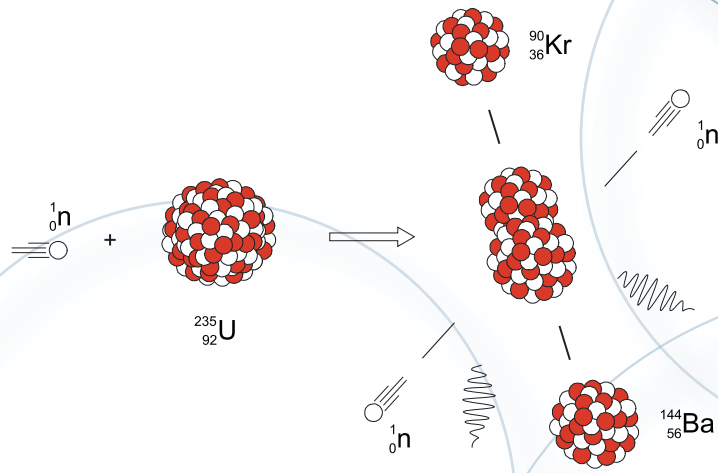


»prednosti  
jedrske  
energije za  
Slovenijo«







# »brez energije ni življenja«

Osnova življenja so nenehne energijske spremembe. Energija ne izgine, temveč spreminja svojo obliko v skladu s fizikalnimi zakoni. V naravi se zgodijo te spremembe same od sebe, lahko pa jih povzročijo tudi ljudje.

Sonce je vir številnih lepih stvari našega vsakdanjika. Brez Sonca na Zemlji ne bi bilo življenja. Je kot velikanska tovarna: energijo pridobiva z jedrsko reakcijo zlivanja vodikovih jeder v helijeva jedra. Skoraj vse znane energetske zaloge na Zemlji izvirajo iz energije Sonca.

Primarni viri energije (viri, ki obstajajo v naravi) so premog, nafta, zemeljski plin, uran, les in druge vrste biomase, potencialna energija vode in vetra, energija sončnega obsevanja ter geotermalna energija.

Večino energije v svetovnem merilu danes pridobivamo iz fosilnih goriv, tj. premoga, nafte in zemeljskega plina. Ob njihovem zgorevanju se sprosti toplotna energija in nastane ogljikov dioksid.

## Kaj je energija?

Energijo pojmuje kot sposobnost za opravljanje dela. Energija se spreminja iz ene oblike v drugo, lahko tudi v delo. Primer: toplota, ki nastane pri zgorevanju goriva v motorju avtomobila, se spremeni v delo, to pa se porabi za povečanje kinetične (gibalne) energije vozila. Električna energija se v grelni plošči štedilnika spremeni v toploto, ki greje vodo, v sesalniku pa v delo, ki poganja električni motor.

Hitrost proizvodnje oziroma porabljanja energije imenujemo moč. Osnovna enota je 1 W (izgovorimo vat). Večji enoti sta kilovat (1 kW = 1000 W) in megavat (1 MW = 1.000.000 W).

Porabljen oziroma proizveden energija je produkt moči in časa. Enota za energijo je kilovatna ura (kWh). Primer: žarnica z močjo 100 W, ki gori 10 ur, porabi 1 kWh energije. Večji enoti za energijo sta megavatna ura (1 MWh = 1000 kWh) in gigavatna ura (1 GWh = 1.000.000 kWh).

## Zlitje in cepitev

Zlitje (fuzija) je jedrska reakcija, v kateri se lažja jedra združijo v težja, ob tem pa se sprosti energija.

Cepitev (fisija) je jedrska reakcija, ob kateri se težko jedro razcepi na dve srednje težki jedri, sprosti pa se energija.

## Cepitev v jedrski elektrarni

Vse jedrske elektrarne delujejo na osnovi cepitve. V jedrskem reaktorju se ob cepitvi jedra urana sprostito energija in nevtroni. Sproščeni nevtroni povzročajo nove cepitve in v reaktorju vzdržujejo verižno reakcijo. Srednje težki jedri, ki nastaneta pri cepitvi, z veliko hitrostjo odletita narazen in njuna kinetična energija se spremeni v toplotno energijo, ta pa v mehansko in končno v električno energijo.

## Kaj je električna energija (elektrika)?

Električni naboj je ena od osnovnih lastnosti elementarnega delca. Med nabitimi delci deluje sila. Električni tok je gibanje električnih nabojev. Električno energijo proizvajajo generatorji. Lahko jo prenašamo na velike razdalje in pretvarjamo v druge oblike energije. Električna energija je namreč oblika energije, ki jo je zelo enostavno izkoriščati.

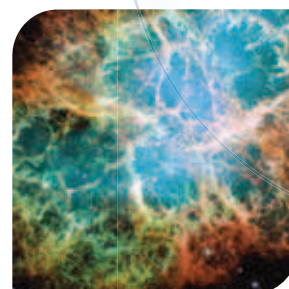
## Kako proizvedemo električno energijo?

V elektrarnah se različne vrste energije spreminjajo v električno energijo. Večina elektrarn ima turbino, ki jo vrtijo bodisi voda, para, plin ali veter. Generator pretvori energijo vrtenja v električno energijo.

zgodba o uranu

Današnje vesolje in Sončni sistem z našim planetom Zemljo je rezultat ogromnega števila jedrskih reakcij v zvezdah. Zgodba o jedrskih reakcijah je delno tudi zgodba o nastanku življenja in človeka.

Vesolje je nastalo v prvobitni eksploziji pred približno 14 milijardami let, v njem pa sta bila prvotno le vodik in helij. Pod vplivom težnosti so se oblikovale prve zvezde. Drugi kemični elementi, ki so pomembni za nastanek življenja (npr. ogljik, dušik, kisik in žveplo), so nastali z zlivanjem lahkih jeder v zvezdah. Elementi, težji od železa, kot npr. uran, pa so nastali ob orjaških eksplozijah velikih zvezd (supernov).







# »proizvodnja električne energije v Sloveniji«

Električno energijo proizvajamo v Sloveniji na več načinov, ki se medsebojno dopolnjujejo. Trije glavni viri za pridobivanje električne energije so jedrska, fosilna (premog, nafta, plin) in vodna energija.

V Sloveniji obratuje ena jedrska elektrarna, 4 termoelektrarne, 17 hidroelektrarn in večje število malih hidroelektrarn. Skupna instalirana moč vseh elektrarn znaša približno 2800 MW. V zadnjem času je bilo postavljenih tudi nekaj manjših sončnih elektrarn z razmeroma majhno instalirano močjo. Skupna letna proizvodnja vseh elektrarn v Sloveniji v povprečju znaša 13.000 GWh.

## Jedrska energija v Sloveniji

Nuklearna elektrarna Krško (v nadaljevanju NEK) proizvaja dobrih 40 % električne energije v Sloveniji, polovico svoje proizvodnje pa pošilja na Hrvaško, ki je polovična solastnica elektrarne. V Sloveniji je dobra petina vse porabljene električne energije pridobljene iz jedrske energije. Poleg ekonomičnosti in varnosti je poseben pomen te energije v tem, da med obratovanjem ne povzroča izpustov ogljikovega dioksida.

## Premog

Premog je v Sloveniji še vedno pomemben vir energije in prispeva k njeni energetski neodvisnosti. Žal pa ima tudi pomanjkljivosti z vidika varstva okolja. Ob zgorevanju premoga nastanejo dimni plini. Med njihovimi sestavinami je najbolj problematičen toplogredni plin ogljikov dioksid, ki ga s sedanjimi tehnologijami ni mogoče ekonomsko zajeti in skladiščiti. Druge sestavine so še žveplov dioksid, dušikovi oksidi in delci (prah), ki jih je delno mogoče izločiti iz dimnih plinov, nekaj pa jih termoelektrarne skozi dimnik sproščajo v ozračje.

## Zemeljski plin

Večino zemeljskega plina uvaža Slovenija iz Rusije, približno tretjino iz Alžira in manjše količine iz Avstrije. Večji delež uvoženega plina porabijo industrija, storitvene dejavnosti in široka potrošnja, manjši delež pa proizvodnja električne energije. Prednost plina pred premogom je njegova relativna čistost

zgorevanja, pomanjkljivost pa odvisnost od uvoza in visoka cena.

## Vodna energija

Vodna energija, ki jo je v Sloveniji možno uporabiti za ekonomično proizvodnjo električne energije ob upoštevanju zahtev za varstvo okolja, je že skoraj v celoti izkoriščena. Med drugim je smiselno izkoristiti še spodnjo Savo, kjer je v načrtovanju, gradnji in obratovanju veriga elektrarn, ki bodo skupaj pokrivali okoli 7 % slovenskih potreb po električni energiji, vendar bodo zelo pomembne z vidika obratovanja, stabilnosti elektroenergetskega sistema in izpolnjevanja okoljskih zavez.

