

JEDRSKA ELEKTRARNA



1. Opis vsebine/cilji:

Učni list se osredotoča na:

- razumevanje delovanja jedrske elektrarne;
- poznavanje sestave jedrskega goriva;
- poznavanje sestavnih delov jedrske elektrarne;
- poznavanje delovanja Nuklearne elektrarne Krško (NEK);
- razumevanje pomena jedrske elektrarne za proizvodnjo električne energije v Sloveniji in svetu.

2. Vsebinska izhodišča (za učitelje):

2.1 Vrste jedrskih elektrarn

Jedrska elektrarna (JE) pretvarja energijo, ki nastaja pri kontrolirani cepitvi uranovih jeder v toploto. Toplota se v turbini pretvori v mehansko energijo, iz katere v generatorju pridobimo električno energijo.

Jedrske elektrarne se razlikujejo predvsem po tipu reaktorja, ki je njihov najpomembnejši del. Tako poznamo naslednje glavne vrste delujočih jedrskih elektrarn:

JE z vrelnim reaktorjem:

Petina obratujočih jedrskih elektrarn ima vrelni reaktor. Gorivo je obogateni uran. V reaktorski posodi vrelnega reaktorja je manjši tlak kot v visokotlačnih reaktorjih. Zanje je značilno, da se voda uparja pri prehodu skozi reaktor in gre neposredno v turbino, kjer se po opravljenem delu kondenzira in vrne nazaj v reaktorsko posodo. Ker vrelni reaktor nima uparjalnikov, je v primerjavi s tlačnovodnim enostavnejši za gradnjo.

JE s tlačnovodnim reaktorjem:

Je najbolj razširjen tip reaktorja, saj ima tlačnovodni reaktor več kot polovica obratujočih jedrskih elektrarn. Kot gorivo uporabljajo obogateni uran. Tudi reaktor NEK je tlačnovodni reaktor. Hladilna voda (primarni hladilni krog) je v reaktorski posodi pod tlakom, ki je večji od nasičenega parnega tlaka pri največji obratovalni temperaturi. Zato se reaktorsko hladilo ne more upariti v reaktorski posodi. Do uparjanja pride šele v uparjalniku (sekundarni hladilni krog) – izmenjalniku toplote, kjer je veliko število tankih cevi. Močne primarne črpalke poganjajo skozi reaktorsko hladilo, ki svojo toploto oddaja sekundarnemu hladilu, ki kroži okoli cevi uparjalnika. Zaradi segrevanja se sekundarno hladilo uparja. Para poganja turbino, po koncu dela pa se kondenzira v kondenzatorju in se nato vrača v uparjalnik. Pri tlačnovodnem reaktorju sta primarni in sekundarni hladilni krog ločena.

JE s težkovodnim reaktorjem:

Težkovodni reaktorji so moderirani in tudi hlajeni s težko vodo. Težka voda je boljši moderator od lahke vode, vendar je ta način hlajenja dražji. Omogoča uporabo neobogatene urana. Voda v reaktorju ne vre, v uparjalniku pa se uparja sekundarna voda.

JE s plinskim reaktorjem:

