

NUKLEARNA ELEKTRANA KRŠKO



NUKLEARNA ELEKTRANA KRŠKO



Nuklearna elektrana Krško opremljena je Westinghouseovim lakovodnim tlačnim reaktorom toplinske snage od 1.994 MW. Priključena je na 400-kilovoltnu mrežu za opskrbu potrošačkih središta u Republici Sloveniji i Republici Hrvatskoj. S novim parogeneratorima i turbinama njena se snaga povećala na 702 MW na pragu, u godinama bez remonta proizvodi blizu 6 milijardi kWh električne energije, a u godinama sa remontom oko 5,4 milijarde kWh.

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.



Sava - izvor hlađenja elektrane

Komandna soba



GRADNJA NUKLEARNE ELEKTRANE KRŠKO

Prva istraživanja u Krškom polju, nakon što je odabrano 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 obiju republika.

Odluku o izgradnji nuklearne elektrane pospješila je činjenica da u objema republikama nedostaju primarni energetske izvori. Investitori su prve nuklearne elektrane Savske elektrane 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 Krško. Građevinske radove izvela su poduzeća Gradis i Hidroelektra, a montažu Hidromontaža i Đuro Đaković.

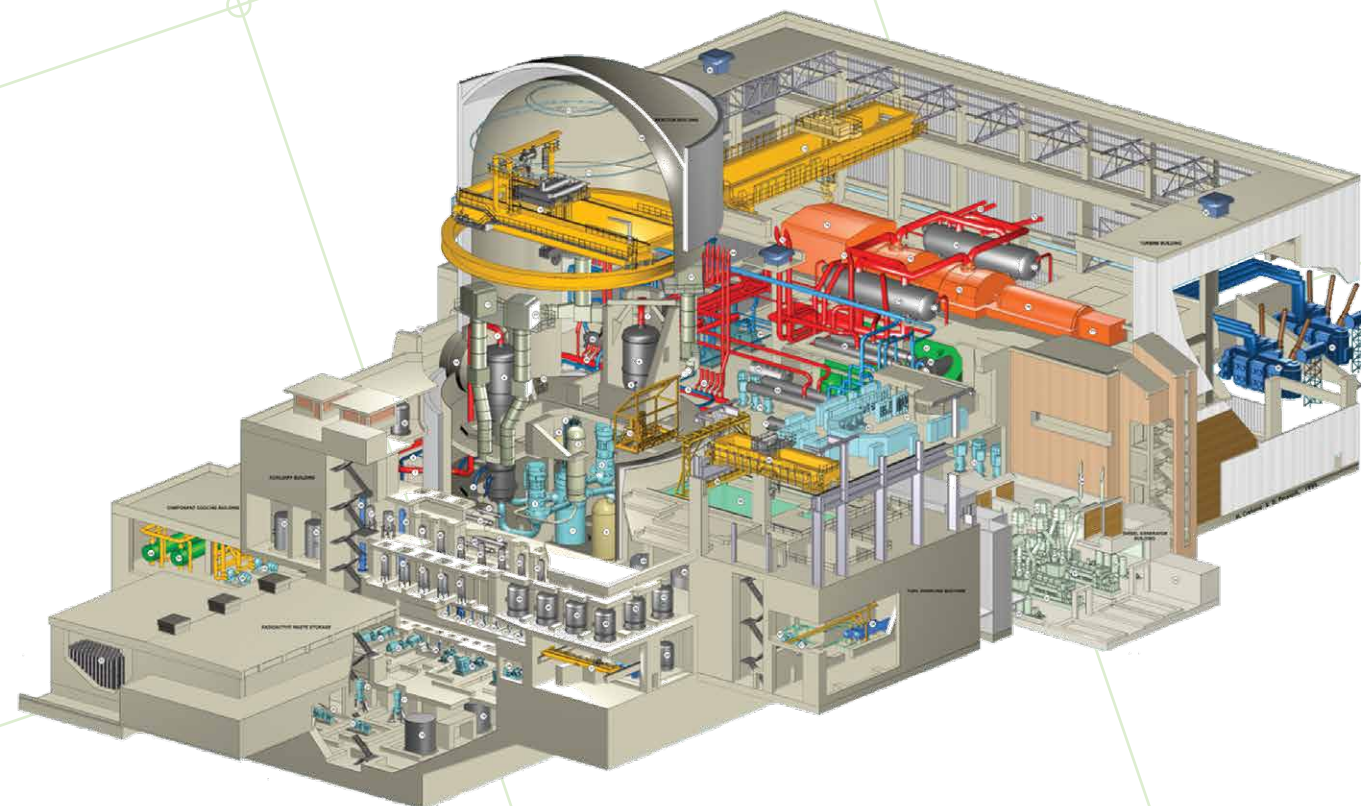
Sredstva za izgradnju u jednakim udjelima osigurale su Slovenija i Hrvatska preko svojih samoupravnih interesnih zajednica elektroprivrede te domaćih i stranih banaka.



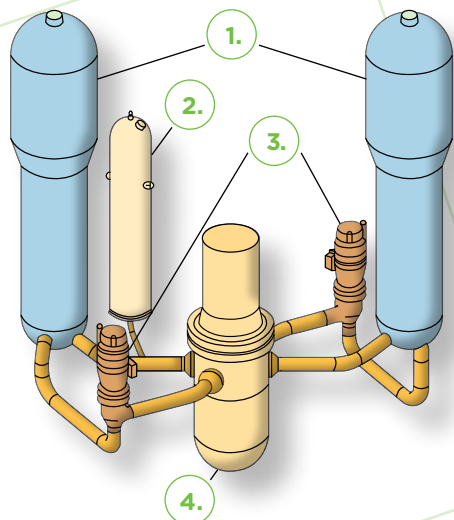
Reaktorsku zgradu, u kojoj se nalaze reaktor s dvama rashladnim krugovima i sigurnosni sustavi, čine unutrašnja tlačna čelična ljuska i vanjska armiranobetonska reaktorska zgrada. Oba prolaza u reaktorsku zgradu, za osoblje i za opremu, opremljena su hermetički zatvorenim prijelaznim komorama s dvojnim 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.

