

NUKLEARNA ELEKTRARNA KRŠKO



NUKLEARNA ELEKTRARNA KRŠKO



Nuklearna elektrarna Krško je opremljena z Westinghousovim lahkovodnim tlačnim reaktorjem toplotne moči 1994 MW. Priključena je na 400-kilovoltno omrežje za napajanje potrošnih središč v Republiki Sloveniji in Republiki Hrvaški. Njena moč se je po zamenjavi uparjalnikov in turbin povečala na 702 MW na pragu, v letih brez remonta proizvede blizu 6 milijard kWh električne energije in v letih z remontom okrog 5,4 milijarde kWh.

Elektrarna leži na levem bregu reke Save v industrijski coni Krškega. Do elektrarne vodi industrijska cesta, ki je priključena na regionalno cesto Krško – Brežice.

Elektrarna ima tudi industrijski tir, ki jo povezuje z železniško postajo v Krškem. Poslanstvo in odgovornost Nuklearne elektrarne Krško je zagotavljanje varnega in stabilnega obratovanja, konkurenčna proizvodnja električne energije in zagotavljanje sprejemljivosti v javnosti.



Sava - vir hlajenja elektrarne



Kontrolna soba

GRADITEV NUKLEARNE ELEKTRARNE KRŠKO

Prve raziskave na Krškem polju je, potem ko je to postalo možna lokacija za jedrsko elektrarno, izvedla delovna skupina Poslovnega združenja energetike Slovenije med letoma 1964 in 1969 ob sodelovanju elektrogospodarskih organizacij Slovenije in raziskovalnih inštitutov.

Na predlog slovenskih in hrvaških elektrogospodarskih organizacij sta Izvršna sveta Slovenije in Hrvaške leta 1970 sklenila dogovor o skupni graditvi jedrske elektrarne za pokritje naraščajočih potreb po električni energiji v obeh republikah.

Odločitev za graditev jedrske elektrarne je pospešilo dejstvo, da v obeh republikah primanjkuje primarnih energetskih virov. Investitorja jedrske elektrarne sta bila Savske elektrarne Ljubljana in Elektroprivreda Zagreb, ki sta z investicijsko skupino izvedla pripravljalna dela, razpis in izbrala najugodnejšega ponudnika.

Avgusta 1974 sta investorja sklenila pogodbo o dobavi opreme in graditvi jedrske elektrarne moči 632 MW z ameriško firmo Westinghouse Electric Corporation. Po pogodbi je bil glavni izvajalec Westinghouse, njegov projektant ameriška firma Gilbert Associates Inc., izvajalci del na gradbišču pa so bila domača podjetja.

Prvega decembra 1974 je tedanji predsednik Jugoslavije Josip Broz Tito vgradil temeljni kamen za jedrsko elektrarno v Krškem. Gradbena dela sta opravili podjetji Gradis in Hidroelektra, montažo pa Hidromontaža in Đuro Đaković.

Sredstva za graditev sta v enakih deležih zagotovili Slovenija in Hrvaška preko svojih samoupravnih interesnih skupnosti elektrogospodarstva ter domačih in tujih bank.



ZGRADBE

Vsi tehnološko pomembnejši objekti jedrske elektrarne stoje na masivni železobetonski plošči, zasidrani v glinasto-peščene sloje pliocenskih usedlin Krškega polja. Ta plošča tvori čvrst in potresno varen temelj. Zgradbe so projektirane in grajene tako, da brez večjih poškodb zdržijo pričakovane potrese na tem področju.

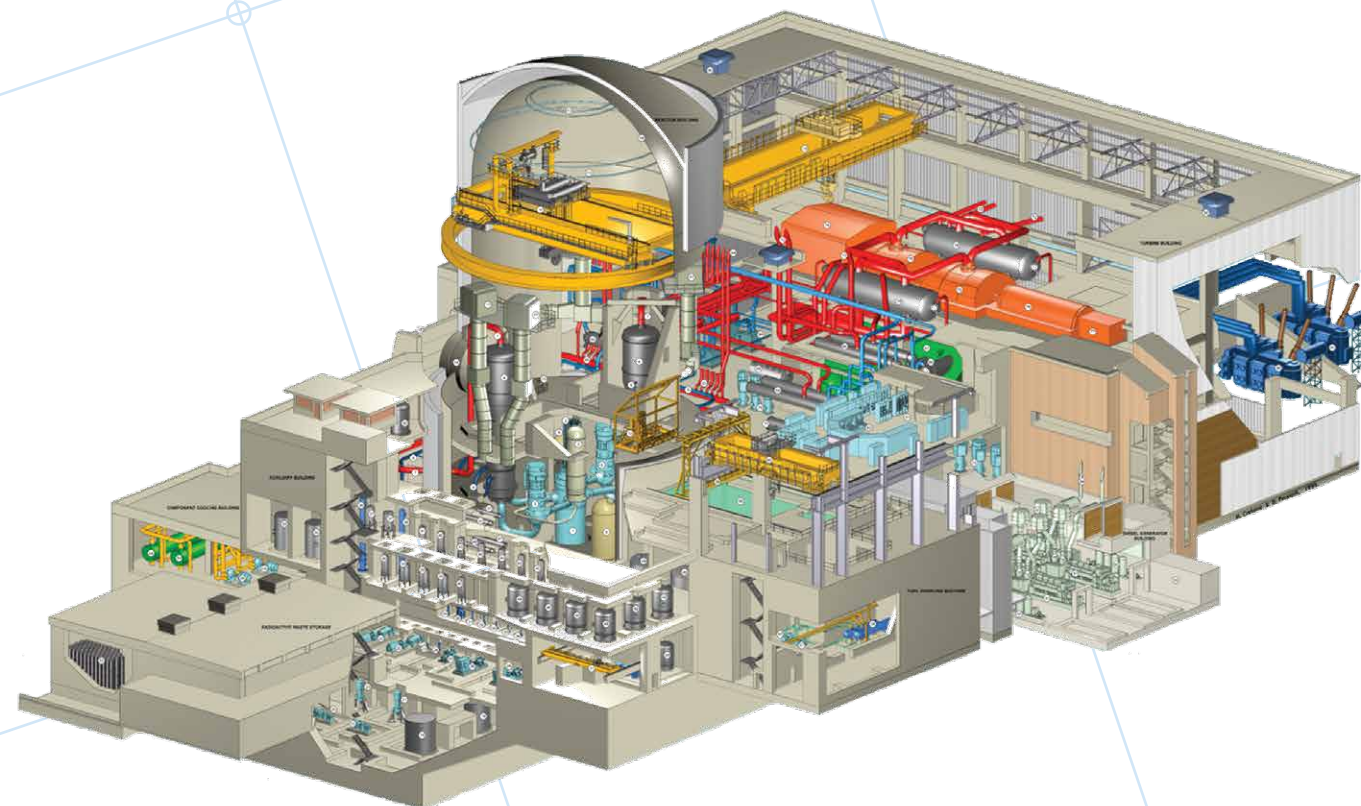
Reaktorsko zgradbo, v kateri je reaktor s hladilnima zankama in varnostnimi sistemi, sestavljata notranja tlačna jeklena lupina in zunanja železobetonska zaščitna zgradba. Predora v reaktorsko zgradbo za ljudi in opremo sta opremljena z zrakotesnimi prehodnimi komorami z dvojnimi vrati. Številni predori skozi stene za cevovode in kable so dvojno tesnjeni. Ob reaktorski zgradbi so objekti za pomožne sisteme, hlajenje delov, ravnanje z gorivom, zasilne dizelske generatorje in turbinska zgradba.