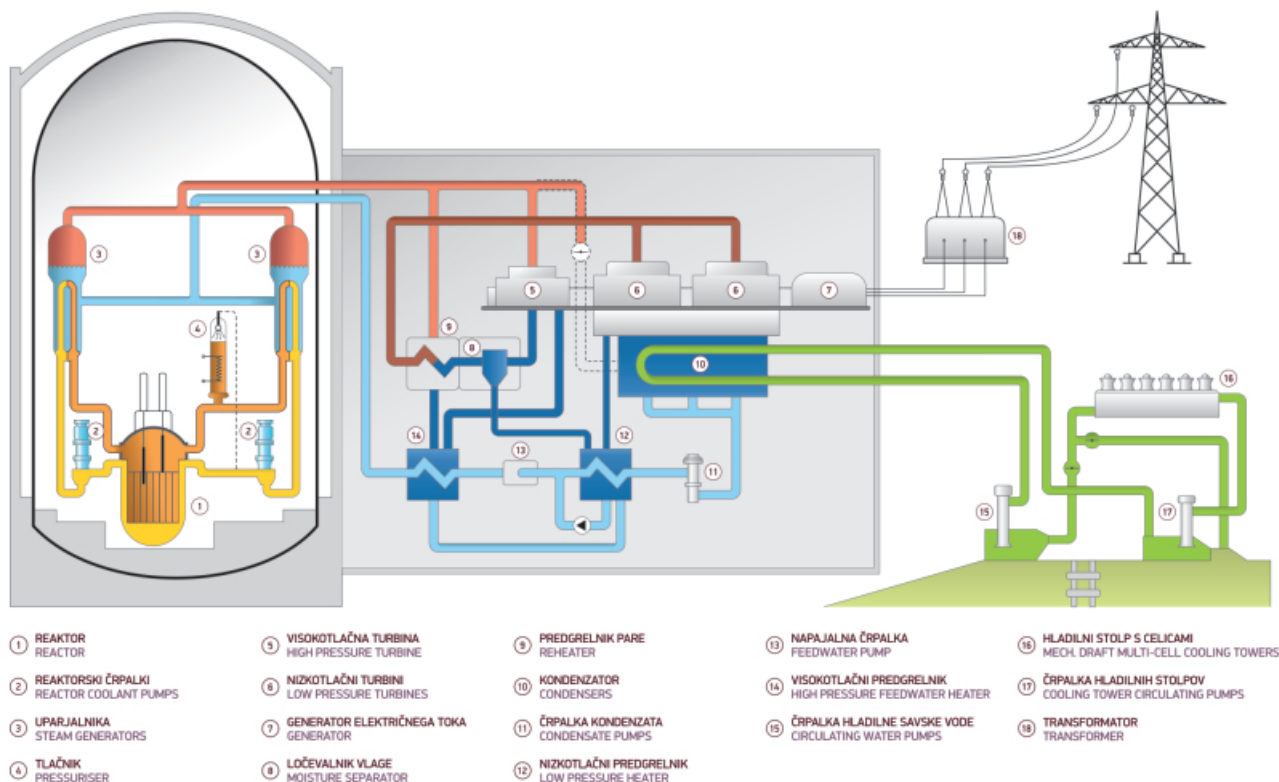
Plinski reaktorji so moderirani z grafitom in hlajeni s plinom CO2. Plin segreva vodo, ki se uparja in poganja turbino. Kot gorivo uporabljajo naravni uran v obliki kovine.

JE z vodno hlajenim, grafitno moderiranim reaktorjem:

Ta vrsta reaktorja je moderirana z grafitom in hlajena z navadno vodo. Gorivo je obogateni uran.

2.2 Kako deluje jedrska elektrarna?

Shema: Delovanje jedrske elektrarne



Tehnološki del jedrske elektrarne je razdeljen v tri osnovne termodinamične sklope sistemov:

- primarni sistemi,
- sekundarni sistemi,
- terciarni sistemi.

Ker v vseh treh sklopih sistemov, ki so med seboj ločeni, kroži voda, jih lahko zaradi lažjega razumevanja poimenujemo tudi krogi. Prva dva kroga sta sklenjena, tretji pa je, ker se za ohlajanje pare uporablja voda iz reke Save, povezan z okoljem.

Primarni krog

Primarni krog sestavljajo: reaktor, uparjalnika, reaktorski črpalki, tlačnik in cevovodi.

Toplota, ki se sprošča v sredici reaktorja, segreva vodo, ki kroži v primarnem krogu. Toplota vode se prek sten cevi v uparjalnikih prenese na vodo sekundarnega kroga. Kroženje vode v primarnem krogu omogočata reaktorski črpalki. Tlačnik vzdržuje tlak v primarnem krogu in preprečuje vrenje vode v sredici. Vse komponente primarnega kroga so nameščene v zadrževalnem hramu, ki ima nalogo, da tudi v primeru nezgode izolira primarni sistem od okolja.