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.

Uz njih je suho skladište istrošenog goriva.



REAKTOR S RASHLADNIM KRUGOVIMA



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

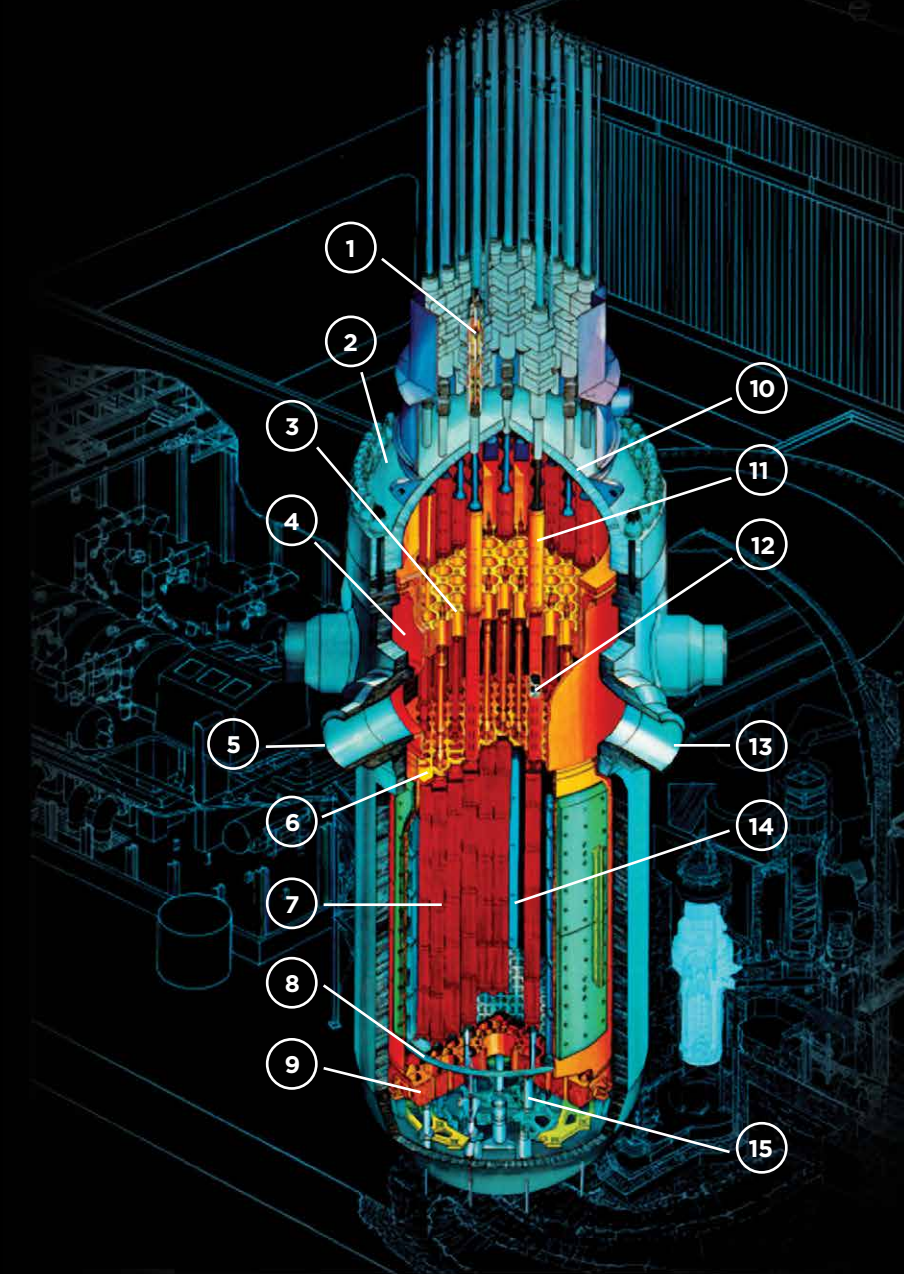
Westinghouseov tlačni reaktor s dvama rashladnim krugovima čine reaktorska posuda s unutrašnjom opremom i poklopcem, dva parogeneratorska, dvije reaktorske crpke, tlačnik, cjevovodi, ventili i pomoćni reaktorski sustavi.

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

Instrumenti za mjerenje 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 poklopcu reaktora, tako da apsorpcijske palice dopiru u reaktorsku jezgru. Dugoročne promjene reaktivnosti jezgre i trovanje jezgre produktima cijepanja kompenziraju se mijenjanjem koncentracije borne kiseline u reaktorskom hladilu.

