

NUKLEARNA ELEKTRANA KRŠKO



NUKLEARNA ELEKTRANA KRŠKO



Nuklearna elektrana Krško opremljena je Westinghouseovim lakovodnim tlačnim reaktorom toplinske snage od 1.994 MW. Priklučena je na 400-kilovoltну mrežu za opskrbu potrošačkih središta u Republici Sloveniji i Republici Hrvatskoj. S novim parogeneratorima i niskotlačnim turbinama njena se snaga povećala na 696 MW na pragu, a njena godišnja proizvodnja prelazi 5 milijardi kWh, što je oko 40 % sve proizvedene električne energije u Sloveniji.

Elektrana se nalazi na lijevoj obali rijeke Save u industrijskoj zoni Krškog. Do nje vodi industrijska cesta koja je priključena na regionalnu cestu Krško - Brežice.

Elektrana ima i industrijski kolosijek koji je povezuje sa željezničkom stanicom u Krškom. Poslanje je i odgovornost Nuklearne elektrane Krško osiguravanje sigurnog i stabilnog rada, konkurentne proizvodnje električne energije i osiguravanje prihvatljivosti u javnosti.



GRADNJA NUKLEARNE ELEKTRANE KRŠKO

Prva istraživanja u Krškom polju, nakon što je odabranu kao moguća lokacija za nuklearnu elektranu, izvela je radna skupina Poslovnog udruženja energetike Slovenije uz sudjelovanje elektroprivrednih organizacija Slovenije i istraživačkih instituta u godinama od 1964. do 1969.

Na prijedlog slovenskih i hrvatskih elektroprivrednih organizacija izvršna su vijeća Slovenije i Hrvatske sklopila 1970. godine dogovor o zajedničkoj gradnji dviju nuklearnih elektrana za pokrivanje sve većih potreba za električnom energijom objiju republika.

Odluku o izgradnji nuklearne elektrane pospješila je činjenica da u objemu republikama nedostaju primarni energetski izvori. Investitori su prve nuklearne elektrane Savske elektrarne Ljubljana i Elektroprivreda Zagreb, koje su s investicijskom skupinom izvele pripremne radove, objavile natječaj i izabrale najpovoljnijeg ponuđača.

U kolovozu 1974. godine investitori su sklopili ugovor o isporuci opreme i izgradnji nuklearne elektrane snage od 632 MW s američkom firmom Westinghouse Electric Corporation. Prema ugovoru glavni izvođač bio je Westinghouse, njegov projektant američka tvrtka Gilbert Associates Inc., a izvođači radova na gradilištu bila su domaća poduzeća.

Prvog prosinca 1974. godine tadašnji predsjednik Jugoslavije Josip Broz Tito ugradio je kamen temeljac za Nuklearnu elektranu u Krškom. Građevinske radove izvela su poduzeća Gradis i Hidroelektra, a montažu Hidromontaža i Đuro Đaković.

Sredstva za izgradnju u jednakim udjelima osigurale su Slovenija i Hrvatska preko svojih samoupravnih interesnih zajednica elektroprivrede te domaćih i stranih banaka.



ZGRADE

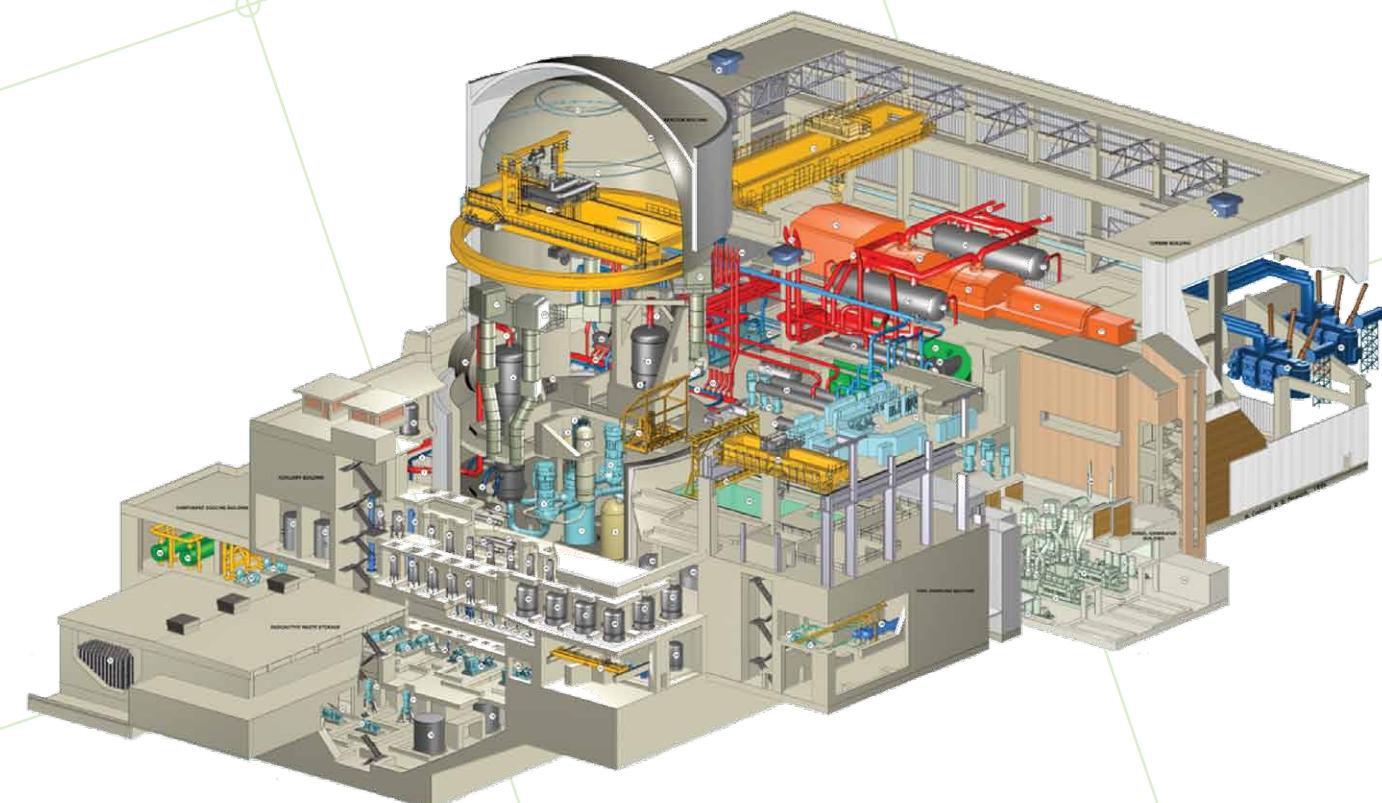
Svi su tehnološki značajniji objekti nuklearne elektrane smješteni na masivnoj armiranobetonkoj ploči usidrenoj na glineno-pješčanim slojevima pliocenskih sedimenta Krškog polja. Ta ploča čini čvrst temelj siguran od potresa. Zgrade su projektirane i izgrađene na način da mogu bez većih oštećenja izdržati očekivane potrese na tom području.