## Uvoz

Slovenija zadnja leta uvaža povprečno več kot petino vse porabljene električne energije. Delež uvožene elektrike je velik in pomeni odvisnost od političnih in gospodarskih razmer v drugih državah. Uvozne potrebe je vedno težje realizirati zaradi splošnega povečevanja porabe električne energije v Evropi in tudi zaradi ustavitve večjih energetskih objektov v jugovzhodni Evropi.

Poleg tega so nekatere termoelektrarne v Sloveniji odvisne od uvoza premoga, nafte in zemeljskega plina.

## Energija vetra in fotovoltaična energija

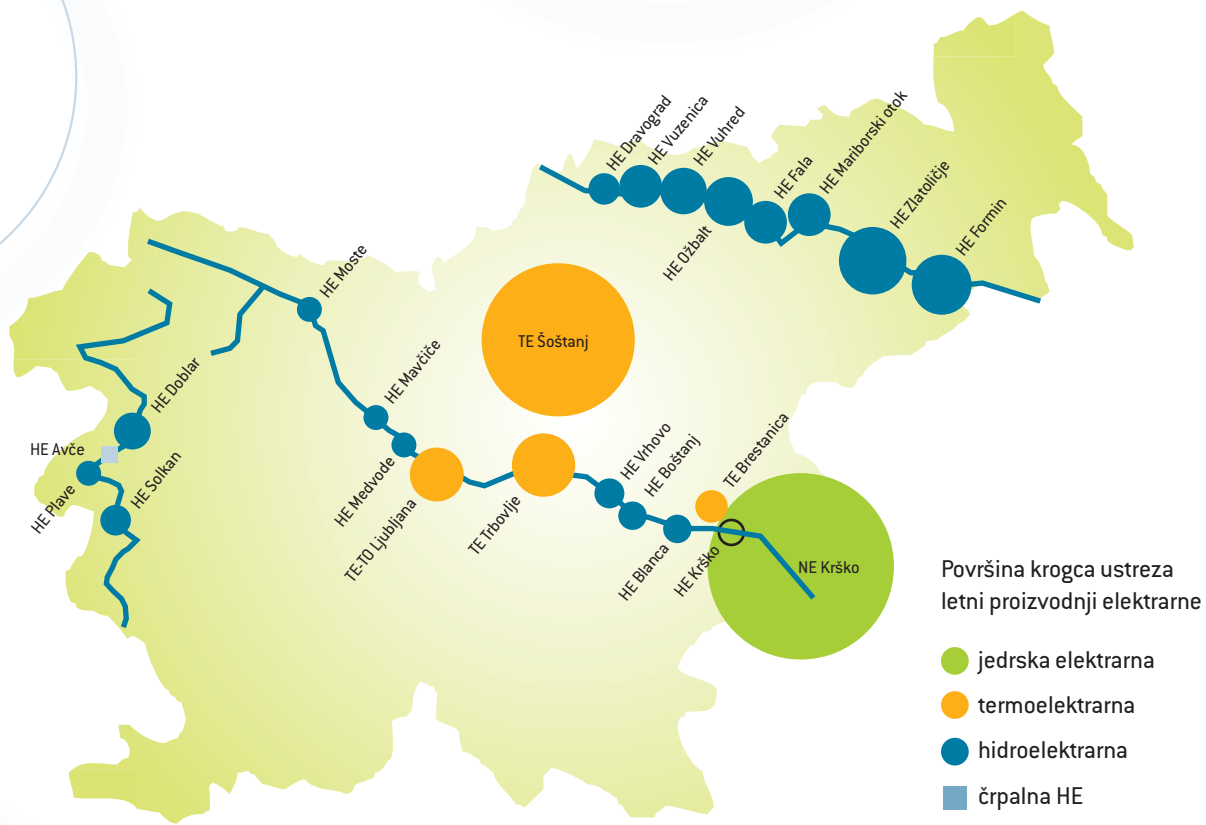
Potencial za izkoriščanje vetrne energije je v Sloveniji razmeroma majhen, saj pri nas ne pihajo stalni vetrovi, kakršni so značilni za obale Atlantskega oceana ali Severnega morja. Na Primorskem sicer načrtujejo manjše število vetrnih turbin, vendar je realizacija tega projekta omejena z visokimi stroški, nepredvidljivim režimom obratovanja in ekološkimi omejitvami.

V Sloveniji je bilo v zadnjem času postavljenih več manjših sončnih (fotovoltaičnih) elektrarn, toda njihov prispevek k elektroenergetski bilanci je zanemarljiv.

zgodba o uranu

Sončni sistem je po današnjih spoznanjih nastal iz medvezdnega oblaka prahu, ki je ostal po eksploziji supernove. Kasneje se je oblak skrčil v disk, iz njegovega osrednjega dela je nastalo Sonce, iz ostanka pa planeti. V planetu Zemlja so se elementi razporedili glede na svojo gostoto: najtežji elementi, kot npr. uran, železo, nikelj so večinoma potonili v sredičo, lažji so ostali v zunanji lupini.







# »elektrika poganja Slovenijo«

Električna energija je ena od osnovnih dobrin sodobne družbe in pomembno vpliva na blaginjo in način življenja vseh ljudi. Zaradi številnih prednosti in čiste izrabe elektrike se bo njena poraba povečevala tudi v naslednjih desetletjih.

Zanesljiv sistem preskrbe z energijo in učinkovita raba energije omogočata ekonomski razcvet države in blagostanje državljanov Slovenije.

Poraba električne energije v Sloveniji je odvisna od gospodarskih, družbenih in klimatskih dejavnikov. Od vseh dejavnikov pa na porabo električne energije najmočnejše vpliva BDP (bruto domači proizvod), ki je v letih pred gospodarsko krizo naraščal za približno 5 % letno.

## Poraba električne energije v Sloveniji narašča

Poraba električne energije v industriji, storitvenih dejavnostih in v gospodinjstvih narašča z gospodarsko rastjo, z razvojem novih tehnologij, vključno z vse bolj razširjeno uporabo toplotnih črpalk in klimatskih naprav. Pričakovati je tudi povečanje javnega in osebnega prevoza s sodobnimi električnimi prevoznimi sredstvi.

Gospodarske razmere v Sloveniji so se po letu 1993 začele stabilizirati in zaradi ponovnega ekonomskega vzpona je začela poraba električne energije precej konstantno naraščati. V zadnjem desetletju se je poraba električne energije povečevala za povprečno 3 % na leto in je presegla 14.000 GWh električne energije na leto.

Projekcije kažejo, da bo poraba leta 2020 dosegla okrog 17.000 GWh, leta 2030 pa okrog 20.000 GWh.

V prihodnjih letih bomo potrebovali nove elektrarne zaradi naraščajoče porabe električne energije, pa tudi kot nadomestilo za ustavljene starejše in neučinkovite elektrarne.

## Industrija bo potrebovala več električne energije

Dobro polovico električne energije v Sloveniji porabi industrija. Kljub ukrepom racionalizacije in učinkovite rabe energije, kljub nadomeščanju virov energije ter morebitni ukinitvi nekaterih velikih porabnikov je v industriji pričakovati povečanje porabe elektrike, kratkoročno pa zmanjšanje zaradi gospodarske recesije v letu 2009.

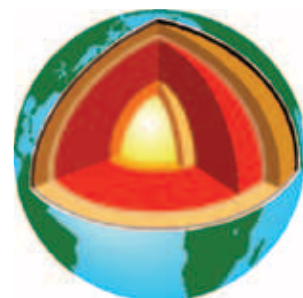
## Poraba elektrike v gospodinjstvih narašča

Gospodinjstva porabijo približno eno četrtno električne energije. Število prebivalcev v Sloveniji sicer bistveno ne narašča, vendar se večja število stanovanjskih enot, predvsem pa se spreminja naš življenjski slog, ki je vse bolj povezan z uporabo nepregledne množice električnih naprav in pripomočkov, brez katerih si pogosto ne znamo več predstavljati vsakdana. Vse to prispeva k povečevanju porabe elektrike v gospodinjstvih, pri čemer bodo na višjo porabo vplivale tudi podnebne spremembe.

## Blagostanje in servisne dejavnosti vsakdanjega življenja

Obseg in pomen storitvenih dejavnosti že dolgo časa narašča. Mnoge med njimi pomembno vplivajo na splošno blagostanje družbe, v prihodnjih desetletjih pa je spričo demografskih napovedi, zlasti staranja prebivalstva, pričakovati tudi porast servisnih dejavnosti in specifičnih javnih storitev, kot so npr. zdravstvena oskrba in skrb za ostarele. S tem pa seveda narašča tudi poraba električne energije zanje.

