

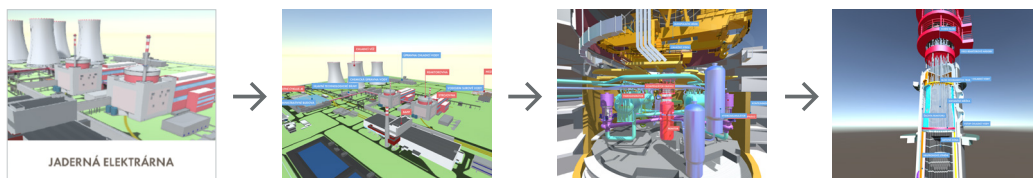
Pokus č. 08

Jak udržet řetězovou reakci na řetězu?

Aktivita 1 – 3D tisk a online model

Vytiskněte si model jaderného reaktoru nebo celé jaderné elektrárny! Na webu [Světa energie](#) najdete kompletní soubory pro 3D tisk.

Nemáte ve škole 3D tiskárnu? Nevadí! Podívejte se na model jaderného reaktoru a dalších částí areálu jaderné elektrárny v [online verzi](#) (jaderná elektrárna → reaktorovna → reaktor)



Zajímavost 2 – kolik máme v Česku jaderných reaktorů?

Rádoby jednoduchá otázka – přeci 2 reaktory v Temelíně a 4 v Dukovanech. Ne všechny reaktory jsou však energetické určené k výrobě elektrické energie. Některé slouží k výrobě radiofarmak pro lékařské účely, jiné pro vzdělávání budoucích operátorů v elektrárnách nebo pro výzkum nových poznatků v jaderné fyzice. Kromě 6 reaktorů v Temelíně a Dukovanech jsou v Česku další 4 reaktory! 2 reaktory se nachází v [Centru výzkumu Řež s.r.o.](#) a další 2 na [Českém vysokém učení technickém v Praze](#)! Celkem tak v Česku máme 10 štěpných reaktorů.

A proč zdůrazňujeme, že se jedná o reaktory štěpné? Když totiž zahrneme i reaktory fúzní, musíme do sbírky přidat ještě [tokamak Golem](#), vůbec nejstarší funkční fúzní reaktor na světě, a [tokamak Compass](#). Celkem tak v Česku máme 12 reaktorů!

Aktivita 3 – virtuální prohlídka reaktoru VR-1 Vrabec

Jeden z výzkumných a výukových reaktorů se nachází v pražské Tróji. Jmenuje se Vrabec a výkon má menší než rychlovarná konvice! Jedná se o lehkovodní reaktor nulového výkonu. Má otevřený bazén, proto je jeho aktivní zóna snadno přístupná a dobře viditelná, což z něj činí skvělou učební pomůcku do vašich hodin. Vydejte se na [virtuální prohlídku](#), v rámci níž můžete projít reaktorovým sálem, nahlédnout do velína či šaten a cestou se dozvědět spoustu zajímavostí o provozu reaktoru.

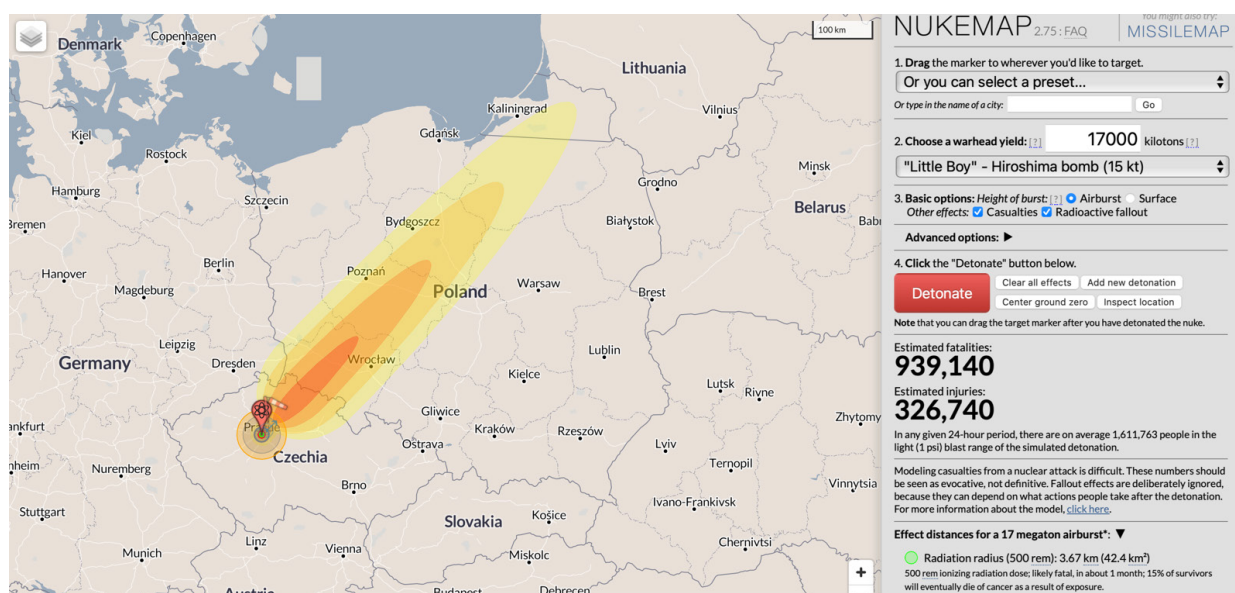


Aktivita 4 – když se jaderná reakce vymkne kontrole

Pokud není štěpná řetězová reakce řízená, může to skončit katastrofou. Jak špatně to může dopadnout? Virtuálně si to můžete vyzkoušet na vlastní kůži. Simulátor Nukemap interaktivní simulaci jaderného výbuchu. Zjistěte se svými žáky, jaké následky by odpálení jaderné zbraně mělo v libovolném místě na světě. Zvolte si reálný historický atomový výbuch nebo si sílu výbuchu zvolte sami.