Reaktorsku zgradu, u kojoj se nalaze reaktor s dva rashladnim krugovima i sigurnosni sustavi, čine unutrašnja tlačna čelična ljska i vanjska armiranobetonska reaktorska zgrada. Oba prolaza u reaktorsku zgradu, za osoblje i za opremu, opremljena su hermetički zatvorenim prijelaznim komorama s dvojnim vratima. Brojni su prolazi kroz zidove reaktorske zgrade za cjevovode i kablove dvostruko brtvljeni. Uz reaktorsku zgradu nalaze se objekti za pomoćne sustave, hlađenje dijelova sustava, rukovanje gorivom, pomoćne dizelske generatore i turbinska zgrada.

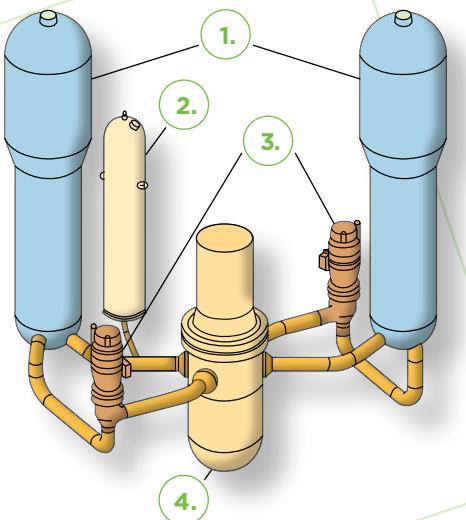
Postrojenja za zahvat rashladne vode i sigurnosno-snoopskrbne vode nalaze se na obali rijeke Save uzvodno od protočne brane, koja osigurava dovoljnu visinu vode kod svih vodostaja. Ispust rashladne vode nalazi se nizvodno od brane. U slučaju preniskog protoka vode u Savi kondenzatorska rashladna voda hlađi se i dodatnim rashladnim ćelijama s prisilnom cirkulacijom.

Skladište srednje i nisko radioaktivnog otpada smješteno je na jugozapadnom rubu elektrane, a upravna zgrada s radionicama i rasklopno postrojenje uz sjeverni rub, pri ulazu u elektranu.

SHEMATSKI PREREZ ELEKTRANE



REAKTOR S RASHLADNIM KRUGOVIMA



1. Parogeneratori
2. Tlačnik
3. Reaktorske crpke
4. Reaktor

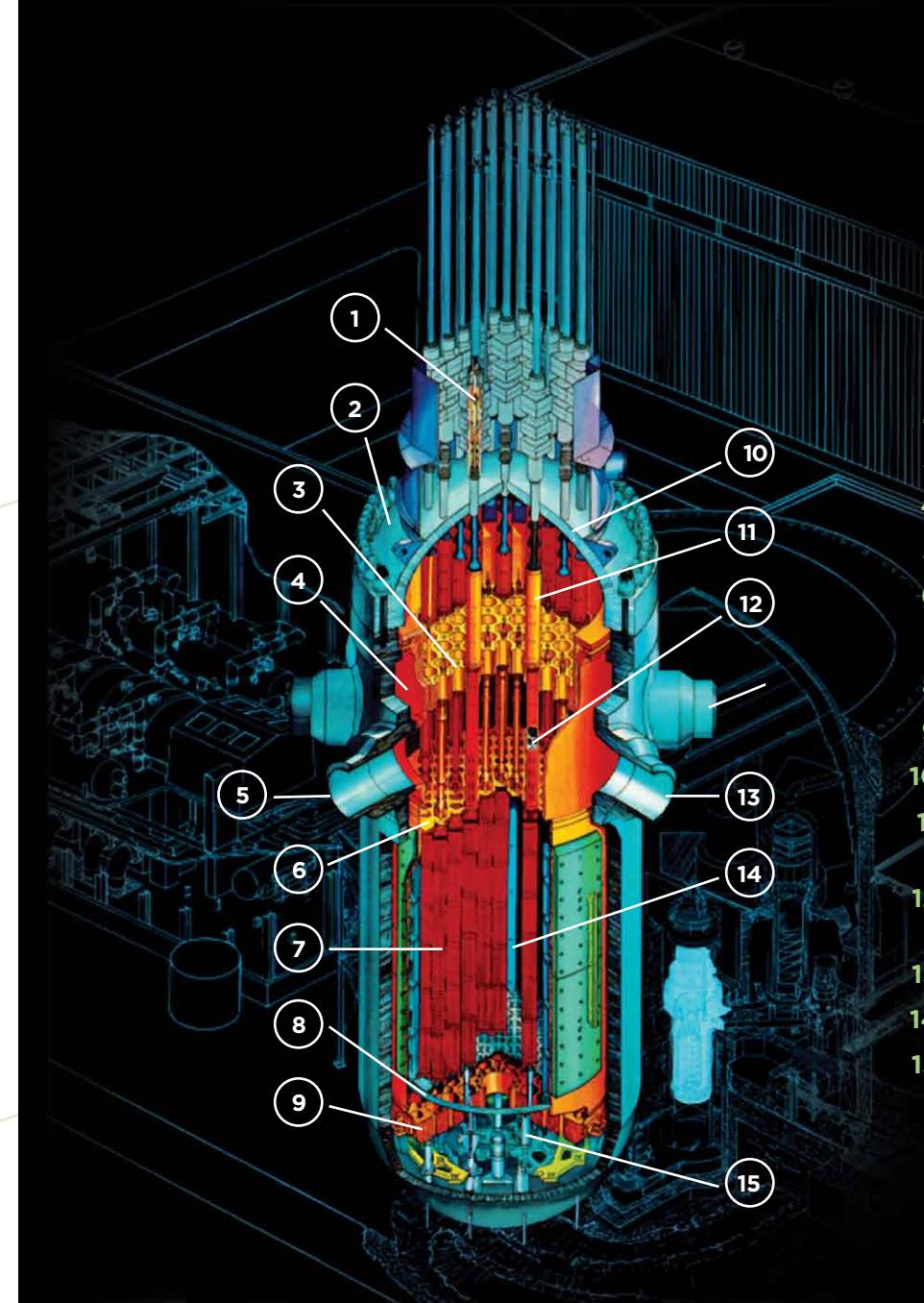
Westinghouseov tlačni reaktor s dvama rashladnim krugovima čine reaktorska posuda s unutrašnjom opremom i poklopcom, dva parogeneratora, dve reaktorske crpke, tlačnik, cjevovodi, ventili i pomoći reaktorski sustavi.