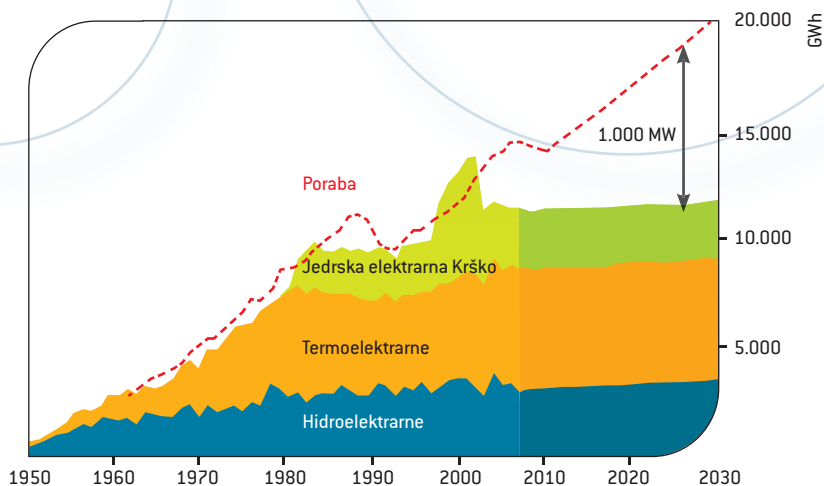
Toplota radioaktivnega razpada vzdržuje notranjščino našega planeta v staljenem stanju. Staljena sredica Zemljine notranjščine ustvarja močno magnetno polje, ki nas ščiti pred sončnim vetrom - nabitimi delci in visoko energijskim elektromagnetnim valovanjem (ta pojav lahko včasih vidimo kot »severni sij«). Staljena Zemljina notranjost je tudi vzrok pojava, ki ga imenujemo tektonika plošč. Sedimentne kamenine, ki vsebujejo mnogo ogljika, prodrejo v plašč Zemlje. Kamenine se stalijo, ogljikov dioksid pa se z vulkanskimi pojavi sprošča v ozračje. To kroženje ogljikovega dioksida vzdržuje temperaturno ravnovesje na površju Zemlje in omogoča pogoje za življenje.



# »pomen jedrske energije v svetu in v Sloveniji«

Diagram proizvodnje in porabe elektrike v Sloveniji

Poraba električne energije narašča kljub izboljšanju industrijskih procesov in naprav v gospodinjstvih. Na tržišče neprestano prihajajo nove električne naprave za profesionalno uporabo in prosti čas. Po letu 2004 uvoz električne energije oziroma delež porabe, ki je ne pokrijemo z domačimi viri, močno narašča.



V letu 2009 je na svetu obratovalo 436 jedrskih elektrarn, ki so v letu 2008 proizvedle 2,7 milijonov GWh, kar predstavlja 14 % svetovne proizvodnje elektrike. Vpliv na okolje je bil pri tem zanemarljiv.

## Obratovanje brez izpustov toplogrednih plinov

Jedrske elektrarne med obratovanjem ne izpuščajo toplogrednih plinov in znatno prispevajo k zmanjšanju človeškega vpliva na podnebne spremembe. Zelo majhna količina ogljikovega dioksida, ki je primerljiva z izpusti pri gradnji hidroelektrarn ali vetrnic, nastane samo pri izdelavi goriva.

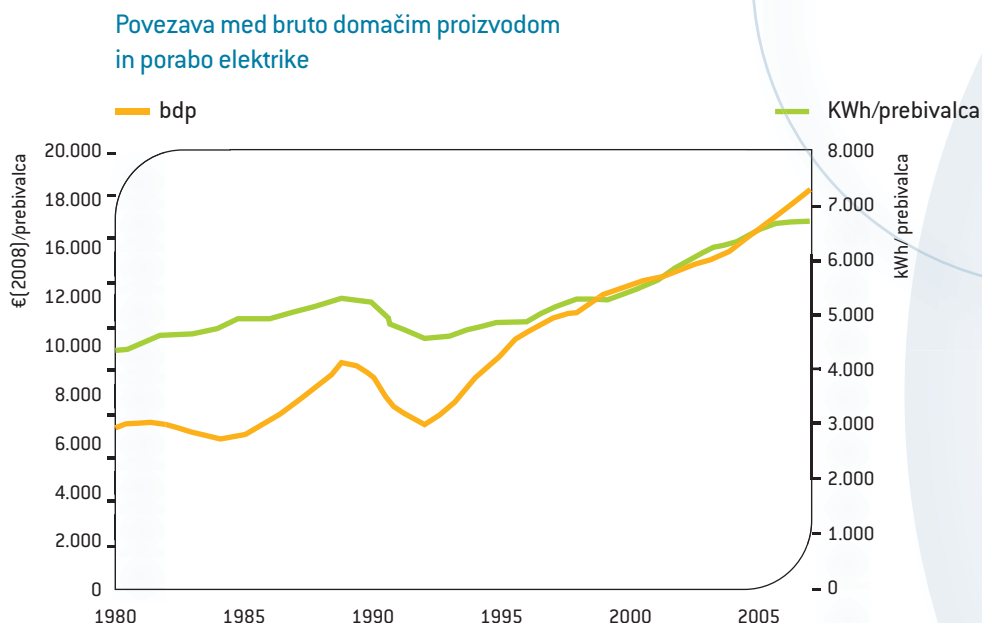
Slovenija mora upoštevati mednarodne sporazume o podnebnih spremembah in omejevati izpuste ogljikovega dioksida. NEK prihrani za približno 5 milijonov ton izpustov ogljikovega dioksida letno. Z novim blokom jedrske elektrarne v Krškem bi Slovenija uresničila tudi svoje dolgoročne cilje za omejitve izpustov ogljikovega dioksida.

## Ekonomska konkurenčnost v svetu in v Sloveniji

Konkurenčnost jedrskih elektrarn izvira iz dejstva, da jedrska elektrarna proizvede ogromno količino energije iz majhne količine goriva in da cena goriva predstavlja majhen delež (približno 12 %) stroškov proizvodnje elektrike. Spremembe cene urana na svetovnem tržišču vplivajo na proizvodne cene elektrike mnogo manj kot npr. spremembe cene plina ali nafte. Cena električne energije iz jedrske elektrarne je stabilna in predvidljiva ter je nižja od cene električne energije iz termoelektrarn na fosilna goriva (premog, nafta, plin). Poleg tega jedrska elektrarna nima stroškov zaradi izpustov CO<sub>2</sub>, ki močno bremenijo ceno električne energije, proizvedene v termoelektrarni.

Največji delež stroškov proizvodnje elektrike v jedrski elektrarni so investicijski stroški (odplačevanje investicije), ki pri novi enoti predstavljajo približno 63 % (ti stroški so še najbolj odvisni od cene kapitala in se zato lahko spreminjajo od 55 % do 70 %). Obratovalni stroški nove enote so približno 19 %, stroški za razgradnjo jedrske elektrarne, upravljanje z radioaktivnimi odpadki in njihovo odlaganje pa 6 % proizvodnih stroškov. Cena električne energije iz jedrskih elektrarn ima že vštete vse zunanje stroške, vključno s stroškom odlaganja radioaktivnih odpadkov.





### Proizvodnja pasovne in trapezne električne energije

Proizvodna električne energije v pasu pomeni, da se moč elektrarne med obratovanjem ne spreminja, medtem ko se pri trapeznem načinu proizvodnja elektrike tekom dneva prilagaja porabi. Jedrske elektrarne so zelo primerne za proizvodnjo »pasovne« električne energije (pomeni, da se moč elektrarne ne spreminja). V Franciji, ki večino (76 %) elektrike proizvede v jedrskih elektrarnah, so te prilagojene tudi za proizvodnjo »trapezne« električne energije (pomeni, da se moč tekom dneva znatno prilagaja porabi). Tudi nove jedrske elektrarne (III. generacija) lahko obratujejo tako, da se moč prilagaja porabi.