Sekundarni krog

Sekundarni krog sestavljajo: uparjalnika, turbine, generator, kondenzator, napajalne črpalke in cevovodi.

Uparjalnika sta v bistvu parna kotla, v katerih iz vode sekundarnega kroga nastaja para, ki odteka v turbino. V turbini se energija pare pretvarja v mehansko energijo, ki jo generator pretvori v električno energijo in jo prek transformatorjev oddaja v elektroenergetsko omrežje. Izrabljena para iz turbine odteka v kondenzator, kjer se v stiku s hladnimi cevmi kondenzatorja spremeni v vodo. Napajalne črpalke potiskajo vodo iz kondenzatorja nazaj v uparjalnik, kjer ponovno nastaja para.

Terciarni krog

Terciarni krog sestavljajo: kondenzator, hladilne črpalke, hladilna stolpa in cevovodi.

Namenjen je odvajanju toplote, ki je ni mogoče koristno izrabiti za proizvodnjo električne energije in je potreben za hlajenje kondenzatorja. Hladilne črpalke potiskajo vodo iz reke Save v kondenzator ter jo vračajo v Savo. Pri pretoku skozi kondenzator se voda iz Save segreje, ker sprejme toploto izrabljene pare.

Ker lahko tako segrevanje vode vpliva na biološke lastnosti reke Save, upravne omejitve določajo dovoljen prirastek temperature in delež odvzetega pretoka. Pri pretokih reke Save, večjih od 100 kubičnih metrov na sekundo, je hlajenje kondenzatorja pretočno. Pri manjših pretokih pa je pretočno hlajenje kombinirano s hladilnimi stolpi, tako da se odvzame manjši del vode iz Save. Temperatura vode v Savi lahko po mešanju s hladilno vodo naraste največ za 3 °C in ne sme preseči 28 °C. V primeru neugodnih vremenskih razmer (npr. nizek vodostaj reke Save, visoka temperatura Save) se uporabljajo hladilni stolpi.

2.3 Nuklearna elektrarna Krško

Nuklearna elektrarna Krško stoji ob Savi, 2 km južno od Krškega. Opremljena je z lahkovodnim tlačnim reaktorjem ameriškega proizvajalca Westinghouse. Ta tip reaktorja je danes v svetu najbolj razširjen. S komercialnim obratovanjem je začela leta 1983 ter je v skupni lasti podjetij GEN energija in Hrvatska elektroprivreda (50 : 50).

PODATKI O NEK:

Moč na pragu elektrarne
Povprečna proizvodnja

696 MW
5500 GWh/leto

NEK deluje podobno kot klasična termoelektrarna na fosilna goriva, vendar izvor toplote ni gorenje premoga ali plina, temveč se toplota sprošča ob cepitvi uranovih jeder v reaktorju. Reaktor sestavlja reaktorska posoda z gorivnimi elementi, ki tvorijo sredico. Skozi reaktor kroži prečiščena navadna voda pod tlakom, ki odvaja sproščeno toploto v uparjalnika. V uparjalnikih nastaja para, ki poganja turbino, ta pa električni generator. Vsa oprema reaktorja in pripadajočega primarnega hladilnega kroga je v reaktorski zgradbi, ki ji zaradi njene funkcije pravimo tudi zadrževalni hram.

Reaktorska posoda, v kateri so gorivni elementi, je med obratovanjem zaprta. Za načrtovano menjavo goriva je treba elektrarno zaustaviti. Obdobje med dvema menjavama goriva imenujemo gorivni cikel, ki v NEK traja 18 mesecev. Po zaključku vsakega gorivnega ciklusa se izrabljeni gorivni elementi nadomestijo s svežimi.

