reaktora povećanjem broja grafitnih stupaca u reaktoru, bez potrebe da se povećavaju konture rashladnih cijevi u reaktoru. S druge strane, budući da ti reaktori nemaju kompaktnu reaktorsku posudu, a nema ni parogeneratora, jednostavniji su zahtjevi koji se postavljaju pred industriju opreme.

Faktori

rizika

Nadalje, fleksibilnost takvih reaktora očituje se u tome da je jednostavna izmjena istrošenih gorivih elemenata i može se vršiti (kroz duge vertikalne cijevi) za vrijeme rada reaktora. (Nasuprot tome, elektranu s lakovodnim reaktorima treba zaustaviti pri izmjeni

goriva, i sama je operacija složena jer se otvara reaktorska posuda.)

Stručnjaci na Zapadu ističu još jednu osobitost RBMK-reaktora, to jest da su oni pogodni za proizvodnju plutonija-239 koji je eksploziv za nuklearno oružje. U tu su svrhu, na primjer, u Velikoj Britaniji još pedesetih godina sagradili nekoliko reaktora s grafitom kao usporivačem i plinom kao rashlađivačem.

Već po konstrukciji reaktor RBMK-1000 ima nekoliko svojstava kojima treba posvetiti osobitu pažnju sa stanovišta sigurnosti. Kao moguće slabe točke nameću se mreža cijevi u reaktoru i gornja zaštitna ploča. Oni se sastavljaju pri samoj montaži zavarivanjem vrlo velikog broja metalnih komponenta; broj spojeva koje pri tom treba zavariti premašuje sto tisuća, a sama mjesta zavarivanja dijelom su teško pristupačna, jer su u unutrašnjosti konstrukcije. Zato je jasno da se u sovjetskoj stručnoj literaturi ističe upravo kvaliteta zavarivanja pri montaži i kvaliteta metalnih dijelova kao bitan element sigurnosti nuklearne elektrane RBMK-1000. Propisano je vrlo složeno i višestruko ispitivanje svakog zavarenog spoja da bi se otkrile eventualne greške, kao što su unutrašnji defekti u zavarenom spoju, pukotine, naprsline ili pak površinski defekti nevidljivi golim okom.

Sovjetski propisi nalazu višestruku provjeru kombinacijom različitih modernih metoda (rendgensko i gama-defektoskopijom, ultrazvučnom defektoskopijom, magnetskim ispitivanjima, optičkom defektoskopijom, hidrauličkim testovima,

mehaničkim i metalografskim ispitivanjima, metodom helijeve sonde i drugim specijalnim metodama).

Važnost i složenost provjere kvalitete zavarivanja vidi se i po objavljenim propisima za službu tehničke kontrole pri montaži reaktora RBMK-1000. U ekipi tehničke kontrole montaže mora sudjelovati najmanje 150 stručnjaka specijalista. (Za usporedbu, isti propisi nalazu da je za kontrolu konstrukcije običnih, lakovodnih nuklearnih elektrana, koje se također grade u SSSR-u, dovoljno 50 stručnjaka.) Uloga kontrole zavarivanja još se bolje vidi po propisanoj strukturi specijalnosti stručnjaka u kontrolnoj službi: za kontrolu pri montaži RBMK-1000 potrebno je najmanje 50 specijalista za gama-defektoskopiju i rendgensku defektoskopiju (za lakovodne nuklearne elektrane petnaest), za kontrolu hermetičnosti 18 (za lakovodne nuklearne elektrane 2) itd.

U reaktoru RBMK-1000 – kao, uostalom, i u drugim tipovima reaktora – osnovna je opasnost mogućnost da zataji sistem za hlađenje reaktora. Tada se automatski aktivira sigurnosni sistem, šipke apsorbera (materijala koji snažno upija neutrone) padaju u prostor s gorivom, čime se gasi nuklearni proces fisije. (Čak i bez toga, daljnjim zagrijavanjem i pratećim mehaničkim promjenama izgubila bi se kritična masa potrebna za lančanu fisiju, i taj bi se proces prekinuo.) No, prekidanjem lančane fisije urana ne prestaje proizvodnja topline; ona se smanji za 90 posto, ali i dalje se proizvodi 10 posto topline zbog radioaktivnog zračenja

NUKLEARNA ENERGETIKA U SSSR-U

Piše: Vladimir Paar

Premda je, po rezervama fosilnih goriva, najbogatija zemlja na svijetu (raspolaze sa blizu 50 posto svjetskih rezervi ugljena), SSSR intenzivno razvija i nuklearnu energetiku. Kao glavni argument za gradnju nuklearnih elektrana u evropskom dijelu SSSR-a ističe se njihova ekonomičnost.