Zajema hladilne vode in varnostno oskrbovalne vode sta na bregu reke Save. Izpust hladilne vode je pod jezom. V primeru premajhnega pretoka vode v Savi hladijo kondenzatorsko hladilno vodo hladilni stolpi s hladilnimi celicami s prisilnim vlekem.

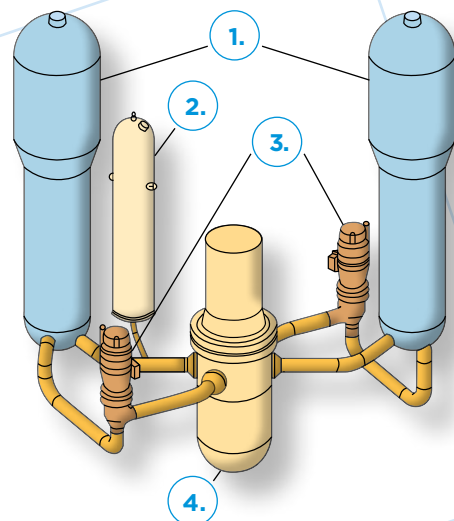
Skladišče srednje in nizko radioaktivnih odpadkov je na jugozahodnem robu elektrarne. Upravna zgradba z delavnicami in stikališče sta ob severnem robu ob vhodu v elektrarno. Na zahodnem delu sta dve posebno utrjeni zgradbi s sistemi in opremo, ki še povečujejo odpornost elektrarne na malo verjetne ekstremne in druge dogodke.

Ob njima pa je suho skladišče za izrabljeno gorivo.

SHEMATSKI PREREZ ELEKTRARNE



REAKTOR S HLADILNIMA ZANKAMA



1. Uparjalnika
2. Tlačnik
3. Reaktorski črpalki
4. Reaktor

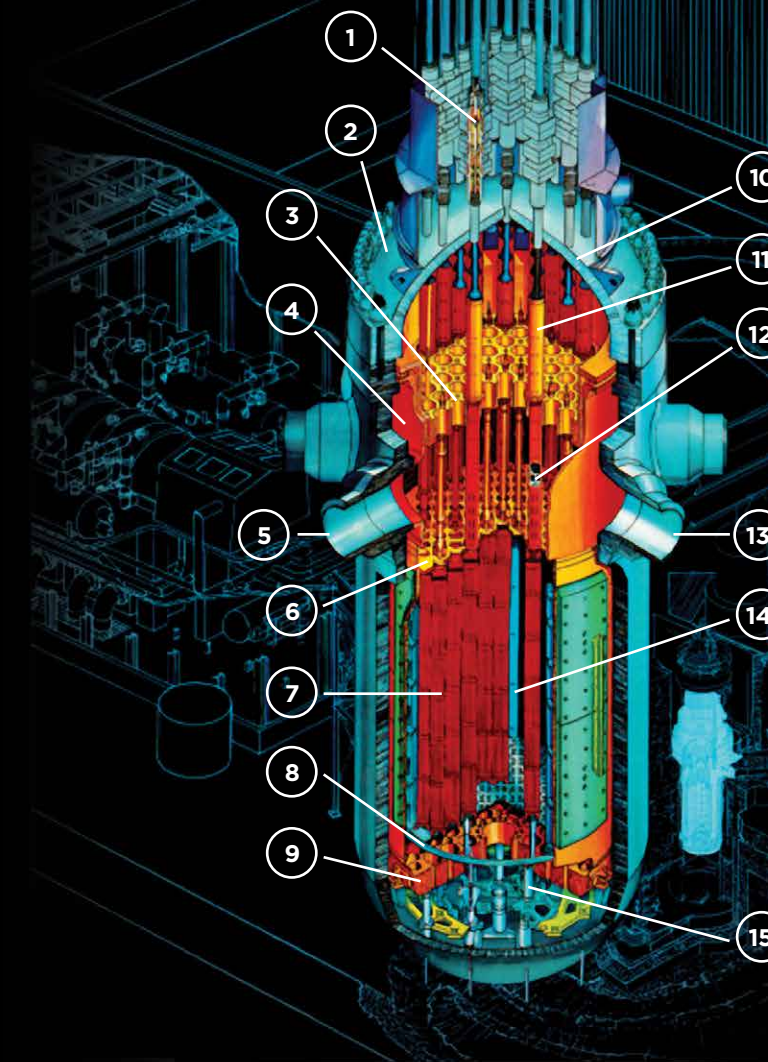
Westinghousov tlačni reaktor z dvema hladilnima zankama sestavljajo reaktorska posoda z notranjo opremo in pokrovom, dva uparjalnika, dve črpalki reaktorskega hladila, tlačnik, cevovodi, ventili in pomožni reaktorski sistemi.

Kot reaktorsko hladilo, moderator nevtronov in topilo za borovo kislino, se uporablja navadna demineralizirana voda. V uparjalniku oddaja reaktorsko hladilo toploto, ki na sekundarni strani uparjalnika greje napajalno vodo in jo uparja. Tlak hladila vzdržuje tlačnik s pomočjo električnih grelnikov in vodnih prh, ki se napajajo z vodo iz hladne veje hladilne zanke reaktorskega hladila.

Merilniki nevtronskega fluksa, temperature in pretoka reaktorskega hladila ter tlaka in gladine vode v tlačniku dajejo potrebne podatke za krmiljenje delovnega procesa in varovanje reaktorskega sistema.

Moč reaktorja se uravnava z regulacijskimi palicami. Pogonski mehanizmi regulacijskih palic so pritrjeni na glavo reaktorske posode, njihove absorpcijske palice pa segajo v reaktorsko sredico. Dolgoročne spremembe reaktivnosti sredice in njeno zastrupljanje s produkti cepitve se kompenzirajo z menjavo koncentracije borove kisline v reaktorskem hladilu.