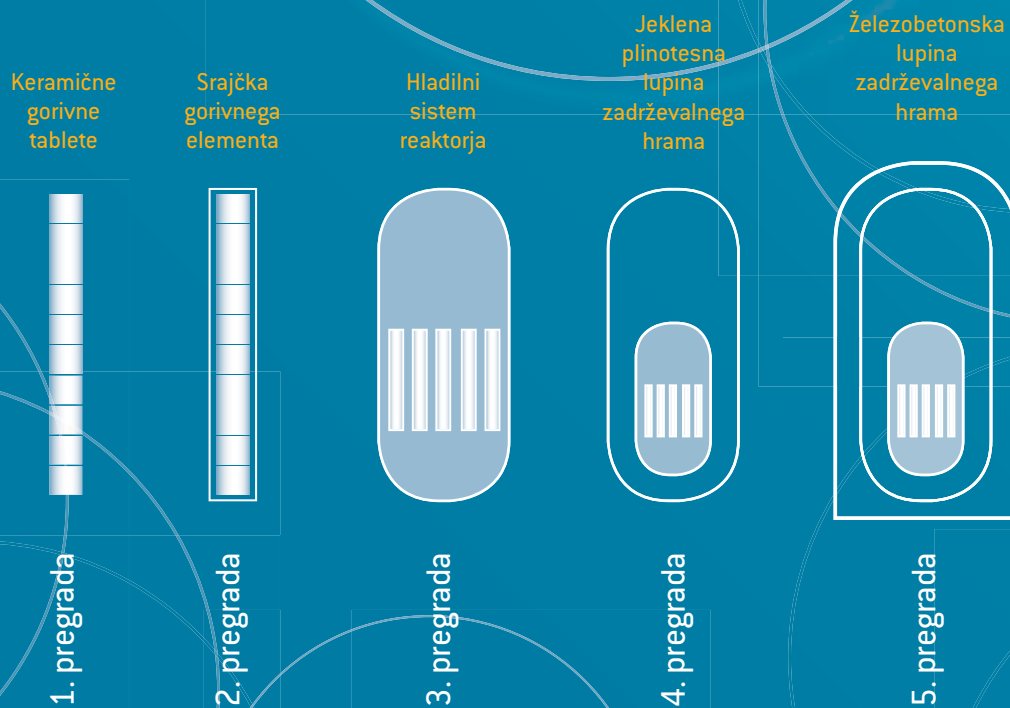
Jedrska elektrarna se zelo dobro vklaplja v slovenski elektroenergetski sistem, saj zagotavlja pasovno električno energijo in stabilno obratovanje sistema.

### Jedrska elektrarna obratuje zelo učinkovito in zanesljivo

Faktor razpoložljivosti jedrske elektrarne kaže, kako dobro elektrarna izpolnjuje zastavljene cilje proizvodnje in obratovalnega časa. Faktor razpoložljivosti NEK, ki je tudi znak zanesljivega in varnega obratovanja, je med najboljšimi v svetovnem merilu. Zaradi visoke razpoložljivosti NEK letno proizvede do 6.000 GWh električne energije. Polovico te elektrike NEK odda v slovensko omrežje, kar predstavlja dobro petino v Sloveniji porabljene električne energije.

Gorivo v jedrski elektrarni je najtežji element v naravi – uran. Atomi istega kemičnega elementa, ki se razlikujejo med seboj po številu nevtronov (osnovnih delcev brez naboja) v jedru, se imenujejo izotopi. Naravni uran (U) sestavljata dva izotopa: U-238 (tega je 99,3 %) in U-235 (0,7 %). V jedrskem reaktorju se sprošča energija ob cepitvi U-235.

Zaporedne fizične pregrade zadržujejo radioaktivne snovi v notranjosti jedrske elektrarne.





# »osnovna načela obratovanja jedrske elektrarne«

Brezpogojno varno obratovanje je temeljno načelo NEK. Zaradi visoke stopnje varnosti je tveganje pri jedrskih elektrarnah mnogo manjše od sprejemljivih tveganj v drugih vejah energetike. Vodstvo in osebje jedrske elektrarne sta pripravljena za primer okvar, elektrarna pa ima vsaj podvojene in zelo zanesljive varnostne sisteme.

Eno od izhodišč pri načrtovanju jedrske elektrarne je tudi predpostavka, da se v njej lahko zgodijo tehnične okvare in da operaterji naredijo napako. Možnost različnih odklonov od normalnega obratovanja je zelo natančno analizirana že med projektiranjem, elektrarna pa je opremljena z varnostnimi sistemi na osnovi preizkušenih tehnologij in zanesljivih fizikalnih preizkusov.

## Varnostni sistemi so najmanj podvojeni

NEK je opremljena z varnostnimi sistemi, ki delujejo na tehnično različne načine in so vsaj podvojeni. Varnostni sistemi odkrijejo in hitro obvladajo vse odklone od normalnega obratovanja.

Vsa avtomatika in električna energija za varnostne sisteme je popolnoma ločena in neodvisna od sistemov za normalno obratovanje elektrarne.

Varnostne značilnosti sodobnih jedrskih elektrarn III. generacije, kakršne bi prišle v poštev za drugi blok jedrske elektrarne v Sloveniji, so še poudarjene in upoštevajo najnovejša spoznanja.

## Pripravljenost na okvare in pomote

V vseh sodobnih jedrskih elektrarnah in tudi v NEK so v uporabi računalniški modeli za ocenjevanje obratovalne varnosti in možnosti človekovih napak, ki upoštevajo verjetnost dogodkov, okvar tehničnih sistemov in človeškega ravnanja. Ti modeli se stalno izpopolnjujejo na osnovi spremljanja vseh sistemov in podatkov o delu osebja elektrarne.

## Stalen nadzor s strani pristojnih državnih organov

Obratovanje NEK je pod stalnim nadzorom Uprave Republike Slovenije za jedrsko varnost in drugih pristojnih institucij ter v skladu z nacionalno zakonodajo in mednarodnimi smernicami.

Jedrsko gorivo je pod nadzorom Mednarodne agencije za atomsko energijo in evropske agencije EURATOM.

## Stalno usposabljanje osebja na simulatorju

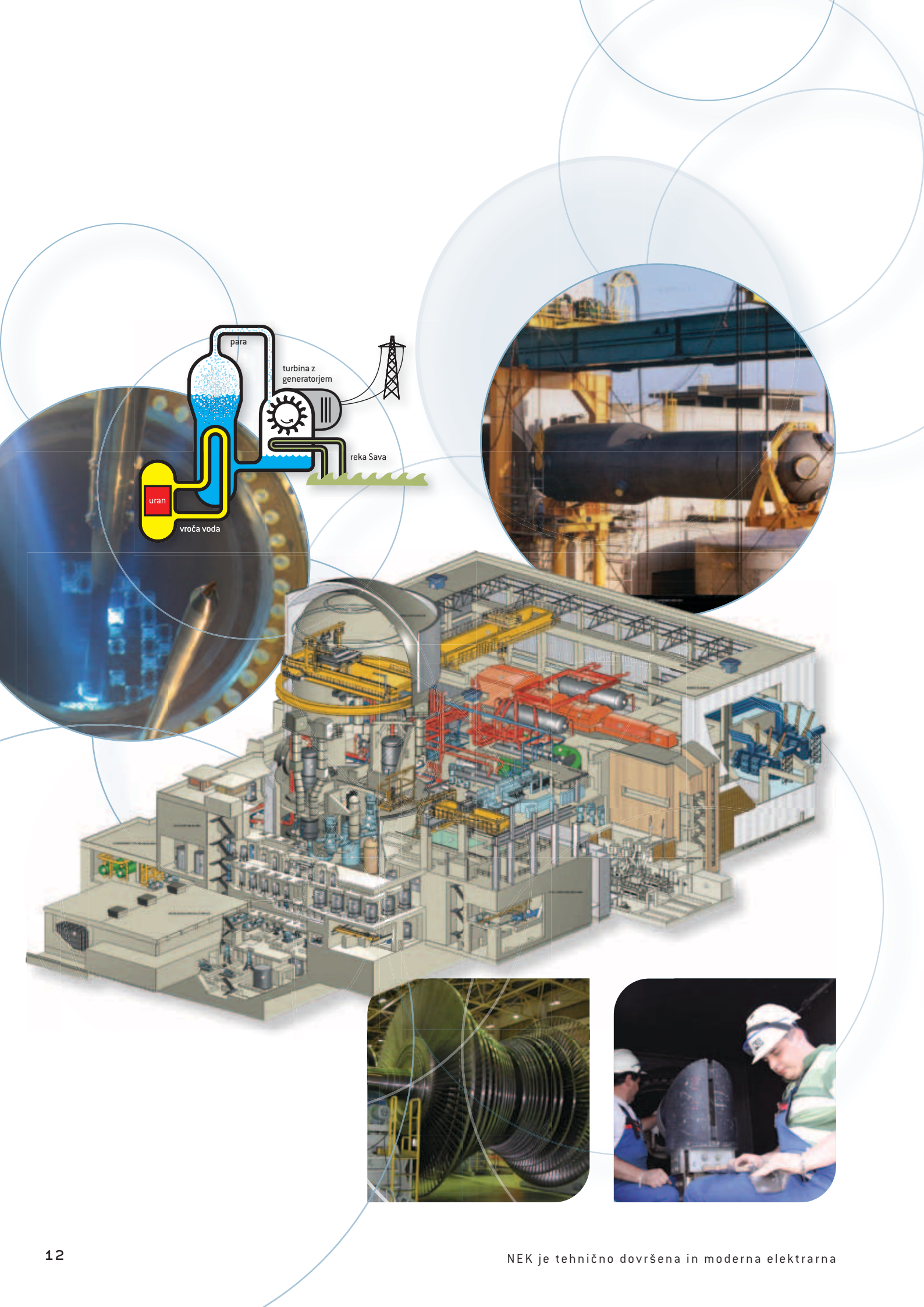
Usposabljanje operaterjev jedrske elektrarne traja približno tri leta. Usposabljanje poteka ob pomoči simulatorja, ki natančno ponazarja delovanje prave elektrarne.