Kao reaktorsko hladilo, moderator neutrona i otopalo borne kiseline rabi se obična demineralizirana voda. U parogeneratoru reaktorsko hladilo predaje toplinu koja na sekundarnoj strani parogeneratora zagrijava napojnu vodu i pretvara je u paru. Tlak hladila vode održava tlačnik s pomoću električnih grijaca i prskalica vode, koje se opskrbljaju vodom iz hladnog ogranka rashladnoga kruga reaktorskog hladila.

Instrumenti za mjerjenje neutronskega toka, temperature i protoka reaktorskog hladila te tlaka i nivoa vode u tlačniku prikazuju potrebne podatke za upravljanje procesom rada i zaštitu reaktorskog sustava.

Snaga reaktora regulira se regulacijskim palicama. Pogonski mehanizmi regulacijskih palica pričvršćeni su na poklopac reaktora, tako da njihove apsorpcijske palice dopiru u reaktorsku jezgru. Dugoročne promjene reaktivnosti jezgre i trovanje jezgre produktima cijepanja kompenziraju se mijenjanjem koncentracije borne kiseline u reaktorskom hladilu.

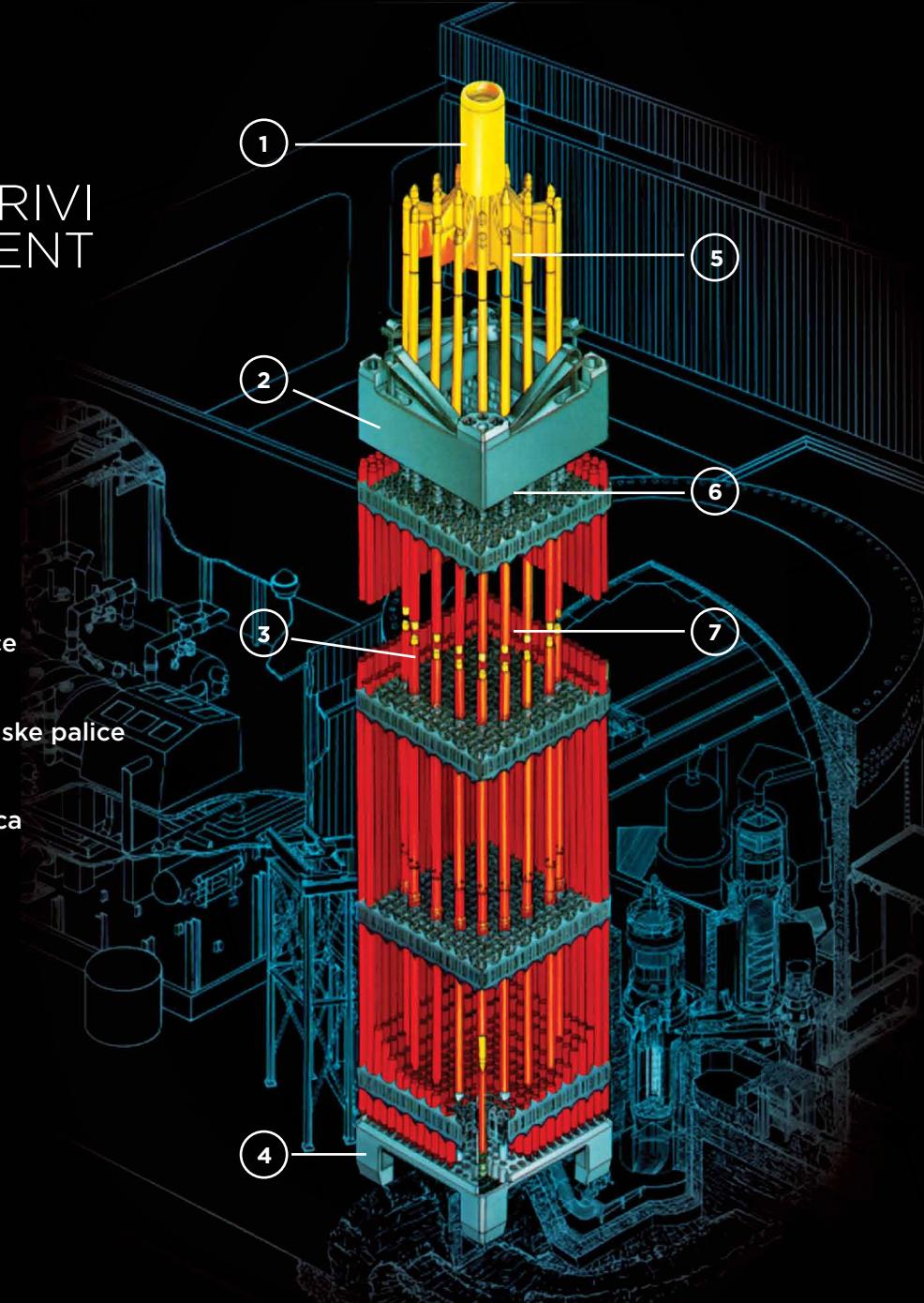
REAKTORSKA POSUDA



1. Pogonski mehanizam regulacijskih palica
2. Glava reaktorske posude
3. Gornji pridrživač
4. Ljuska jezgre
5. Izlazni priključak
6. Gornja ploča jezgre
7. Gorivi elementi
8. Donja noseća ploča jezgre
9. Donji pridrživač
10. Toplinski rukavac
11. Vodilica regulacijskog svežnja
12. Pogonska osovina regulacijskog svežnja
13. Ulazni priključak
14. Usmjerivač protoka
15. Vodilica instrumentacije

GORIVI ELEMENT

1. Regulacijske palice
2. Gornja mlaznica
3. Vodilica apsorpcijske palice
4. Donja mlaznica
5. Apsorpcijska palica
6. Rešetka
7. Goriva palica