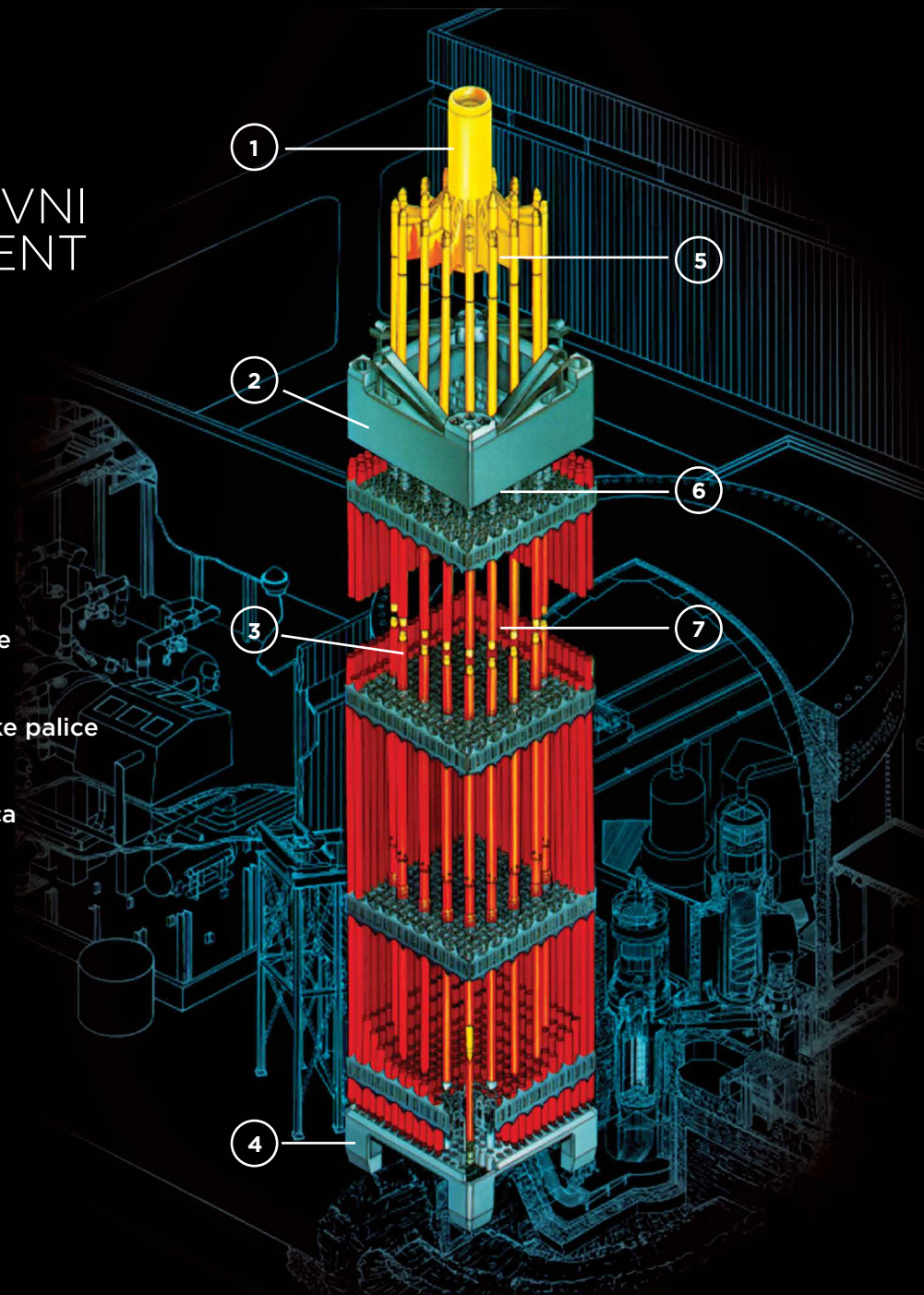
REAKTORSKA POSODA



1. Pogonski mehanizem regulacijskih palic
2. Glava reaktorske posode
3. Zgornja oporna plošča
4. Plašč sredice
5. Izstopna šoba
6. Zgornja plošča sredice
7. Gorivni elementi
8. Spodnja nosilna plošča sredice
9. Oporno dno
10. Toplotna ovojnica
11. Vodilo regulacijskega svežnja
12. Dvižni drog regulacijskega svežnja
13. Vstopna šoba
14. Delilnik pretoka
15. Vodila za instrumentacijo

GORIVNI ELEMENT

1. Regulacijske palice
2. Zgornja šoba
3. Vodilo absorpcijske palice
4. Spodnja šoba
5. Absorpcijska palica
6. Distančna rešetka
7. Gorivna palica



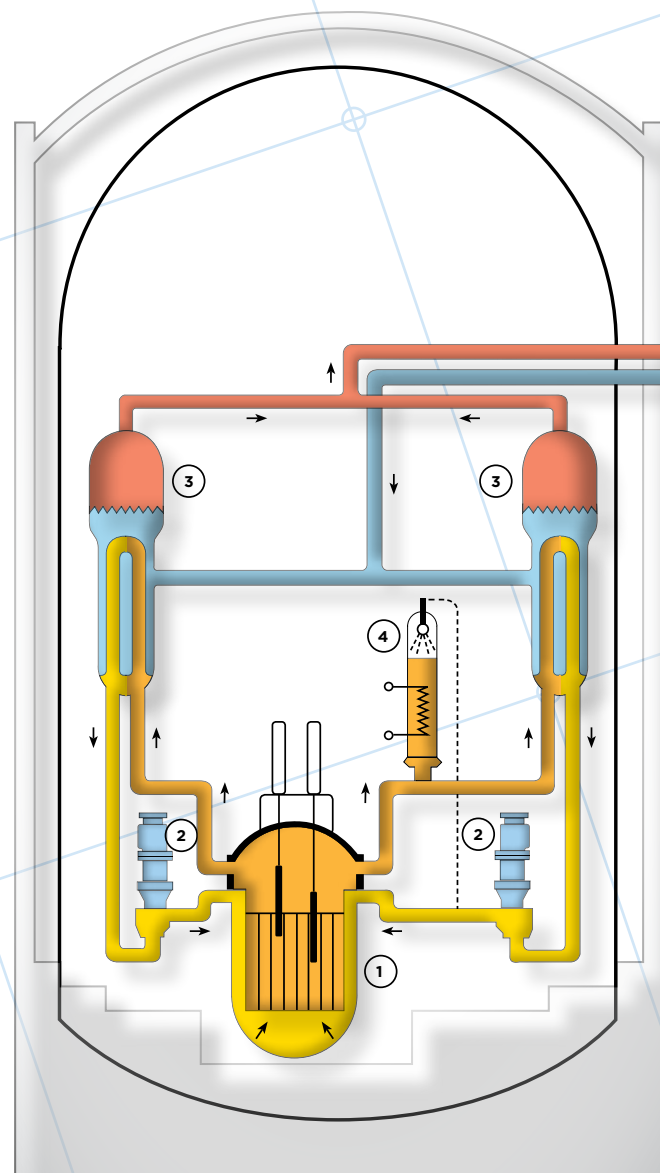
JEDRSKO GORIVO

Reaktorsko sredico sestavlja 121 gorivnih elementov. Gorivni element tvorijo gorivne palice, spodnja in zgornja šoba, distančniki ter vodila absorpcijskih palic in instrumentacije. Gorivne palice so keramične tablete uranovega dioksida v zavarjenih ceveh iz cirkonijeve zlitine.