Obratovanje elektrarne je dovoljeno izključno operaterjem, ki so na teoretičnih izpitih in na simulatorju dokazali svoje poznavanje elektrarne in sposobnost upravljanja elektrarne. Zaključne izpite nadzoruje Uprava Republike Slovenije za jedrsko varnost. Delo operaterja smejo opravljati le osebe z veljavno licenco za obratovanje reaktorja.



Sevanje, ki ga povzroča prisotnost urana v naravnem okolju, je majhno. Uran je precej običajen kemičen element v naravi, pogostejši npr. od zlata. V oceanih ga je raztopljenega približno štiri milijarde ton. Zemeljska skorja ga vsebuje v povprečju približno 4 grame na tono. Pričakujemo, da bodo zaloge urana trajale še stoletja. Največja nahajališča urana so v Avstraliji, Kanadi, Kazahstanu, Uzbekistanu, Južni Afriki in Namibiji. V rudnikih kopljejo uranovo rudo, ki vsebuje od 0,3 do 200 kg urana na tono rude. Ruda, ki so jo kopali v rudniku urana na Žirovskem vrhu, je vsebovala približno 3 kg urana na tono rude.







# »NEK je tehnično dovršena in moderna elektrarna«

Osnovno poslanstvo NEK je varno, zanesljivo obratovanje in stabilna proizvodnja električne energije. S sistematičnim in dolgoročnim načrtovanjem dosegajo brezpogojno varnost in visoko zanesljivost, obenem pa tudi konkurenčnost obratovanja.

Oba solastnika NEK, GEN energija in Hrvatska elektroprivreda (HEP), soglasno neprestano posodabljata NEK ter odgovorno in strokovno obravnavata vsak vidik delovanja elektrarne.

## Stalno vzdrževanje in inšpekcije

Menjava goriva v NEK poteka v 18-mesečnem ciklu. Takrat se izvajajo tudi večja vzdrževalna dela, ki jih ne bi bilo mogoče izvesti med rednim obratovanjem, pomembnejše modifikacije, modernizacije in načrtovani inšpekcijski pregledi. Mnogo vzdrževalnih del in inšpekcijskih pregledov pa poteka tudi med rednim obratovanjem elektrarne.

## Sistematično načrtovane modernizacije

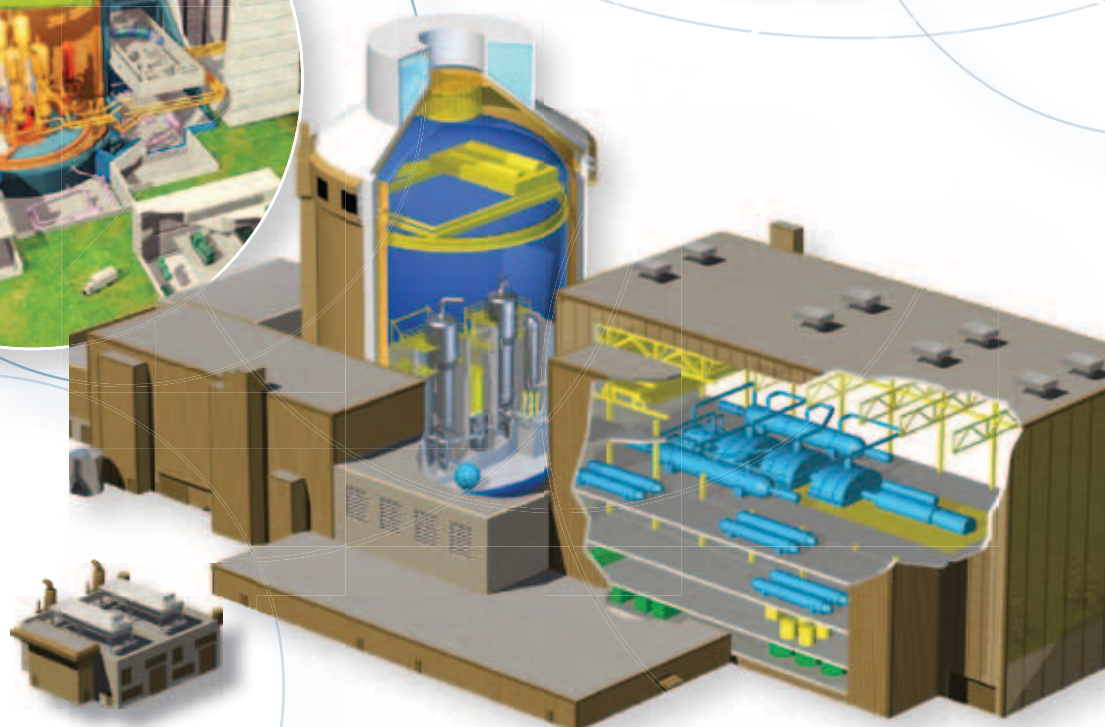
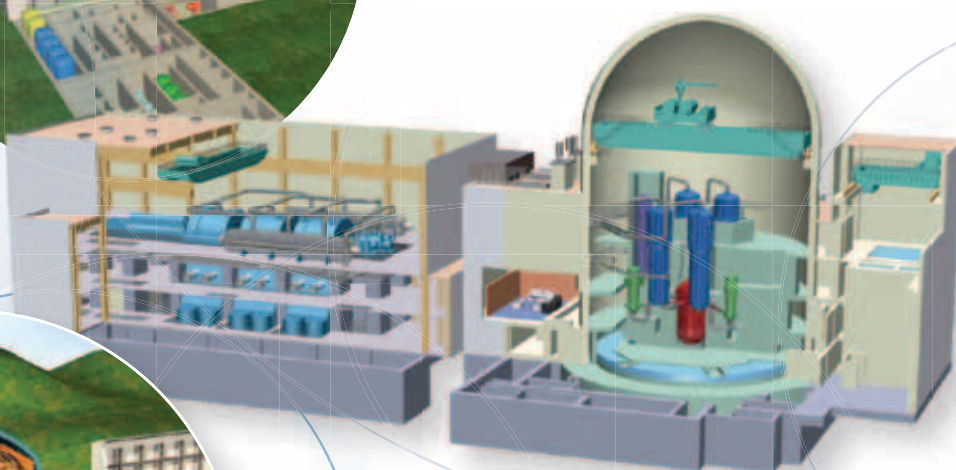
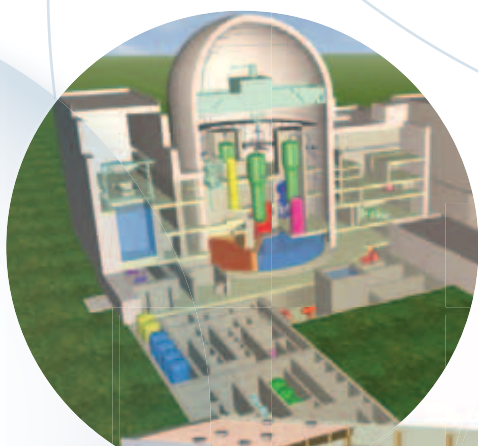
Poleg vzdrževalnih del v času rednih ciklov menjave goriva v elektrarni izvajajo načrtovane projekte modernizacije. Večja projekta sta bila zamenjava uparjalnikov v letu 2000 in zamenjava nizekotlačne turbine v letu 2006. Oba posega sta omogočila pomembno povečanje moči elektrarne (za približno 70 MW) in povečanje proizvedene električne energije. Zamenjana sta bila izločevalnika kapljic/dogrelnika pare in eden od motorjev reaktorske črpalke. Zgrajeni so bili dodatni hladilni stolpi, ki omogočajo obratovanje elektrarne s polno močjo tudi ob najbolj neugodnih hidroloških razmerah na reki Savi. V pripravi je zamenjava pokrova reaktorske posode, statorja električnega generatorja in namestitve dodatnega (tretjega) dizelskega agregata za zasilno napajanje z električno energijo. Vsi naštetih posegi so skrbno načrtovani z namenom ohranjanja in izboljševanja odličnega tehničnega nivoja elektrarne

zgodba o uranu

Uranovo rudo najprej predelajo v uranov koncentrat, tega pa kemično pretvorijo v plinasto spojino - uranov heksafluorid. V napravah za obogatitev (plinske centrifuge) povečajo delež cepljivega U-235 z 0,7 % na 3 do 5 %. Obogaten uran pretvorijo v uranov dioksid, iz tega pa s sintranjem (postopek stiskanja pri visoki temperaturi) izdelajo gorivne tabletki. Z gorivnimi tabletkami napolnijo gorivne palice, iz katerih sestavijo gorivne elemente. Gorivni element jedrske elektrarne Krško vsebuje približno 400 kg urana. Svež gorivni element je zelo malo radioaktiven in rokovanje z njim ni nevarno. Jedrska elektrarna Krško nabavlja svoje gorivo pri ameriškem proizvajalcu.