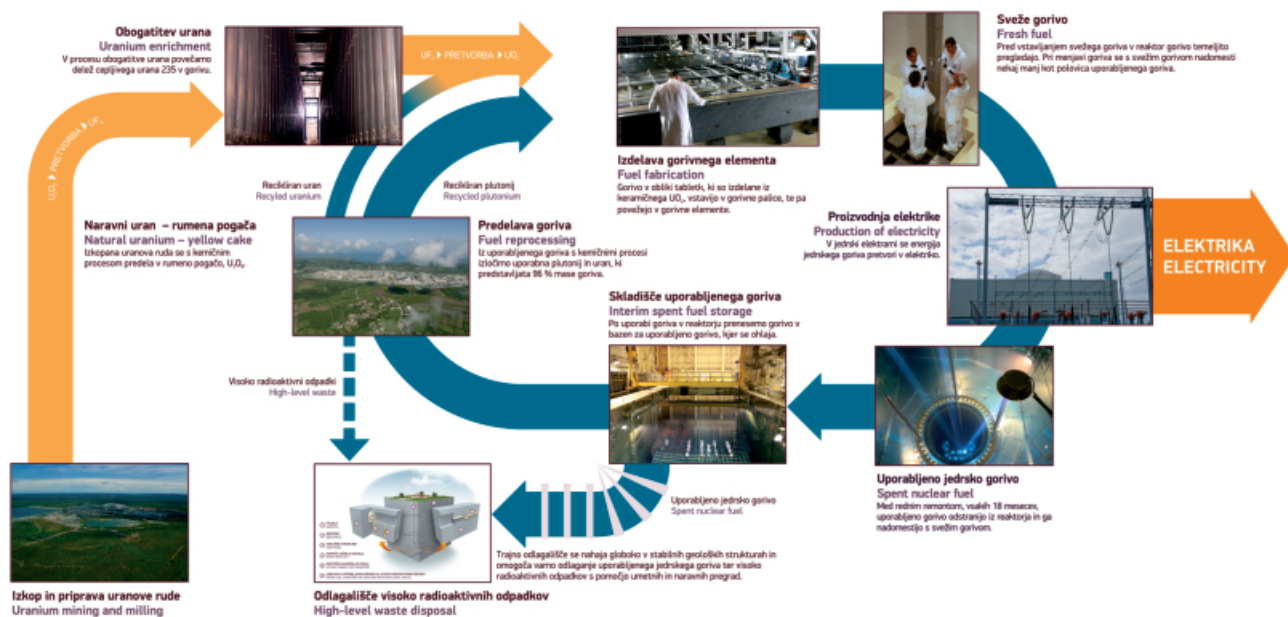
Interaktivno shemo delovanja NEK si lahko ogledate na tej povezavi:
http://www.nek.si/sl/o_jedrski_tehnologiji/delovanje_nek/shema_delovanja_nek/

2.4 Jedrsko gorivo

Surovina za jedrsko gorivo je naravni radioaktivni element uran. Uran je zelo težka oziroma gosta kovina, ki jo je leta 1789 odkril nemški kemik Martin Klaproth in jo poimenoval po planetu Uranu. Kemični simbol je U, z vrstnim številom 92. Uran, ki ga najdemo v zemeljski skorji v povprečni koncentraciji 2 g/tono, obstaja v različnih mineralnih oblikah. Glavni rudi sta uraninit in karnotit, pojavlja pa se tudi v bakrovih, zlatih in fosfatnih rudah ter v nizkih koncentracijah tudi v morju. Najbolj zastopana izotopa urana v naravi sta uran 238 (99,29 %) in uran 235 (0,71 %).

Jedrsko gorivo v NEK je v obliki tabletk uranovega dioksida. Tabletke so nepredušno zaprte v kovinski cevki, ki jo imenujemo gorivna palica. 235 gorivnih palice je povezanih v gorivni element. V reaktorju je 121 gorivnih elementov, ki vsebujejo 50 ton urana, od tega je približno 95 % izotopa urana 238 in 5 % izotopa urana 235. Pri cepitvi urana z nevtroni se sprošča energija.