Gorivo iz uranovega dioksida ima obliko sintranih tablet in je obogateno z uranom 235. Med remontom - vsakih 18 mesecev - se zamenja skoraj polovica gorivnih elementov s svežimi. Sveži gorivni elementi so uskladiščeni v suhi shrambi za gorivo. Izrabljeni gorivni elementi so shranjeni pod vodo v bazenu za izrabljeno gorivo, kjer se hladijo.

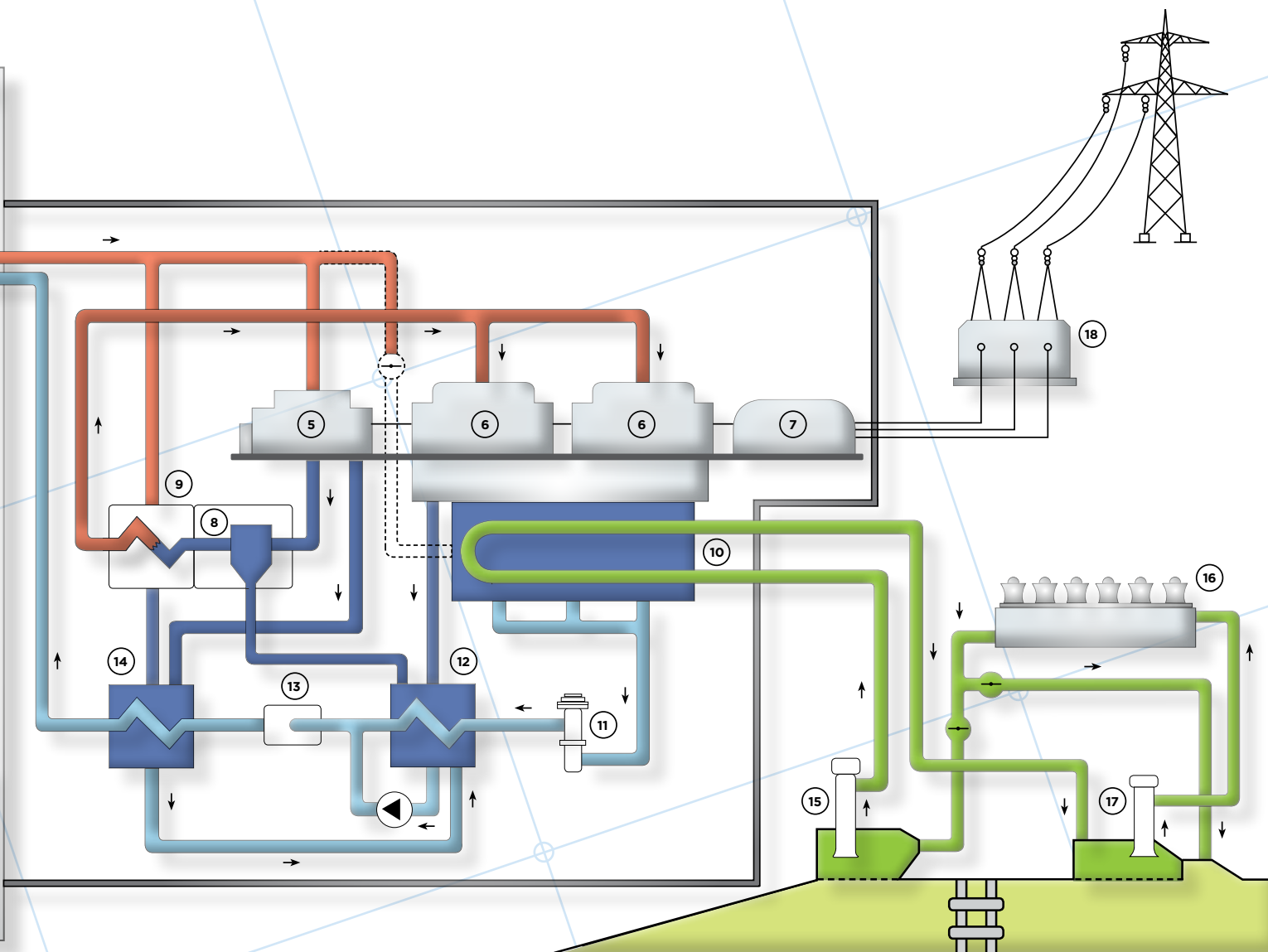
Po nekaj letih se lahko izrabljeno gorivo prestavi v vsebnike, ti pa v robustne zabojnike, v katerih je zagotovljeno pasivno hlajenje.

Ob menjavi goriva se gorivni elementi prepeljejo po vodnem kanalu skozi steno reaktorske zgradbe v bazen pri reaktorju. Gorivo se polni pri odprtem reaktorju, ko je prostor nad njim zalit z vodo. Polnilni stroj dviga stare gorivne elemente iz reaktorske sredice in namešča sveže. Gorivni element ostane v sredici najmanj dva gorivna ciklusa.



HEMA ELEKTRARNE

1. Reaktor
2. Reaktorski črpalki
3. Uparjalnika
4. Tlačnik
5. Visokotlačna turbina
6. Nizkotlačni turbini
7. Generator električnega toka
8. Ločevalnik vlage
9. Predgrelnik pare
10. Kondenzator
11. Črpalka kondenzata
12. Nizkotlačni predgrelnik
13. Napajalna črpalka
14. Visokotlačni predgrelnik
15. Črpalka hladilne savske vode
16. Hladilni stolpi s celicami
17. Črpalka hladilnih stolpov
18. Transformator



TURBOGENERATOR IN ELEKTRIČNI SISTEM

Uparjalnika proizvajata nasičeno paro, ki poganja turbino. Para se razteza v dvokrilnem visokotlačnem delu turbine do tlaka 0,8 MPa, nato pa se po izločitvi vlage in pregretju v dveh nizkotlačnih delih turbine razteza do tlaka 5 kPa. Utekočini se v štiridelnem kondenzatorju, napajalne črpalke pa vračajo kondenzat skozi grelnike v uparjalnika.

Generator električnega toka je trifazen, z močjo 850 MVA in $\cos \phi$ 0,876 ter napetostjo 21 kV. Rotor trifaznega generatorja hladi vodik, stator pa voda. Vzbujačnik nima krtačk.