Skice tipičnih predstavnikov III. generacije tlačnovodnih JE



# »najmodernejše tehnologije tudi v bodoče«

Z razširitvijo jedrskih kapacitet z najmodernejšo tehnologijo lahko v Sloveniji zagotovimo varno in okolju prijazno oskrbo s poceni električno energijo.

Tehnologija jedrskih elektrarn (JE) je v zadnjih desetletjih dosegla zelo velik napredek, med drugim npr. izboljšanje varnostnih lastnosti, povečanje izkoristka elektrarne, podaljšanje življenjske dobe in povečanje razpoložljivosti. Obenem pa je ohranila dolgoletne preizkušene tehnične rešitve. O razvoju JE se ni veliko govorilo, vendar se je prav v tem času dodatno izboljšalo obratovanje obstoječih jedrskih elektrarn in tehnologija jedrskega gorivnega kroga.

Vse komercialno obratujoče jedrske elektrarne na svetu na osnovi tehnologije lahkovodnih reaktorjev spadajo v II. generacijo JE, ki je bila razvita v 60-tih in 70-tih letih prejšnjega stoletja in je do sedaj nabrala preko 10.000 let obratovalnih izkušenj ob dobri gospodarnosti, brez kakršnekoli nesreče z vplivom na okolje.

Gradnja novih JE elektrarn II. generacije je v svetu (razen v jugovzhodni Aziji) skoraj v celoti zastala, na osnovi obratovalnih izkušenj, varnostnih in ekonomskih zahtev pa je neprestano potekalo posodabljanje obstoječih JE. V NEK so npr. zamenjali uparjalnike in parno turbino in s tem povečali moč elektrarne s prvotnih 632 MW na skoraj 700 MW. Obratovalni cikel so podaljšali z 12 na 18 mesecev in s tem izboljšali izkoriščenost elektrarne. Podobne posodobitve so izvedli tudi v mnogih drugih JE v Evropi in drugod po svetu.

Zadnja leta so spoznanja o nujnosti omejevanja izpustov ogljikovega dioksida prodrla tudi v širšo javnost in med politike, kar je oživilo zanimanje za nove JE. Te pa bo zaradi zaostrenih ekonomskih razmer in družbene sprejemljivosti jedrske energije mogoče graditi le s tehnološkimi in organizacijskimi izboljšavami, ki skupno predstavljajo III. generacijo JE:

- Standardizirana zasnova za hitrejšo licenciranje, zmanjševanje stroškov in skrajšanje rokov gradnje,

- daljša življenjska doba (tipično 60 let) in krajši remont, i,
- večja varnost in dodatno zmanjšana možnost nesreče s taljenjem sredice,
- manjša poraba naravnega urana, možnost uporabe recikliranega jedrskega goriva,
- večji izkoristek in boljši ekonomski dosežki,
- 20 % do 30 % manj nizko in srednje radioaktivnih odpadkov med obratovanjem in po razgradnji elektrarne,
- uporaba recikliranega goriva zmanjša prostornino visoko radioaktivnih odpadkov za 80 %.

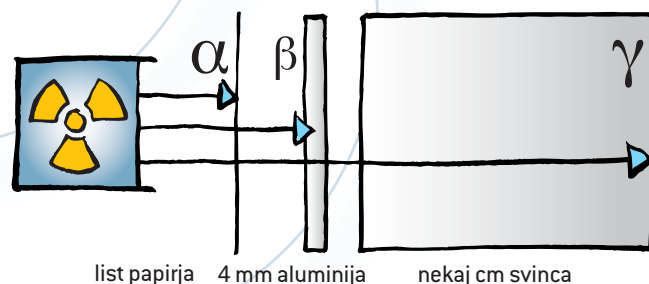
V svetu je več ponudnikov jedrskih elektrarn III. generacije s tlačnovodnim reaktorjem (enak tip reaktorja kot je v NEK), ki izpolnjujejo najstrožje varnostne, okoljevarstvene, tehnične in ekonomske kriterije. Tipični predstavniki jedrskih elektrarn III. generacije, ki se gradijo in načrtujejo v modernem svetu, so:

- AP1000 ameriške družbe Westinghouse,
- ATMEA1 – skupen projekt družb AREVA in Mitsubishi,
- APWR družbe Mitsubishi,
- EPR družbe AREVA.

Skice teh elektrarn so prikazane na slikah na sosednji strani.

Radioaktivne snovi in njihovo sevanje je prisotno povsod v naravi. Sevanji  $\alpha$  (alfa) in  $\beta$  (beta) so visoko energijski nabiti delci, ki nastanejo ob radioaktivnem razpadu. Pred njimi se je mogoče zaščititi z relativno tankimi plastmi snovi. Sevanje  $\gamma$  (gama) je kratkovalovno elektromagnetno valovanje, ki je zelo prodorno. Za zaščito so potrebne debelejšje plasti težke snovi (svinec, železo, beton, debele plasti vode).

V Sloveniji prejmemo veliko večino letne doze sevanja iz naravnega okolja. Približno polovica te doze gre na račun radona, ki nastaja ob radioaktivnem razpadu urana v naravnem okolju.







# »nenehen razvoj varnostne kulture«

Med vrednote NEK sodita preventiven pristop in stalne izboljšave. Tudi največje in najboljše dosežke je možno še izboljšati, s preventivnimi ukrepi pa preprečujejo okvare. Varnostno kulturo pomembno soustvarjata odnos posameznikov in metode dela.

Mednarodna agencija za atomsko energijo definira varnostno kulturo kot skupek značilnosti ter stališč organizacij in posameznikov, ki kot svojo prednostno nalogo razumejo probleme jedrske varnosti.

V NEK je varnostna kultura predpogoj. Varnost je najpomembnejša zahteva ob sprejemanju odločitev. Vodstvo elektrarne, vodje oddelkov in osebje smatrajo varnost kot temeljno vrednoto vseh dejavnosti podjetja in to vse skupaj imenujemo varnostna kultura. Osebje NEK in pogodbeni sodelavci se zato stalno usposablja na področju varnosti.

Vodstvo NEK aktivno sodeluje v nacionalnih in mednarodnih organizacijah o jedrski energiji. Jedrsko varnost razvija v svoji lastni elektrarni in sodeluje tudi na mednarodnem jedrskem področju.

## Samo-ocenjevanje kot del varnostne kulture

Samo-ocenjevanje predstavlja bistveni del stalnega razvoja varnosti. Podatki o stanju varnostne kulture se zbirajo z obsežnim ocenjevanjem in analitičnimi metodami. Rezultate ocenjevanja skrbno analizirajo in uporabljajo za izboljšave obratovanja postopkov v elektrarni in organizacije vodenja.

## Visok nivo profesionalnosti in delovne morale

Delo v jedrski elektrarni zahteva najvišji nivo profesionalnosti in discipline, česar se zavedajo tako vodstvo kot vsi zaposleni. Prizadevajo si za izboljšanje obratovalnih metod na vseh področjih. Njihovo delo je tudi mednarodno priznано kot zelo kakovostno.

zgodba o uranu

V jedrskem reaktorju poteka cepitev jeder U-235, ki jo sprožijo počasni nevtroni. Ob vsaki cepitvi jedra U-235 nastaneta cepitvena produkta, obenem pa se sprostijo 2 do 3 nevtroni. Kinetična energija cepitvenih produktov se ob trkih z okoliškimi jedri spremeni v toploto. Tudi nevtroni se upočasnijo ob trkih z vodikovimi jedri v vodi in lahko cepijo nova jedra U-235. Število jedrskih cepitev obvladujemo tako, da vplivamo na število počasnih nevtronov. Toploto uporabimo za uparjanje vode. Para poganja parno turbino, ki žene generator.