Prema podacima Međunarodne agencije za atomsku energiju, početkom 1984. u SSSR-u su u pogonu bile 43 nuklearne elektrane, a do kraja 1987. očekuje se da će u pogonu biti 62. Prema sovjetskim planovima, predviđena je ubrzana gradnja nuklearnih elektrana krajem ovog i početkom sljedećeg desetljeća.

Sovjetska nuklearna energetska strategija zasniva se na paralelnom uvodjenju triju osnovnih tipova reaktora: RBMK – grafitni reaktor hlađen kipućom vodom; VVER – tlačni lakovodni reaktor; BN – oplodni reaktor.

Reaktori tipa RBMK originalno su razvijeni u SSSR-u i nema ih u drugim zemljama. SSSR ima dugogodišnje iskustvo s razvojem i primjenom tih reaktora. Tako su do 1980. u pogon ušle ove elektrane s RBMK-reaktorima:

- 1954 – RBMK-6, Obninsk;
- 1964 – RBMK-108, Bjelojarsk-1 (Sverdlovsk);
- 1967 – RBMK-200, Bjelojarsk-2 (Sverdlovsk);
- 1973 – RBMK-1000, Lenjingrad-1;
- 1975 – RBMK-1000, Lenjingrad-2;
- 1977 – RBMK-1000, Černobil-1;
- 1978 – RBMK-1000, Černobil-2;
- 1979 – RBMK-1000, Smolensk-1.

Od 1980. intenzivira se gradnja i uvodjenje u eksploataciju elektrana s reaktorima tipa RBMK-1000 snage 1000 megavata, a počinje i gradnja elektrana s reaktorima RBMK-1500, snage 1500 megavata. Sada se radi na razvoju reaktora RBMKP-2400, snage 2400 megavata.

Reaktori VVER po principu rada analogni su tlačnim lakovodnim reaktorima na Zapadu, ali su nešto jednostavnije izvedbe (zaštitni su sistemi skromniji: uz ostalo, nemaju zaštitne kupole). Standardni su modeli VVER – 440 snage 440 megavata i VVER – 1000 snage 1000 megavata.

Taj se tip reaktora koristi i u istočnoevropskim zemljama. Prema podacima Međunarodne agencije za atomsku energiju, početkom 1984. u pogonu su bile u Bugarskoj 4 nuklearne elektrane, u ČSSR – 2,

u Mađarskoj – 1 i u Njemačkoj DR – 5; a u gradnji su bile u Bugarskoj – 2, u ČSSR – 9, u Mađarskoj – 3 i u Njemačkoj DR – 7 elektrana.

SSSR ima vrlo ambiciozne planove razvoja oplodnih reaktora, koji se nuklearnim gorivom mogu koristiti znatno efikasnije od običnih nuklearnih reaktora, čak šezdesetak puta.

Najveća elektrana tog tipa u SSSR-u jest BN-600 u Bjelojarskoj kraj Sverdlovstva. Planira se uvodjenje oplodnih reaktora BN-800 snage 800 megavata i BN-1600 snage 1600 megavata.

Karakteristika sovjetske nuklearne strategije jest to da se nuklearne elektrane ne smještaju pojedinačno nego u kompleksima od po nekoliko elektrana. Takvi su nuklearnoenergetski kompleksi, na primjer, Černobil (4 NE RBMK-1000), Lenjingrad (4 NE RBMK-1000), Kursk (4 NE RBMK-1000), Smolensk (4 NE RBMK-1000), Novovoronež (5 NE VVER), Kalininj (4 NE VVER-1000) i Rovno (3 NE VVER).

Nuklearni kompleks Ignalinska u Litvi (4 NE RBMK-1500), ukupne snage 6000 megavata, po kompletiranju bit će najveći na svijetu.