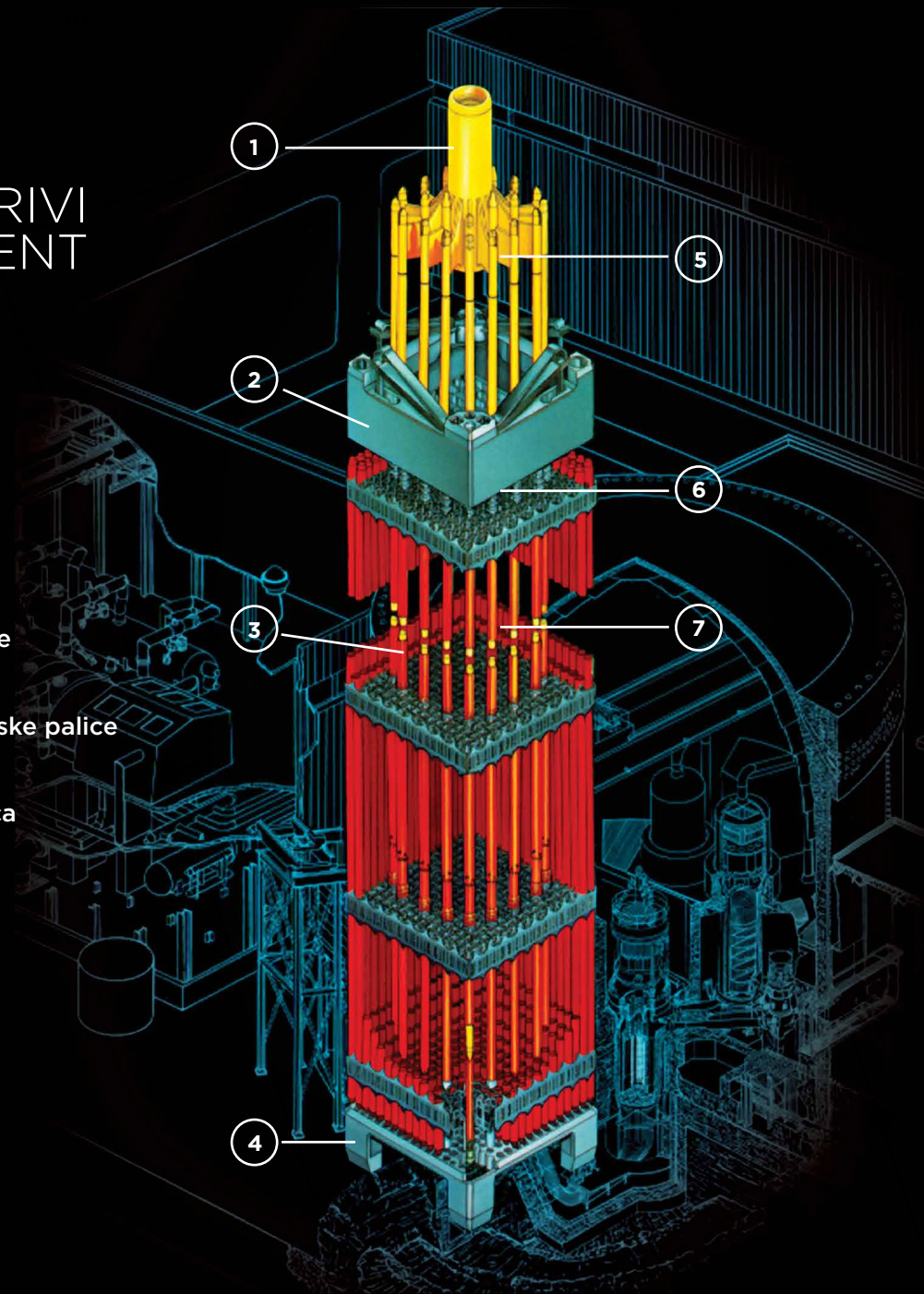
REAKTORSKA POSUDA



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. Topliniski 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. Vodicica apsorpcijske palice
4. Donja mlaznica
5. Apsorpcijska palica
6. Rešetka
7. Goriva palica



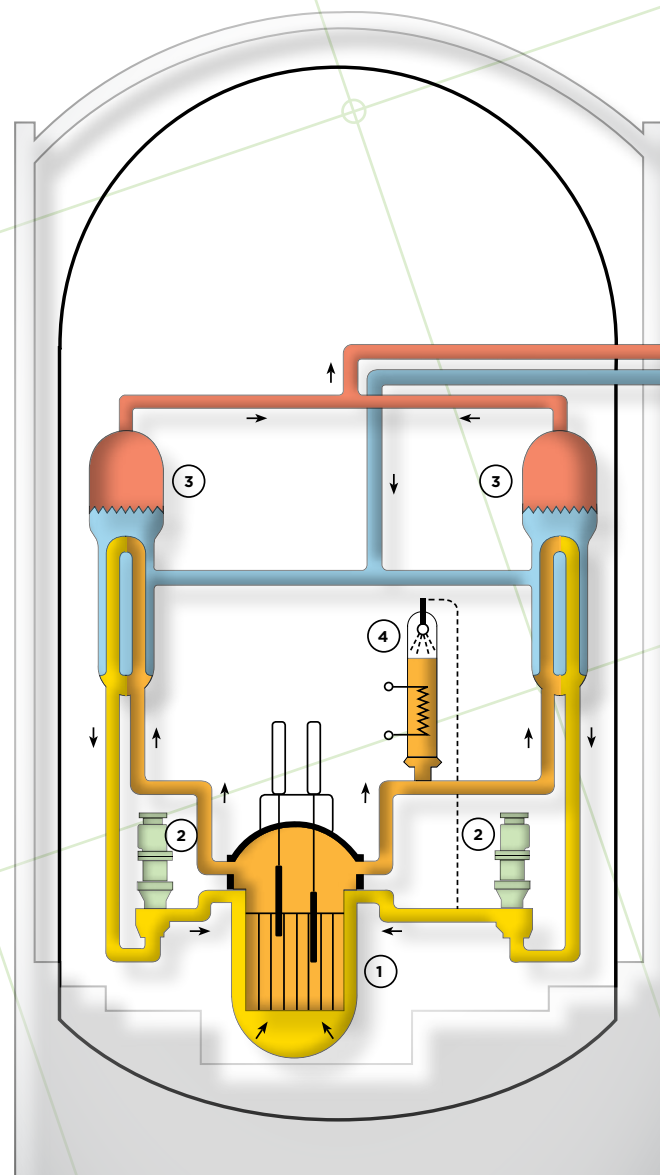
NUKLEARNO GORIVO

Reaktorsku jezgru čini 121 gorivi element, koji se sastoji od gorivih palica, donje i gornje mlaznice, rešetke, vodicica 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 hlade.