Shema: Jedrski gorivni krog



2.5 Pomen jedrske energije

31. decembra 2011 je v 30 državah obratovalo 435 energetskih jedrskih reaktorjev, v gradnji pa je 63 novih jedrskih elektrarn. Leta 2010 so v jedrskih elektrarnah proizvedli 13,5 % vse električne energije, ki se je proizvedla v svetu.

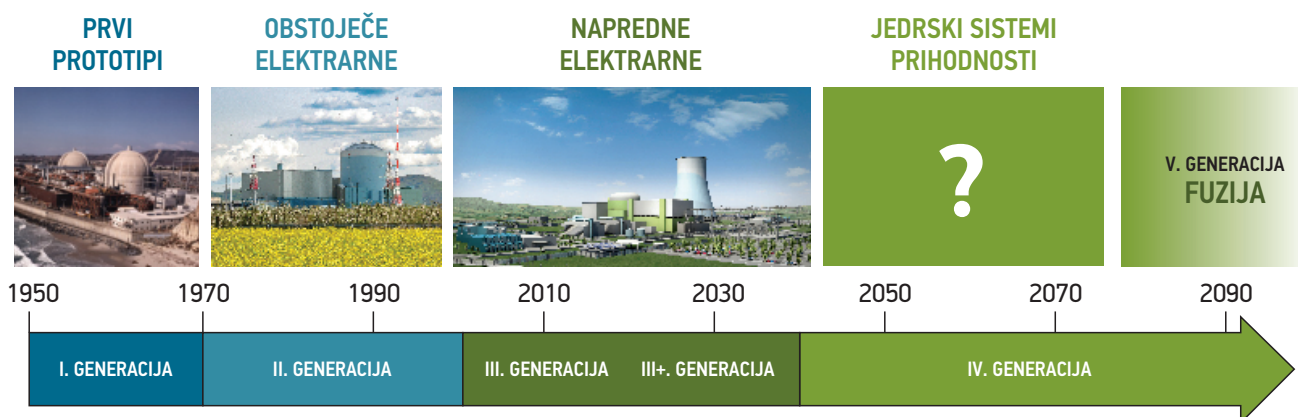
Položaj jedrske energije v svetu je razmeroma stabilen, v Aziji in Rusiji smo priča intenzivnemu investiranju v nove zmogljivosti, v ZDA pa je v ospredju podaljševanje življenjske dobe obstoječih jedrskih elektrarn. Ameriška uprava za jedrsko varnost (NRC) je februarja letos (2012) izdala prvo kombinirano gradbeno in obratovalno dovoljenje za postavitve in obratovanje jedrske elektrarne.

Gre za elektrarno Vogtle, kjer bodo zgradili pravzaprav dve novi enoti oziroma dva nova reaktorja, imenovana Vogtle 3 in Vogtle 4, z nazivno električno močjo 1100 MW. Januarja letos so na ameriški upravi za jedrsko varnost po letih neodvisnih pregledov odobrili zasnovo tlačnovodne jedrske elektrarne s pasivnimi varnostnimi sistemi. Prav taka elektrarna je zdaj dobila tudi zeleno luč za obratovanje na lokaciji Vogtle. Tlačnovodna jedrska elektrarna s pasivnimi varnostnimi sistemi je izboljšana tlačnovodna jedrska elektrarna, kakršno imamo tudi pri nas v Sloveniji. Gre celo za istega proizvajalca. Njena zasnova je taka, da varnostni sistemi ne potrebujejo nujno aktivnih sistemov, denimo električne energije za pogon varnostnih črpalk. Taka elektrarna bi lahko bila tudi ena izmed možnih izbir za Slovenijo. Novi enoti Vogtle 3 in Vogtle 4 bosta gotovi do leta 2016 in 2017, ko je planirana njuna vključitev v elektroenergetski sistem.