Diskuze:

1. Kam jste výbuch umístili a proč?
2. Jak velká je zvolená bomba? Umíme sílu bomby k něčemu přirovnat?
3. Jaký je poloměr výbuchu? Co se nachází v jeho dosahu?
4. Jaké jsou odhadované následky bomby?
5. Jak se liší dopady podle výšky výbuchu (země x výškový výbuch)?
6. Kam až sahá radioaktivní spad?



Zajímavost 5 – řízení štěpné reakce v reaktoru

Aby byla štěpná řetězová reakce v jaderném reaktoru stabilní a bezpečná, musí být řízená. Nejznámějším prvkem řízení jaderné reakce jsou regulační tyče, které jsou vyrobeny z materiálů pohlcujících volné neutrony (bór, kadmium). Zasouváním do aktivní zóny reaktoru absorbují více neutronů a reakce se zpomalí, vysouváním z reaktoru umožní více štěpení a reakce se zrychlí. Slouží spíše k jemnému ladění výkonu. Každý reaktor má také havarijní tyče, které umí reakci zastavit během několika sekund. Dlouhodobý výkon tlakovodního reaktoru se reguluje změnou koncentrace kyseliny borité, která se přidává do chladicí vody. Bór v roztoku pohlcuje neutrony a funguje podobně jako řídicí tyče. Jak palivo postupně vyhořívá, snižuje se její koncentrace.

Reaktor pomáhá řídit také vyhořívající absorbátor. Na začátku palivového cyklu je palivo velmi výkonné a množství neutronů je přebytečné. Přímo do palivových proutků se tak vkládá vhodný materiál (např. gadolinium), který opět pohlcuje neutrony a pomáhá tlumit štěpnou reakci. Na rozdíl od regulačních tyčí není vyhořívající absorbátor pohyblivý, ale pevně vložen do palivových souborů. Postupně vyhořívá tím, že absorbuje neutrony a mění se na jiné prvky. Jeho účinnost tak postupně klesá a kompenzuje tak úbytek reaktivity, který u paliva přirozeně nastává.

Zajímavost 6 – přírodní reaktor v oblasti dnešního Gabonu

V roce 1972 si francouzští vědci všimli, že uran z afrického dolu Oklo má nižší obsah izotopu uranu-235, než je obvyklé zastoupení 0,7 %. Pro srovnání – palivo v jaderných elektrárnách temelínského typu se obohacuje na 5 %. Snížená koncentrace izotopu 235 naznačovala, že v minulosti zde mohlo dojít k přirozené jaderné reakci, v níž uran vyhořel. Když se v horninách odhalily produkty štěpení uranu a další izotopy, které běžně vznikají v jaderných reaktorech, bylo jasno – štěpnou řetězovou reakci umí spustit i příroda! Další výzkum ukázal, že před 2 miliardami lety v Gabonu bylo celkem 16 „reaktorových ložisek“, která každé s výkonem asi 100 kW (což je srovnatelné s výzkumnými reaktory) fungovala 150 tisíc let.

Jak je možné, že na Zemi vznikl přirozený jaderný reaktor?

Před dvěma miliardami let byl podíl izotopu 235 v přírodním uranu vyšší než dnes (cca 3 %), což umožnilo samovolné spuštění řetězové reakce. V Oklu se sešly ideální podmínky, neboť kromě vysoké koncentrace uranu v rudě zde zároveň byla nízká koncentrace látek, které pohlcují neutrony (bór, prvky vzácných zemin).

Jaká je nutná podmínka k fungování jaderného reaktoru?

Přítomnost moderátoru. Moderátor zpomaluje neutrony a umožňuje jim vstoupit do dalšího štěpení. V přírodních reaktorech v Oklu fungovala jako moderátor obyčejná voda, která se nacházela v pórech hornin.

Jak to, že reaktor neexplodoval a sám sebe řídil?

Zajímavé je, že voda zároveň plní funkci jakéhosi přirozeného „operátora“ – jakmile reaktor začal produkovat teplo, voda se ohřála a částečně odpařila. Tím se snížil její moderační účinek a reakce se zpomalila nebo dočasně zastavila. Ochlazením a opětovným průsakem vody mohla reakce znovu začít. Měřením xenonových izotopů, které jsou štěpnými produkty uranu, v zrnech hornin v Oklu a jejich porovnáním s běžným izotopickým zastoupením vědci zjistili, že reaktor pulzoval s periodou 3 hodiny – půl hodinky probíhala reakce, 2 a půl hodiny byl klid.