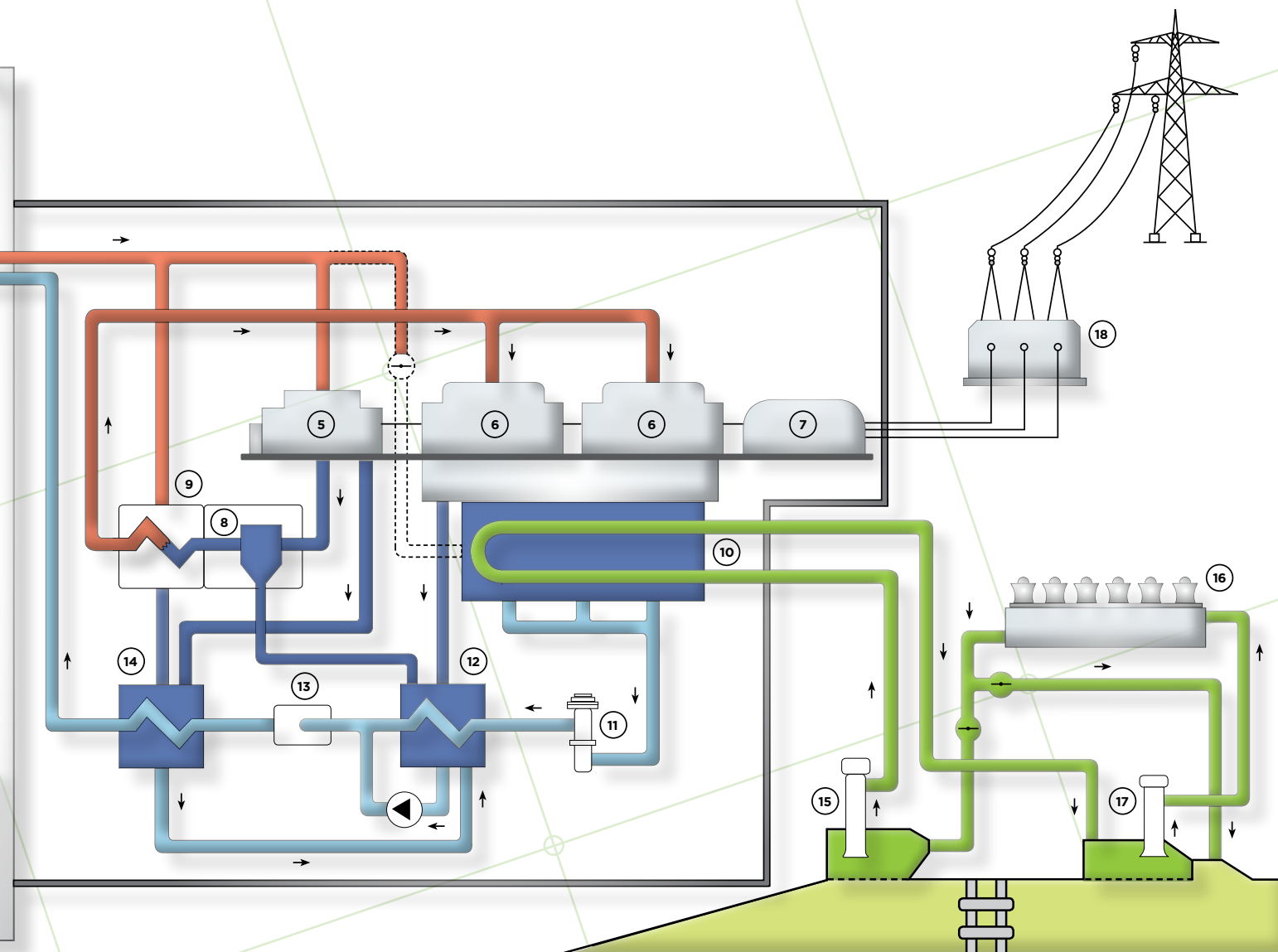
Nakon nekoliko godina istrošeno gorivo može se premjestiti u posude za istrošeno gorivo, a oni pak u robusne spremnike u kojima je osigurano pasivno hlađenje.

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.



HEMA 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 ćelijama
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 niskotlačnima dijelovima turbine na tlak od 5 kPa. U četverodijelnom kondenzatoru para se pretvara u tekućinu, a crpke napojne vode vraćaju kondenzat kroz grijače u parogeneratore.