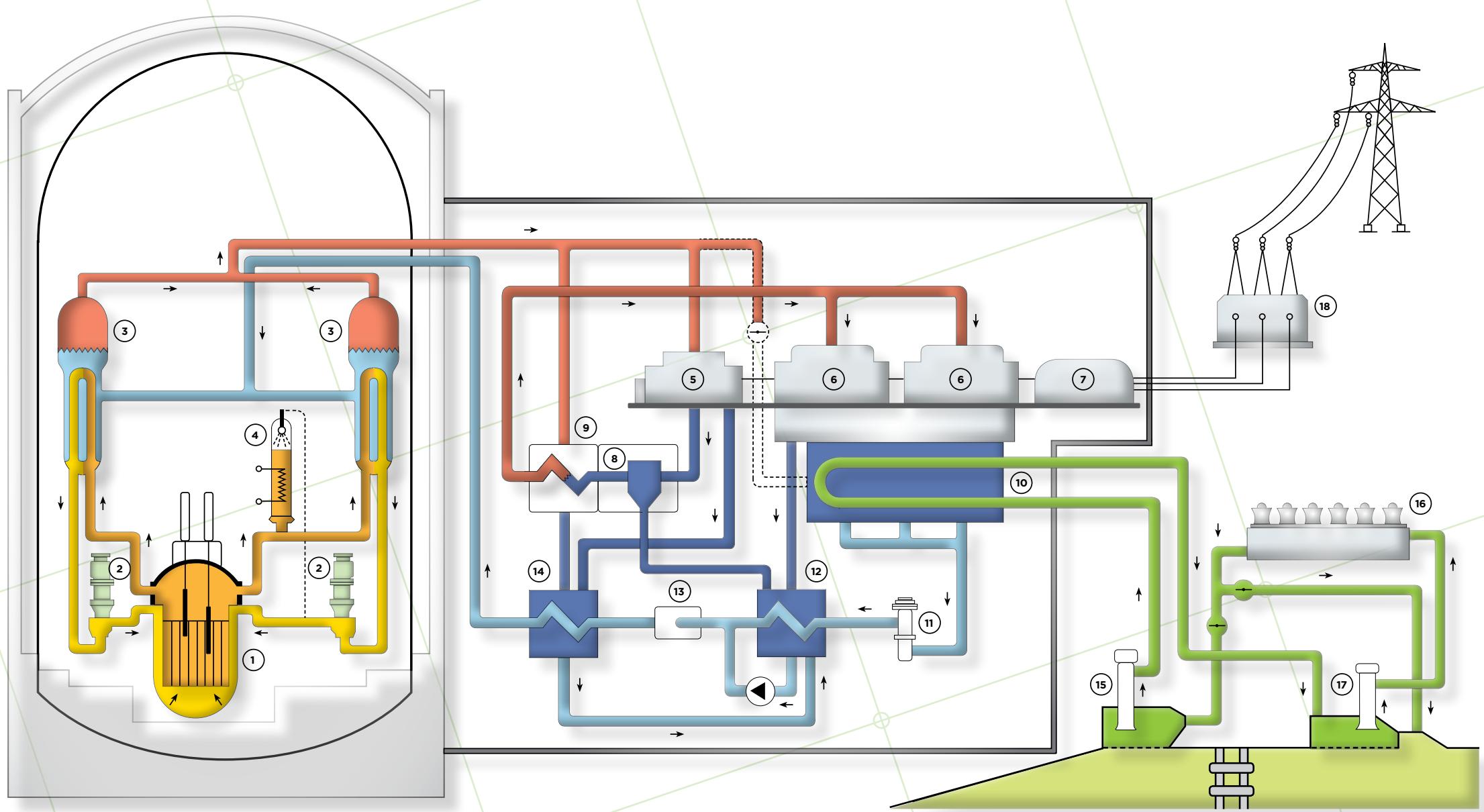


NUKLEARNO GORIVO

Reaktorsku jezgru čini 121 gorivi element, koji se sastoji od gorivih palica, donje i gornje mlaznice, rešetke, vodilica apsorpcijskih palica i instrumentacije. Gorive palice su keramičke tablete uranovog dioksida zatvorene u zavarenim cijevima od cirkonijeve slitine.

Gorivo od uranovog dioksida ima oblik sinteriranih tableta te je obogaćeno uranom 235. U remontu – svakih 18 mjeseci – zamjenjuje se gotovo polovica gorivih elemenata svježima. Svježi gorivi elementi uskladišteni su u suhom spremištu za gorivo, dok su istrošeni gorivi elementi pohranjeni pod vodom u bazenu za istrošeno gorivo, gdje se hlađe.

Tijekom zamjene goriva gorivi elementi prevoze se vodenim kanalom kroz zid reaktorske zgrade u bazen kraj reaktora. Gorivo se mijenja u otvorenom reaktoru kad je prostor iznad njega napunjen vodom. Stroj za zamjenu goriva podiže stare gorive elemente iz jezgre reaktora i ulaže svježe. Gorivi elementi ostaju u jezgri najmanje dva goriva ciklusa.



12

13

SHEMA ELEKTRANE

1. Reaktor
2. Reaktorske crpke
3. Parogeneratori
4. Tlačnik
5. Visokotlačna turbina
6. Niskotlačne turbine
7. Generator električne struje
8. Separator pare
9. Predgrijač pare
10. Kondenzator
11. Crpka kondenzata
12. Niskotlačni predgrijač
13. Napojna crpka
14. Visokotlačni predgrijač
15. Crpke rashladne savske vode
16. Rashladni tornjevi s čelijama
17. Crpka rashladnih tornjeva
18. Transformator

TURBOGENERATOR I ELEKTRIČNI SUSTAV

Parogeneratori proizvode zasićenu paru koja pokreće turbinu. Para u dvokrilnom viskotlačnom dijelu turbine ekspandira na 0,8 MPa, a zatim nakon izlučivanja vlage i predgrijavanja u dvama niskotlačnim dijelovima turbine na tlak od 5 kPa. U četverodijelnom kondenzatoru para se pretvara u tekućinu, a crpke napojne vode vraćaju kondenzat kroz grijачe u parogeneratore.

Trofazni električni generator ima snagu od 850 MVA s $\cos \phi = 0,876$ i naponom od 21 kV. Rotor trofaznoga generatora hlađen je vodikom, a stator vodom. Uz budna naprava nema četkica.