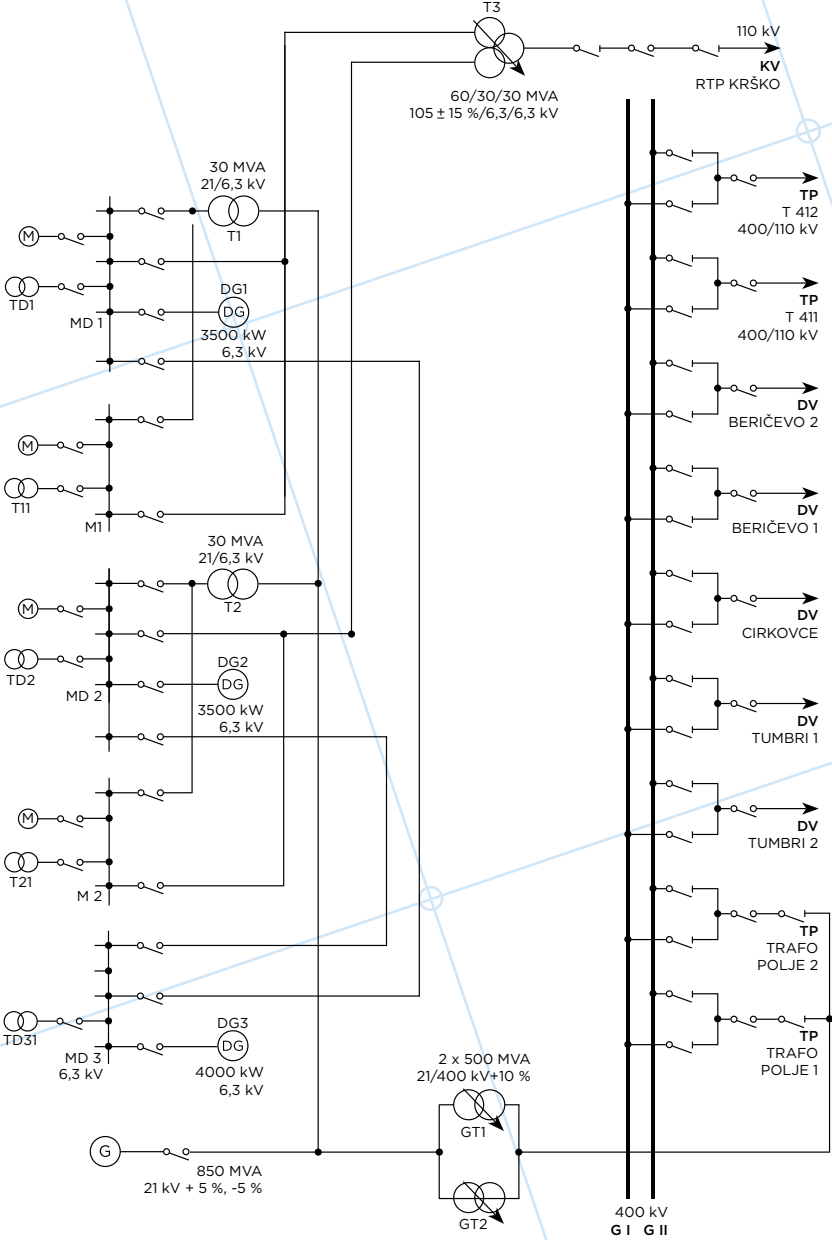
Pri pretokih reke Save, večjih od 100 kubičnih metrov na sekundo, je hlajenje kondenzatorja pretočno. Pri manjših pretokih je pretočno hlajenje kombinirano s hladilnimi stolpi, tako da se odvzame manjši del vode iz Save, ostalo pa se recirkulira s hladilnimi stolpi. Temperatura vode v Savi lahko po mešanju s hladilno vodo naraste največ za 3 °C in ne sme preseči 28 °C v točki mešanja.

Nuklearna elektrarna Krško je vključena v 400-kilovoltni prenosni elektroenergetski sistem. Električna energija teče z generatorja preko dveh transformatorjev v stikališče elektrarne, od tu pa po enem daljnovodu proti Mariboru, po dveh proti Ljubljani in Zagrebu in preko dveh transformatorjev na 110-kilovoltne zbiralke RTP (razdelilno-transformatorske postaje) Krško.

Elektrarna se z električno energijo oskrbuje iz lastnega generatorja ali iz 400-kilovoltnega sistema, v primeru razpada le-tega pa po 110-kilovoltnem kablovodu iz RTP Krško. Dodatno napajanje elektrarne lahko zagotavlja Termoelektrarna Brestanica, ki je od NEK oddaljena okoli 7 km. Elektrarna Brestanica lahko odklopi vse druge porabnike in napaja le NEK.

Za primer izpada zunanjih virov napajanja ima NEK tri neodvisne dizelske generatorje s po 3.500 kW moči, kateri lahko že v 10 sekundah dobavljajo energijo. Moč vsakega zadostuje za napajanje potrebne opreme, ki zagotavlja varno zaustavitev elektrarne.

ENOPOLNA SHEMA



- G Generator
- GT Glavni transformator
- DG Dizelski generator
- Odklopnik
- Ločilnik
- M Motor
- Transformator lastne rabe
- Pomožni transformator lastne porabe
- G, M, MD Zbiralke
- DV Daljnovod
- GT, T, TD Transformatorji
- KV Kablovod
- RTP Razdelilno-transformatorska postaja
- TP Trafo polje

RADIOAKTIVNI ODPADKI IN VARSTVO OKOLJA

Med obratovanjem jedrske elektrarne nastajajo plinasti, tekoči in trdni radioaktivni odpadki. Za obdelavo odpadnih radioaktivnih plinov sta v elektrarni dva vzporedna zaprta kroga s kompresorjem in katalitsko sežigno pečjo za vodik ter šest zbiralnikov za razpad in zadrževanje komprimiranih razcepnih plinov. Štirje zbiralniki plinov se uporabljajo med rednim obratovanjem elektrarne, dva pa pri ugasnjenem reaktorju. Zmogljivost zbiralnikov zadostuje za več kot enomesečno zadrževanje plina. V tem času večina kratkoživih razcepnih plinov razpade, preostali plini pa gredo ob ugodnih meteoroloških razmerah v ozračje. Avtomatski merilniki radioaktivnosti v ventilacijskem jašku preprečujejo nenadzorovano izpuščanje, kadar je koncentracija radioaktivnih plinov večja od dovoljene.

Tekoče radioaktivne odpadke čisti čistilna naprava, ki je sestavljena iz rezervoarjev, črpalk, filtrov, izparilnika in dveh demineralizatorjev. Kalužna voda iz uparjalnikov se čisti posebej. Radioaktivnost odpadne vode, izpuščene v reko Savo, je precej nižja od dovoljenih vrednosti.