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

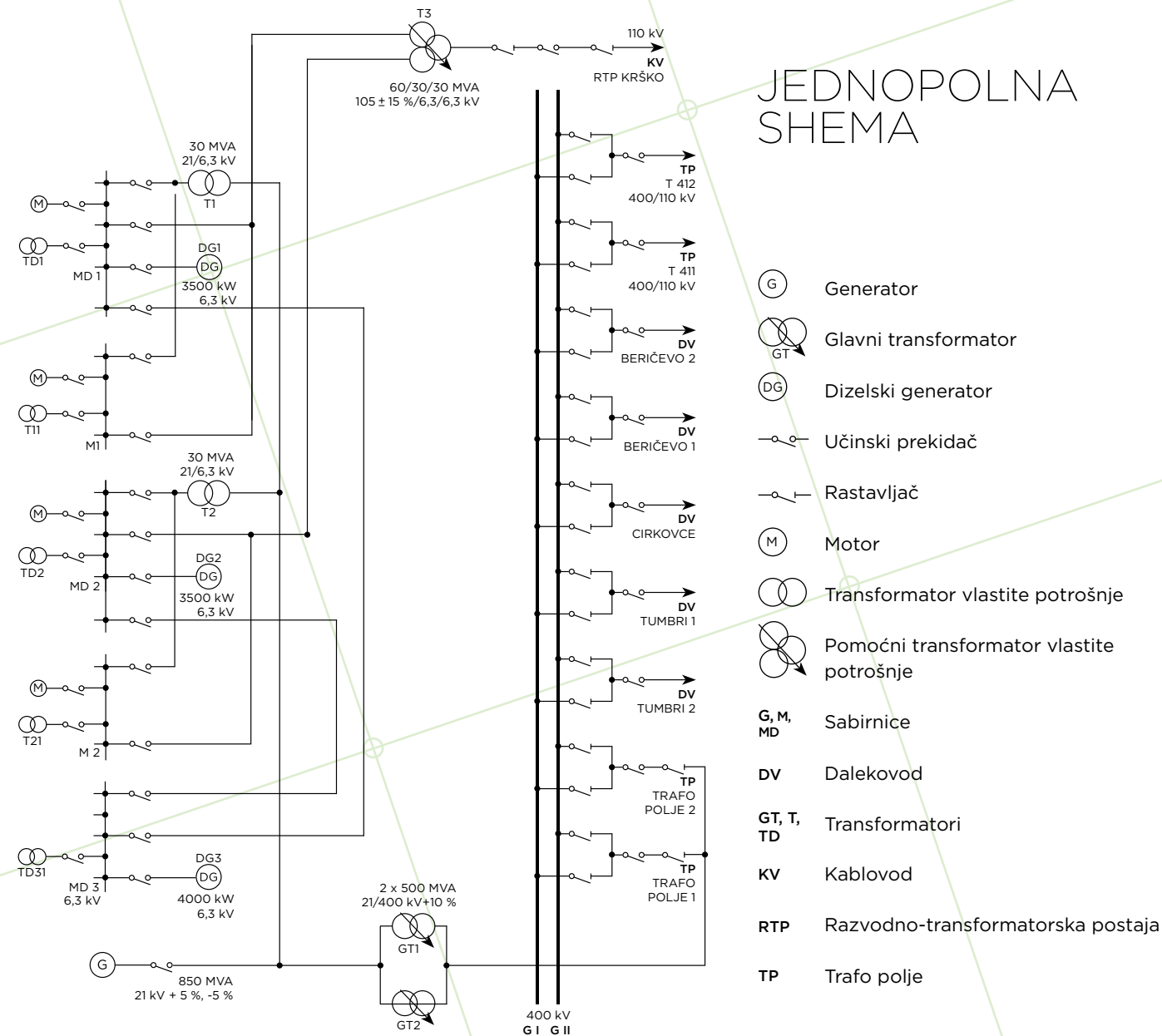
Kod protoka rijeke Save većih od 100 m³ u sekundi kondenzator se hladi protočno. Pri manjim je protocima protočno hlađenje kombinirano s rashladnim tornjevima, tako da se oduzima manji dio vode iz Save, a ostalo se recirkulira preko rashladnih tornjeva. Temperatura vode u Savi smije se nakon miješanja 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 opskrbljuje 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 ZAŠTIĆA 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 fisijskih 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 fisijskih plinova raspadne, a preostali se plinovi puštaju u atmosferu u povoljnim meteorološkim prilikama. Automatski instrumenti za mjerenje 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, filtara komore za isparavanje i dvaju demineralizatora. Posebno se čisti voda s talogom iz parogeneratorske vode.