U istočnoevropskim zemljama također su nuklearne elektrane u skupinama: Kozloduj u Bugarskoj (4 NE VVER-440), Bohumice u Čehoslovačkoj (4 NE VVER-440), Lubmin u Njemačkoj DR (4 NE VVER-440) i Paks u Mađarskoj (4 NE VVER-440).

radioaktivnih tvari stvorenih u go-rivu fisijom. A to je ipak golema ko-ličina topline. Ona može izazvati te-ška oštećenja i taljenje unutrašnjiosti reaktora, pri čemu znatan dio radioaktivnih čestica može prodri-jeti izvan reaktora.

Svaki grafitni reaktor ima u tom pogledu jednu moguću prednost, ali i dva moguća dodatna rizika. Pred-nost je u velikom toplinskom kapa-citetu grafita i visokom talištu, zbog čega bi takav reaktor izdržao neko vrijeme (čak i nekoliko sati) bez hlađenja, omogućivši da se do-tle ukloni kvar na rashladnom su-stavu.

S druge strane, za grafitne reak-tore javljaju se dvije dodatne opa-snosti, vezane uz upotrebu grafita, koje su imale ključnu ulogu u ne-sreći u Černobilu.

Ako vrući grafit dođe u doticaj s kisikom (odn. zrakom), nastaje bur-na kemijska reakcija, pa može izbiti velik požar grafitne jezgre reak-tora. Treba imati na umu da je tu blizu 2000 tona grafita, a to je čisti ugljik.

Ako pak vrući grafit dođe u dodir s vodom, kemijskom reakcijom mo-že nastati plin koji je eksplozivan u doticaju s kisikom (odn. zrakom).

O obje te moguće opasnosti još se otprije raspravljalo na Zapadu u vezi sa sigurnošću grafitnih reak-tora hlađenih plinom koji su u upo-trebi u Velikoj Britaniji, te u vezi s grafitnim reaktorima što služe za proizvodnju eksploziva (plutonija) za nuklearno oružje.

Scenariji

nesreće

Poći ćemo od tri tehničke infor-macije koje su dosad objavljene u nesreći reaktora u Černobilu:

- kvar je izazvan vanjskim me-haničkim oštećenjem reaktora;
- došlo je do eksplozije;
- reaktor je zahvaćen dugotraj-nim požarom.

Najjednostavnija mogućnost me-haničkog oštećenja reaktora jest pad gornje zaštitne ploče zbog nje-zina pucanja uslijed grešaka u ma-terijalu ili zavarivanju koje su pro-makle kontroli pri montaži. Treba imati na umu, kao što smo već re-kli, da je ta ploča stalno izložena ve-likim naporima: njen je pro-mjer 17 metara i težina 588 tone, a na donju konstrukciju oslanja se duž oboda. Sastavljena je od velikog broja metalnih elemenata zavari-vanjem na licu mjesta. Površnost u montaži ili neotkrivena greška u kontroli ploče mogle bi biti fatalne za sigurnost.

Ako je došlo do pucanja i pada zaštitne ploče, pokidale su se cijevi za cirkulaciju (optok) rashladne vo-de koje kroz nju prolaze. Padom se mogla izravno oštetiti i grafitna jezgra. To je moglo dovesti do pre-kida hlađenja reaktora, tj. do pora-

sta temperature, te do prodora zra-ka i vode u reaktor i do kemijske reakcije s vrućim grafitom. Kao po-sljedica, moglo je doći do eksplozije plina, do požara grafita i taljenja šibaka s gorivom u reaktoru.

Osim spontanog pucanja gornje zaštitne ploče, postoje i druge mo-gućnosti mehaničkog oštećenja reaktorske konstrukcije. Na prim-er, zbog grešaka u kvaliteti be-tonskih i metalnih konstrukcija mogla je doći do pada krovne kon-strukcije ili teške mosne dizalice ili mehaničkog sistema za montažu reaktora i izmjenu gorivih eleme-nata. Ako podna zaštitna ploča (sa-stavljena od lemljenih metalnih ele-menata) ne bi izdržala, došlo bi do loma cijevii sistema za hlađenje reaktora i cijevi s kontrolnim šp-kama koje prolaze prostorom iz-među gornje zaštitne i podne ploče. Lomljenje cijevi s rashladnom vo-dom moglo bi dovesti do sličnih po-sljedica kao u prijašnjem razma-tranju. Moguće je, također, da je i gornja zaštitna ploča popustila i pukla pod pritiskom tereta koji se na nju sručio.