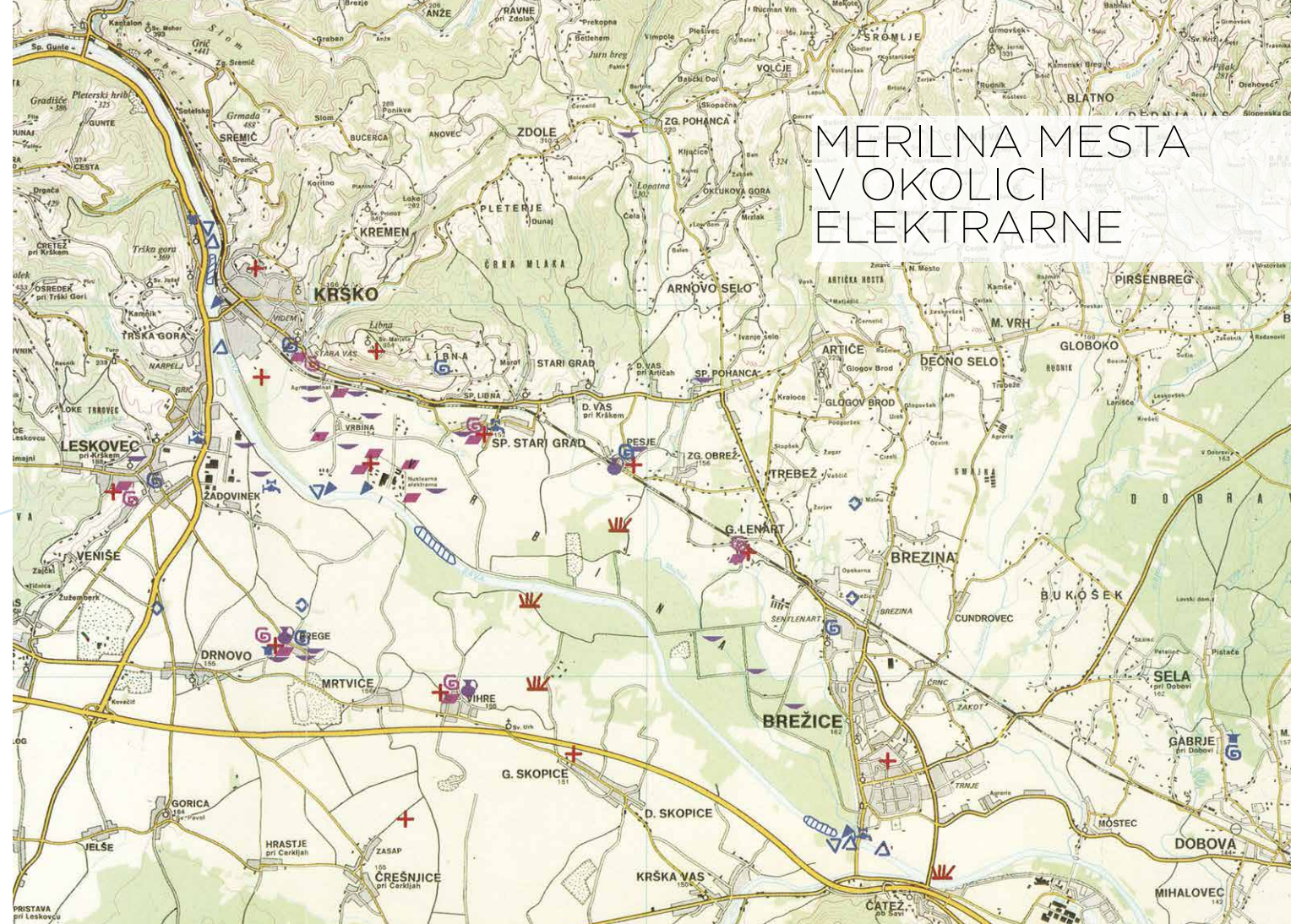
Vsi trdni radioaktivni odpadki, ki nastajajo med obratovanjem elektrarne, pri vzdrževalnih delih in popravilih, se zbirajo v obratu za trdne odpadke. Večina odpadkov so izrabljeni ionski izmenjevalniki, gošče iz izparilnika, izrabljeni filtri in drugi kontaminirani trdni odpadki, kot so papir, brisače, delovne obleke, laboratorijska oprema in orodje.

Trdni radioaktivni odpadki se stiskajo ali strjujejo in polnijo v 208-litrške sode iz jeklene pločevine. Gorljivi radioaktivni odpad se pošilja na sežiganje zunanjemu izvajalcu in se tako zagotovi zmanjšanje volumna. Sodi so začasno shranjeni v skladišču v elektrarni.

Med obratovanjem elektrarne je prispevek doze v okolici zaradi NEK manjši od 0,1 % letne prejete doze zaradi naravnega ozadja in umetnih virov. To zagotavljajo sodobne čistilne naprave in nenehen nadzor okolice elektrarne.

Radioaktivnost na Krškem polju se meri že od leta 1974 na petdesetih mestih v okolici elektrarne. Na istih merilnih mestih potekajo meritve zraka, vode, padavin in bioloških vzorcev tudi med obratovanjem. Ti podatki se primerjajo s podatki o naravni radioaktivnosti in atmosferskem usedu pred obratovanjem. Prav tako se je spremljalo stanje vode in biotopa v reki Savi in podtalnici. Tudi ta merjenja se med obratovanjem nadaljujejo.

MERILNA MESTA V OKOLICI ELEKTRARNE



Kontinuirni merilniki hitrosti doze zunanega sevanja



Ribe



Sedimenti



Črpališče vode



Vzorec iz pipe



Aerosolne črpalke



Lovilne plošče



Padavine



Črpalke za jod



Hrana



Mleko



Zemlja



Mesečni vz. vode



Enkratni vz. vode

TEHNIČNI
PODATKI

ELEKTRARNA

- Tip reaktorja lahkovodni tlačni reaktor
- Toplotna moč reaktorja MW 1994
- Električna moč na sponkah generatorja MW 737
- Moč na pragu elektrarne MW 702
- Tehnični minimum MW 35
- Specifična poraba kcal/kWh 2560
- Toplotni izkoristek % 36

REAKTORSKA ZGRADBA

- Višina m 61
- Notranji premer m 32
- Zunanji premer m 38
- Preizkusni tlak jeklene lupine MPa 0,357 (ata) (3,62)

REAKTORSKA POSODA

- Zunanji premer m 3,69
- Višina m 11,9
- Debeline stene m 0,168
- Teža prazne posode t 327
- Teža posode z notranjo opremo t 436

REAKTORSKO HLADILO

- Snov H₂O
- Dodatki H₃BO₃
- Število hladilnih zank 2
- Skupni masni pretok kg/s 9021
- Tlak MPa 15,41 (ata) (157)
- Celotna prostornina m³ 197
- Temperatura na vstopu v reaktor °C 287
- Temperatura pri izstopu iz reaktorja °C 324
- Število črpalk 2
- Zmogljivost črpalke m³/s 6,3
- Moč motorja črpalke MW 5,22

UPARJALNIK

- Material INCONEL 690 TT
- Število uparjalnikov 2
- Tlak pare pri izstopu MPa 6,5 (ata) (63,5)
- Temperatura pare pri izstopu °C 280
- Temperatura napajalne pare pri vstopu °C 219
- Masni pretok pare iz obeh uparjalnikov kg/s 1088
- Višina uparjalnika m 20,6
- Teža uparjalnika t 345
- Število U-cevi v uparjalniku 5428
- Celotna površina prenosa toplote m² 7177
- Zunanji premer U-cevi mm 19,05
- Debelina U-cevi mm 1,09

REAKTORSKA SREDICA

- Ekivalentni premer m 2,45
- Ekivalentna višina m 3,66
- Ekivalentna radialna debelina m 0,15
- Ekivalentna aksialna debelina m 0,10