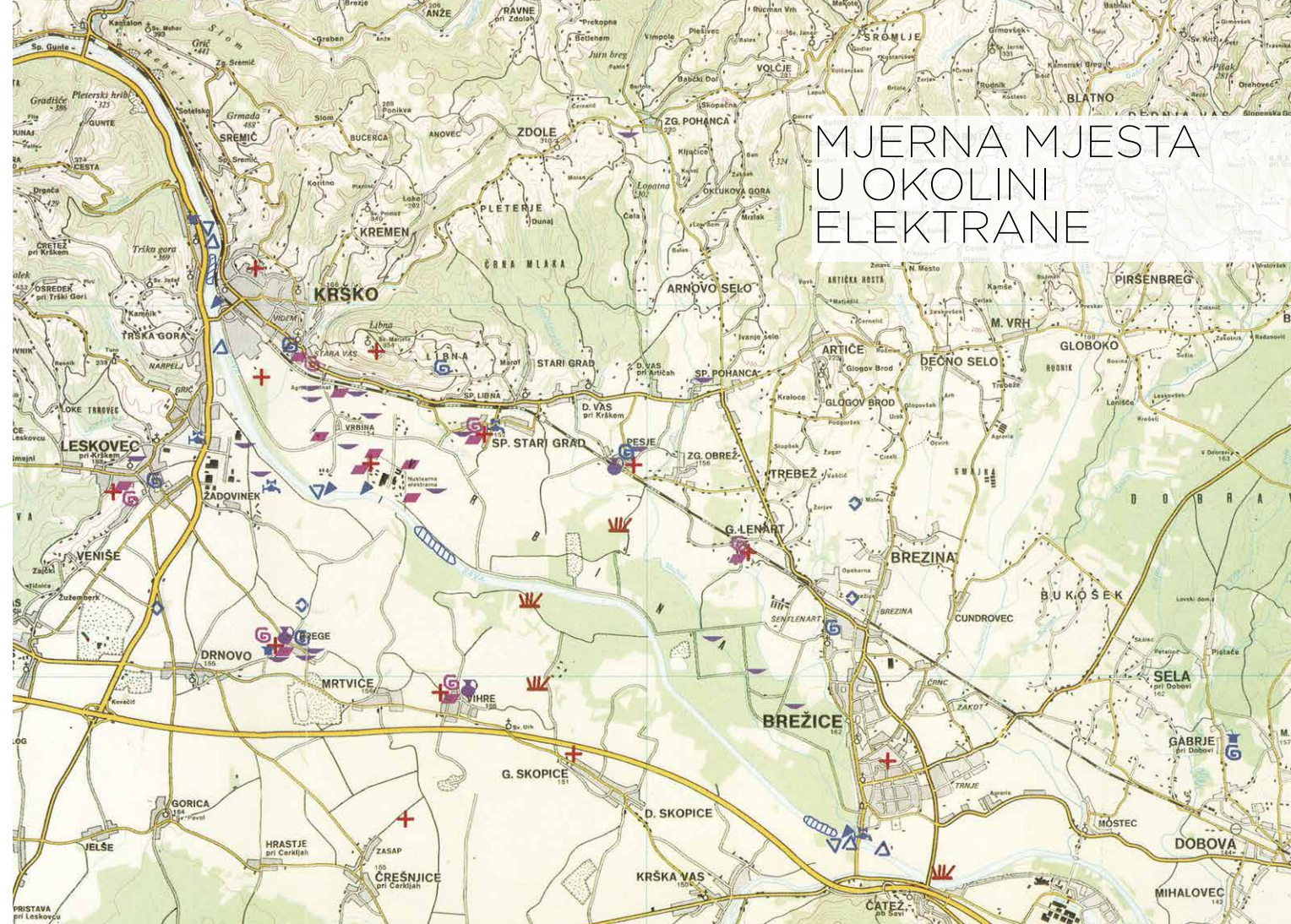
Radioaktivnost otpadne vode ispuštene u rijeku Savu znatno je niža od dopuštenih vrijednosti. Sav kruti radioaktivni otpad koji nastaje tijekom rada elektrane prilikom održavanja i popravaka skuplja se u pogonu za kruti otpad. Većinu otpada čine istrošeni ionski izmjenjivači, talog iz komore za isparavanje,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

Kruti radioaktivni otpad se komprimira ili ukrućuje te se njime pune 208-litarske bačve od čeličnog lima. Te se bačve privremeno pohranjuju u skladištu u elektrani. Zapaljivi radioaktivni otpad šalje se vanjskom izvođaču na spaljivanje čime se osigurava smanjenje volumena.

Za vrijeme rada elektrane doprinosi 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 stalan nadzor okoline elektrane.

Radioaktivnost različitih uzoraka mjeri se na 50 mjesta oko elektrane u Krškom polju već od 1974. godine. Na istim se mjernim mjestima izvode mjerenja 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.

MJERNA MJESTA U OKOLINI ELEKTRANE



- + Kontinuirni mjerači brzine vanjskog zračenja
- ▬ Ribe
- ▴ Sedimenti
- ◊ Crpilište
- ⌵ Uzorak iz pipe
- G Aerosolne crpke
- ▬ Ploče za hvatanje

- ▴ Oborine
- G Crpke za jod
- ▬ Hrana
- ◊ Mlijeko
- ⌵ Zemlja
- ▴ Mjesečni uz. vode
- ▾ Jednokratni uz. vode

TEHNIČKI
PODACI

ELEKTRANA

- Tip reaktora lakovodni tlačni reaktor
- Toplinska snaga reaktora MW 1994
- Električna snaga na stezaljkama generatora MW 737
- Snaga na pragu elektrane MW 702
- Tehnički minimum MW 35
- Specifična potrošnja kcal/kWh 2560
- Toplinsko iskorištenje % 36

REAKTORSKA ZGRADA

- Visina m 61
- Unutrašnji promjer m 32
- Vanjski promjer m 38
- Ispitni tlak čelične ljuske 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 HLADILO

- Materijal H₂O
- Dodaci H₃BO₃
- Broj rashladnih krugova 2
- Zajednički maseni protok kg/s 9021
- Tlak MPa 15,41 (ata) (157)
- Cjelokupna zapremina m³ 197
- Temperatura na ulazu u reaktor °C 287
- Temperatura na izlazu iz reaktora °C 324
- Broj crpki 2
- Kapacitet crpke m³/s 6,3
- Snaga motora crpke MW 5,22

PAROGENERATOR

- Materijal INCONEL 690 TT
- Broj parogeneratorskih cijevi 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 parogeneratorskih cijevi kg/s 1088
- Visina parogeneratorske cijevi m 20,6
- Težina parogeneratorske cijevi t 345
- Broj U-cijevi u parogeneratoru 5428
- Cjelokupna površina prijenosa topline m² 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 radijalna debljina reflektora m 0,15
- Ekvivalentna aksialna debljina 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 UO₂
- 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
- Neutronska apsorber Ag-In-Cd
- Postotni sastav % 80-15-5
- Promjer mm 8,36
- Gustoća g/cm³ 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 m³ 36,4
- Aktivni sustav za sigurnosno ubrizgavanje: visokotlačno sigurnosno ubrizgavanje: broj vodova 4, broj crpki 2, protok svake crpke m³/s 0,044, niskotlačno sigurnosno ubrizgavanje: broj vodova 2, broj crpki 2, protok svake crpke m³/s 0,14
- Vrijeme aktiviranja sustava za hlađenje jezgre u nuždi s 40