# »jedska elektrarna in okolje«

Vpliv jedske elektrarne na okolje je zanemarljiv. Okolje NEK je pod stalnim nadzorom. Edini večji merljivi vpliv je povišanje temperature reke Save.

Uporaba jedske energije povzroča zelo majhne vplive na okolje.

Ena njenih glavnih prednosti so izredno majhni izpusti ogljikovega dioksida v celotnem življenjskem krogu jedske elektrarne (10 g/kWh), ki izvirajo iz postopkov pridobivanja in obogatitve goriva ter izdelave gradbenih materialov elektrarne. V tem pogledu je jedska energija enakovredna vetrni energiji, biomasi, hidroenergiji in fotovoltaičnim sončnim celicam (ki imajo izpuste manj kot 50g/kWh). Za primerjavo: termoelektrarna na premog sprosti približno 1000 g/kWh. Med obratovanjem jedske elektrarne ni izpustov ogljikovega dioksida ali drugih toplogrednih plinov.

Edini večji merljivi vpliv NEK na okolje je povišanje temperature reke Save za nekaj stopinj, ker je savska voda uporabljena za hlajenje sekundarnega sistema (enak vpliv bi imela termoelektrarna enake moči). Odvzem savske vode in povišanje temperature sta omejena s predpisi in strogo nadzorovana.

## Spremljanje stanja okolja in zelo majhni izpusti radioaktivnih snovi

Osnovno naravno stanje okolja NEK je bilo z opazovanji in meritvami ugotovljeno že pred začetkom obratovanja, tako da so bile ob začetku obratovanja na razpolago primerjalne vrednosti opazovanih parametrov. Sistem spremljanja in nadzora okolja (monitoring) je bil v skladu z zakonskimi določili vzpostavljen ob začetku obratovanja elektrarne ter vključuje:

- Meritve radioaktivnosti v zraku, vodi, zemlji in prehrabeni verigi, ki obsegajo reden nadzor inventarja tekočih in plinastih izpustov ob izvoru (**emisije**) in

neodvisen nadzor vnosa radioaktivnih snovi v širše okolje (**imisije**),

- meritve pretokov, temperatur ter drugih fizikalno-kemijskih parametrov reke Save in podzemnih voda,
- spremljanje meteoroloških parametrov.

Program monitoringa v soglasju z Upravo Republike Slovenije za jedsko varnost izvajajo Institut »Jožef Stefan« in Zavod za varstvo pri delu v Ljubljani ter Institut Ruđer Bošković – Zavod za istraživanje mora i okoliša ter Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada v Zagrebu.

## Sevanje iz jedske elektrarne Krško je zanemarljivo v primerjavi s sevanjem naravnega okolja (naravnim ozadjem)

Sevanje naravnega okolja sestavljajo sevanje radona in njegovih potomcev, zemeljsko sevanje, sevanje iz vesolja ter sevanje človekovega telesa, v katerem so se s prehranjevanjem nabrale radioaktivne snovi. Sevanje naravnega okolja je prisotno vedno in povsod. V Sloveniji in v okolici NEK je podobno kot drugod v Srednji Evropi.

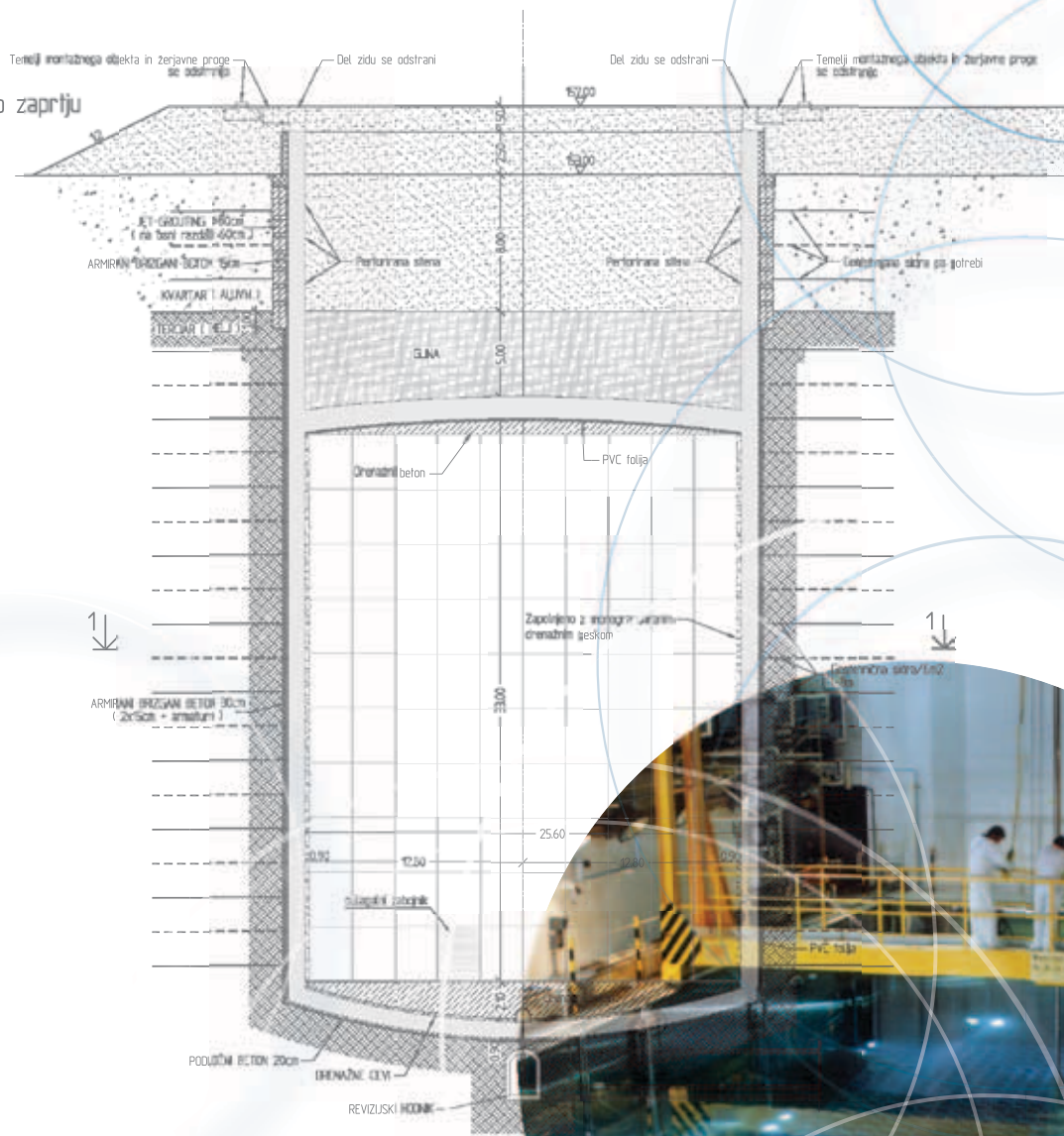
Sevanje iz jedske elektrarne Krško prispeva k letni dozi sevanja najbližje živečih prebivalcev:

- 1000 krat manj kot ga ta prebivalec prejme v enem letu zaradi naravnega sevanja (naravno sevanje je prisotno ves čas in povsod) oziroma
- 1000 krat manj kot je to zakonsko dovoljeno oziroma
- 100 krat manj kot ga bi prejel na enem povratnem poletu iz Evrope v Ameriko.

zgodba o uranu

V rudniku urana Oklo v Gabonu so odkrili, da je tam pred dvema milijardama let več sto tisoč let deloval naravni jedski reaktor. Ob tem so nastali enaki radioaktivni materiali (cepitveni produkti), kot jih najdemo v zgorelem gorivu sedanjih jedskih reaktorjev. Večina cepitvenih produktov v Oklu je do sedaj razpadla v stabilne izotope, vsi pa so ostali na kraju nastanka. To dokazuje, da je mogoče zgorelo gorivo jedskih elektrarn, obdano z zaščitnimi plastmi, varno odložiti v geološke plasti.

Odtagalna celica po zaprtju  
M=1:200



Odtagalna celica po zaprtju  
Tloris rez 1-1  
M=1:200



# >>odlaganje radioaktivnih odpadkov<<

Pri proizvodnji električne energije v NEK nastane večina nizko in srednje radioaktivnih odpadkov (NSRAO) in vsi visoko radioaktivni odpadki (VRAO - izrabljeno jedrsko gorivo) v Sloveniji.

NSRAO (približno 2.200 m<sup>3</sup> v sodih) so uskladiščeni v skladišču na lokaciji elektrarne. Prostornino odpadkov so že večkrat zmanjšali s postopki stiskanja in sežiganja.