V Franciji in na Finskem že gradijo jedrske elektrarne tretje generacije (Gen III) z izboljšano varnostjo in konkurenčnostjo. Četrta generacija reaktorjev (Gen IV) je trenutno še v intenzivni fazi razvoja, bodo pa ti sistemi za gospodarsko uporabo na voljo predvidoma od leta 2025. Reaktorji četrte generacije so resnično inovativni, saj bodo združevali najvišjo raven varnosti in konkurenčno ekonomijo. Načrti vsebujejo elemente pasivne varnosti, ki zagotavljajo, da tudi v primeru največjih nesreč ne bo v okolju zunaj lokacije reaktorja čutiti nikakršnih posledic. Reaktorji četrte generacije pa bodo tudi veliko učinkoviteje izrabljali vire urana. Nekateri načrti vsebujejo zaprte gorivne cikle za „sežig“ odpadkov v reaktorju, s čimer se bo zmanjšala količina končnih odpadkov.

Eden ključnih razlogov za podaljševanje življenjske dobe jedrskih elektrarn in načrtovanje novih je tudi spoznanje, da je problematiko onesnaževanja ozračja mogoče reševati s povečano uporabo jedrske energije, saj ta ne sprošča toplogrednih plinov. Tudi trajno odlaganje radioaktivnih odpadkov se obravnava vse bolj premišljeno. Večina držav ima danes že rešeno vprašanje trajnega odlaganja nizko in srednje radioaktivnih odpadkov. Blizu smo tudi izgradnji prvih trajnih odlagališč visoko radioaktivnih odpadkov (Finska, Švedska, ZDA, Japonska, Rusija idr.).

ŠTIRI GENERACIJE JEDRSKIH ELEKTRARN



Jedrska energija ima in bo imela pomembno mesto pri proizvodnji električne energije v svetu. Enako velja za Nuklearno elektrarno Krško, ki ostaja pomemben vir električne energije za Slovenijo in Hrvaško v naslednjih dvajsetih letih. V NEK namreč v povprečju na leto proizvedejo 39 % vse električne energije, proizvedene v Sloveniji.

POVPREČNA PROIZVODNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE

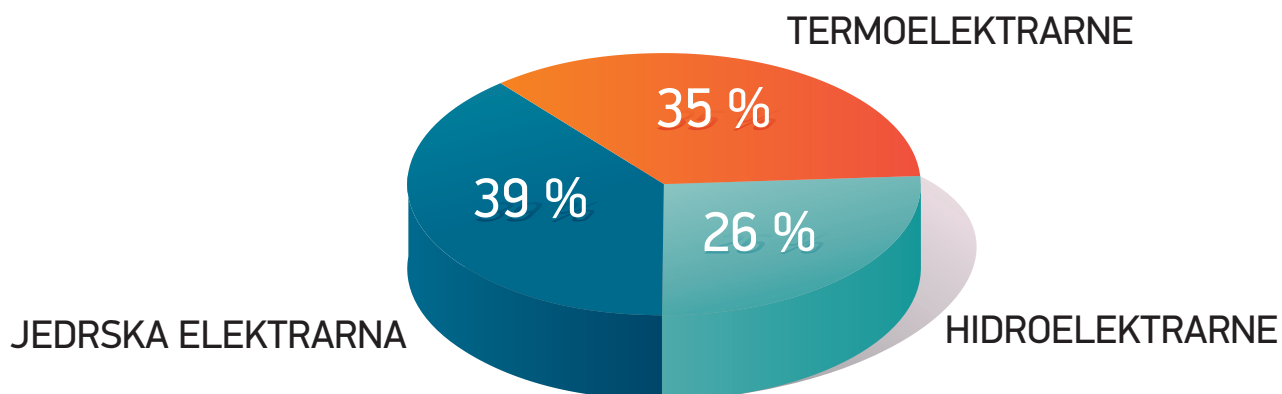


Tabela: Seznam držav, ki so leta 2010 večino svoje električne energije proizvedle v JE