TURBOAGREGAT

- Maksimalna snaga MW 737
- Protok pare kg/s 1090
- Ulazni tlak svježe pare MPa 6,42 (ata) (63)
- Temperatura svježe pare °C 280,7
- Brzina okretanja turbine rad/s 157 (okret/min) (1500)

- Vlažnost pare pri ulazu % 0,10
- Kondenzacijski tlak (vakuum) kPa 5,1 (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

TRANSFORMATORI

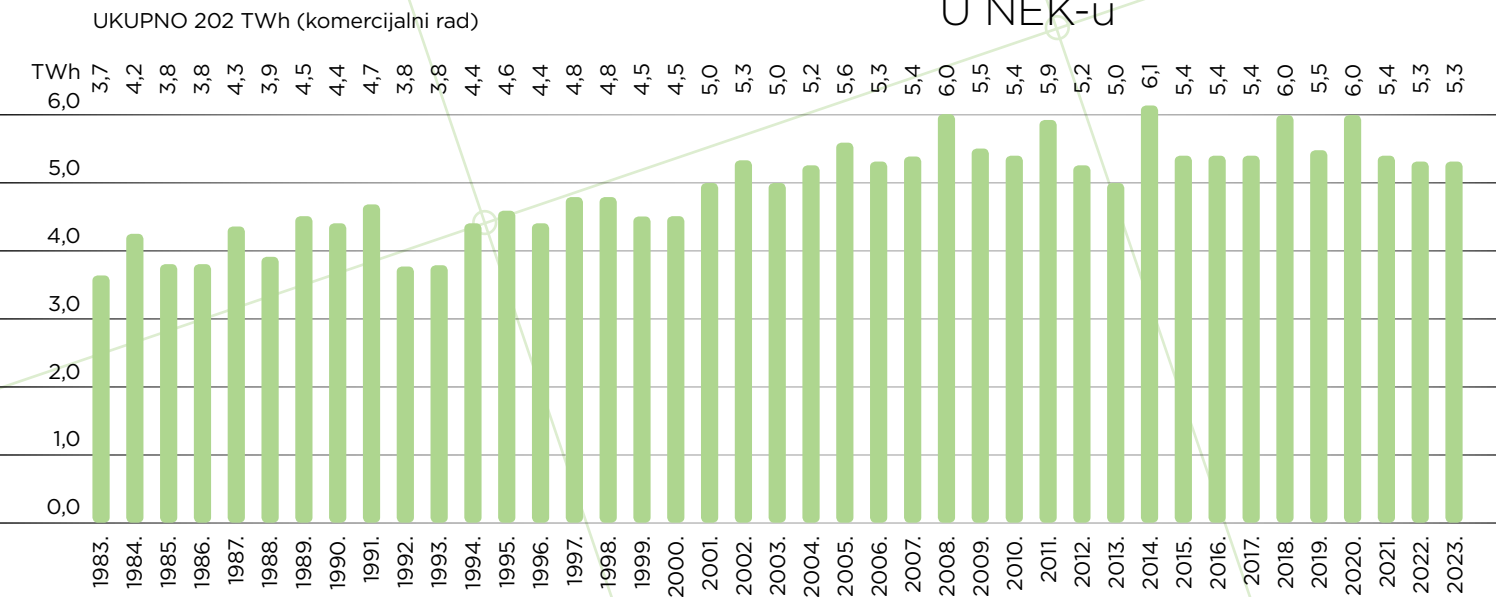
- Bloktransformatori: nazivna snaga MVA 2 x 500, prijenosni odnos kV 21/400, regulacija pod opterećenjem % +-10, napon kratkog spoja % 12,8/12,5
- Transformatori vlastite potrošnje: maksimalno dopuštena trajna snaga MVA 2 x 30, prijenosni odnos kV 21/6,3, napon kratkog spoja % 10
- Pomoćni transformator: maksimalno dopuštena trajna snaga MVA 60, prijenosni odnos kV 110/6,3/6,3, regulacija pod opterećenjem % +-16, napon kratkog spoja % 12