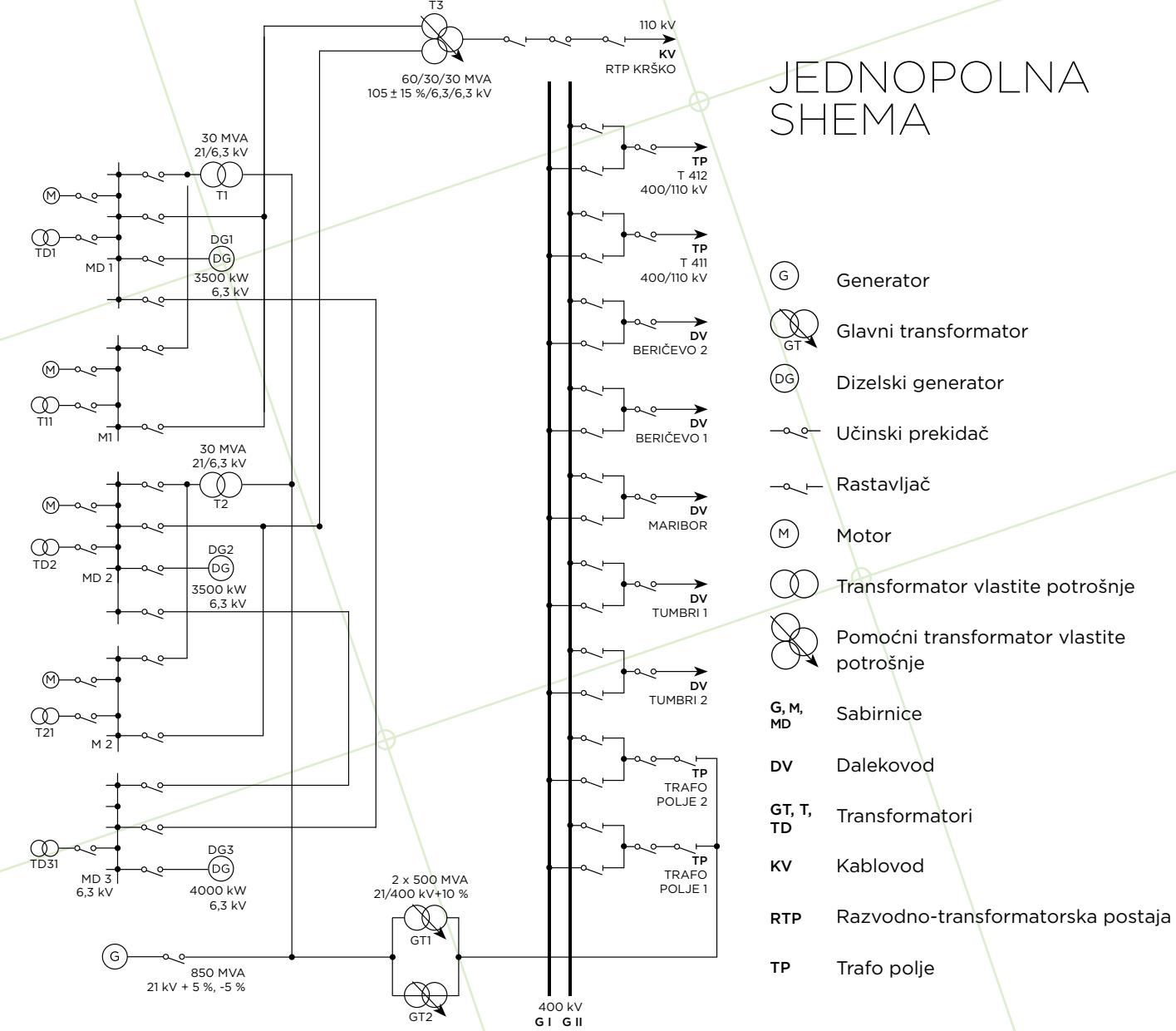
Kod protoka rijeke Save većih od $100 \text{ m}^3/\text{s}$ kondenzator se hlađi protočno. Pri manjim je protocima protočno hlađenje kombinirano s rashladnim tornjevima, tako da se oduzima manji dio vode iz Save, a ostalo se recirkulira preko rashladnih tornjeva. Temperatura vode u Savi smije se nakon miješanja s rashladnom vodom povećati najviše za 3°C a ne smije prijeći 28°C , u točki miješanja.

Nuklearna elektrana Krško uključena je u 400-kilovoltni prijenosni elektroenergetski sustav. Električna energija prijenosi se s generatora preko dvaju transformatora u rasklopno postrojenje elektrane, a od tu preko jednog dalekovoda prema Mariboru, a preko dvaju prema Ljubljani, Zagrebu i preko dvaju transformatora na 110-kilovoltne sabirnice RTP-a (razvodno-transformatorske postaje) Krško.

Elektrana se električnom energijom opskrbљuje iz vlastitoga generatora ili iz 400-kilovoltnog sustava, a u slučaju njegovog raspada preko 110-kilovoltnog kablovoda iz RTP-a Krško. Dodatno napajanje elektrane može osiguravati Termoelektrana Brestanica, koja je udaljena od NEK- a oko 7 km. Elektrana Brestanica može isključiti sve ostale potrošače i napajati samo NEK.

Za slučaj ispada vanjskih izvora napajanja NEK ima tri neovisna dizelska generatora s po 3.500 kW snage koji mogu već u 10 sekunda isporučivati energiju. Snaga svakoga dovoljna je za napajanje potrebne opreme koja osigurava sigurnu zaustavu elektrane.

JEDNOPOLNA SHEMA



RADIOAKTIVNI OTPAD I ZAŠTITA OKOLIŠA

Pri radu nuklearne elektrane nastaje plinoviti, tekući i kruti radioaktivni otpad. Za obradu otpadnih radioaktivnih plinova u elektrani se nalaze dva paralelna zatvorena kruga s kompresorom i katalitičkom peći za spaljivanje vodika i šest spremnika za raspad i zadržavanje komprimiranih fizijskih plinova. Četiri spremnika za plinove upotrebljavaju se tijekom redovitog rada elektrane, a dva kad je reaktor ugašen. Kapacitet spremnika dovoljan je za zadržavanje plina duže od mjesec dana. U tom se razdoblju većina kratkoživućih fizijskih plinova raspade, a preostali se plinovi puštaju u atmosferu u povoljnim meteoroškim prilikama. Automatski instrumenti za mjerjenje radioaktivnosti u ventilacijskom ispustu sprečavaju nekontrolirano ispuštanje plinova kada je koncentracija radioaktivnih plinova veća od dopuštene.