GORIVO

- Število gorivnih elementov 121
- Število gorivnih palic v gorivnem elementu 235
- Razporeditev gorivnih palic 16 X 16
- Dolžina gorivnih palic m 3,658
- Debelina srajčke mm 0,572
- Gradivo srajčke ZIRLO™
- Kemična sestava goriva UO₂
- Premer tablete goriva mm 8,192
- Dolžina tablete goriva mm 9,8
- Skupna količina urana t 48,7

REGULACIJSKE PALICE

- Število regulacijskih svežnjev 33
- Število absorpcijskih palic v svežnju 20
- Celotna teža regulacijskega svežnja kg 52,2
- Nevtronski absorber Ag-In-Cd
- Odstotna sestava % 80-15-5
- Premer mm 8,36
- Gostota g/cm³ 10,16
- Debelina srajčke mm 0,445
- Material srajčke jeklo SS 304

TEHNIČNE VARNOSTNE NAPRAVE

- Pasivni sistem za varnostno vbrizgavanje: število tlačnih rezervoarjev 2 prostornina vsakega m³ 36,4
- Aktivni sistem za varnostno vbrizgavanje: visokotlačno varnostno vbrizgavanje število vodov 4 število črpalk 2 pretok vsake črpalke m³/s 0,044 nizkotlačno varnostno vbrizgavanje število vodov 2 število črpalk 2 pretok vsake črpalke m³/s 0,14
- Čas sprožitve sistema za zasilno hlajenje sredice s 40

TURBOAGREGAT

- Maksimalna moč MW 737
- Pretok pare kg/s 1090
- Vstopni tlak sveže pare MPa 6,42 (ata) (63)
- Temperatura sveže pare °C 280,7
- Vrtilna hitrost turbine rad/s 157 (vrtljajev/min) (1500)

- Vlažnost pare ob vstopu % 0,10
- Kondenzacijski tlak (vakuum) kPa 5,1 (ata) (0,052)
- Povprečna temperatura kondenzata °C 33
- Število glavnih napajalnih črpalk 3
- Zmogljivost napajalne črpalke % 50
- Nazivna moč generatorja MVA 850
- Nazivna napetost kV 21
- Nazivna frekvenca generatorja Hz 50
- Nazivni cos ø 0,876
- Regulacijsko področje % +5-5

TRANSFORMATORJI

- Blokovna transformatorja: nazivna moč MVA 2 x 500 prestavno razmerje kV 21/400 regulacija pod obtežbo % +-10 kratkostična napetost % 12,8/12,5
- Transformatorja lastne rabe: maksimalno dovoljena trajna moč MVA 2 x 30 prestavno razmerje kV 21/6,3 kratkostična napetost % 10
- Pomožni transformator: maksimalno dovoljena trajna moč MVA 60 prestavno razmerje kV 110/6,3/6,3 regulacija pod obtežbo % +-16 kratkostična napetost % 12

POMEMBNEJŠI DATUMI

- Oktober 1970** Podpisan sporazum med IS Skupščine Slovenije in IS Sabora Hrvaške o gradnji NEK.
- December 1974** Položen temeljni kamen za Nuklearno elektrarno Krško.
- Februar 1975** Začetek izkopov in gradbenih del na gradbišču.
- Oktober 1977** Začetek montaže turboagregata.
- April 1978** Montirana sta oba uparjalnika in reaktorska posoda.
- November 1979** Zaključen je najnujnejši del tlačnih preizkusov.
- Oktober 1980** Zaključena je dobava goriva.
- November 1980** V primarnem krogu elektrarne so doseženi nominalni parametri pritiska in temperature.
- Maj 1981** Začetek prve faze poskusnega obratovanja. Gorivo je vloženo v reaktorsko posodo.
- September 1981** V reaktorju je dosežena samovzdrževalna reakcija.
- Oktober 1981** Generator je sinhroniziran z omrežjem, NEK odda prve kilovate v energetske sistem.
- Februar 1982** Prvič dosežena 100-odstotna moč elektrarne.
- Julij 1982** Opravljena je modifikacija sistema za napajanje uparjalnikov.
- Avgust 1982** Začetek obratovanja s polno močjo.
- Januar 1983** Začetek komercialnega obratovanja.
- Julij 1983** Začetek prvega letnega remonta in prve menjave goriva.
- Februar 1984** NEK dobi dovoljenje za začetek rednega obratovanja.
- Maj 2000** Zamenjava uparjalnikov in izgradnja popolnega simulatorja.
- Marec 2003** Pogodba med Vlado Republike Slovenije in Vlado Republike Hrvaške o ureditvi statusnih in drugih pravnih razmerij, povezanih z vlaganjem v Nuklearno elektrarno Krško, njenim izkoriščanjem in razgradnjo.