Također postoji mogućnost da je prvo došlo do kemijske eksplozije izvan reaktora i da je njome iza-zvan pad mosne dizalice ili krovne konstrukcije. U slučaju neopreznog rukovanja nekim kemijskim sred-stvima, takva bi eksplozija mogla nastati u radnoj prostoriji, bez veze s procesima u reaktoru. Dakako, kemijska eksplozija mogla je nastati i kao posljedica lokalnih ošteće-nja u reaktoru. Na primjer, u sluč-aju da su neke cijevi kojima prolazi rashladna voda imale defekte u materijalu, koji su promakli kon-troli kvalitete, moglo je doći do nji-

hova oštećenja i, kao posljedica, do poremećaja hlađenja, kontakta vo-de s vrućim grafitom i stvaranja eksplozivnog plina.

U svakom slučaju, bez obzira na način kojim je reaktor oštećen i trajno prekinuta oba kruga za hla-đenje, dolazi do pregrijavanja gra-fitne jezgre i manjeg ili većeg talje-nja goriva.

Jasno je da je eksplozivni plin mogao nastajati u više navrata i kasnije, nakon te prve eksplozije, pri svakom ponovnom prodoru vo-de iz pokidanih cijevi kruga rash-ladne vode u već teško oštećeni reaktor.

Taljenjem goriva u Černobilu oslobodio se dio radioaktivnih produkata, u prvom redu onih koji su plinoviti (radioaktivni izotopi plemenitih plinova kriptona i kseno-na) i ishlapljivi (radioaktivni izoto-pi joda, cezija, arsena, selena, bro-ma, rubidija, kadmija, vodika). U nešto manjoj mjeri oslobodili su se poluishlapljivi produkti (radioak-tivni izotopi stroncija, cinka, galija, indija, kositra, antimona, telura, ba-rija, cera, evropija), a u još manjoj neishlapljivi (radioaktivni izotopi germanija, itrija, cirkonija, niobija, molibdena, telura, rutenija, rodija, paladija, srebra itd.).