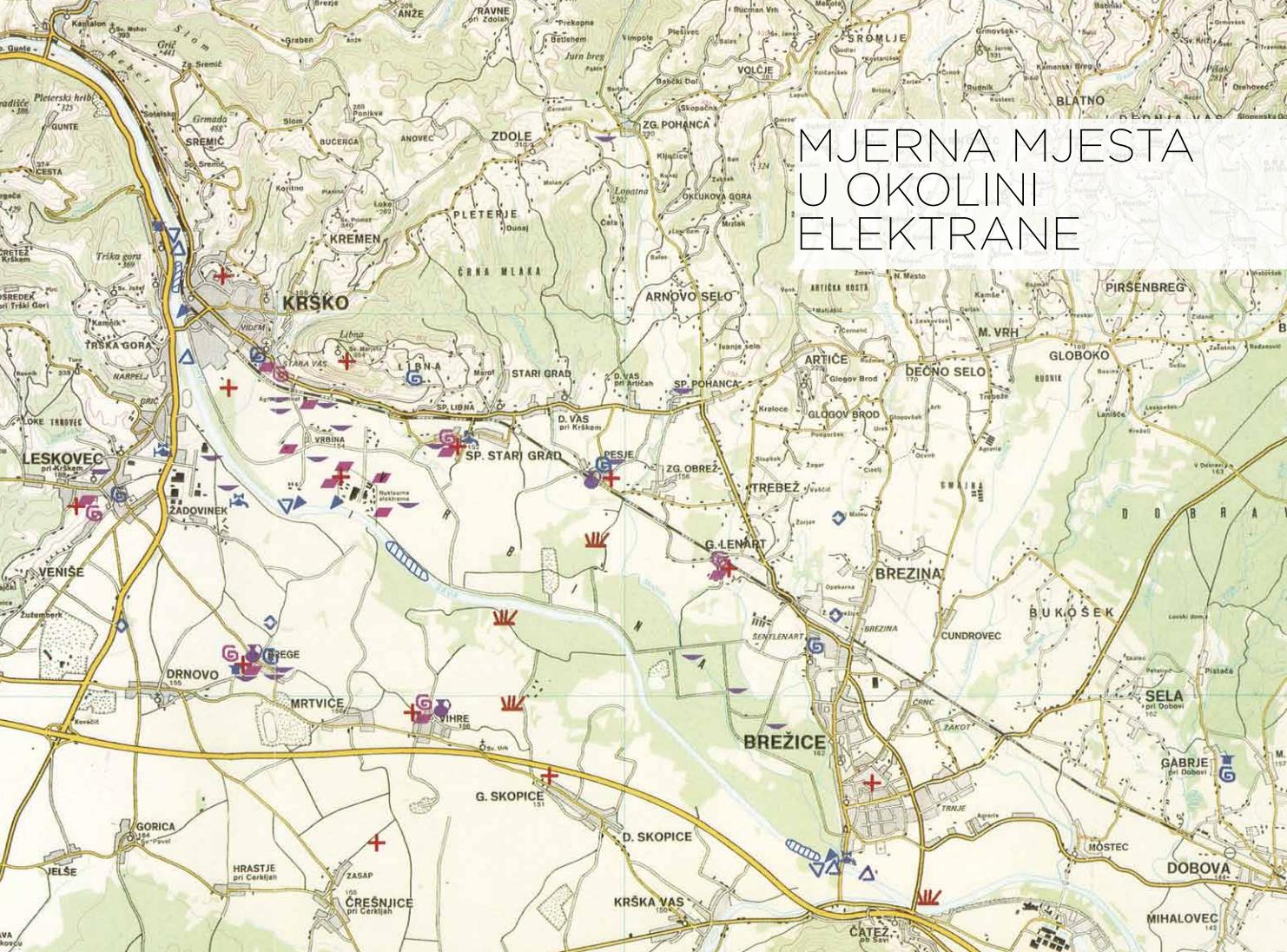
Tekući radioaktivni otpad pročišćava naprava za pročišćavanje, koja se sastoji od spremnika, crpki, filtera komore za isparavanje i dvaju demineralizatora. Posebno se čisti voda s talogom iz parogeneratora.

Radioaktivnost otpadne vode ispuštene u rijeku Savu znatno je niža od dopuštenih vrijednosti. Sav kruti radioaktivni otpad koji nastaje tijekom rada elektrane prilikom održavanja i popravaka skuplja se u pogonu za kruti otpad. Većinu otpada čine istrošeni ionski izmjenjivači, talog iz komore za isparavanje, istrošeni filtri i ostali kontaminirani kruti otpad kao što su papir, ručnici, radna odijela, laboratorijska oprema i alat.

Kruti se radioaktivni otpad komprimira ili ukrućuje te se njime pune 208-litarske bačve od čeličnog lima. Te se bačve privremeno pohranjuju u skladištu u elektrani.

Za vrijeme rada elektrane doprinos doze u okolini zbog NEK-a manji je od 0,1 % godišnje primljene doze zbog prirodne pozadine i umjetnih izvora. To osiguravaju suvremene naprave za pročišćavanje i stalnan nadzor okoline elektrane.

Radioaktivnost različitih uzoraka mjeri se na 50 mesta oko elektrane u Krškom polju već od 1974. godine. Na istim se mjernim mjestima izvode mjerjenja zraka, vode, oborina i bioloških uzoraka i tijekom rada elektrane. Ti se podaci uspoređuju s podacima o prirodnoj radioaktivnosti i atmosferskom talogu prije početka rada elektrane. Od početka izgradnje i tijekom rada elektrane prati se također stanje vode i biotopa u rijeci Savi te u podzemnim vodama.



- + Kontinuirni mjeraci brzine vanjskog zračenja
- ▢ Oborine
- ▢ Ribe
- ▢ Sedimenti
- △ Crpilište
- ▢ Crpke za jod
- ▢ Hrana
- ▢ Mlijeko
- ▢ Zemlja
- ▢ Aerosolne crpke
- ▢ Mjesečni uz. vode
- ▽ Ploče za hvatanje
- ▽ Jednokratni uz. vode

TEHNIČKI PODACI

ELEKTRANA	
• Tip reaktora	lakovodni tlačni reaktor
• Toplinska snaga reaktora	MW 1994
• Električna snaga na stezaljkama generatora	MW 727
• Snaga na pragu elektrane	MW 696
• Tehnički minimum	MW 32
• Specifična potrošnja	kcal/kWh 2560
• Toplinsko iskorištenje	% 36

REAKTORSKA ZGRADA

• Visina	m 71
• Unutrašnji promjer	m 32
• Vanjski promjer	m 38
• Ispitni tlak čelične ljske	MPa 0,357 (ata) (3,62)

REAKTORSKA POSUDA

• Vanjski promjer	m 3,69
• Visina	m 11,9
• Debljina stjenke	m 0,168
• Težina prazne posude	t 327
• Težina posude s unutrašnjom opremom	t 436