Država	Odstotek
Francija	74,1
Slovaška	51,8
Belgija	51,1
Ukrajina	48,1
Madžarska	42,0
Armenija	39,4
Švedska	38,1
Švica	38,0
Slovenija	37,4
Češka	33,2
Bolgarija	33,0
Koreja	32,2
Japonska	29,2
Finska	27,5
Nemčija	27,3

Vir: http://www.nei.org/resourcesandstats/nuclear_statistics/worldstatistics/

3. Vsebinska izhodišča (za učitelje):

Prva in druga triada OŠ

- Z otroki se pogovarjajte o tem, kako nastaja električna energija v jedrskih elektrarnah.
- Vprašajte jih, v katerem kraju v Sloveniji stoji jedrska elektrarna.
- Skupaj ugotavljajte, katere države v Evropi/svetu imajo največ jedrskih elektrarn (pomagajte si z zemljevidoma Jedrske elektrarne v Evropi (<http://www.icjt.org/tech/meje/meje10.pdf>) in na drugih celinah (<http://www.icjt.org/tech/meje/meje11.pdf>)).
- Učencem predstavite delovanje jedrske elektrarne.
- Skupaj ugotavljajte, kolikšen odstotek električne energije Slovenija proizvede v NEK (pomagajte si z zgornjo tabelo Seznam držav, ki so leta 2010 večino svoje električne energije proizvedle v JE).
- Obiščite Svet energije v Krškem, kjer se bodo otroci na interaktiven način seznanili z jedrsko energijo in delovanjem jedrske elektrarne.

Tretja triada in srednja šola

- Z učenci razpravljajte o tem, kako se električna energija pridobiva v jedrskih elektrarnah.
- Skupaj ugotavljajte, kaj je jedrsko gorivo.
- Ugotavljajte razliko (prednosti, priložnosti), ki jih prinaša nova generacija jedrskih elektrarn z zaprtim gorivnim krogom.
- Učenci naj ugotovijo, katera država v Evropi/svetu proizvede največji odstotek električne energije v jedrskih elektrarnah. Na katero mesto se uvršča Slovenija?
- Učenci naj raziščejo, katere tri države na svetu imajo največ jedrskih elektrarn (v pomoč naj jim bo zemljevid, dostopen na <http://www.targetmap.com/viewer.aspx?reportId=4850>) in na katerih celinah so.
- Učenci naj ugotovijo, v katerem mesecu v letu 2011 je Nuklearna elektrarna Krško proizvedla največ električne energije (v pomoč naj jim bodo mesečna poročila o delovanju NEK, dostopna na: http://www.nek.si/sl/novinarsko_sredisce/porocila/mesecna_porocila_o_obratovanju/).



Vabljeni v Svet energije, kjer lahko tovrstne vsebine skupaj z učenci oziroma dijaki spoznavate z uporabo interaktivnih razstavnih eksponatov in praktičnim delom v eksperimentalnici!

Med drugim si oglejte eksponate: Jedrska elektrarna, Jedrsko gorivo, Jedrski gorivni krog, Reaktorska posoda, Prikaz delovanja NEK, Zagotavljanje varnosti, Sevanje okoli nas, Radioaktivni odpadki, Odlagališče NSRAO, Posodobitve in remontni v NEK, Meglična celica.

SVET ENERGIJE

INTERAKTIVNI MULTIMEDIJSKI CENTER O ENERGIJI IN ENERGETIKI V SLOVENIJI



Kontakti:

Informacijsko središče GEN – Svet energije

Vrbina 17, 8270 Krško

E-pošta: svet.energije@gen-energija.si

Web: www.svet-energije.si

Telefon: 07/49 10 188