Izrabljeno jedrsko gorivo (približno 900 izrabljenih gorivnih elementov) je uskladiščeno v posebnem bazenu. Zmogljivost bazena je 1694 pozicij, kar zadostuje do konca projektne obratovalne dobe NEK (do leta 2023) oziroma ob predvideni modifikaciji bazena do leta 2043.

Centralno skladišče RAO v Brinju je namenjeno samo skladiščenju radioaktivnih odpadkov, ki nastajajo v medicini, industriji in znanosti (vsebuje približno 85 m<sup>3</sup> odpadkov). V tem skladišču ni nobenih odpadkov iz NEK.

Za odlaganje radioaktivnih odpadkov v Sloveniji je odgovorna Agencija za radioaktivne odpadke (ARAO).

Odlagališče nizko in srednje radioaktivnih odpadkov bo na lokaciji Vrbina v občini Krško. Predlagana je izvedba vkopanih silosov, ki je bila odobrena s strani neodvisne strokovne komisije in Vlade Republike Slovenije.

Stroški za odlaganje radioaktivnih odpadkov predstavljajo največji delež upravljanja z odpadki. Sredstva za upravljanje se zbirajo iz cene proizvedene električne energije in se nalagajo v Skladu za financiranje razgradnje NEK in za odlaganje radioaktivnih odpadkov iz NEK (Sklad NEK), ki ga upravlja država.

## Razgradnja NEK

Program razgradnje NEK, odlaganja nizko in srednje radioaktivnih odpadkov ter izrabljenega jedrskega goriva je opredeljen z osnovnimi cilji Sklada NEK: zbiranje potrebnih sredstev, nalaganje v donosne naložbe ter izvedba vseh faz razgradnje NEK, odlaganja radioaktivnih odpadkov ter izrabljenega goriva iz NEK.

Kemični elementi bodo nadaljevali svojo pot po Sončnem sistemu in galaksiji. Sončni sistem je nastal pred 5 milijardami let in se bo čez milijarde let spet raztreščil v vesolje. Atomi se bodo vrnili v cikel kemičnih elementov, ki bodo ponovno uporabljeni za nastanek zvezd, planetov in morda tudi življenja.





# »GEN energija - nosilec razvoja jedrske energije v Sloveniji«

Vizija GEN energije je postati nosilec razvoja proizvodnje in celovite ponudbe električne energije na osnovi čistih, trajnostnih in obnovljivih virov ter tako prispevati k trajnostnemu razvoju Slovenije.

Naše poslanstvo je zagotavljanje zanesljive proizvodnje in dobave električne energije z usmerjenostjo na končnega odjemalca. Vse naštetu bo doseženo z investiranjem v čiste, trajnostne in obnovljive vire električne energije, potrebne za oskrbo Slovenije. Pri tem bo največja pozornost namenjena ohranjanju in širjenju jedrskih zmogljivosti kot temelju trajnostnega razvoja, s čimer bomo prispevali h konkurenčnosti, čistemu okolju in zmanjšanju uvozne odvisnosti Slovenije. Trajnostni razvoj na našem področju pomeni čisto, ekonomsko in okolju prijazno proizvodnjo energije, in sicer tako, da bodo energetske viri ostali na razpolago tudi prihodnjim generacijam.

## Skupina GEN - odgovorna do okolja

Pri proizvodnji elektrike v NEK, v Savskih elektrarnah Ljubljana ter v Hidroelektrarnah na spodnji Savi ne prihaja do izpustov toplogrednih plinov. Skupina GEN več kot **97 % električne energije** proizvede **brez izpustov CO<sub>2</sub>**.

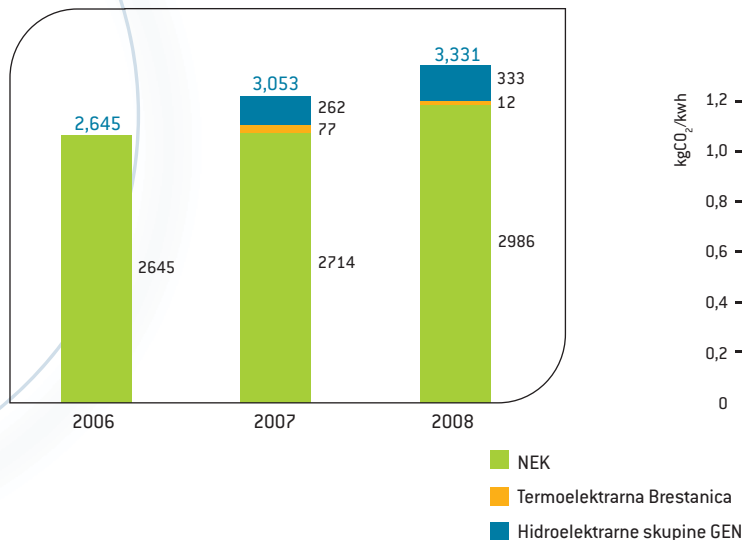
## Družbe v skupini GEN

**Nuklearna elektrarna Krško** (NEK) je največji proizvodni objekt v državi (letna proizvodnja med 5200 in 5900 GWh), kjer je skladno z meddržavno pogodbo slovenski delež polovičen. Pomembne značilnosti NEK so tudi izjemno visoka zanesljivost in ekonomičnost proizvodnje, zagotavljanje stabilnosti sistema ter zanesljiva oskrba odjemalcev.

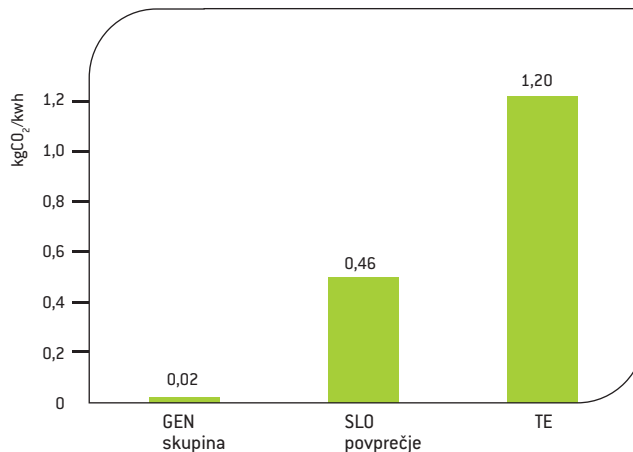
**Savske elektrarne Ljubljana** (SEL; HE Završnica, HE Moste, HE Mavčiče, HE Medvode in HE Vrhovo) so družba z dolgoletno tradicijo proizvodnje električne energije v hidroelektrarnah. GEN energija je večinski družbenik SEL.

**Hidroelektrarne na spodnji Savi** (HESS; obratujeta HE Boštanj in HE Blanca, HE Krško v gradnji) so načrtovane kot hidroelektrarne z dnevno akumulacijo v verigi, za proizvodnjo trapezne in pasovne energije.

**Količina proizvedene električne energije za bilančno podskupino GEN v letu 2008 po virih v GWh**



**Primerjava izpustov CO<sub>2</sub> na proizvedeno kWh**  
Povprečje v letih 2006, 2007 in 2008



**Termoelektrarna Brestanica (TEB)** deluje na plin ali nafto in predstavlja predvsem zanesljiv rezervni vir napajanja pri preobremenitvah sistema ali izpadih slovenskih elektrarn oziroma daljnovodov. Je tudi eden od neodvisnih virov napajanja NEK z zasilno električno energijo.

**Družba GEN-I** opravlja tri osnovne dejavnosti: odkup električne energije od proizvajalcev, trgovanje z električno energijo in prodajo električne energije končnim porabnikom. Razvejana mednarodna trgovalna mreža družbi omogoča, da vse večjo bilančno skupino v Sloveniji dopolnjuje in uravnava s trgovskimi aktivnostmi na sosednjih likvidnih trgih Avstrije, Nemčije in Italije ter tudi na manj likvidnih trgih Jugovzhodne Evrope.

**Nadzorni center skupine GEN** deluje od januarja 2008 na lokaciji TE Brestanica. Načrtovalci v nadzornem centru pripravljajo dnevne, tedenske in mesečne načrte proizvodnje električne energije v skladu z načrtovano porabo bilančne skupine GEN, medtem ko dispečerji skrbijo za realizacijo predvidenih načrtov, pokrivanje odstopanj in analizo proizvodnje.





Izdajatelj: GEN energija, d.o.o.

Prerejeno po publikaciji: TVO, Energy for life, well-being for Finland

Prevedla in priredila: Radko Istenič, Igor Jenčič

Oblikovanje: Branka Smodiš

Fotografije: Arhiv GEN, NEK, TEB, SŽ, ICJT, ARAO

Naklada: 3000 izvodov, oktober 2010