REAKTORSKO HLADIOLO

• Materijal	H ₂ O
• Dodaci	H ₃ BO ₃
• Broj rashladnih krugova	2
• Zajednički maseni protok	kg/s 9021
• Tlak	MPa 15,41 (ata) (157)
• Cjelokupna zapremina	m ³ 197
• Temperatura na ulazu u reaktor	°C 287
• Temperatura na izlazu iz reaktora	°C 324
• Broj crpki	2
• Kapacitet crpke	m ³ /s 6,3
• Snaga motora crpke	MW 5,22

PAROGENERATOR

• Materijal	INCONEL 690 TT
• Broj parogeneratora	2
• Tlak pare na izlazu	MPa 6,5 (ata) (63,5)
• Temperatura pare na izlazu	°C 280
• Temperatura napojne vode na ulazu	°C 219
• Maseni protok pare iz obaju parogeneratora	kg/s 1088
• Visina parogeneratora	m 20,6
• Težina parogeneratora	t 345
• Broj U-cijevi u parogeneratoru	5428
• Cjelokupna površina prijenosa topline	m ² 7177
• Vanjski promjer U-cijevi	mm 19,05
• Debljina U-cijevi	mm 1,09

REAKTORSKA JEZGRA

• Ekvivalentni promjer	m 2,45
• Ekvivalentna visina	m 3,66
• Ekvivalentna radikalna debljina reflektora	m 0,15
• Ekvivalentna aksialna debelina reflektora	m 0,10

GORIVO

Broj gorivih elemenata	121
Broj gorivih palica u gorivom elementu	235
Raspored gorivih palica	16 X 16
Dužina gorivih palica	m 3,658
Debljina košuljice	mm 0,572
Materijal košuljice	ZIRLO™
Kemijski sastav goriva	UO ₂
Promjer gorive tablete	mm 8,192
Dužina gorive tablete	mm 9,8
Ukupna količina urana	t 48,7

REGULACIJSKE PALICE

Broj regulacijskih svežnjeva	33
Broj apsorpcijskih palica u svežnju	20
Cjelokupna težina regulacijskog svežnja kg	52,2
Neutronski apsorber	Ag-In-Cd
Postotni sastav	% 80-15-5
Promjer	mm 8,36
Gustoća	g/cm ³ 10,16
Debljina košuljice	mm 0,445
Materijal košuljice	čelik SS 304

TEHNIČKI SIGURNOSNI UREĐAJI

• Pasivni sustav za sigurnosno ubrizgavanje:	
broj tlačnih spremnika	2
zapremina svakoga	m ³ 36,4
• Aktivni sustav za sigurnosno ubrizgavanje:	
visokotlačno sigurnosno ubrizgavanje:	
broj vodova	4
broj crpki	2
protok svake crpke	m ³ /s 0,044
niskotlačno sigurnosno ubrizgavanje:	
broj vodova	2
broj crpki	2
protok svake crpke	m ³ /s 0,14
• Vrijeme aktiviranja sustava za hlađenje s jezgre u nuždi	s 40

TURBOAGREGAT

• Maksimalna snaga	MW 730
• Protok pare	kg/s 1090
• Ulagani tlak svježe pare	MPa 6,42
• Temperatura svježe pare	(ata) (63)
• Brzina okretanja turbine	rad/s 157 (okret/min) (1500)

• Vlažnost pare pri ulazu	% 0,10
• Kondenzacijski tlak (vakuum)	kPa (ata) (0,052)
• Prosječna temperatura kondenzata	°C 33
• Broj glavnih napojnih crpki	3
• Kapacitet napojne crpke	% 50
• Nazivna snaga generatora	MVA 850
• Nazivni napon	kV 21
• Nazivna frekvencija generatora	Hz 50
• Nazivni cos	Ø 0,876
• Područje regulacije	% +5-5
• Bloktransformatori:	
nazivna snaga	MVA 2 x 500
prijenosni odnos	kV 21/400
regulacija pod opterećenjem	% +10
napon kratkog spoja	% 12,8/12,5
• Transformatori vlastite potrošnje:	
maksimalno dopuštena	MVA 2 x 30
trajna snaga	kV 21/6,3
prijenosni odnos	% 10
napon kratkog spoja	% 10
• Pomoći transformator:	
maksimalno dopuštena	MVA 60
trajna snaga	kV 105/6,3/6,3
prijenosni odnos	% +15
regulacija pod opterećenjem	% 12
napon kratkog spoja	% 12

ZNAČAJNIJI DATUMI

listopad 1970.

potpisani sporazum između IV Skupštine Slovenije i IV Sabora Hrvatske o gradnji NEK-a

prosinac 1974.

položen kamen temeljac za Nuklearnu elektranu Krško

veljača 1975.

početak iskopa i građevinskih radova na gradilištu početak montaže reaktorske zgrade

rujan 1975.

u riječku luku stiže prva oprema za nuklearni dio elektrane

lipanj 1976.

završena montaža reaktorske zgrade

listopad 1976.

početak montaže turbogeneratora

listopad 1977.

montirana oba parogeneratora i reaktorska posuda

travanj 1978.

završen najhitniji dio tlačnih ispitivanja

studenzi 1979.

završena isporuka goriva

listopad 1980.

u primarnom krugu elektrane postignuti nominalni parametri tlaka i temperature

svibanj 1981.

početak prve faze probnog rada - gorivo uloženo u reaktorsku posudu

rujan 1981.

u reaktoru postignuta samoodržavajuća reakcija generator sinkroniziran s mrežom, NEK daje prve kilovatsate u elektroenergetski sustav

listopad 1981.

prvi put postignuto 100 % snage elektrane

veljača 1982.

modificiran sustav za napajanje parogeneratora

srpanj 1982.

početak rada punom snagom

kolovoz 1982.

početak komercijalnog rada

siječanj 1983.

početak prvoga godišnjeg remonta i prve izmjene goriva

20

21

NEK dobiva dozvolu za početak redovnog rada zamjena parogeneratora i izgradnja potpunog simulatora

ugovor između Vlade Republike Slovenije i Vlade Republike Hrvatske o uređenju statusnih i drugih pravnih odnosa vezanih uz ulaganje, iskorištanje i razgradnju Nuklearne elektrane Krško

zamjena niskotlačnih turbina zamjena statora električnoga generatora zamjena reaktorske glave i rotora glavnoga generatora

modernizacija rasklopnog postrojanja i zamjena glavnog transformatora

veljača 1984.
svibanj 2000.