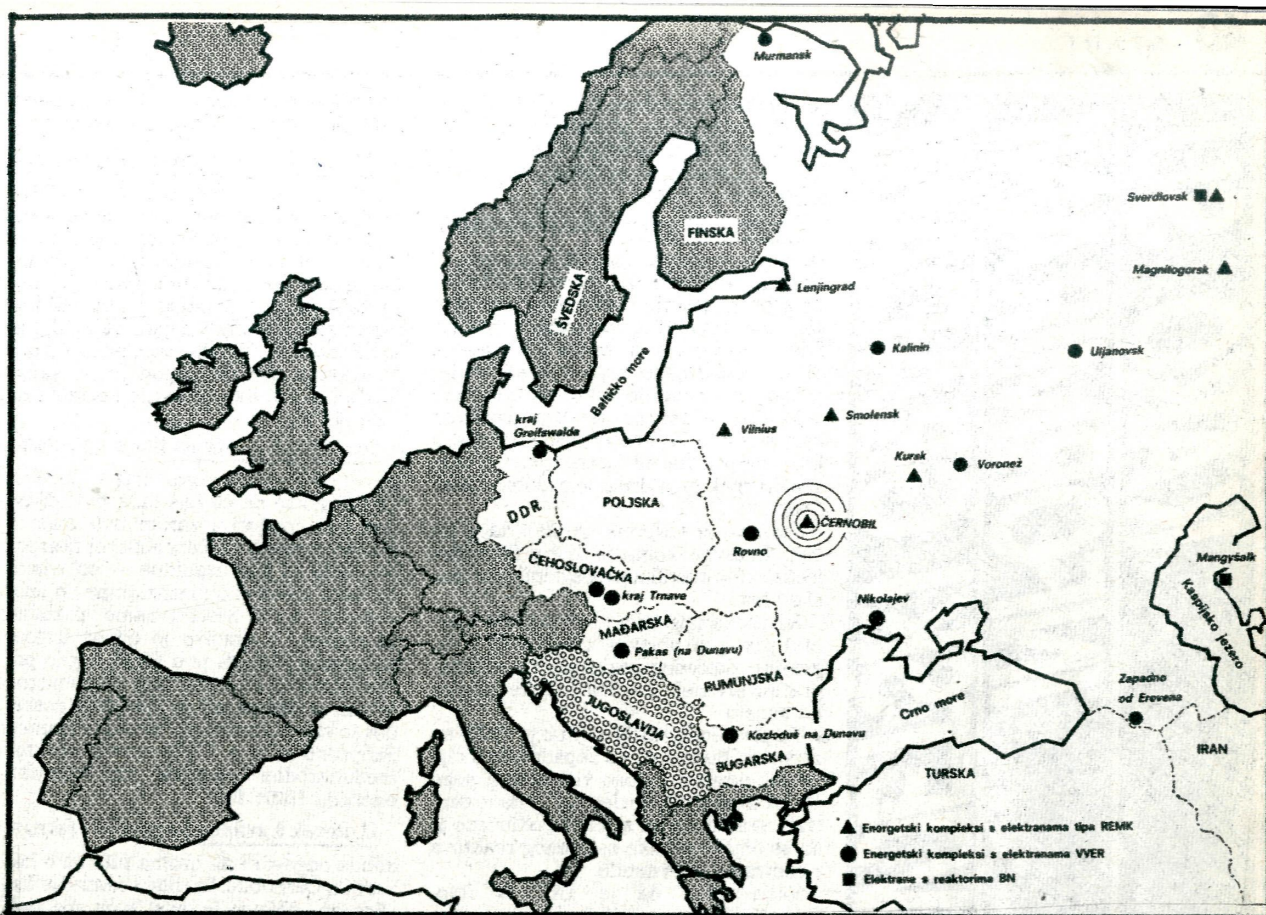
Snažan plamen znatno je ubrza-vao izbacivanje tih radioaktivnih atoma iz reaktora, pa i čestica di-ma zagađenih tim radioaktivnim tvarima, tako da su se raspršeni ra-dioaktivni materijali digli do većih visina. Prema nekim procjenama, na taj način moglo se iz reaktora osloboditi oko 50 posto plinovitih i ishlapljivih radioaktivnih produkata, te oko 5 posto poluishlapljivih i

0,5 posto neishlapljivih, a, zbog ve-zanja uz čestice dima, možda i vi-še.

Prva zaštitna mjera koju je treba-lo poduzeti nakon nesreće jest ga-šenje požara grafita, sprečavanjem pristupa zraka, na primjer, tako da se reaktor zasipa pijeskom.

Može se zaključiti da je vjerojatni uzrok černobilske nesreće (i opet) ljudski faktor: greške u kvaliteti i obradi konstrukcionog materijala i propust da se kontrolom one otkri-ju. Moglo se dogoditi da nakon du-gogodišnjeg uspješnog rada sovjet-skog tipa reaktora RBMK, uljuljana u osjećaj sigurnosti, popusti bud-nost kontrole, s katastrofalnim po-sljedicama. Mehaničko oštećenje reaktora pretovirilo je grafitnu reaktorsku jezgru u kemijski eks-plozivnu i zapaljivu bombu a dugo-trajni požar reaktora znatno je ubrzao izbacivanje velike količine radioaktivnih tvari visoko u atmo-sferu, odakle ga zračne struje raz-nose na sve strane. A odsutnost snažne zaštitne kupole, koja je ina-če uobičajena u nuklearnim elek-tranama zapadnoga tipa, ali ne u sovjetskim, bio je dodatni faktor koji je omogućio masovni prodor radioaktivnosti u okoliš.

Je li nesreća černobilskog tipa moguća na običnim, lakovodnim, nuklearnim elektranama? Ne, jer lakovodne elektrane nemaju ni grafita u građi reaktora (ulogu gra-fita kao usporivača ima voda), ni gornju zaštitnu ploču reaktora (ulo-gu šahta i gornje zaštitne ploče ima kompaktna reaktorska posuda) ni mrežastog sistema cijevi za hlađe-nje u reaktoru (ulogu mrežastog si-stema cijevi ima unutrašnjost reak-torske posude). Sigurnosni proble-mi lakovodnog reaktora drukčijeg su tipa.



Nuklearni energetske kompleksi u SSSR i istočnoevropskim zemljama s elektranama sovjetske proizvodnje