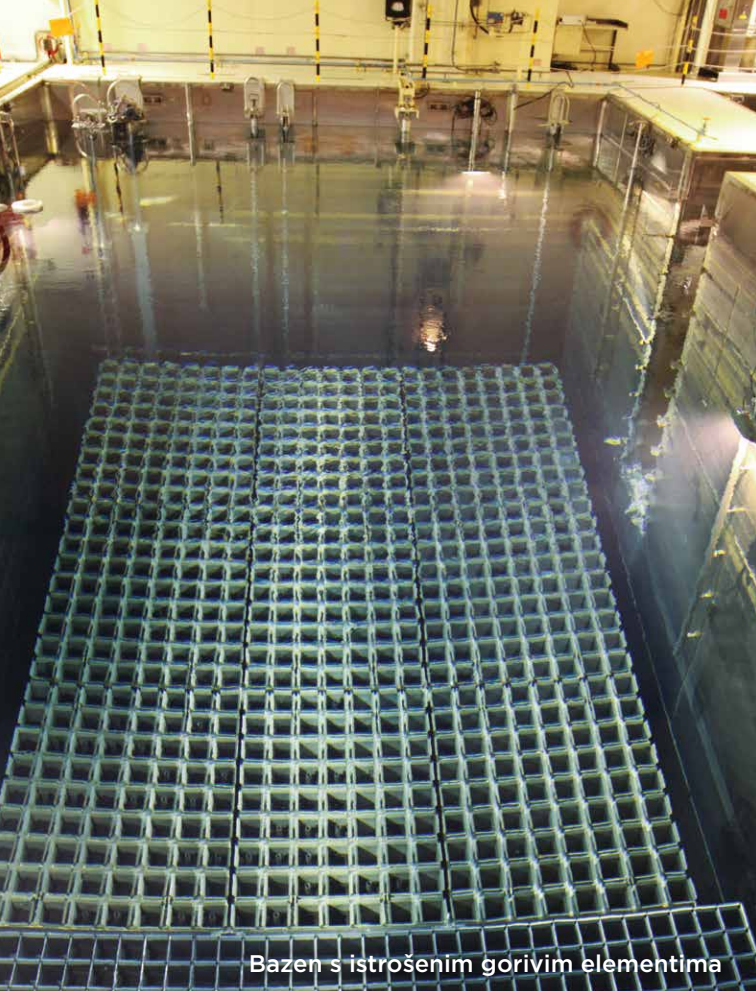
ZNAČAJNIJI DATUMI

- Listopad 1970.** potpisan sporazum između IV Skupštine Slovenije i IV Sabora Hrvatske o gradnji NEK-a
- prosina 1974.** položen kamen temeljac za Nuklearnu elektranu Krško
- veljača 1975.** početak iskopa i građevinskih radova na gradilištu
- listopad 1977.** početak montaže turbogenerators
- travanj 1978.** montirana oba parogenerators i reaktorska posuda
- studen 1979.** završen najhitniji dio tlačnih ispitivanja
- listopad 1980.** završena isporuka goriva
- studen 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
- listopad 1981.** generator sinkroniziran s mrežom, NEK daje prve kilovatsate u elektroenergetski sustav
- veljača 1982.** prvi put postignuto 100 % snage elektrane
- srpanj 1982.** modificiran sustav za napajanje parogenerators
- kolovoz 1982.** početak rada punom snagom
- siječanj 1983.** početak komercijalnog rada
- srpanj 1983.** početak prvoga godišnjeg remonta i prve izmjene goriva
- veljača 1984.** NEK dobiva dozvolu za početak redovnog rada
- svibanj 2000.** zamjena parogenerators i izgradnja potpunog simulatora
- ožujak 2003.** ugovor između Vlade Republike Slovenije i Vlade Republike Hrvatske o uređenju statusnih i drugih pravnih odnosa vezanih uz ulaganje, iskorištavanje i razgradnju Nuklearne elektrane Krško

- travanj 2006.** zamjena niskotlačnih turbina
- listopad 2010.** zamjena statora električnoga generatora
- travanj 2012.** zamjena reaktorske glave i rotora glavnoga generatora
- listopad 2013.** modernizacija rasklopnog postrojanja i zamjena glavnog transformatora
- listopad 2019.** Komandna soba za upravljanje izvanrednim događajima
- travanj 2022.** Izgradnja posebno utvrđene zaštitne zgrade s alternativnim sustavom za punjenje parogenerators i sustavom sigurnosnog ubrizgavanja borirane vode
- siječanj 2023.** Izgradnja suhog skladišta nuklearnog goriva

NETO PROIZVODNJA U NEK-u





Bazen s istrošenim gorivim elementima



Pregled svježega goriva



Rasklopno postrojenje



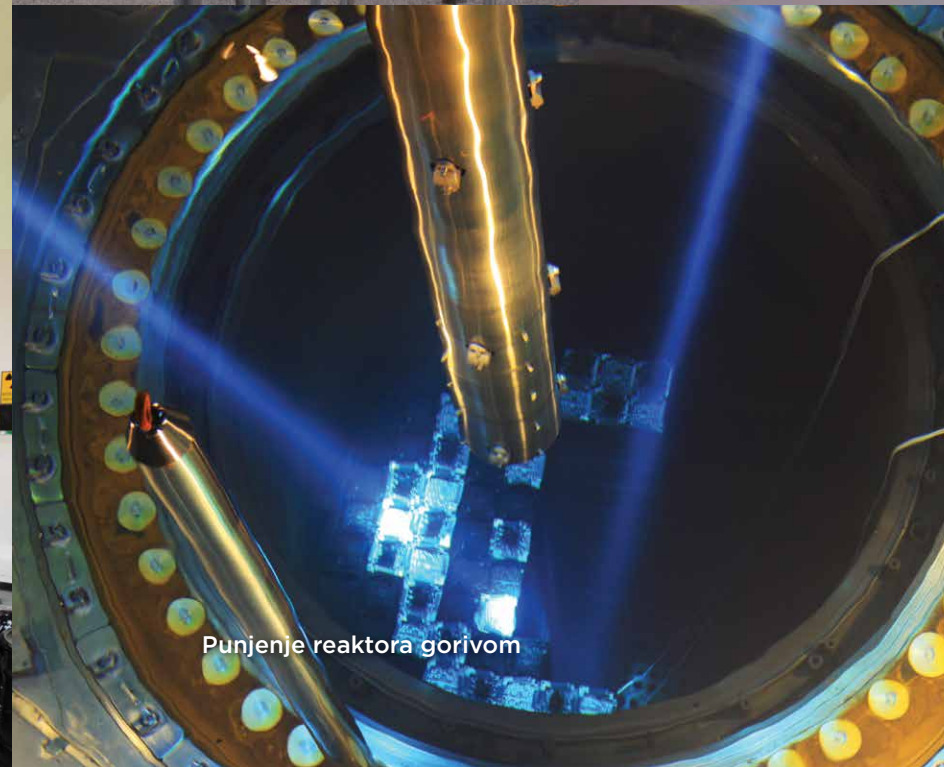
Turboagregat



Suho skladište istrošenog goriva



Privremeno skladište NSRAO-a



Punjenje reaktora gorivom

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:
2000 primjeraka

2024. godina



www.nek.si