April 2006
Oktober 2010
April 2012

April 2012
Oktober 2013

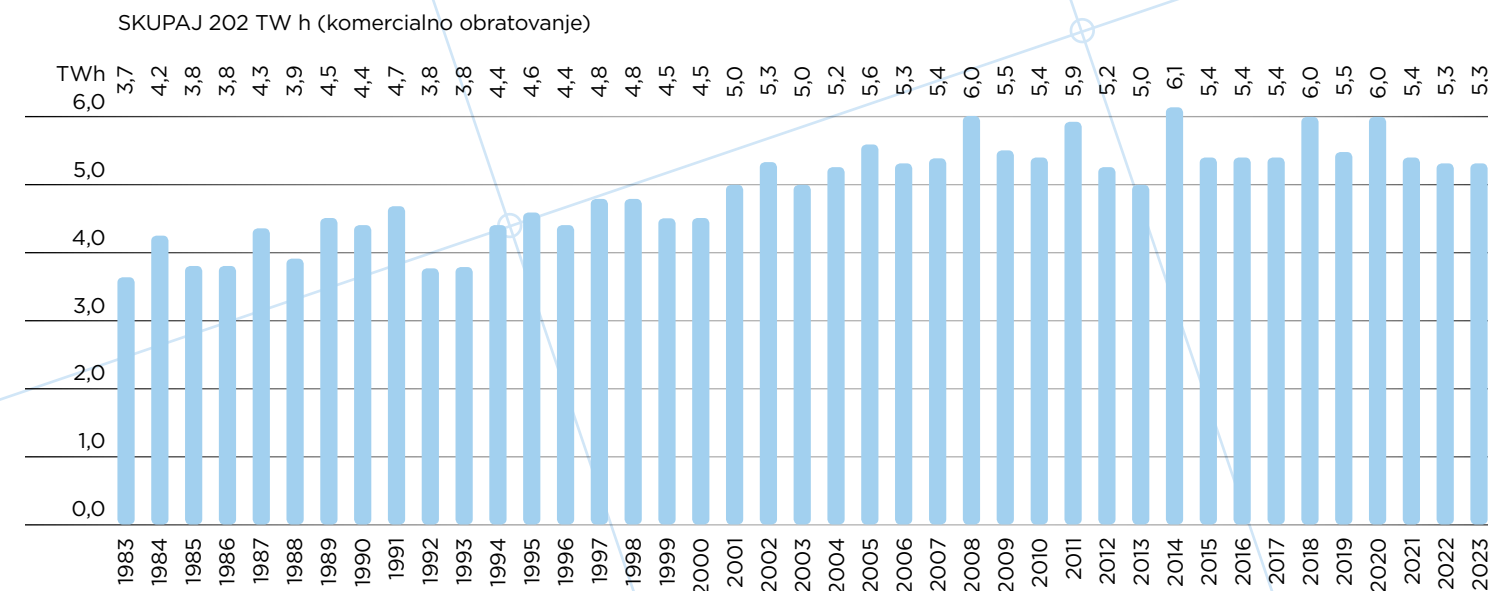
Oktober 2019

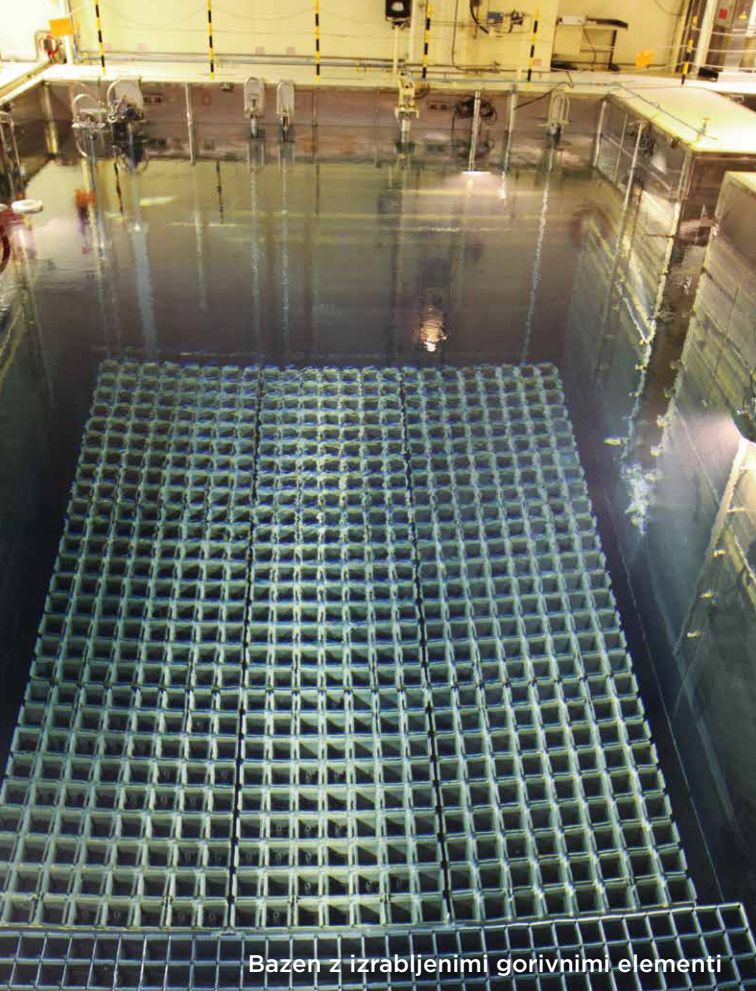
April 2022

Januar 2023

Zamenjava nizkotlačnih turbin.
Zamenjava statorja električnega generatorja.
Zamenjava reaktorske glave in rotorja glavnega generatorja.
Priklučitev novega dizel generatorja.
Posodobitev stikališča in zamenjava glavnega transformatorja.
Komandna soba za obvladovanje izrednega dogodka.
Izgradnja posebej utrjene zaščitne zgradbe s črpalko varnostnega vbrizgavanja in črpalko pomožne napajalne vode z izvori vode iz trajnih vodnjakov.
Izgradnja suhega skladišča jedrskega goriva.

NETO PROIZVODNJA NEK





Bazen z izrabljenimi gorivnimi elementi



Pregled svežega goriva



Stikališče



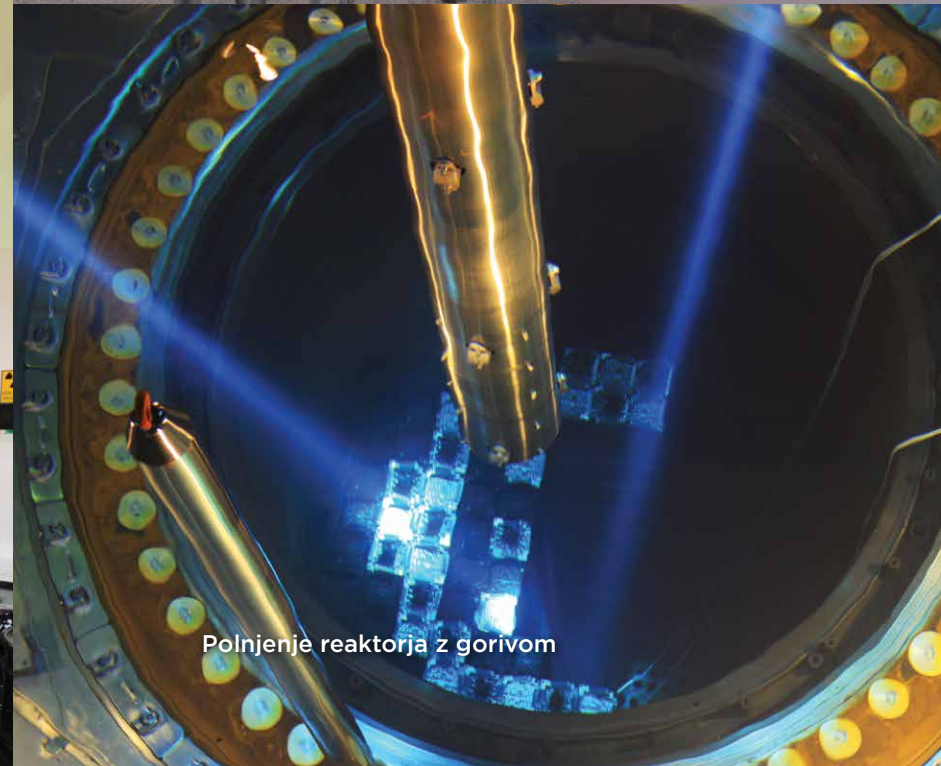
Turboagregat



Suho skladiščenje izrabljenega goriva



Začasno skladišče NSRAO



Polnjenje reaktorja z gorivom

Nuklearna elektrarna Krško
Vrbina 12
8270 Krško

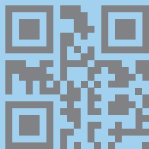
T: 07 48 02 000
F: 07 49 21 528
nek@nek.si
www.nek.si

Izdajatelj in založnik:
Nuklearna elektrarna Krško

Urednika:
Ida Novak Jerele
Miran Pribožič

Naklada:
2500 izvodov

2024



www.nek.si