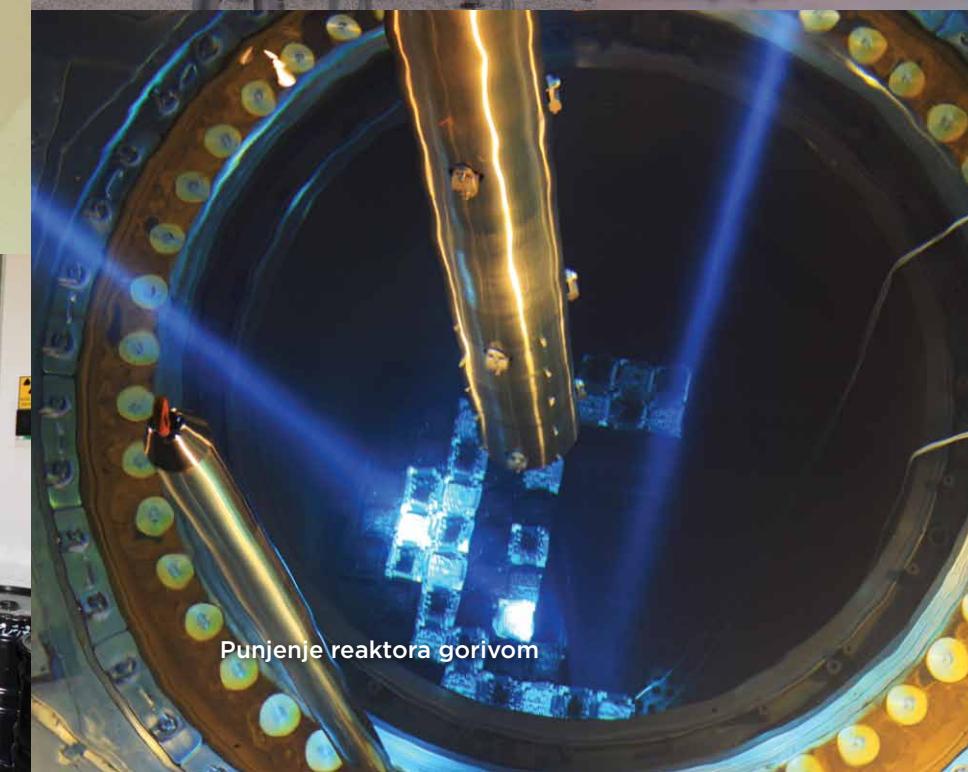
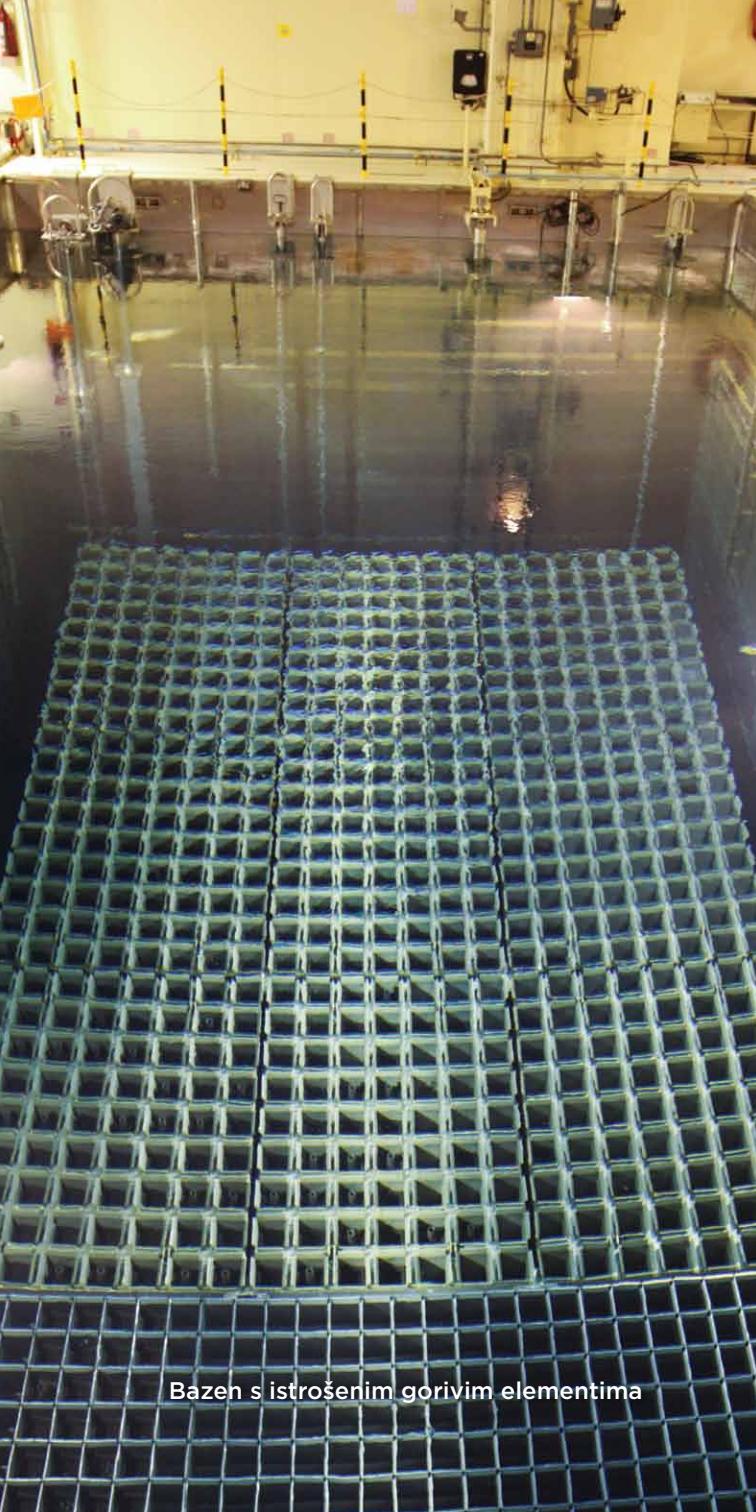
ožujak 2003.

travanj 2006.
listopad 2010.
travanj 2012.

listopad 2013.

NETO PROIZVODNJA U NEK-u





Nuklearna elektrana Krško
Vrbina 12
8270 Krško
Slovenija
Tel.: 00386 7 48 02 000
Faks: 00386 7 49 21 528
nek@nek.si
www.nek.si

Izdavač i nakladnik:
Nuklearna elektrana Krško

Urednici:
Ida Novak Jerele
Miran Pribožič

Naklada:
4000 primjeraka

2017. godina



www.nek.si